

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno
(DBO) en el equipo de tratamiento de aguas residuales del
Laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química

Trabajo de graduación presentado por Jose Carlos Bolaños
de León para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala,

2021

Evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno
(DBO) en el equipo de tratamiento de aguas residuales del
Laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno
(DBO) en el equipo de tratamiento de aguas residuales del
Laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química

Trabajo de graduación presentado por Jose Carlos Bolaños de León
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Química

Guatemala,

2021

Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Frances Recari

Tribunal Examinador:

f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

f) 
Ing. Luis Núñez

f) 
Ing. Frances Recari

Fecha de Aprobación: Guatemala, 17 de febrero del 2021

PREFACIO

Este trabajo de graduación está enfocado a la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias la cual busca evaluar la reducción de la demanda biológica de oxígeno. De la misma forma, transmitir a los estudiantes una apreciación por el recurso hídrico de Guatemala en las diversas actividades creadas por el hombre, el cual sufre de impactos provenientes de la industria guatemalteca. Por lo tanto, se exige que la industria invierta y ejecute correctamente las estrategias ambientales reactivas y proactivas para la protección de los ecosistemas.

CONTENIDO

PREFACIO.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xxi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEORICO.....	3
A. Tratamiento de aguas residuales.....	3
B. Características de importancia en aguas residuales.....	3
1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	3
2. Relación DBO/DQO.....	5
3. Demanda química de oxígeno (DQO).....	6
4. Oxígeno disuelto.....	6
5. pH.....	7
6. Sólidos.....	7
C. Reactores utilizados para el tratamiento de aguas residuales.....	8
1. Reactor de mezcla completa.....	8
D. Análisis de balance de masa.....	9
1. El principio del balance de masa.....	9
2. Aplicación del análisis de balance de masa.....	9
E. Modelado del proceso de tratamiento de crecimiento suspendido.....	10
1. Descripción del proceso de tratamiento de crecimiento suspendido.....	10
2. Balance de masa de biomasa.....	10
F. Formulación del reactor biológico continuo.....	11
1. Velocidad específica de consumo de sustrato.....	11
2. Velocidad específica de crecimiento de sustrato.....	12
3. Velocidad específica de utilización de oxígeno.....	12
G. Mecanismo del tratamiento aerobio de las aguas residuales.....	13
1. Metabolismo celular.....	13
2. Metabolismo energético.....	14
3. Crecimiento en términos de masa bacteriana.....	14

H.	Condiciones óptimas para la decantación del lodo	15
1.	Velocidad de sedimentación (VSZ).....	16
2.	Índice volumétrico del lodo (IVL).....	17
3.	Relación alimento microorganismos (A/M).....	17
III.	ANTECEDENTES.....	20
A.	Tratamiento biológico	20
B.	Manual de operación para una planta de tratamiento de aguas residuales en la industria ..	21
C.	Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una industria alimenticia de Guatemala	22
D.	Remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala laboratorio	23
E.	Descripción de la planta piloto de tratamiento aeróbica de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias.....	23
IV.	OBJETIVOS	25
A.	General	25
B.	Específicos.....	25
V.	JUSTIFICACIÓN	26
VI.	METODOLOGÍA	27
A.	Diseño de investigación.....	27
1.	Recopilación bibliográfica	27
2.	Investigación experimental	27
B.	Enfoque.....	27
1.	Enfoque cualitativo	27
2.	Enfoque cuantitativo	28
C.	Desarrollo experimental	28
1.	Materiales	28
2.	Control de operación y suministros	30
3.	Arranque de la planta de tratamiento y activación de lodos	31
4.	Calibración de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales empleando agua potable.....	33
D.	Caracterización del agua residual	36

1. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del agua a tratar.....	37
2. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua a tratar	39
3. Medición de oxígeno disuelto en agua a tratar.....	41
4. Determinación de sólidos suspendidos en agua a tratar.....	42
5. Determinación de fósforo, reactivo	45
6. Determinación de nitrógeno total	45
VII. RESULTADOS.....	48
A. Evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO).....	48
1. Concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en el tiempo.....	48
2. Porcentaje de remoción de la demanda biológica de oxígeno	49
B. Condiciones de operación del sistema.....	49
C. Monitoreo del oxígeno disuelto	51
1. Monitoreo del oxígeno disuelto (OD).....	51
D. Caracterización de afluente y efluente	55
1. Caracterización del afluente	55
2. Caracterización del efluente	56
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
IX. CONCLUSIONES	67
X. RECOMENDACIONES	69
XI. BIBLIOGRAFÍA	70
XII. APÉNDICE A.....	74
A. Determinación experimental de los parámetros de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO).....	74
1. Datos originales	74
2. Cálculo de muestra.....	78
3. Análisis de error.....	84
4. Datos calculados	88
XIII. ANEXOS	100
A. Calibración de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias	100
1. Calibración de la bomba de alimentación (P01) de velocidad variable.....	101

2.	Calibración de la bomba de retorno de lodos (P03) de velocidad variable.....	103
3.	Calibración de la sonda óptica de dilución de oxígeno (OC-01).....	105
4.	Calibración del agitador mecánico (S02).....	107
B.	Consumo e IVL en función A/M	109
C.	Tasa de consumo de oxígeno	112
1.	Datos originales	112
2.	Análisis de error.....	114
3.	Datos calculados	114
D.	Monitoreo, preparación y arranque de planta de tratamiento	149
1.	Descripción de la planta piloto de tratamiento aeróbica de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias. (ANEXOS).....	149
2.	Efluente emulado a 5%P/V de melaza y agua.....	152
3.	Arranque de la planta de tratamiento de lodos activados.....	152
E.	Informe completo.....	154
F.	Balance de Masa	157
1.	Datos y fundamentos para el diseño	157
2.	Cálculo de muestra.....	159
3.	Datos calculados	179
G.	Evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO).....	183
H.	Resultados del laboratorio externo (LABIND).....	193
I.	Glosario	229
1.	Caudales	229
2.	Concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	229
3.	Sólidos.....	229
4.	Concentraciones de los sólidos volátiles en suspensión (VSS).....	229
5.	Concentraciones de los sólidos no volátiles en suspensión (NVSS)	230
6.	Purga	230
7.	Temperatura.....	230
8.	Consumo de nutrientes.....	230
9.	Parámetros cinéticos	230
10.	Condiciones óptimas de decantación de lodo.....	231

LISTA DE CUADROS

Cuadro 6. 1 Medidas de la turbina.....	29
Cuadro 6. 2 Medidas del reactor.....	29
Cuadro 6. 3 Medidas del sedimentador.....	30
Cuadro 6. 4 Programa de muestreo.....	36
Cuadro 6. 5 Rango de concentración para cada tipo de vial de digestión DQO	39
Cuadro 7. 1 Porcentaje de remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR)	49
Cuadro 7. 2 Condiciones técnicas de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales dentro del laboratorio de operaciones unitarias	49
Cuadro 7. 3 Condiciones de operación del sistema de aguas residuales por lotes de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales dentro del laboratorio de operaciones unitarias	50
Cuadro 7. 4 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1	51
Cuadro 7. 5 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2	52
Cuadro 7. 6 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3	53
Cuadro 7. 7 * Continuación, monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3	54
Cuadro 7. 8 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos del afluyente emulado de melaza y agua (5%p/v), para los tres lotes.....	55
Cuadro 7. 9 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1	56
Cuadro 7. 10 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2.....	57
Cuadro 7. 11 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3.....	58
Cuadro 12. 1 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos del afluyente emulado de melaza y agua (5%p/v), para los tres lotes.....	74

Cuadro 12. 2 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1	75
Cuadro 12. 3 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2.....	76
Cuadro 12. 4 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3.....	77
Cuadro 12. 5 Concentración volumétrica y másica, que representa la cantidad presente de demanda biológica de oxígeno (DBO) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1	88
Cuadro 12. 6 Concentración volumétrica y másica, que representa la cantidad presente de demanda biológica de oxígeno (DBO) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2	88
Cuadro 12. 7 *Continuación, concentración volumétrica y másica, que representa la cantidad presente de demanda biológica de oxígeno (DBO) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2	89
Cuadro 12. 8 Concentración volumétrica y másica, que representa la cantidad presente de demanda biológica de oxígeno (DBO) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3	89
Cuadro 12. 9 Factor de biodegradabilidad, que representa la tasa entre la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) a la entrada del reactor de tanque agitado (MFR) de los tres lotes	90
Cuadro 12. 10 Porcentaje de remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR) de los tres lotes	90
Cuadro 12. 11 Tasa de utilización de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR), tomando en cuenta la biomasa en el reactor y el tiempo de retención hidráulico del lote 1.	90
Cuadro 12. 12 * Continuación, Tasa de utilización de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR), tomando en cuenta la biomasa en el reactor y el tiempo de retención hidráulico del lote 1.	91
Cuadro 12. 13 Tasa de utilización de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR), tomando en cuenta la biomasa en el reactor y el tiempo de retención hidráulico del lote 2.	91

Cuadro 12. 14 Tasa de utilización de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR), tomando en cuenta la biomasa en el reactor y el tiempo de retención hidráulico del lote 3	92
Cuadro 12. 15 Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1	92
Cuadro 12. 16 *Continuación, Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1.....	93
Cuadro 12. 17 Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2	93
Cuadro 12. 18 Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3	93
Cuadro 12. 19 *Continuación, Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3.....	94
Cuadro 12. 20 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1.....	94
Cuadro 12. 21 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2.....	95
Cuadro 12. 22 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3.....	95
Cuadro 12. 23 Evaluación en la producción de lodos y la velocidad específica de crecimiento de la biomasa dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1	96
Cuadro 12. 24 Evaluación en la producción de lodos y la velocidad específica de crecimiento de la biomasa dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2	96
Cuadro 12. 25 *Continuación, Evaluación en la producción de lodos y la velocidad específica de crecimiento de la biomasa dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2.....	97
Cuadro 12. 26 Evaluación en la producción de lodos y la velocidad específica de crecimiento de la biomasa dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3	97
Cuadro 12. 27 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1.....	98
Cuadro 12. 28 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2.....	98

Cuadro 12. 29 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3.....	99
Cuadro 13. 1 Calibración de la bomba de alimentación (P01) de velocidad variable.....	101
Cuadro 13. 2 Calibración de la bomba de retorno de lodos (P03) de velocidad variable.....	103
Cuadro 13. 3 Calibración de la sonda óptica de la dilución de oxígeno (OC-01).....	105
Cuadro 13. 4 Calibración del agitador mecánico (S02).....	107
Cuadro 13. 5 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1.....	112
Cuadro 13. 6 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2.....	113
Cuadro 13. 7 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3.....	113
Cuadro 13. 8 Velocidad de utilización de oxígeno, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1.....	114
Cuadro 13. 9 Velocidad de utilización de oxígeno, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2.....	115
Cuadro 13. 10 Velocidad de utilización de oxígeno, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3.....	115
Cuadro 13. 11 Equipos en la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales	150
Cuadro 13. 12 Caracterización del arranque de la planta de tratamiento de lodos activados con una duración de 25 días	153
Cuadro 13. 13 Informe completo de ensayos químicos y fisicoquímicos dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1*.....	154
Cuadro 13. 14 Informe completo de ensayos químicos y fisicoquímicos dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2*.....	155
Cuadro 13. 15 Informe completo de ensayos químicos y fisicoquímicos dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3*.....	156
Cuadro 13. 16 Datos sobre la alimentación inicial.....	157
Cuadro 13. 17 Datos sobre la calidad del efluente	157
Cuadro 13. 18 Información para el diseño del reactor*.....	157
Cuadro 13. 19 Parámetros biocinéticos	158

Cuadro 13. 20 Información para la selección y disposición de aireadores	158
Cuadro 13. 21 Valores de saturación de oxígeno para agua destilada en condiciones normales (1 atm)	165
Cuadro 13. 22 Presión de vapor de agua	166
Cuadro 13. 23 Balance de materia en el afluente (punto 1) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias	180
Cuadro 13. 24 Balance de materia en la salida del reactor (punto 3) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias	180
Cuadro 13. 25 Balance de materia en el reactor (punto 2) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias	181
Cuadro 13. 26 Balance de materia en el efluente (punto 4) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias	182
Cuadro 13. 27 Balance de materia en la descarga del clarificador del efluente (punto 5) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias	182

LISTA DE FIGURAS.

Figura 2. 1 Diagrama de reactor de mezcla completa.....	8
Figura 2. 2 Boceto de definición para la aplicación de análisis de balance de masa de materiales para un reactor de mezcla completa con entrada y salida	9
Figura 2. 3 Diagrama esquemático del proceso de lodo activado con nomenclatura de modelo: con desperdicio de la línea de retorno de lodos activadosdy,.....	10
Figura 2. 4 Mecanismo del tratamiento aerobio de las aguas residuales.	14
Figura 2. 5 Sedimentación por zonas.....	16
Figura 2. 6 Correlación típica entre IVL y VSZ con relación A/M.....	17
Figura 6. 1 Vistas de elevación, del reactor a escala (cotas: m).....	29
Figura 6. 2 Vistas de elevación, de la planta piloto a escala y su instrumentación (cotas: m)	30
Figura 7. 1 Comparación de la curva característica de la evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en el tiempo entre los tres lotes, en el reactor aeróbico de lodos activados.....	48
Figura 7. 3 Relación de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y del oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) comparación del lote 1.	52
Figura 7. 4 Relación de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y del oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) comparación del lote 2.	53
Figura 7. 5 Relación de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y del oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) comparación del lote 3.	54
Figura 13. 1 Curva de calibración de la bomba de alimentación (P01) de velocidad variable.....	102
Figura 13. 2 Curva de calibración de la bomba de retorno de lodos (P03) de velocidad variable	104
Figura 13. 3 Curva de calibración de la sonda óptica de la dilución de oxígeno (OC-01)	106

Figura 13. 4 Curva de calibración del agitador mecánico (S02).....	108
Figura 13. 5 Representación del índice volumétrico de lodos en función de la relación alimento microorganismo lote 1	109
Figura 13. 6 Representación del índice volumétrico de lodos en función de la relación alimento microorganismo lote 2	110
Figura 13. 7 Representación del índice volumétrico de lodos en función de la relación alimento microorganismo lote 3	111
Figura 13. 8 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 0 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	116
Figura 13. 9 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 24 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote1.....	116
Figura 13. 10 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 48 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	118
Figura 13. 11 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 168 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	119
Figura 13. 12 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 192 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	120
Figura 13. 13 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 216 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	121
Figura 13. 14 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 336 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	121
Figura 13. 15 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 360 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	123
Figura 13. 16 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 384 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	124
Figura 13. 17 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 480 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	125
Figura 13. 18 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 504 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 1.....	126
Figura 13. 19 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 0 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	127

Figura 13. 20 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 24 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	128
Figura 13. 21 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 144 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	129
Figura 13. 22 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 168 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	130
Figura 13. 23 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 192 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	131
Figura 13. 24 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 312 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	132
Figura 13. 25 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 336 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	133
Figura 13. 26 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 360 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	134
Figura 13. 27 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 456 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	134
Figura 13. 28 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 480 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	136
Figura 13. 29 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 504 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 2.....	137
Figura 13. 30 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 0 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	138
Figura 13. 31 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 120 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	139
Figura 13. 32 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 144 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	140
Figura 13. 33 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 168 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	141
Figura 13. 34 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 264 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	142

Figura 13. 35 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 288 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	143
Figura 13. 36 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 312 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	144
Figura 13. 37 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 336 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	145
Figura 13. 38 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 456 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	146
Figura 13. 39 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 480 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	147
Figura 13. 40 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 504 h, VUO (mgO ₂ /L*min ⁻¹) lote 3.....	148
Figura 13. 41 Planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias. Vista de elevación.....	151
Figura 13. 42 Diagrama convencional de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias	179
Figura 13. 43 Curvas típicas de la concentración de sustrato soluble (DBO) y de la biomasa (MLVSS), lote 1	183
Figura 13. 44 Curvas típicas de la concentración de sustrato soluble (DBO) y de la biomasa (MLVSS), lote 2	184
Figura 13. 45 Curvas típicas de la concentración de sustrato soluble (DBO) y de la biomasa (MLVSS), lote 3	185
Figura 13. 46 Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo, lote 1	186
Figura 13. 47 Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo, lote 2	187
Figura 13. 48 Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo, lote 3	188
Figura 13. 49 Aproximación a la tasa de reducción de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) junto al crecimiento de la biomasa (MLVSS), lote 1	189

Figura 13. 50 Aproximación a la tasa de reducción de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) junto al crecimiento de la biomasa (MLVSS), lote 2	190
Figura 13. 51 Aproximación a la tasa de reducción de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) junto al crecimiento de la biomasa (MLVSS), lote 3	191
Figura 13. 52 Comparación de la tasa de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) junto al crecimiento de la biomasa (MLVSS) de los tres lotes	192

RESUMEN

En este trabajo de investigación se evaluó el estudio de la tecnología de lodos activados en un reactor por lotes con un afluente emulado utilizando melaza de la industria azucarera y agua. Se realizó el proceso biológico en un reactor a nivel de laboratorio, utilizando como activador de lodos estiércol de ganado vacuno. La concentración de nitrógeno al inicio fue de $0.0131 \pm 8.18 \cdot 10^{-6}$ kg/d y la concentración final de $1.56 \cdot 10^{-5} \pm 1.15 \cdot 10^{-7}$ kg/d. Por otro lado, la concentración inicial de fósforo fue de $2.10 \cdot 10^{-4} \pm 7.82 \cdot 10^{-6}$ kg/d y la concentración final de $7.82 \cdot 10^{-6} \pm 1.44 \cdot 10^{-9}$ kg/d. Como las variables de operación se analizaron los parámetros de: pH, la Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, la Temperatura, el Oxígeno Disuelto y los Sólidos Suspendedos Volátiles diariamente, para cada uno de los tres lotes; llevando un tiempo total de experimentación de cuatro meses.

Se llevó una bitácora de la evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno en el equipo de tratamiento de aguas residuales del laboratorio de operaciones unitarias; se observó una reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a través del tiempo. Obteniendo como referencia inicial del efluente emulado una concentración inicial de: fósforo 13.40 ± 0.001 mg/L, nitrógeno 840 ± 0.001 mg/L, demanda química de oxígeno (DQO) $26,400.00 \pm 3.4$ mg/L y demanda biológica de oxígeno (DBO) $20,980.00 \pm 9.4$ mg/L, oxígeno disuelto 6.00 ± 0.01 mgO₂/L. Con una concentración final, luego de las 504 horas del lote 1, demanda biológica de oxígeno (DBO) $10,936.00 \pm 9.4$ mg/L, demanda química de oxígeno (DQO) $14,420.00 \pm 3.4$ mg/L, pH de 6.20 ± 0.01 , oxígeno disuelto 3.50 ± 0.01 mgO₂/L y temperatura 24 ± 0.01 °C. De igual manera el lote 2 y 3 encontrando los resultados en el Cuadro 7.9, 7.10 y 7.11.

Finalmente se obtuvo un porcentaje de reducción de la demanda biológica de oxígeno, para el lote 1 de $47.9 \pm 7.09 \cdot 10^{-4}$ %, para el lote 2 de $45.3 \pm 6.69 \cdot 10^{-4}$ % y para el lote 3 de $58.3 \pm 6.80 \cdot 10^{-4}$ %. Concluyendo que el proceso biológico de lodos activados redujo la DBO del afluente emulado de la industria azucarera.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial en el país ha generado en los últimos años un crecimiento de efluentes sólidos, líquidos y gaseosos que muchas veces son arrojados sin conciencia al ambiente; provocando el incremento de contaminación. El agua es uno de los recursos naturales fundamentales para el sostenimiento de la vida en la tierra, ya que es uno de los más utilizados alrededor del mundo (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), 2016).

La caña de azúcar, un cultivo comercial que se cultiva a nivel mundial, es de suma importancia debido a su inmensa contribución a la economía. Los datos de cultivo de la caña de azúcar de 2018/19 muestran un cultivo global de 1,841 millones de toneladas (Mt), con Brasil contribuyendo con casi el 41% de la producción total a 758 Mt seguido de países como India (306 Mt), China (104 Mt), Tailandia con 103 Mt y Guatemala 3.1967 Mt (Silalertruksa & Gheewala, 2019). Tradicionalmente, el cultivo de la caña de azúcar se ha dirigido principalmente a la producción de azúcar y actualmente satisface el 80% de la demanda mundial de azúcar (Dotaniya, y otros, 2016). La Agroindustria Azucarera Guatemalteca ha venido creciendo permanentemente desde 1960 hasta llegar a ubicar a Guatemala como el quinto país exportador de azúcar a nivel mundial, el segundo en Latinoamérica, y el tercer lugar en productividad (toneladas métricas de azúcar/ha) a nivel mundial. El azúcar es el segundo producto agrícola en Guatemala en generación de divisas, constituyéndose en una importante contribución a la economía nacional. El 79.4% de las exportaciones de la Agroindustrias Azucarera de Guatemala en 2019 fue azúcar, 14.2% y 6.4% melazas. (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, & Espinosa, 2012)

Sin embargo, esta ruta de producción resulta en la generación de grandes cantidades de desechos sólidos como basura de caña, bagazo, melaza y lodo de prensado. Alrededor de 270 kg de hojas de caña de azúcar se generan al cosechar una tonelada de caña de azúcar (Singh, Bjar, Bishnoi, & Singh, 2010). Por lo general, la trituration de 1 tonelada de caña de azúcar produce aproximadamente 0.3 toneladas (base húmeda) de bagazo con un contenido de humedad del 50% (Hofsetz & Silva, 2012), 0.03 toneladas (base húmeda) de lodo de prensa (Gupta, Tripathi, & Balomajumder, 2011), 0.041 toneladas de melaza (Mashoko, Mbohwa, & Thomas, 2010).

El etanol fabricado a partir de melaza tiene grandes volúmenes de aguas residuales de alta resistencia que son motivo de grave preocupación ambiental. El efluente se caracteriza por una DQO extremadamente alta (80,000–100,000 mg/L) y una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (40,000–50,000 mg/L), además

de pH bajo, olor fuerte y color marrón oscuro (Panel Central de Control de Contaminación (CPCB) 1994, 2003, India).

Grandes cantidades de desechos se eliminan o manejan de manera insostenible, lo que genera una importante contaminación del aire, el agua y el suelo. Además, los desechos representan pérdidas y oportunidades económicas.

El tratamiento de aguas residuales consiste básicamente en oxidarlas, o sea transformar sus componentes, en sales minerales, dióxido de carbono, agua y microorganismos. La oxidación puede realizarse a través de reacciones enzimáticas promovidas por microorganismos que se desarrollan y proliferan en el agua rica en sustancias orgánicas que le sirven de alimento; este método es conocido como procesos biológicos. Por lo que, el presente trabajo hizo su presente investigación en evaluar la reducción de la DBO y DQO usando el tratamiento de lodos activados.

II. MARCO TEÓRICO

A. Tratamiento de aguas residuales

La finalidad del tratamiento de aguas residuales es la prevención de la contaminación en los cuerpos de agua y suelos, de modo que garantice la salud pública y el equilibrio ambiental (Méndez, 2012).

Como regla general, los tratamientos primarios son separaciones basadas en el tamaño que utilizan métodos físicos como la sedimentación / filtración para la limpieza básica. El tratamiento secundario involucra principalmente métodos fisicoquímicos y / o métodos biológicos y es capaz de eliminar 85-95% de DBO / DQO y SST de las aguas residuales. El tratamiento terciario implica el pulido final del efluente mediante la eliminación de contaminantes tóxicos / dañinos a los niveles deseados; se puede lograr más del 99% de eliminación al final de tratamiento terciario (Bhandari & Ranade, 2014).

B. Características de importancia en aguas residuales

Para conocer en general los tipos de aguas residuales que existen, sus contaminantes desde los más habituales, su clasificación, las consecuencias que acarrea los vertidos, los métodos analíticos para el control de la calidad del agua para poder familiarizarnos con los diferentes tratamientos:

1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias (Romero R., 1999). Este es un parámetro usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras (Romero R., 1999).

La formulación matemática de la DBO (Streeter & Phelps) es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica biodegradable presente (ecuación de primer orden):

Ecuación (2.1)

$$\frac{dL_t}{dt} = KL_t$$

Donde:

L_t = DBO remanente en el agua para tiempo t, mg/L

K = constante que expresa la tasa de oxidación, 1/d

t = tiempo de oxidación, d

$\frac{dL_t}{dt}$ = tasa de oxidación de la materia orgánica carbonácea, mg/L*d

Ecuación (2.2)

$$y = L(1 - e^{-5kt}) = L(1 - 10^{-kt})$$

Donde:

Y = DBO ejercida por el agua después de un tiempo t, mg/L

L = DBOUC, mg/L, o DBO remanente en el agua para t=0

K = constante de velocidad de reacción de la DBO, base natural, 1/d

k = constante de velocidad de reacción de la DBO, base decimal, 1/d

t = tiempo de oxidación, d

La DBO estándar, DBO_5 , o simplemente DBO, es igual a:

Ecuación (2.3)

$$y_5 = L(1 - e^{-5K}) = L(1 - 10^{-5k})$$

Evidentemente, la DBOUC es igual a la DBO satisfecha más la DBO remanente:

Ecuación (2.4)

$$L = y + L_t$$

Para determinar el valor de la constante de reacción K a una temperatura diferente de 20 °C se utiliza la ecuación deducida de la relación clásica de Van't Hoff Arrhenius:

Ecuación (2.5)

$$K_t = K_{20}\theta^{T-20}$$

Donde:

K_t = constante de reacción de la DBO, para T °C

K_{20} = constante de reacción de la DBO, para 20 °C

$\theta = 1,135$ para $T= 4-20$ °C

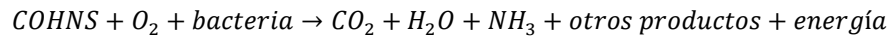
1,056 para $T= 20-30$ °C

1,047 para $T> 20$ °C

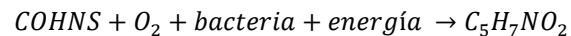
a. Bases para la prueba de DBO5

El proceso ocurre en tres pasos o reacciones principales.

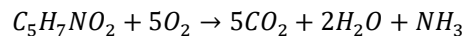
Primero, una parte de los desechos se oxida para obtener energía para la sobrevivencia de células y las síntesis de nuevas células de tejido:



Simultáneamente, otra parte del desecho se convierte en células de tejido nuevas usando energía liberada durante la oxidación



Finalmente, cuando la materia orgánica es usada por completo, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular para obtener energía para su sobrevivencia. Este último proceso se denomina respiración endógena (Metcalf & Eddy, 2004):



2. Relación DBO/DQO

La relación de estas dos variables proporciona una idea de nivel de contaminación de las aguas. Si la relación (DBO5/DQO) es menor a 0.2 quiere decir que las aguas residuales son poco biodegradables y es conveniente utilizar tratamientos fisicoquímicos; por otro lado, si es mayor a 0.4, las aguas son biodegradables por lo que se pueden usar tratamientos biológicos (Domenech & Peral, 2006).

Ecuación (2.6)

$$F = \frac{mgDBO_5/L}{mgDQO/L}$$

5

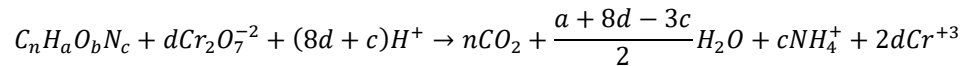
Donde:

F, Factor de transformación,

Este factor determina la biodegradabilidad en la alimentación para que se pueda hacer un tratamiento biológico. Según Symons (Symons, 1960), la relación DBO5/DQO de las aguas residuales debería ser > 0.6 si las aguas se van a tratar fácilmente mediante tratamiento biológico y 0.4 es el valor mínimo para el tratamiento biológico (Metcalf & Eddy, 2004).

3. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura (Romero R., 1999). La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales de industria o municipales tóxicas a la vida biológica (Romero R., 1999).



Ecuación (2.7)

$$d = \frac{2n}{3} + \frac{a}{6} + \frac{b}{3} - \frac{c}{2}$$

(Metcalf & Eddy, 2004)

4. Oxígeno disuelto

Gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia. La solubilidad del oxígeno atmosférico en aguas dulces oscila entre 7mg/L a 35°C y 14.6mg/L a 0°C para la presión de una atmosfera. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) limita la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses. La concentración de saturación de OD es función de la temperatura, de la presión atmosférica y de la salinidad del agua (Romero R., 1999).

5. pH

Medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua, expresado como el algoritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno. En aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias. A pH bajo el poder de bactericida del cloro es mayor, porque predomina el HOCl; a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica (NH₃), la cual es toxica, pero también removible mediante arrastre con aire, especialmente a pH de 10.5 a 11.5. El valor del pH adecuado para diferentes procesos de tratamientos y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6.5 a 8.5 (Romero R., 1999).

6. Sólidos

a. Los sólidos suspendidos (SST)

Son aquellos que son retenidos en un filtro con un tamaño de poro especial, medido después de ser secado a una temperatura específica (105 ° C). El filtro utilizado más comúnmente para la determinación de TSS es el filtro de fibra de vidrio Whatman, que tiene un tamaño de poro nominal de aproximadamente 1,58 μm (Metcalf & Eddy, 2004). Los sólidos suspendidos o no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrados y los sólidos de la muestra filtrada (Romero R., 1999). Los SST es uno de los dos estándares de efluentes utilizados universalmente (junto con DBO) por el cual el desempeño de las plantas de tratamiento es juzgado para fines de control reglamentario

b. Sólidos totales (ST)

Se considera como sólidos totales (ST) en un agua el residuo de evaporación y secado a 103-105°C (Romero R., 1999).

c. Sólidos sedimentables (SS)

Los sólidos sedimentables (SS) son una medida de volumen de sólidos asentados al fondo de un cono de Imhoff en un periodo de una hora y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple se expresan comúnmente como mL/L (Romero R., 1999).

d. Sólidos disueltos (SD)

Los sólidos disueltos (SD) representan el material soluble y coloidal el cual requiere usualmente para remoción oxidación biológica o coagulación y sedimentación (Romero R., 1999).

e. Sólidos suspendidos volátiles (MLVSS)

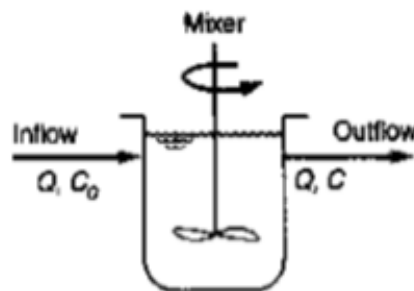
Los sólidos volátiles (MLVSS) son básicamente la fracción orgánica de los sólidos o porción de los sólidos que se volatiliza a temperatura de 550°C (Romero R., 1999).

C. Reactores utilizados para el tratamiento de aguas residuales.

1. Reactor de mezcla completa

En la mezcla completa, se supone que la mezcla completa ocurre de manera instantánea y uniforme en todo el reactor a medida que las partículas de fluido ingresan al reactor. Las partículas fluidas salen del reactor en proporción a su población estadística (Metcalf & Eddy, 2004).

Figura 2. 1 Diagrama de reactor de mezcla completa

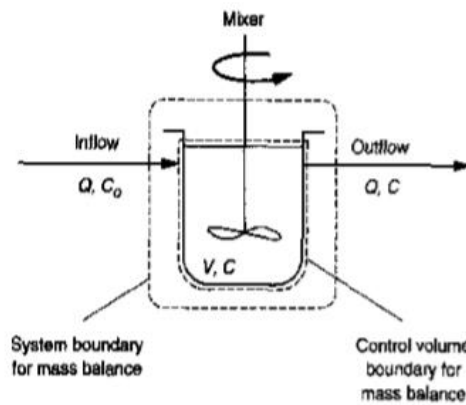


Fuente: (Metcalf & Eddy, 2004).

D. Análisis de balance de masa

1. El principio del balance de masa

Figura 2. 2 Boceto de definición para la aplicación de análisis de balance de masa de materiales para un reactor de mezcla completa con entrada y salida



Fuente: (Metcalf & Eddy, 2004).

El límite del sistema se dibuja para identificar todo el flujo de líquido y constituyente dentro y fuera del sistema. El volumen de control se utiliza para identificar el volumen real en el que se produce el cambio. En la mayoría de los casos, los límites del volumen de control y del sistema coincidirán (Metcalf & Eddy, 2004). El análisis del balance de masa general viene dado por:

Ecuación (2.8)

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación}$$

2. Aplicación del análisis de balance de masa

Ecuación (2.9)

$$\frac{dC}{dt}V = QC_o - QC + (-kC)V$$

Donde:

dC/dt = tasa de cambio de concentración de reactivo dentro del volumen de control, M/L³T

V = volumen contenido dentro del volumen de control, L³

Q = volumen volumétrico dentro y fuera del volumen de control, L³/T

C₀ = concentración de reactivo que ingresa al volumen de control, M/ L³

C = concentración de reactivo que sale del volumen de control, M/ L³

r_c = reacción de primer orden, $(-kC)$, M/L³T

k = coeficiente de velocidad de reacción de primer orden, 1/T

E. Modelado del proceso de tratamiento de crecimiento suspendido

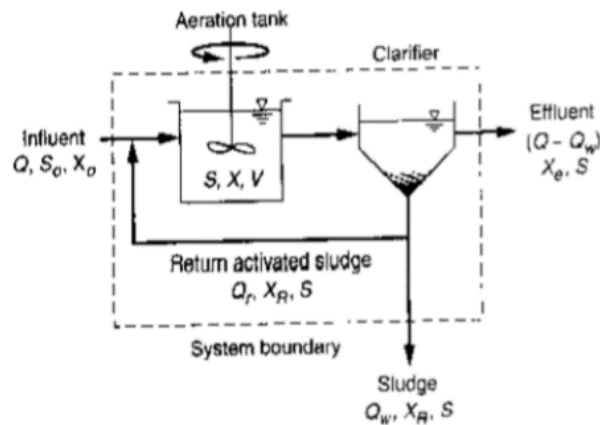
1. Descripción del proceso de tratamiento de crecimiento suspendido

El reactor de mezcla completa con recirculación se considerará en la siguiente discusión como un modelo para procesos de crecimiento suspendidos (Metcalf & Eddy, 2004).

2. Balance de masa de biomasa

Se muestra un balance de masa para la masa de microorganismos en el reactor de mezcla completa Figura 6. El signo del término de generación o formación es siempre positivo. El signo real del proceso siempre es parte de la expresión de velocidad. (Metcalf & Eddy, 2004).

Figura 2. 3 Diagrama esquemático del proceso de lodo activado con nomenclatura de modelo: con desperdicio de la línea de retorno de lodos activados



Fuente: (Metcalf & Eddy, 2004).

Ecuación (2.10)

$$\frac{dX}{dx}V = QX_o - [(Q - Q_w)X_e - Q_wX_R] + r_gV$$

Donde:

$\frac{dX}{dx}$ = tasa de cambio de concentración de biomasa en el reactor medida como g VSS/m³*d

V = volumen del reactor, m³

Q = caudal afluente, m³/d

X_o = concentración de biomasa al inicio, g VSS/m³

Q_w = tasa de flujo de lodo residual, m³/d

X_e = concentración de biomasa del efluente, g VSS/m³

X_R = concentración de biomasa en la línea de recirculación del clarificador, g VSS/m³

r_g = tasa neta de producción de biomasa, g VSS/m³

F. Formulación del reactor biológico continuo

1. Velocidad específica de consumo de sustrato

La velocidad específica de consumo de sustrato dada por la siguiente ecuación corresponde a la velocidad de consumo de sustrato en el reactor continuo por unidad de más de MLVSS presentes en el reactor (Ramalho, 2009).

Ecuación (2.11)

$$q = \frac{(S_o - S_e)}{X_{v,a}t_h} = \frac{\text{mg/L de DBO consumida}}{\text{(mg/L) de MLVSS (d)}} \\ = \text{kg DBO consumida/(d)(kg MLVSS)}$$

Donde:

S_o , Concentración de sustrato en la alimentación combinada, mg DBO₅/L

S_e , Concentración de sustrato del efluente, mg DBO₅/L

$X_{v,a}$ Sólidos volátiles suspendidos en el reactor, mg MLVSS /L

t_h , Tiempo de retención hidráulico dentro del reactor, d

2. Velocidad específica de crecimiento de sustrato

La velocidad específica de crecimiento de sustrato corresponde a la producción de biomasa por unidad de tiempo y por unidad de biomasa presente en el reactor (Ramalho, 2009).

Ecuación (2.12)

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{\Delta X_V/V}{X_{V,a}} = \frac{kg\ MLVSS_{producidos}/(d)(Mkg\ de\ licor)}{kg\ MLVSS/Mkg\ de\ licor} \\ &= \frac{kg\ MLVSS_{producidos}}{(d)(kg\ MLVSS)}\end{aligned}$$

Donde:

ΔX_V , Producción de lodos (biomasa), kg MLVSS/d

V, Volumen del licor dentro del reactor, m³

$X_{V,a}$ Sólidos volátiles suspendidos en el reactor, mg MLVSS /L

La producción neta de MLVSS se obtiene por diferencia entre los MLVSS producidos por la siguiente ecuación, y la cantidad perdida por respiración endógena.

Ecuación (2.13)

$$kgMLVSS/d = kg/d\ de\ MLVSS\ producido - kg\ de\ MLVSS\ oxidado$$

3. Velocidad específica de utilización de oxígeno

La velocidad de utilización, esto es oxígeno consumido por día por unidad de volumen de reactor y V es el volumen del reactor (Ramalho, 2009), esta se simboliza como VUO. Las unidades de (VUO), obtenida de determinaciones a escala laboratorio, son normalmente en mgO₂/(d)(L). Donde la velocidad específica de utilización de oxígeno por unidad de tiempo y unidad de masa de lodo biológico presente en el reactor. A partir de este momento esta cantidad se simboliza mediante R_{O₂} (Ramalho, 2009).

Ecuación (2.14)

$$(VUO) = kgO_2/litro\ de\ licor = kgO_2/Mkg\ de\ licor$$

Donde:

VUO, Velocidad de utilización de oxígeno, $\text{kgO}_2/\text{kg de licor}\cdot\text{d}^{-1}$

Ecuación (2.15)

$$RO_2 = (VUO)/X_{V,a} = \frac{\text{kgO}_2/(\text{d})(\text{Mkg de licor})}{\text{kgMLVSS}/\text{Mkg licor}} = \text{kgO}_2/(\text{d})(\text{kg MLVSS})$$

Donde:

RO₂, Velocidad específica de utilización de oxígeno, $\text{kg O}_2 / \text{kg MLVSS}\cdot\text{d}^{-1}$

G. Mecanismo del tratamiento aerobio de las aguas residuales

Para la remoción de la DBO carbonácea, la coagulación de los sólidos no sedimentables y disueltos y la estabilización de la materia orgánica, intervienen una serie de diferentes microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos utilizan la materia orgánica coloidal y disuelta como alimento para llevar a cabo todas sus funciones metabólicas, como crecimiento y reproducción, generando como productos finales, varios tipos de gases y materia inorgánica y más células (biomasa). Ya que la gravedad específica de la biomasa es ligeramente mayor que la del agua, éstas pueden removerse por sedimentación (Metcalf & Eddy, 2004).

La descomposición de la materia orgánica por vía aerobia se divide en tres fases principales: la hidrólisis de las moléculas orgánicas complejas en sus respectivos monómeros, la descomposición de estos monómeros en intermediarios comunes y la final en la que se realiza el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, en donde el aceptor final de electrones es el oxígeno molecular, para formar agua como producto final, junto con el bióxido de carbono y el amoníaco (Metcalf & Eddy, 2004).

1. Metabolismo celular

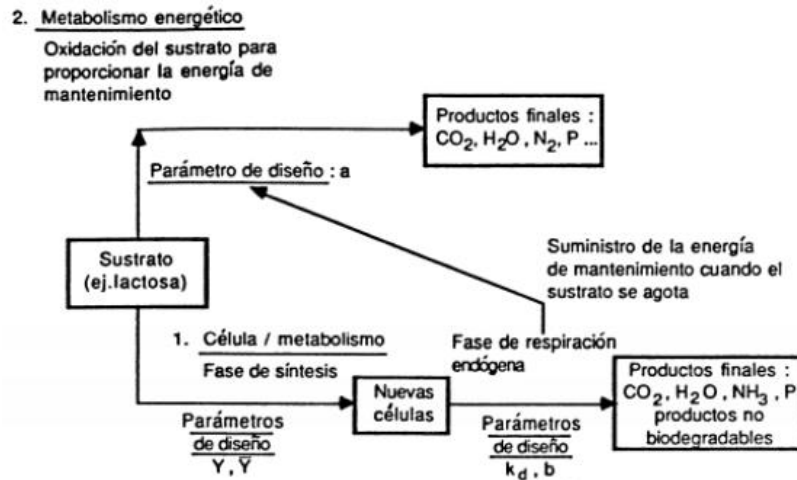
Parte del sustrato después de haber sido consumido como alimento por los microorganismos se utiliza para sintetizar nuevas células de microorganismos lo que conduce a un aumento de biomasa. Esto corresponde a la fase de síntesis (Ramalho, 2009).

2. Metabolismo energético

El sustrato restante se oxida siendo los productos finales fundamentalmente CO_2 y H_2O . Este proceso de oxidación es esencial para la producción de energía de mantenimiento utilizada por las células para continuar con sus funciones vitales como síntesis de nuevas células y movilidad (Ramalho, 2009).

Se consume continuamente sustrato para sustentar el metabolismo celular y el metabolismo energético, la concentración de dicha materia orgánica ira disminuyendo. Una vez se haya consumido la materia orgánica, los microorganismos entran en la fase de respiración endógena. Bajo condiciones, se oxida materia celular para satisfacer las necesidades energéticas y de mantenimiento. En consecuencia, la cantidad de biomasa disminuirá (Ramalho, 2009).

Figura 2. 4 Mecanismo del tratamiento aerobio de las aguas residuales



Fuente: (Ramalho, 2009).

3. Crecimiento en términos de masa bacteriana

a. Fase de latencia

De nuevo, las bacterias requieren de tiempo para aclimatarse a su ambiente nutricional. La fase de latencia en términos de masa bacteriana no es tan larga como su fase correspondiente en términos de números de microorganismos porque la masa empieza a incrementarse después de que tiene lugar la división celular (Ramalho, 2009).

b. Fase de crecimiento exponencial.

Existe siempre un exceso en la cantidad de alimento que rodea a los microorganismos, y la velocidad del metabolismo y crecimiento es sólo una función de la habilidad del microorganismo para procesar el sustrato (Ramalho, 2009).

c. Fase de declinación del crecimiento

La velocidad de incremento de la masa bacteriana disminuye debido a la limitación en el suministro de alimento (Ramalho, 2009).

d. Fase endógena

Los microorganismos son forzados a metabolizar su protoplasma sin que haya reemplazo, debido a que la concentración de alimento disponible se encuentra al mínimo. Durante esta fase puede ocurrir el fenómeno conocido como lisis, en el cual los nutrientes que quedan en las células muertas se difunden hacia el exterior para suministrar alimento a las células vivas restantes (Ramalho, 2009).

H. Condiciones óptimas para la decantación del lodo

Para que el proceso de lodos activos funcione adecuadamente, Los MLVSS del efluente de reactor deben separarse rápidamente en el clarificador secundario. La condición que se presenta a veces por la que el lodo es ligero y disperso (lodo inflado) y por ello es difícil de sedimentar se denomina bulking. El lodo de estas características pasa por encima de los vertederos de separación y se escapa con el efluente del clarificador secundario. Ya que la concentración de sustrato en el efluente es pequeña, no hay bastante alimento para mantener el crecimiento de los microorganismos que constituyen el lodo. Por lo tanto, los microorganismos se ven obligados a funcionar en régimen de respiración endógena. Debido al consumo de

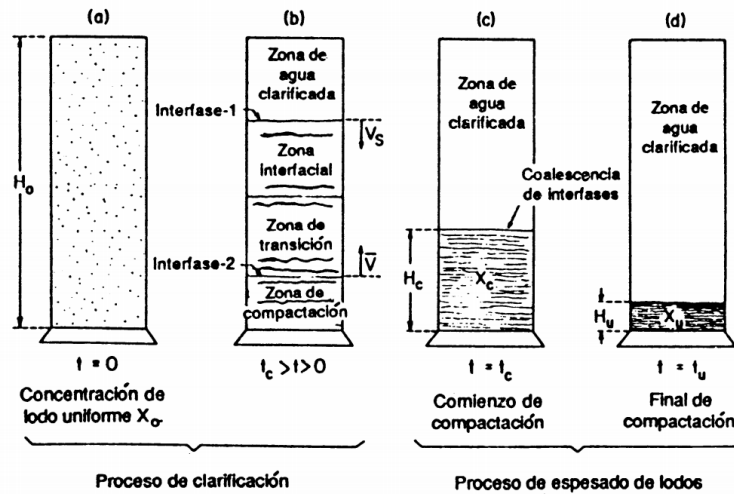
oxígeno de la respiración endógena, ese efluente tendría una DBO relativamente elevada, lo que no resulta deseable (Ramalho, 2009).

Las características de decantación de los lodos se evalúan mediante ensayos de sedimentación realizados en el laboratorio. Para esta evaluación se utiliza normalmente dos parámetros.

1. Velocidad de sedimentación (VSZ)

Este parámetro nos indica cómo se comporta su precipitación dentro de los reactores, donde estos establecen una interfase entre la superficie de la capa de sólidos que están sedimentándose y el líquido clarificado que se presenta en la parte superior. La zona inferior del líquido clarificado es lo que se denomina zona interfacial. La concentración de lodos en esta zona es uniforme, precipitándose todo ello como una capa de materia a velocidad constante (Ramalho, 2009). Un lodo fácilmente sedimentable presenta una VSZ elevada, de aproximadamente de 6 m/h.

Figura 2. 5 Sedimentación por zonas



Fuente: (Ramalho, 2009)

2. Índice volumétrico del lodo (IVL)

El índice volumétrico del lodo se define como el volumen en milímetros ocupado por 1 g de sólidos en suspensión del licor mezclado (MLSS), expresado en peso seco, después de sedimentar durante 30 minutos en una probeta graduada de 1000 mL (Ramalho, 2009).

3. Relación alimento microorganismos (A/M)

Varios autores han correlacionado las características de decantación de lodo (expresado por la VSZ o por el IVL) con un parámetro denominado relación alimento a microorganismos (en lo sucesivo indicado por A/M) (Ramalho, 2009). Este parámetro se define mediante la ecuación:

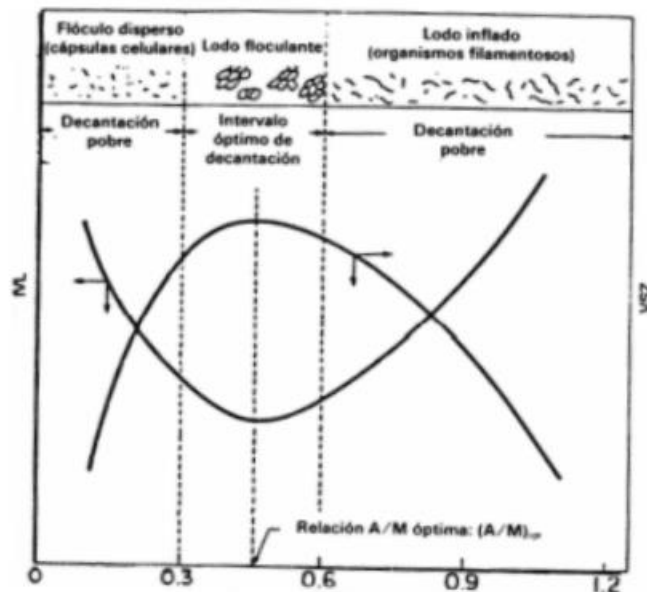
Ecuación (2.16)

$$A/M = \text{kg DBO de sustrato en el afluente} / (d) (\text{kg MLVSS en el reactor})$$

Ecuación (2.17)

$$(A/M)_{opt} = \frac{S_0}{X_{V,a} t_h} = \frac{\text{mg DBO/L}}{(\text{mg MLVSS/L})(d)}$$

Figura 2. 6 Correlación típica entre IVL y VSZ con relación A/M



Fuente: (Ramalho, 2009)

Ecuación (2.17.1)

$$A/M = S_0/X_{v,a} t_h = \text{kg DBO}_5 \text{ del afluente} / (\text{d}) (\text{kg MLVSS en el reactor})$$

Ya que para que un lodo tenga unas condiciones de sedimentación óptimas debe presentar una VSZ elevada y un IVL bajo, la mejor relación A/M, tal como se indica en la Figura 2.6, corresponde al máximo de la curva VSZ y al mínimo de la curva de IVL (Ramalho, 2009). En la mayoría de las aguas residuales este valor óptimo de la relación A/M se encuentra comprendido dentro de los siguientes límites:

$$0.6 > A/M > 0.3$$

En la que A/M viene expresada en kg DBO₅ del afluente / (d) (kg MLVSS en el reactor). Donde las características de la correlación de A/M de la sedimentación de lodo son:

1. Para relaciones A/M inferior a 0.3d⁻¹, la cantidad de alimento (sustrato) presente en el sistema es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos, por lo que se ven obligados a vivir bajo el sistema de respiración endógena. Una célula de bacteria típica contiene un material citoplasmático rico en proteínas y ácido ribonucleico (ARN) y es la principal porción de la célula que se metaboliza durante el proceso de respiración endógena. El residuo que queda del metabolismo endógeno está constituido principalmente por cápsulas celulares muy ligeras que resisten la sedimentación. Esta es la principal razón por la cual las relaciones bajas de A/M el lodo tiene unas características muy pobres para su decantación. El lodo obtenido bajo estas condiciones corresponde a flóculos dispersos y en la Figura 2.6 se presenta una vista microscópica del mismo para la región de bajas relaciones de A/M (Ramalho, 2009).
2. A relaciones elevadas de A/M, superiores a 0.6 d⁻¹, hay un predominio de un tipo de microorganismo de naturaleza filamentosa (Sphaerotilus). Este tipo de colonia no decanta bien permaneciendo en suspensión casi continuamente. El lodo inflado bajo estas condiciones es el que se denomina bulking (Ramalho, 2009).
3. A valores de relación A/M comprendidos entre estos dos extremos, el lodo tiene buenas características de sedimentación. El lodo en estas condiciones se le llama floculante (Ramalho, 2009).

Se han identificado dos tipos principales de problemas de acumulación de lodos. Un tipo, el abultamiento filamentoso, es causado por el crecimiento de organismos filamentosos que pueden crecer en forma filamentosa en condiciones adversas, y es la forma predominante de abultamiento que ocurre. El otro tipo de aumento de volumen, el aumento de volumen viscoso es causado por una cantidad excesiva de

biopolímero extracelular, que produce un lodo con una consistencia viscosa y gelatinosa. Como los biopolímeros son hidrófilos, el lodo activado es altamente retentivo de agua y estas condiciones se denominan abultamiento hidratado. El lodo resultante tiene una densidad baja con velocidades de sedimentación bajas y una compactación deficiente. El volumen viscoso se encuentra generalmente con un sistema de nutrientes limitados o en una condición de carga muy alta con aguas residuales que tienen una cantidad de rbCOD (Metcalf & Eddy, 2004).

El principal problema causado por los organismos molestos es una condición conocida como lodo voluminoso, en el que el flóculo biológico tiene malas características de sedimentación. En el caso de lodos de acumulación extrema, pueden producirse concentraciones elevadas de efluentes suspendidos y un rendimiento deficiente del tratamiento. Otra condición molesta, la formación de espuma, se ha relacionado con el desarrollo de dos géneros de bacterias *Nocardia* y *Microthrix* (Pitt y Jenkins, 1990), que tienen una superficie celular hidrófoba y se adhieren a la superficie de la burbuja de aire, donde estabilizan la burbuja para producir espuma (Metcalf & Eddy, 2004).

III. ANTECEDENTES

A. Tratamiento biológico

El proceso de lodos activados involucra la conversión de materia orgánica coloidal y disuelta a lodo microbial que puede ser removido por los sistemas de sedimentación física. Se han desarrollado gran cantidad de modelos matemáticos para describir la cinética de este proceso. Estos modelos por lo general definen la cinética del crecimiento bacterial y específicamente la relación entre la tasa de crecimiento y la concentración del sustrato. En muchas publicaciones se tiene implícito que el crecimiento es exponencial o logarítmico solamente para la tasa máxima de crecimiento que, a su vez está establecida sobre cierta concentración crítica de sustrato (McKinney, 1956) (Eckenfelder W. , 1966). Esto demuestra, sin embargo, que la existencia de un estado estable bajo condiciones de flujo continuo denota por si misma que el crecimiento es exponencial a cualquier concentración de sustrato, sobre o bajo el nivel crítico. Esto ha sido mencionado tanto por Garret y Sawyer, como por McCabe y Eckenfelder quienes usaron dos funciones diferentes para describir la relación entre la tasa de crecimiento y la concentración de sustrato.

Estos autores asumen que, bajo cierto nivel crítico de concentración de sustrato, la tasa de crecimiento específica es aumentada linealmente con la concentración de sustrato, mientras que sobre el nivel crítico la tasa de crecimiento se asume que es independiente de la concentración de sustrato. Schulze (Schulze, 1965) demostró que la aplicación de una función continua, especialmente la ecuación de Teissier, provee consentimiento con los resultados experimentales, mientras que la aplicación de la ecuación de Michaelis Menten produce resultados erróneos.

Desafortunadamente la composición de las aguas residuales industriales y municipales de diferente localización geográfica pueden variar significativamente. Además, también son experimentadas variaciones en la composición del agua, dependiendo de la localización en particular, la estación, el día y la hora.

La caracterización de las aguas residuales es un dato de entrada esencial en el proceso de diseño para asegurar que las condiciones de salida sean satisfechas. Además de ser necesarias para la determinación de los coeficientes cinéticos que describen el desarrollo metabólico de los microorganismos dependiendo del sustrato y otros componentes de las aguas residuales caracterizadas.

Idealmente, los coeficientes cinéticos pueden ser determinados teóricamente, basados en la concentración de los componentes químicos presentes en el desecho y otras características físicas, como la

temperatura. Debido a la ausencia de herramienta teórica disponible, se han desarrollado técnicas experimentales que logran dar un grupo de parámetros de diseño reales para un agua residual específica (Mendez C., 1985)

En la determinación de los parámetros de diseño en sistemas de lodos activados, es necesario experimentar en condiciones similares a las que van a prevalecer en el sistema de tratamiento de aguas residuales, ha de ser construido. Muchas veces se ignora que los sistemas de tratamiento están sujetos a sobrecargas eventuales de varios componentes de las aguas residuales. Debido a que todos los modelos cinéticos de lodos activados disponibles se basan en condiciones de estado estable, las consideraciones iniciales de diseño deben incluir niveles aceptables de sobrecargas eventuales. (Mendez C., 1985)

Desafortunadamente, los procesos requeridos para la determinación de los coeficientes cinéticos son tediosas y aumentan el costo de proyecto del sistema de tratamiento de aguas residuales. Los procedimientos experimentales toman varios meses para su ejecución y requieren de mucha dedicación y personal calificado. Debido a los costos y a las dificultades involucradas, la determinación experimental de los coeficientes cinéticos para los propósitos de diseño es pocas veces realizado en estudios de tratamiento de aguas residuales municipales; en estudios de aguas residuales industriales se realizan con mayor frecuencia. En el proceso de lodos activados, para determinar el coeficiente de crecimiento "Y", el coeficiente de descomposición "Kd", la tasa máxima de utilización de sustrato "K" y la concentración de sustrato para la cual la tasa de utilización del sustrato del mismo por unidad de peso de microorganismos es la mitad de la tasa máxima "Ks"; necesarios para el diseño del proceso, suelen utilizarse las instalaciones de tratamiento de lodos activados de tipo experimental, Para la realización de dicho estudio, se puede utilizar un reactor experimental de flujo continuo o discontinuo (semicontinuo) (Mendez C., 1985).

B. Manual de operación para una planta de tratamiento de aguas residuales en la industria

En este trabajo se elaboró un manual de operación de los equipos que componen el proceso de tratamiento de aguas residuales de una fábrica de productos químicos auxiliares para la industria textil, con el fin de corregir su forma de operar y crear nuevos procedimientos de modo que su operación y mantenimiento sean sencillos y de beneficio para la empresa. La planta no cumplía con los parámetros de descarga de aguas residuales según la propuesta de CONAMA de 1999, siendo estos sólidos sedimentables (SS), sólidos suspendidos totales (SST), y demanda química de oxígeno (DQO) (Luarca, 2004).

Se determinó con la evaluación de desempeño del equipo que el tratamiento primario inicial de la planta con sulfato de aluminio no era el adecuado, incidiendo directamente en un pobre desempeño del filtro prensa y en los parámetros de descarga de la planta. Al emplear un coagulante polimérico a partir de poliDADMAC (dialil-dimetil cloruro de amonio) a una dosis de 100 ppm, y de un floculante aniónico basado en poliamina, con una dosificación de 10 ppm se incrementó el desempeño del filtro prensa en un 29.05%. El cambio de químicos en el tratamiento primario significó un ahorro de Q449.78 mensuales con respecto al tratamiento anterior con sulfato de aluminio (Luarca, 2004).

Con la aplicación de correcciones y el manual de operación la planta de tratamiento de aguas residuales remueve el 96.8% de los sólidos totales (ST), 97.5% de los sólidos sedimentables (SS), 98.9% de los sólidos suspendidos totales (SST), 96.5% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), 98.4% de la demanda química de oxígeno (DQO), 100% del cloro residual, 92.7% de las grasas y aceites totales, y 72.2% del color químico (Luarca, 2004).

C. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una industria alimenticia de Guatemala

En este trabajo se diseñó una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria alimenticia, básicamente constituida de agua de cocimiento de maíz y limpieza de freidoras, para obtener un efluente que cumpla con el acuerdo gubernativo 236 – 2006, hasta el último periodo definido para 2024. El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se realizó para un caudal de 3.04 m³ /h, con un contenido de grasas y aceites de 3380.85 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno de 20337 mg/L, y sólidos suspendidos de 11450 mg/L (Estrada, 2012).

Se determinó las etapas necesarias para tratamiento de agua residual, siendo estas: ecualización del flujo, dos trampas de grasa, tratamiento químico de coagulación y floculación, sedimentación primaria y tratamiento biológico de lodos activados. Así mismo, se definieron los equipos a implementar en la planta de tratamiento de aguas residuales: bombas sumergibles, válvulas reguladoras de flujo de agua residual y de dosificación de químicos, medidores de flujo, impulsores con sus respectivos motores, tanques, un electrodo y controlador de pH, y un soplador. Empleando estos procesos y equipos se obtiene un efluente con Demanda Bioquímica de Oxígeno de 100 mg/L, sólidos suspendidos de 100 mg/L, y con grasas y aceites de 5.66 mg/L. La implementación de la planta diseñada requiere de una inversión total de Q1,682,272.83 y recuperación de la inversión. La cantidad monetaria que la empresa debe incrementar los ingresos anualmente durante 10 años para que se recupere esta inversión es de Q840,759.56 (Estrada, 2012).

D. Remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala laboratorio

En este trabajo se analizó la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos presentes en el agua residual doméstica de la comunidad de Púlinguí, perteneciente a la parroquia de San Andrés del cantón Guano provincia de Chimborazo, Ecuador al combinar el tratamiento anaerobio actual (sistema de tanques sépticos y filtro ascendente) con un tratamiento aerobio por lodos activados en un prototipo a escala de laboratorio; a causa de la baja reducción de la materia orgánica y problemas de mal olor por parte del sistema de tratamiento anaerobio existente (Mejía L., Cabrera, & Carrillo, 2017).

El prototipo a escala laboratorio se construyó con 27.9 L de capacidad, de los cuales 15.8 L corresponden a la zona anaeróbica, 7.7 L a la zona de aireación y 4.4 L a la zona de sedimentación. El sistema fue analizado durante 60 días en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, se determinó diariamente pH, Sólidos Suspendidos y oxígeno disuelto, así mismo se evaluó dos veces por semana la Demanda Química de Oxígeno (DQO). El sistema tendió a estabilizarse durante la semana tres de operación, alcanzando eficiencias de remoción de materia orgánica en términos de DQO en el tratamiento anaeróbico de 53%, en el tratamiento aeróbico de 75%, logrando una reducción total en todo el sistema del 88% y eliminando el olor (Mejía L., Cabrera, & Carrillo, 2017).

E. Descripción de la planta piloto de tratamiento aeróbica de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias

La planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias cuenta con un marco móvil de acero inoxidable que sostiene la mayoría de los equipos utilizado en la experimentación, excepto por el tanque de aguas residuales (T01), se encuentra a la izquierda del marco. El panel de control se ubica en la esquina superior izquierda del marco, contiene los circuitos de control eléctrico, tres controladores y pantallas PID. Un conector USB en la parte inferior del panel de control, permite al usuario conectar una computadora adecuada para el control remoto y el registro de datos (HFT Education , 2016).

El tanque central (T02) contiene el lodo activado. En este tanque se incluye la sonda óptica para oxígeno disuelto (OC01), la sonda de medición de pH del lodo activado, un agitador mecánico de palas inclinadas (SO2) y un difusor de burbuja fina con membrana de micro-filtro para agregar oxígeno. Además,

incluye un punto de desbordamiento en caso de una operación incorrecta proporciona una salida segura hacia el alcantarillado del laboratorio. El tanque del lado derecho (T03) es el tanque de sedimentación, con un fondo cónico para ayudar a recolectar las partículas más densas (lodo activado) y retornarlo al tanque de lodos activados (T02). Las pantallas muestran el valor de pH en el tanque T02 y la temperatura en el tanque T03 (HFT Education , 2016).

Una bomba de velocidad variable (P01) mueve las aguas residuales del tanque T01 al tanque de lodos activados (T02). El desbordamiento del tanque T02 fluye al tanque de sedimentación (T03). Otra bomba de velocidad variable (P03) recircula el lodo más denso desde el tanque de sedimentación hasta el tanque de lodos activados. Los sensores de flujo (FI01 y FI02) en las líneas de alimentación y retorno proporcionan la referencia de control para dos controladores PID para regular el flujo (HFT Education , 2016).

El desbordamiento del tanque T03 fluye hacia un tanque de cloración (T04). Una bomba dosificadora (P04) mueve la solución de hipoclorito de sodio (NaClO) desde un tanque pequeño (T05), instalado en la parte inferior derecha del marco móvil hasta el tanque de cloración (T04), para clorar el agua en tratamiento antes de que abandone el proceso. El compresor eléctrico (P02) funciona a velocidad fija para proporcionar el flujo de aire al difusor de burbuja fina. La válvula de control neumática (accionada por aire comprimido) en la parte inferior izquierda del marco, funciona con el controlador PID OC01 para regular el flujo de aire que ingresa al difusor; el controlador antes mencionado utiliza el sensor de oxígeno disuelto en el tanque T02 como referencia del control. El colector principal de aire comprimido se conecta al suministro de aire comprimido del laboratorio. Este colector contiene un interruptor de aislamiento, un filtro / secador y un puerto de salida a la válvula neumática. La válvula tiene su propio filtro – regulador (HFT Education , 2016).

IV. OBJETIVOS

A. General

Utilizar un sistema de lodos activados en un efluente emulado de la industria azucarera para evaluar la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO), en el reactor aeróbico de lodos activados del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería química.

B. Específicos

1. Determinar las condiciones de operación del sistema de tratamiento de aguas para establecer los parámetros de estandarización del proceso de lodos activados en cada lote del efluente, mediante la toma de datos ambientales y operativos del reactor anaeróbico de lodos activados dentro del laboratorio de operaciones unitarias.
2. Monitorear el oxígeno disuelto en cada lote del efluente para determinar su correlación con la demanda biológica de oxígeno (DBO).
3. Determinar la demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos (MLVSS) y sólidos sedimentables (SS) del efluente y afluente para obtener información de la operación en el reactor anaeróbico de lodos activados.

V. JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales en particular las relacionadas a la industria azucarera, se caracteriza por ser efluentes difíciles de tratar, debido a que su composición es variable y compleja, además de que tienen colorantes, los cuales son compuestos altamente tóxicos (García, 2012). Para mencionar se encontró datos de: Temperatura promedio en los efluentes mayores a los 50 °C, un rango entre 6 – 9 en su pH, un promedio de DBO mayor de 48,480 mg/L y un promedio de DQO mayor a 60,600 mg/L, típicas de un efluente residual en la industria azucarera (Valera B., 2016).

Por cada kilogramo de azúcar comercial producida se utilizan 500 L de agua y para la etapa de condensación 50 L de agua para producir 1 kg de condensado. Esto indica que para una planta mediana se consume normalmente alrededor de 756 m³ de agua por hora (Viracucha, 2012). Considerando los altos volúmenes de aguas residuales que se producen, la caracterización de estas permite cuantificar y evaluar su impacto ambiental y facilita el proceso de proponer alternativas para tratarlas según su naturaleza (Pérez, y otros, 2005)

En Guatemala, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, solo el 36% de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración. Los lodos activados son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento (Romero, Colín, Sánchez, & Ortiz, 2009).

Por estas razones surge la necesidad de evaluar el comportamiento de este tipo de efluente industrial, así como el sistema de tratamiento aguas residuales de lodos activados; con un efluente emulado de la industria azucarera para definir características fisicoquímicas del mismo y evaluar la remoción de la materia orgánica biodegradable y nutrientes en cada lote.

Por lo que, se identificó como necesidad, establecer un efluente que contenga melaza de una industria azucarera, para establecer una bitácora de control de sus concentraciones y su caracterización fisicoquímica inicial; así como la evaluación del comportamiento de este tipo de efluente en el reactor aeróbico de lodos activados del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

VI. METODOLOGÍA

A. Diseño de investigación

La investigación propuesta fue de tipo experimental, apoyada por investigación de campo y bibliográfica, de carácter descriptivo con un enfoque cualitativo y cuantitativo.

1. Recopilación bibliográfica

Se realizó la recopilación bibliográfica con el fin de acceder a información que nos guie en los procedimientos que se debió seguir en el diseño del reactor biológico para tratamiento de las aguas residuales.

2. Investigación experimental

En la investigación experimental se estableció las siguientes fases para el sistema de tratamiento de las aguas residuales:

- Caracterización inicial de las aguas residuales.
- Análisis de los procesos que se pueden emplear para el tratamiento del agua residual.
- Calibración de los equipos utilizados en la planta piloto del laboratorio.
- Desarrollo experimental (tratamiento biológico).
- Caracterización final del efluente luego del tratamiento.
- Evaluación de los resultados.

B. Enfoque

1. Enfoque cualitativo

Se observaron los efectos contaminantes que producen los diferentes procesos dentro de la Industria Azucarera y como estos podrían intervenir en el tratamiento de las aguas residuales.

2. Enfoque cuantitativo

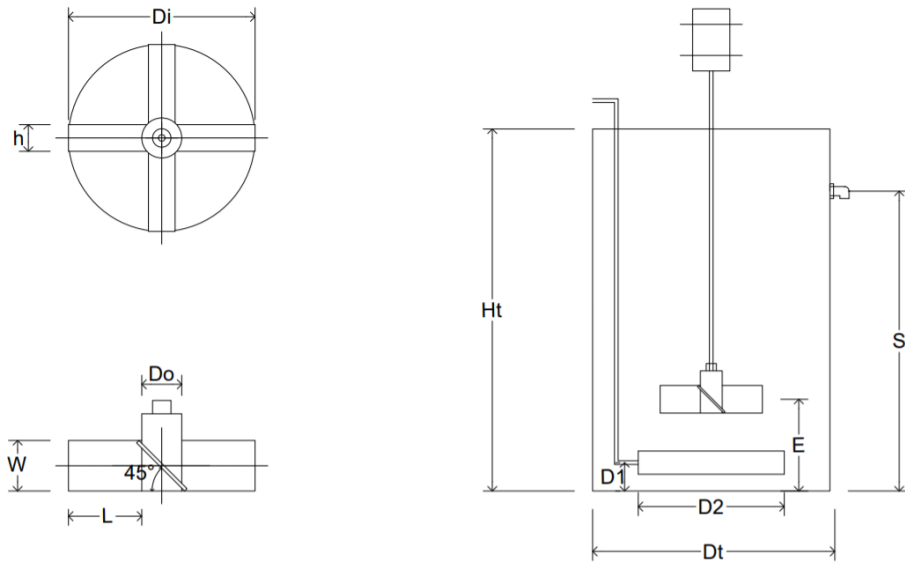
- a. Se utilizó el tratamiento del agua residual del efluente emulado (melaza y agua, $5.00 \pm 0.01\%$ P/V) en un reactor biológico por lotes a escala de laboratorio a flujo constante de aire ($0.002938 \pm 5.4 \cdot 10^{-4} \text{kgO}_2/\text{h}$ máx. - $0.001320 \pm 3.7 \cdot 10^{-4} \text{kgO}_2/\text{h min}$)
- b. Durante el funcionamiento del reactor se tomó muestras representativas a distintos intervalos de tiempo, tres lotes de con muestreo de una vez al día, a la misma hora después de 24 horas por 504 horas (21 días), para medir la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla, sólidos suspendidos, demanda biológica de oxígeno (DBO_5), Alcalinidad (pH), Oxígeno disuelto (OD) e índice volumétrico de Lodos (IVL).

C. Desarrollo experimental

1. Materiales

- a. Para la evaluación de los parámetros de la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO), se utilizó el reactor de la planta piloto de aguas residuales marca HFT Education del laboratorio de operaciones unitarias, con capacidad de $0.329 \pm 0.061 \text{ m}^3$ (Figura 6.1, se puede apreciar las dimensiones del reactor junto con el Cuadro 6.1 y 6.2)
- b. Se utilizó una turbina de cuatro paletas inclinadas (45°) de acero inoxidable. La turbina como se mostró en la Figura 6.1, que junto con el Cuadro 6.1 se obtuvo sus medidas específicas. Con una potencia de 0.09 kW (rotación de hasta 320 rpm). Se utilizó un difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro colocado al fondo del reactor, como se observó en la Figura 6.1. Se utilizó un compresor de marca Kaeser con un rango de presión: 0.7 – 1.0 MPa (7 – 10 bar), rangos específicos del equipo.
- c. Sedimentador con capacidad nominal de $0.15 \pm 0.060 \text{ m}^3$, como se observó en la Figura 6.2, se apreció mejor las dimensiones del sedimentador junto con el Cuadro 6.3.

Figura 6. 1 Vistas de elevación, del reactor a escala (cotas: m)



Fuente: Propia

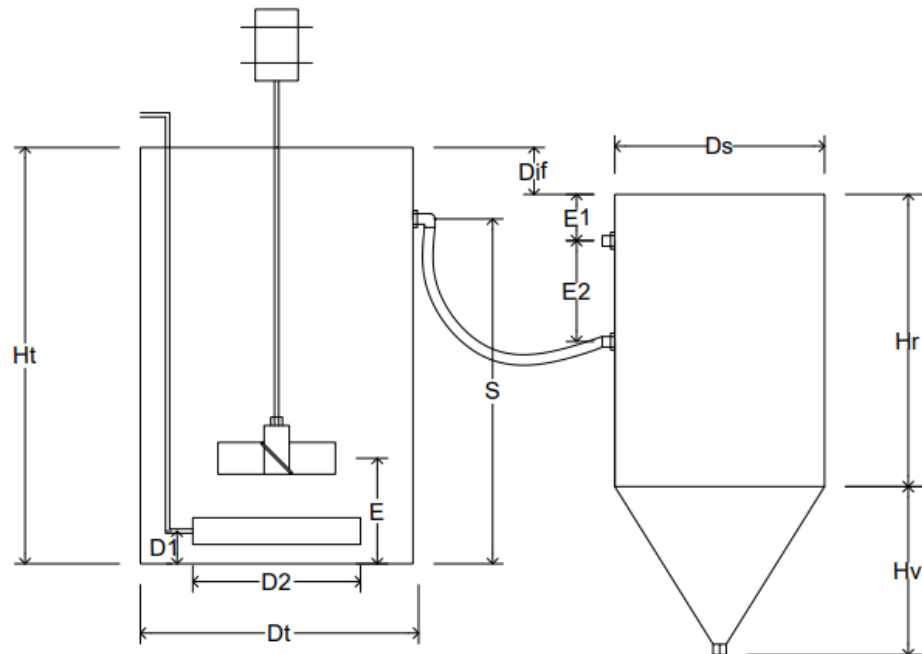
Cuadro 6. 1 Medidas de la turbina

Etiqueta	Longitud ($\pm 0.1m$)
W	0,028
α	45 °
h	0,04
Do	0,06
s	0,005
L	0,11
Di	0,28

Cuadro 6. 2 Medidas del reactor

Etiqueta	Longitud ($\pm 0.1m$)
Ht	0,99
H fluido	0,75
E	0,20
Dt	0,65
S	0,82
D1	0,04
D2	0,40

Figura 6. 2 Vistas de elevación, de la planta piloto a escala y su instrumentación (cotas: m)



Fuente: Propia

Cuadro 6. 3 Medidas del sedimentador

Etiqueta	Longitud ($\pm 0.1m$)
Ds	0,50
Hr	0,695
Hv	0,40
H total	1,095
E1	0,11
Dif	0,1116
E2	0,24

2. Control de operación y suministros

a Para asegurar que los microorganismos encontrarán un medio adecuado para desarrollarse, se controló las condiciones ambientales mediante la regulación del pH, temperatura y la adición del aire comprimido para suministro de oxígeno para mantener el sistema completamente mezclado.

b Durante el ensayo, la temperatura se mantuvo entre un rango de $35.9 \pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ – $25.40 \pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$, con una humedad $82.4 \pm 5\%$ – $79.2 \pm 5\%$. La temperatura y humedad se logró controlar por medio del higrómetro rastreado de monitoreo marca Traceable Products. La viscosidad se mantuvo entre $0.014 \pm 0.02 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ y $0.005 \pm 0.02 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ al inicio y al final de la operación. Los niveles de pH estuvieron en un rango de 6.8 – 6.0.

c Se mantuvo el agitador mecánico (Drum motors) con potencia de 0.09 kW (rotación de hasta 320 rpm) con una turbina de cuatro palas inclinadas a 45° (longitud de eje de 1.10 m) como se mostró en la Figura 6.3, esta se encuentra en el centro por encima del difusor del reactor para mantener el sistema completamente mezclado.

d La planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales se conectó a corriente 220 V trifásico junto con UPS trifásico con voltaje nominal de entrada de 208/220V (Ph-Ph), 120/127V (Ph-N). Además, se verificó que tiene un consumo de aire a presión de 6 a 3 bar de presión por medio de un compresor de 15 HP marca Kaeser.

3. Arranque de la planta de tratamiento y activación de lodos

- a. Se cerró todas las válvulas
- b. Se filtró $0.066 \pm 0.0605 \text{ m}^3$ de agua residual utilizar con los tamices construidos y se trasvasó al reactor de lodos activados (T02) con una concentración 37.8% (P/V) biomasa dentro del reactor.
- c. Se trasvasó el agua residual necesaria para realizar solución al 5% (P/V) de melaza en el tanque para aguas residuales (T01), (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).
- d. Se tomó muestra representativa de la solución de agua residual al 5% del tanque para aguas residuales (T01) y caracterizó la misma.
- e. Se encendió la planta de tratamiento colocando en posición vertical el aislador multipolar al costado del panel de control presionando el botón etiquetado con ON/OFF.
- f. Se abrió la válvula de control (V02) y encendió la bomba de velocidad variable (P01) para que el caudal llenase el tanque de lodos activados (T02) hasta que el nivel del agua cubrió al agitador mecánico, el sensor de pH y sensor de oxígeno disuelto, (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).
- g. Se paró la bomba de velocidad variable (P01), (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).

- h. Se inició el agitador mecánico a una velocidad de 320 ± 0.05 rpm (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).
- i. Se encendió el compresor (P02) y configuró el controlador del sensor de oxígeno disuelto (OC01) a 20.0 ppm, (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).
- j. Se esperó tres horas a que los procesos biológicos inicien.
- k. *Nota: Se observó la formación irregular de flóculos bilógicos en el tanque de lodos activados (T02), (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).
- l. Se reinició la bomba de alimentación de agua residual (P01) al caudal deseado (flujo volumétrico de $0.011 \pm 2.88 \cdot 10^{-6}$ m³/día) con un tiempo de retención de 30 días, se estableció el oxígeno disuelto deseado con el sensor de oxígeno disuelto (2.0ppm) (OC01) y se ajustó el agitador mecánico a 82.4 ± 0.029 rpm (equivalente a 1/4 de vuelta del controlador) (manteniendo un oleaje suave dentro del tanque de aireación), (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).
- m. Se permitió que el líquido del tanque de lodos activados (T02) fluya al tanque de sedimentación (T03), proximo a 0.05 m al punto de desbordamiento de este, (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).
- n. Se esperó veinticuatro horas a que la generación de lodos fuese constante; se verificó que existiera como mínimo una capa de lodos en el fondo del tanque de sedimentación (T03) de 10 cm de altura y el descenso de nuevos fóculos bilógicos, (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).
- o. Se encendió la bomba de retorno de lodos activados (P03) al mismo caudal empleado con la bomba de alimentación de agua residual (P01), (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta).
- p. Se esperó cuatro semanas a que el desarrollo biológico sea completo. Durante este periodo se efectuó ajustes en la planta, de la siguiente forma:
 - 1) Se observó la formación de lodo activado muy pegajoso, el aspecto físico del agua era líquido y jabonoso con una coloración café claro.
 - 2) Se removió de las paredes de la planta por medio de raspado el lodo activado pegajoso.
 - 3) Se purgó una porción de lodos activados abriendo la válvula de control (V05) y válvula de descarga (V06), cuando estos se vuelvan demasiados para recircularlos y se alimenta la planta con el efluente de prueba.
 - 4) *Nota: se retiró una fracción del agua en la superficie del tanque de sedimentación (T03) y se alimentó la planta con nueva agua a tratar, (ver Figura 13.41, Anexo D, Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta). Ya que se presentó una lenta formación de los lodos.
 - 5) Se verificó que el agua en tratamiento se transformara a una coloración café oscuro en el tanque de lodos activados (T02) y en el área cónica del tanque de sedimentación (T03), olor a tierra mojada y una

aparición más viscosa, (ver Figura 13.41 Anexo D Monitoreo, Preparación y Arranque de la planta). A partir del cambio, el lodo activado se desarrolló en la planta de tratamiento.

4. Calibración de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales empleando agua potable

a. Bomba de alimentación de agua residual de velocidad variable (P01)

- 1) Se instaló la conexión de entrada a la bomba de velocidad variable (P01).
- 2) Se determinó la cantidad de volumen de agua potable a ingresar ($0.02\pm 0.1 \text{ m}^3$) y la altura que ocupó dicha cantidad ($0.0803\pm 0.01 \text{ m}$), en el tanque de lodos activados (T02).
- 3) Se llenó tanque plástico provisional de 0.21 m^3 con agua potable.
- 4) Se encendió la planta de tratamiento colocando en posición vertical el aislador multipolar al costado del panel de control presionando el botón etiquetado con ON/OFF.
- 5) Se abrió la válvula de control (V02), configura controlador PID (FC01) que regula el flujo de aguas residuales ($1.5 - 9.0 \text{ m}^3/\text{día}$) y se encendió la bomba de velocidad variable (P01) para que el caudal ingresara al tanque de lodos activados (T02).
- 6) Se midió el tiempo que requiere llenar el volumen de agua potable seleccionado según el afluente de alimentación configurado en el controlador PID (FC01) ($1.5 - 9.0 \text{ m}^3/\text{día}$), se realizó prueba en triplicado.
- 7) Se comparó el resultado experimental del paso anterior respecto al valor teórico y se determinó el error porcentual.
- 8) Se generó la curva de calibración para la bomba de alimentación de velocidad variable (P01) (ver Figura 13.1 Anexo A)

b. Bomba de retorno de lodos de velocidad variable (P03)

- 1) Se llenó el tanque de sedimentación (T03) con agua potable hasta aproximarse a $0.05\pm 0.01 \text{ m}$ del punto de desbordamiento al tanque de cloración (T04).
- 2) Se determinó la cantidad de volumen de agua potable a ingresar ($0.020\pm 0.1 \text{ m}^3$) y la altura que ocupa dicha cantidad (0.0803 m), en el tanque de lodos activados (T02).
- 3) Se encendió la planta de tratamiento colocando en posición vertical el aislador multipolar al costado del panel de control presionando el botón etiquetado con ON/OFF.

- 4) Se configuró controlador PID (FC02) que regula el flujo de lodos ($0.5 \pm 2.88 \cdot 10^{-6} - 9.0 \pm 2.88 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{día}$, excepto $1.0 \pm 2.88 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{día}$), se abrió la válvula de control (V05) y encendió la bomba de velocidad variable (P03) para que el afluente ingresara al tanque de lodos activados (T02).
- 5) Se midió el tiempo que requiere llenar el volumen de agua potable seleccionada según el caudal de retorno de lodos configurado en el controlador PID (FC02) ($0.5 \pm 2.88 \cdot 10^{-6} - 9.0 \pm 2.88 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{día}$, excepto $1.0 \pm 2.88 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{día}$), se realizó prueba en triplicado.
- 6) Se comparó el resultado experimental del paso anterior respecto al valor teórico y se determinó el error porcentual.
- 7) Se generó la curva de calibración para la bomba de retorno de lodos de velocidad variable (P03) (ver Figura 13.2 Anexo A).

c. Sonda de medición de pH

- 1) Se tomó muestra de 500 mL de agua residual y se vertió en un vaso de precipitados.
- 2) Se realizó la medición de pH con medidor multi-parámetro PCSTestrTM 35 OAKTON.
- 3) Se realizó la medición de pH con sonda de medición de potencial de hidrógeno.
- 4) Se comparó el resultado del paso dos con el resultado del paso tres y se determinó si existió una diferencia.

d. Termocupla de medición de temperatura

- 1) Se requirió de un termómetro de alcohol con escala $-10 \pm 0.01^\circ\text{C} - 100 \pm 0.01^\circ\text{C}$.
- 2) Se colocó en un recipiente metálico hielo fundente (temperatura que por definición corresponde a $0 \pm 0.01^\circ\text{C}$) que ocupó como mínimo de 75% del volumen disponible dentro del recipiente.
- 3) Se midió la altura que la columna de alcohol alcanza cuando el bulbo se colocó en contacto con hielo fundente y se anotó el resultado correspondiente.
- 4) Se calentó con estufa eléctrica el recipiente metálico con hielo fundente hasta que alcanzó la ebullición.
- 5) Se midió la altura que la columna de alcohol que alcanzó cuando el bulbo se colocó en contacto con agua en ebullición (correspondiente a 100°C a nivel del mar) y se anotó el resultado correspondiente.
- 6) Se tomó muestra de 50 mL de agua potable a temperatura ambiente y se vertió en un vaso de precipitados, se midió la temperatura con el termómetro de alcohol calibrado.
- 7) Se realizó la medición de la temperatura con termocupla.
- 8) Se comparó el resultado del paso seis con el resultado del paso siete y se determinó si existe diferencia.

e. Sonda óptica de dilución de oxígeno (OC-01)

- 1) Se verificó que la válvula del drenaje (V-04) del tanque de lodos activados (T-02) y la válvula de drenaje (V-01) del tanque de plástico de agua residual (T-01) estuvieran cerradas. Luego se abrió las válvulas V-02 para dejar que el tanque (T-02) se alimentara de agua de (T-01) por medio de la bomba de alimentación (como se observa en la Figura 6.3).
- 2) Se llenó el tanque de lodos activados (T02) con agua potable hasta aproximarse a 5.0 ± 0.01 cm del punto de desbordamiento al tanque de sedimentación (T03). Hasta que el nivel del agua cubrió al sensor de pH (PH-01) y sensor de oxígeno disuelto (OC-01), en 73 ± 0.01 cm 0.2422 ± 0.0605 m³
- 3) Se configuró la concentración oxígeno disuelto en el controlador PID (OC-01):
 - a) Se presionó el botón “SET” hasta que se mostró en el setpoint (pantalla inferior; color rojo) la palabra “AUTO”.
 - b) Se usó los botones con flechas hacia abajo o hacia arriba para cambiar a “MAN” y apretar el botón “SET”.
- 4) Se configuró el flujo volumétrico de alimentación con las flechas hacia abajo o hacia arriba (considerar como 100% una concentración de 20ppm).
- 5) Con un cronómetro se fijó el tiempo de una hora manteniendo el sistema saturado de oxígeno a la concentración fijada. Se tomó cada muestra en triplicado y se varió la concentración.
- 6) Luego se tomó muestra de 50mL en vaso de precipitados y se midió el oxígeno disuelto con el equipo HQ40d portable dual input, multi-parameter.
- 7) Se comparó el resultado experimental del paso anterior respecto al valor teórico (variable de proceso (PV) de color verde en la pantalla de proceso PID) y se determinó el error porcentual.
- 8) Se generó la curva de calibración de la sonda óptica de dilución de oxígeno (OC-01) (ver Figura 13.3 Anexo A).

f. Agitador mecánico con turbina de placas inclinadas (45°) (S02)

- 1) Se verificó que la válvula del drenaje (V-04) del tanque de lodos activados (T-02) y la válvula de drenaje (V-01) del tanque de plástico de agua residual (T-01) estuvieran cerradas. Luego se abrió las válvulas V-02 para dejar que el tanque (T-02) se alimentara de agua de (T-01) por medio de la bomba de alimentación (como se observa en la Figura 6.3).
- 2) Se llenó el tanque de lodos activados (T02) con agua potable hasta que se aproximó a 0.05 ± 0.01 m del punto de desbordamiento al tanque de sedimentación (T03). Y hasta que el nivel del agua cubriera el sensor de pH (PH-01) y sensor de oxígeno disuelto (OC-01), en 73 ± 0.01 cm 0.2422 ± 0.0605 m³

- 3) Se inició el agitador (S-02) a 5 diferentes revoluciones en rpm, se anotó medición.
- 4) Se utilizó el tacómetro (mini tacómetro láser, EXTECH ± 0.1 RPM) para regular las velocidades y se marcó, alrededor de la perilla del agitador en el panel de control (S-02), la velocidad que alcanzó (RPM) y al mismo tiempo se midió la altura del tanque (cinta métrica), se realizó cada medida en triplicado.
- 5) Luego se comparó los datos y las diferentes variaciones de velocidad contra la altura del medio en el tanque de lodos activados (T-02).
- 6) Se generó la curva de calibración del agitador mecánico (S02) (ver Figura 13.4 Anexo A).

D. Caracterización del agua residual

Se realizó un programa para la medición de los principales parámetros, como se observa en el Cuadro 6.4, necesarios en el control del estado de crecimiento - de los microorganismos: Temperatura, pH, Sólidos suspendidos - (totales, fijos y volátiles), Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo y Oxígeno Disuelto

Se utilizó los métodos y técnicas empleados detallados en los "Standard Methods for the Examination of water and - Wastewater, 15th Edition, (1980) APHA-AWWA-WPCF". Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química.

Cuadro 6. 4 Programa de Muestreo

Análisis	Frecuencia	Agua residual ^a	Licor Mezclado ^b	Efluente ^c
DQO (mg/L)	1/día	X	X	X
DBO5 (mg/L)	1/día	X	X	X
pH	1/día	X	X	X
SS, MLVSS, SST (mg/L)	2/día	-	X	-
Oxígeno disuelto (OD) (mg/L)	1/día	X	X	-
Velocidad de utilización de oxígeno	1/día	-	X	-
Temperatura (°C)	1/día	X	X	X
Nitrógeno total (mg/L)	1/semana	X	X	-
Fósforo total (mg/L)	1/semana	X	X	-

Donde:

a Muestra extraída de la alimentación del afluente o de los depósitos de agua residual cruda.

b Muestra extraída del tanque desprovisto de la pantalla.

c Muestra extraída del efluente.

En el arranque y la alimentación se utilizó nitrógeno y fósforo únicamente.

1. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del agua a tratar

a. Se identificó cinco volúmenes de muestra para usar en esta prueba.

*Nota: se consultó - seleccionar los volúmenes de muestra en la página 4 (HACH Company , 2017).

b. Se preparó las muestras y luego se agitó suavemente la muestra.

c. Se utilizó una pipeta para agregar los volúmenes de muestra a cinco botellas de DBO de 300 ml.

Se llenó cada botella con agua de dilución preparada. Para evitar burbujas de aire, se vertió el agua por la superficie interior de la botella.

*Nota: se consultó - preparación del agua de dilución en la página 3 (HACH Company , 2017).

d. Se insertó con cuidado un tapón en cada botella para evitar burbujas de aire atrapadas. Se presionó el tapón y luego invirtió las botellas varias veces para mezclar.

e. Se preparó y se llenó otra botella de DBO de 300 ml con el agua de dilución preparada. Para evitar burbujas de aire, se vertió el agua por la superficie interior de la botella.

f. Luego se enjuagó la sonda con agua desionizada. Se secó la sonda con un paño que no suelte pelusa.

g. Se colocó la sonda en el blanco. Asegúrese de que no haya burbujas de aire debajo de la sonda.

h. Se presionó el botón en la parte superior de la sonda para iniciar la paleta de agitación hasta que apareció una luz verde (encendido).

i. Se presionó Leer, el cual mostró en la pantalla una barra de progreso. Cuando la medición fue estable, se mostró en la pantalla un icono de candado.

j. Se registró el valor hasta que resultó estar estable.

k. Se enjuagó la sonda con agua desionizada y se secó la sonda con un paño que no suelte pelusa.

l. Luego se insertó con cuidado un tapón en cada una de las botellas de muestra preparadas y se evitó a toda costa las burbujas de aire. Se agregó agua de dilución sobre el tapón de las botellas de DBO para hacer un sello de agua.

m. Se agregó una tapa a cada botella para evitar la evaporación.

n. Se midió cada una de las muestras preparadas. Se realizó los pasos 8 a 12 para cada muestra preparada.

o. Se enjuagó la sonda con agua desionizada y se secó la sonda con un paño que no suelte pelusa.

p. Se dejó la botella de muestra preparada en una incubadora a 20 °C (68 °F).

*Nota: No se movieron las botellas de muestra preparadas durante 5 días.

q. Después de 5 días, se midió el oxígeno disuelto restante en cada una de las muestras preparadas. Se realizó los pasos del número 8 al 12 para cada muestra preparada.

r. Se calculó el valor de DBO.

*Nota: Se consultó el cálculo de la DBO: métodos estándar en la página 6 o Cálculo de DBO: método gráfico en la página 6 (HACH Company , 2017).

1) Agua de dilución

Se aseguró de que no se agregue ninguna fuente de demanda de oxígeno o toxinas al momento que se prepare el agua de dilución.

2) Materiales:

- a) Agua de dilución (consulte las pautas de agua de dilución)
- b) Almohada amortiguadora de nutrientes BOD
- c) Aguas residuales sin tratar para la semilla bacteriana, 3 mL (si la muestra es baja en bacterias)

3) Pautas para el agua de dilución

- a) Para obtener los mejores resultados, se usó agua destilada de una destilación de permanganato alcalino.
- b) Se utilizó agua de alta calidad que no contenga compuestos orgánicos o tóxicos (por ejemplo, cloro, cobre y mercurio).
- c) La concentración de oxígeno disuelto del agua de dilución no cambió más de 0,2 mg / L cuando se incubó durante 5 días a 20 ° C (68 ° F).

4) Se preparó el agua de dilución de la siguiente manera:

- a) Se mantuvo el agua de dilución en jarras limpias en una incubadora a 20 ° C (68 ° F).
- b) Se agitó las jarras para saturar el agua con aire. Como alternativa, se colocó la tapa en las jarras sin apretar y se esperó un mínimo de 24 horas antes de usarlas.
- c) Se agitó la almohada amortiguadora de nutrientes BOD.
- d) Se agregó el contenido de la almohada amortiguadora de nutrientes BOD, agua destilada.
- e) Se colocó la tapa en la jarra. Y se agitó durante 1 minuto para disolver los nutrientes y saturar el agua con aire.

2. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua a tratar

a. Método de digestión del reactor * Aprobado por USEPA para informar análisis de aguas residuales ** Digestión

1) Se homogenizó 500 mL de muestra durante 2 minutos en un agitador magnético.

2) Se encendió el reactor DRB 200 (Hach Company , 2003). Y se precalentó a 150 ° C.

*Nota: Consulte el manual del usuario de DRB 200 para seleccionar aplicaciones de temperatura preprogramadas.

a) Se encendió el instrumento. Se seleccionó el programa de temperatura requerido usando las teclas apropiadas (vea la sección 2.4 en la página 17).

b) Se preparó los viales de prueba como se describe en el procedimiento de análisis.

c) El instrumento se calentó a la temperatura establecida. Se alcanzó la temperatura requerida (alarma).

d) Se colocó los viales en el bloque calefactor apropiado y se cerró la tapa protectora.

e) Se inició el programa con la tecla izquierda. El tiempo cuenta automáticamente hasta cero (0).

f) Se calentó los viales durante 2 horas a 150 ° C. En la fase de enfriamiento, se enfrió a 120 ° C (alarma).

*Nota: se retiró e invirtió con cuidado los viales varias veces, antes de dejar que se enfríen más en una rejilla.

3) Se retiró la tapa de un vial de reactivo de digestión de DQO para el rango apropiado:

Cuadro 6. 5 Rango de concentración para cada tipo de vial de digestión DQO

Muestra rango de concentración (mg / L)	Tipo de vial de reactivo de digestión de DQO
0 a 150	Bajo alcance
0 a 1,500	Alto rango
0 a 15,000	Alta gama Plus

*Nota: la mezcla de reactivos es sensible a la luz. Los viales sin usar se guardaron en el contenedor de envío opaco, en un refrigerador si es posible. La luz que incida en los viales durante la prueba no afectó los resultados.

4) Se agregó 2.00 mL (0.2 mL para el 0 a un rango de 15.000 mg / L) de muestra en el vial.

*Nota: Para el rango de 0-15 000 mg / L, pipetee solo 0,20 mL de muestra, no 2,00 mL de muestra, se utilizó una pipeta TenSette. Para mayor precisión, se analizó un mínimo de tres repeticiones y promedió los resultados.

*Nota: El reactivo derramado afectó la precisión de la prueba y fue peligroso para la piel y otros materiales. No se realizaron pruebas con viales que se hayan derramado.

5) Se enjuagó el exterior del vial de DQO con agua desionizada y se limpió el vial con una toalla de papel.

6) Se invirtió suavemente varias veces para mezclar el contenido. Se colocó el vial en el reactor DRB 200 precalentado.

*Nota: El vial se calentó mucho durante la mezcla.

7) Se preparó un blanco repitiendo los pasos 3 a 6, sustituyendo la muestra por 2,00 ml (0,2 ml para el rango de 0 a 15 000 mg / L) de agua desionizada.

*Nota: se aseguró de que la pipeta esté limpia.

*Nota: se analizó un blanco con cada conjunto de muestras. Se analizó muestras y blancos con viales del mismo número de lote (el número de lote está en la etiqueta del recipiente).

8) Se calentó los viales durante 2 horas.

*Nota: Se midió la concentración (mientras aún está caliente) a intervalos de 15 minutos hasta que la lectura permaneció sin cambios. Se enfrió los viales a temperatura ambiente para la medición final.

9) Se apagó el reactor. Y se esperó unos 20 minutos para que los viales se enfríen a 120 ° C o menos.

10) Se colocaron los viales en una rejilla. Se esperó hasta que los viales se hayan enfriado a temperatura ambiente.

*Nota: apareció un color verde puro en la muestra reaccionada en la medición de DQO y, fue necesario repetir la prueba con una muestra diluida.

11) Se utilizó una de las siguientes técnicas analíticas para medir la DQO:

- a) Método colorimétrico, 0-150 mg / L DQO.
- b) Método colorimétrico, 0-1,500 mg / L DQO.
- c) Método colorimétrico, 0-15,000 mg / L DQO.

b. Determinación colorimétrica, 0 a 1,500 y 0 a 15,000 mg / L DQO

1) Se ingresó el número de programa almacenado para la demanda de oxígeno químico, rango alto.

a) Se presionó: PRGM.

b) La pantalla mostró: ¿PRGM?

2) Se presionó: 17 ENTER.

a) La pantalla mostrará mg / L, DQO y el icono CERO.

*Nota: Para la forma alternativa (O2), se presionó la tecla CONC.

3) Se insertó el COD / TNT.

a) Se adaptó en el soporte de la celda girando hasta que encaje en su lugar. Luego se empujó hacia abajo para insertarlo completamente.

4) Se limpió el exterior del blanco con una toalla.

*Nota: se limpió con una toalla húmeda seguida de una seca eliminará las huellas dactilares u otras marcas.

5) Se colocó el espacio en blanco en el adaptador.

a) Se presionó hacia abajo en la parte superior del vial hasta que se asiente sólidamente en el adaptador.

*Nota: No se movió el vial de un lado a otro, ya que esto puede provocar errores.

6) Se cubrió bien la cubeta de muestra con la tapa del instrumento.

a) El blanco se almacenó en la oscuridad. Se consultó los espacios en blanco para la determinación colorimétrica siguiendo estos procedimientos.

7) Se presionó: CERO.

a) El cursor se movió hacia la derecha, luego la pantalla mostró: 0 mg / L COD

8) Se limpió el exterior del vial de muestra con una toalla.

9) Se colocó la muestra en el adaptador.

10) Se presionó hacia abajo en la parte superior del vial hasta que se asiente sólidamente en el adaptador.

11) Se cubrió bien la cubeta de muestra con la tapa del instrumento.

12) Se presionó: LEER.

a) El cursor se movió hacia la derecha, luego se mostró el resultado en mg / L DQO.

*Nota: Cuando utilice viales de reactivo de digestión DQO High Range Plus, multiplique la lectura por 10.

*Nota: Para obtener resultados más precisos con muestras cercanas a 1,500 o 15,000 mg / L DQO, repita el análisis con una muestra diluida.

3. Medición de oxígeno disuelto en agua a tratar

a. Se tomó muestra de 50 mL de agua residual y se vertió en vaso de precipitados.

b. Se realizó la medición del oxígeno disuelto con medidor de oxígeno disuelto portátil digital.

1) Se ensambló la sonda de oxígeno disuelto sension 156 del medido multiparamétrico HACH.

2) Al menos 30 minutos antes de la medición, se polarizó la sonda conectando al medidor.

3) Se aseguró el cable de la sonda de la cámara de almacenamiento y calibración.

4) Se preparó la cámara de almacenamiento y calibración, sosteniendo debajo del agua apretando varias veces para ingresar agua en la parte inferior de la cámara a través de la entrada; evitando llenar por completo la parte inferior de la cámara. De forma alternativa, se abrió el fondo de la cámara e insertó la esponja empapada en agua.

5) Se insertó la sonda de oxígeno disuelto en la cámara de almacenamiento y se calibró.

*Nota: no debe inundarse la punta con agua o sostener una gota en la membrana.

6) Se esperó al menos 10 minutos para que se establezca la atmósfera en la cámara de almacenamiento.

- 7) Se presionó el botón CAL y en la pantalla reflejó 100%
 - 8) Se presionó el botón READ/ENTER. El icono de estabilización apareció mientras el medidor completa la calibración.
 - 9) Se insertó la sonda en el líquido de muestra, cubriendo el termistor (botón metálico) ubicado a un lado de la sonda.
 - 10) Se utilizó agitador y barra magnética para revolver la muestra vigorosamente.
- c. Se anotó el resultado correspondiente cuando la lectura en el medidor fue estable.
 - d. Se comparó el resultado del paso tres con resultado registrado con la sonda de oxígeno disuelto en el panel de control de la planta de tratamiento aeróbico de agua residual.

4. Determinación de sólidos suspendidos en agua a tratar

a. Preparación de cápsulas.

- 1) Se introdujo las cápsulas al horno a una temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$, 20 min como mínimo.
*Nota: únicamente en el caso de la medición de sólidos volátiles, las cápsulas posteriormente se introducen a la mufla a una temperatura de $550 \pm 50^\circ\text{C}$, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo se transfirieron al horno.
- 2) Se trasladó la cápsula al desecador y se dejó enfriar por 20 min como mínimo.
*Nota: El manejo de la cápsula durante el análisis, debe realizarse en todo momento con las pinzas.
- 3) Se pesó las cápsulas y se repitió el ciclo horno-desecador hasta que se obtuvo una diferencia $\leq 0,0005$ g en dos pesadas consecutivas. Se registró como m_1 considerando para los cálculos el último valor de la masa.

b. Preparación de dispositivo de filtración y/o soportes de secado.

- 1) Se utilizó filtro de fibra de vidrio que adapte al dispositivo de filtración y/o secado y/o charola de aluminio, con la ayuda de unas pinzas se colocó con la cara rugosa hacia arriba en el dispositivo de secado y/o filtración.
*Nota: Mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera perfectamente, solo en caso de utilizar crisol Gooch.
- 2) El soporte de secado con el filtro se ingresó al horno a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 20 min como mínimo, después de este tiempo se transfirió a un desecador.

- 3) Se pesó el dispositivo de filtración y/o soportes de secado y se repitió el ciclo horno-desecador (véase 9.2.2) hasta obtener una diferencia $\leq 0,0005$ g en dos pesadas consecutivas. Se registró como m_2 , considerando para los cálculos el último valor de la masa.

c. Preparación de la muestra

- 1) Se llegó a temperatura ambiente al realizar el análisis. Y se agitaron las muestras para asegurar la homogeneización.

- 1) Determinación para sólidos totales (ST):

- a) En función de la cantidad de sólidos probables se tomó una cantidad de muestra que contenía como mínimo 25 mg/L de sólidos totales.
- b) Se transfirió la muestra a la cápsula de porcelana que previamente ha sido puesta a peso constante.
- c) Se secó la muestra en la estufa a 103°C-105°C.
- d) Se enfrió en el desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta que alcanzó un peso constante. Se registró como peso m_3 .

- 2) Determinación para sólidos totales volátiles (STV):

- a) Se ingresó la cápsula conteniendo el residuo (ver inciso 9.4.4) dentro de la mufla a $550 \pm 50^\circ\text{C}$ durante 15 min a 20 min, se transfirió la cápsula a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 20 min, se sacó la cápsula, y se enfrió a temperatura ambiente en desecador y se determinó su peso hasta alcanzar peso constante. Se registró como peso m_4 .

- 3) Determinación sólidos disueltos totales (SDT)

- a) En la cápsula llevada previamente a masa constante m_1 , se filtró una alícuota de la muestra a través de un filtro de fibra de vidrio en el crisol o dispositivo de filtrado. Se vertió la alícuota en una cápsula preparada y evaporó a sequedad en el horno de secado a $105 \pm 2^\circ\text{C}$, en una parrilla de calentamiento.
- b) Se ingresó dentro del horno a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ la cápsula con la muestra, durante al menos 1 h. Luego se trasladó la cápsula al desecador hasta que se alcanzó una masa constante. Se registró como m_5 .

4) Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST):

- a) Se midió con una probeta, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada.
- b) Se filtró la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío, se lavó el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.
- c) Se suspendió al vacío y se secó el crisol en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C durante 1 h aproximadamente. Se sacó el crisol, se dejó enfriar en un desecador a temperatura ambiente y se determinó su peso hasta que alcanzó un peso constante. Se registró como peso m_6 .

5) Determinación de sólidos suspendidos volátiles (SSV)

- a) Se introdujo el soporte de secado con el filtro que contiene el residuo m_6 dentro de la mufla a una temperatura de 550 ± 50 °C durante 15 min a 20 min.
- b) Se trasladó el soporte de secado con el filtro al horno a una temperatura de 105 ± 2 °C durante 20 min como mínimo.
- c) Se transfirió el soporte de secado con el filtro al desecador y llevar a masa constante. Se registró como m_7 .

6) Determinación del índice volumétrico de lodos (IVL)

- a) Se dejó la suspensión en un depósito en condiciones de mezcla uniforme. Se ajustó la temperatura de suspensión a la del lavabo desde que se recogió a la temperatura de evaluación requerida. Se registró la temperatura.
- b) Se retiró una muestra bien mezclada del depósito y se midió la concentración de sólidos en suspensión.
- c) Se activó el mecanismo de agitación. Se llenó el recipiente de decantación a una altura fija bombeando la suspensión desde el depósito o por gravedad. Se llenó a una tasa suficiente para mantener una concentración uniforme de sólidos en suspensión en todo el recipiente de sedimentación al final del llenado.

*Nota: La suspensión debe aglomerarse (es decir, formar una estructura gruesa con canales de fluido visibles) en unos pocos minutos. Si la suspensión no se aglomera, no es válido y debe repetirse.

- d) Se registró la altura de la interfaz sólido-líquido a intervalos de aproximadamente 1 minuto.

- e) Se recopiló los datos durante el tiempo suficiente para asegurar que la suspensión se mantuviera a una velocidad constante de asentamiento de la zona y que cualquier período de re-floculación, caracterizado por una aceleración interfacial velocidad de asentamiento, se ha superado.

5. Determinación de fósforo, reactivo

- a. Se inició el programa 490 P React. para obtener información sobre cubetas de muestra, adaptadores o protectores de luz.
- b. Se preparó la muestra: llene una cubeta de muestra con 10 mL de muestra
- c. Se agregó el contenido de una almohadilla en polvo de reactivo de fosfato PhosVer 3 a la celda. Se desarrolló un color azul que mostró presencia de fósforo en la muestra.
- d. Se cerró inmediatamente la cubeta de muestra. Se agitó vigorosamente durante 20 a 30 segundos.
- e. Se encendió el temporizador del instrumento. Comenzó un tiempo de reacción de 2 minutos.

*Nota: Si la muestra se digirió mediante la digestión con persulfato ácido, es necesario un período de reacción de 10 minutos.

- f. Se preparó el blanco: se llenó una segunda cubeta de muestra con 10 mL de muestra.
- g. Al terminar el temporizador, se limpió la celda de muestra en blanco.
- h. Se insertó el blanco en el porta-celdas.
- i. Se presionó CERO. La pantalla mostró 0.00 mg / L PO₄ 3⁻.
- j. Se limpió la cubeta de muestra preparada.
- k. Se insertó la muestra preparada en el porta-celdas.
- l. Se presionó LEER. Los resultados se muestran en mg / L PO₄ 3⁻

6. Determinación de nitrógeno total

- a. Se encendió el reactor DRB 200. Se calentó a 103-106 ° C (la temperatura óptima es 105 ° C).

*Nota: Para una prueba de precisión, se ejecutó un estándar de NH₃-N de 20 mg / L mediante digestión y análisis.

- b. Con un embudo, se agregó el contenido de una almohadilla en polvo de reactivo de persulfato de nitrógeno total a cada uno de los dos viales de reactivo de hidróxido de nitrógeno total.

*Nota: Se limpió cualquier reactivo que pueda entrar en la tapa o en las roscas del tubo. Nota: Un blanco de reactivo es suficiente para cada conjunto de muestras.

c. Se agregó 2 mL de muestra a un vial. Se agregó 2 mL de agua libre de orgánicos a otro vial (el blanco de reactivo). Se tapó ambos viales y se agitó vigorosamente (aproximadamente 30 segundos). Se colocó los viales en el Reactor. Se calentó durante 30 minutos.

d. Utilizando protectores de dedos o guantes, se retiró los viales calientes del reactor y se dejó enfriar a temperatura ambiente.

*Nota: Es muy importante retirar los viales del Reactor después de exactamente 30 minutos.

e. Se ingresó el número de programa almacenado para Test 'N Tube Total Nitrogen. Se presionó: PRGM Y la pantalla mostró: ¿PRGM?

f. Se presionó: 58 ENTER Y la pantalla mostró mg / L, N y el icono ZERO.

*Nota: Para formas alternativas (NH₃, NO₃), presione la tecla CONC

g. Se retiró las tapas de los viales digeridos y se agregó el contenido de una almohadilla en polvo de reactivo A TN a cada vial. Se tapó los viales y agite durante 15 segundos. Y se presionó: TIMER ENTER después de agitar. Luego comenzó un período de reacción de tres minutos.

h. Después de que sonó el temporizador, se retiró las tapas de los viales y agregó una almohadilla de polvo de reactivo B TN a cada vial. Se tapó los viales y agite durante 15 segundos. La pantalla mostró: 02:00 Temporizador 2. Se presionó ENTER después de agitar. Comenzó un período de reacción de dos minutos.

*Nota: El reactivo no se disolverá por completo. La solución comenzará a ponerse amarilla.

i. Después de que sonó el temporizador, se retiró las tapas de dos viales de reactivo C TN. Se agregó 2 mL de muestra tratada digerida a un vial. Se añadió 2 ml del blanco de reactivo tratado y digerido, al segundo vial de reactivo C TN.

j. Se tapó e invirtió 10 veces para mezclar. Se utilizó inversiones lentas y deliberadas para una recuperación completa.

*Nota: Siga estas instrucciones para invertir o pueden producirse resultados bajos. Mantenga el vial en posición vertical con la tapa hacia arriba. Invierta el vial y espere a que toda la solución fluya hacia el extremo de la tapa. Pausa. Vuelva a colocar el vial en posición vertical y espere a que toda la solución fluya al fondo del vial. Esta es una inversión (10 inversiones = 30 segundos).

k. La pantalla mostró: 05:00 Temporizador 3 Se presionó: ENTER Comenzó un período de reacción de cinco minutos.

*Nota: el color amarillo se intensificará.

l. Durante el período de reacción, se insertó el adaptador COD / TNT en la porta celdas girando el adaptador hasta que encaje en su lugar. Luego se presionó hacia abajo para insertarlo completamente.

*Nota: Para un mayor rendimiento, una banda difusora cubre los orificios de la trayectoria de la luz en el adaptador. No retire la banda difusora.

m. Después de que sonó el temporizador, se limpió el vial de reactivo TN C que contiene el blanco de reactivo. Se colocó el vial en el adaptador. Se presionó hacia abajo en la parte superior del vial hasta que se asentó sólidamente en el adaptador.

*Nota: No mueva el vial de un lado a otro, ya que esto puede provocar errores.

n. Se cubrió bien el vial con la tapa del instrumento. Se presionó: CERO el cursor se movió hacia la derecha, luego la pantalla mostró: 0.0 mg / L N

*Nota: Limpiar con una toalla húmeda, seguido de una seca, eliminará las huellas dactilares u otras marcas.

*Nota: El blanco de reactivo es estable cuando se almacena en la oscuridad; consulte Blancos para medición colorimétrica siguiendo estos pasos.

o. Se limpió el vial de reactivo TN C que contiene la muestra y se colocó en el adaptador. Se cubrió bien el vial con la tapa del instrumento.

*Nota: Se pueden leer varias muestras después de poner a cero en un blanco de reactivo.

p. Se presionó: READ el cursor se movió hacia la derecha, luego se mostró el resultado en mg / L de nitrógeno (N).

*Nota: El ajuste estándar se puede realizar utilizando un estándar preparado (consulte Ajuste estándar en la Sección 1).

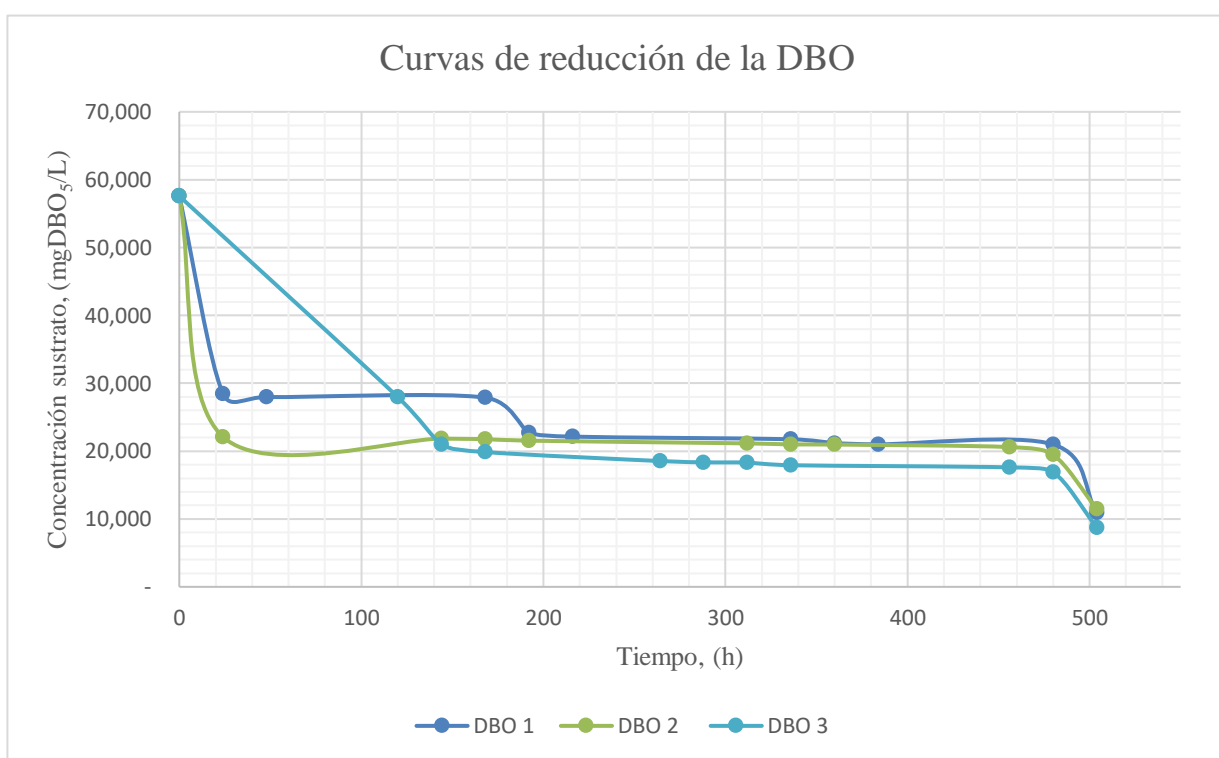
*Nota: Si en el display parpadea "límite", diluir la muestra y repetir la digestión y el acabado colorimétrico. La digestión debe repetirse para obtener resultados precisos; diluir y repetir el acabado de color no produce resultados completos. Multiplique el resultado por el factor de dilución.

VII. RESULTADOS

A. Evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO)

1. Concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en el tiempo

Figura 7. 1 Comparación de la curva característica de la evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en el tiempo entre los tres lotes, en el reactor aeróbico de lodos activados.



Fuente: Propia

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³. *Ver las Figuras 14.45, 14.46 y 14.47 de cada uno de los lotes respectivamente. Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo.

2. Porcentaje de remoción de la demanda biológica de oxígeno

Cuadro 7. 1 Porcentaje de remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR)

Lote	Rendimiento	±% mgDBOi / mgDBOo
1	47.9	7,09*10 ⁻⁴
2	45.3	6,69*10 ⁻⁴
3	58.3	6.80*10 ⁻⁴

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

*En general, se alcanza a verificar la degradación del sustrato desde el inicio hasta el final. Ver Apéndice B2 parámetros de diseño, cálculo de muestra 1.4 y análisis de error B3.

*El rendimiento se presenta en masa/volumen (mg/L)

B. Condiciones de operación del sistema

Se realizó la experimentación en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, durante cuatro meses consecutivos. Bajo las condiciones explicadas en el siguiente Cuadro:

Cuadro 7. 2 Condiciones técnicas de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales dentro del laboratorio de operaciones unitarias

Datos técnicos	Especificaciones
Lugar	Dentro del laboratorio de Operaciones Unitarias
Condiciones ambientales	Altitud máxima: 2000 m
	Presión: 986 -988 (±0.75 mbar)
	Temperatura: 27.0 – 22.5 (±0.01°C)
	Humedad relativa máxima: 80%
Requisitos de seguridad	Sobre carga: Categoría 2
	Contaminación: Grado 2
Suministro eléctrico	Voltaje: 220V de corriente alterna
	Frecuencia: 60 Hz
	Amperaje: 16 amperios
Suministro de aire comprimido	Rango de presión: 0.7 – 1.0 MPa (7 – 10 bar)
Filtro regulador principal de aire	Presión: 0.6 MPa (6 bar)
Filtro regulador de válvula de control	Presión: 0.3 MPa (3 bar)

*Las dimensiones del reactor se pueden observar detalladamente, Metodología C1 Materiales, se indica en el Cuadro 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 y Figura 6.1, 6.2, 6.3.

*Se puede verificar en Metodología C5 el procedimiento de arranque de la planta de tratamiento de aguas residuales.

*Estas condiciones ambientales fueron obtenidas gracias al registro diario que lleva esta institución sobre el pronóstico diario que hace el INSIVUMEH ((Herrera, 2020).

*Tesis de Alejandro Gracias, sobre las especificaciones de planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala (Gracias, 2018)

Cuadro 7. 3 Condiciones de operación del sistema de aguas residuales por lotes de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales dentro del laboratorio de operaciones unitarias

Datos técnicos	Especificaciones
Oxígeno Disuelto (OD)	OD = $2.00 \pm 0.01 \text{ mgO}_2/\text{L}$
Caudal de aire oxígeno (Q_{aire})	$Q_{\text{aire}} = 0.002938 \pm 5.4 * 10^{-4} \text{ kgO}_2/\text{h}$
Temperatura	T = $25.2 \pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$
pH	pH = 6.8 ± 0.01
Caudal de alimentación (Q_F)	$1.811 * 10^{-7} \pm 3.332 * 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$
Tiempo de retención (t)	21 días
Volumen (V)	$0.329 \pm 6.04 * 10^{-5} \text{ m}^3$
Potencia de agitación (turbina de 4 palas inclinadas a 45°)	$0.0348 \pm 4.62 * 10^{-4} \text{ kW}$
Velocidad de agitación	$58.43 \pm 0.02887 \text{ rpm}$
Potencia del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro	$0.004305 \pm 1.49 * 10^{-4} \text{ HP}$
Profundidad del aireador	$0.79 \pm 0.01 \text{ m}$
Carga contaminante	$5.6979 * 10^{-4} \pm 2.390 * 10^{-6} \text{ kgDBO}/\text{d}$

*En la Figura 14.50 y Cuadro 14.27 (ver Anexo E3 Balance de materia) se puede observar con mayor detenimiento las variables de operación que influyen dentro del reactor junto con los datos originales y asumidos para elaborar el balance de masa.

*Con el balance de masa (ver Anexo F), se obtuvo el caudal de oxígeno (Q_{aire}), caudal de la alimentación (Q_F), potencia de agitación, carga contaminante y potencia del difusor.

*En el Cuadro 13.26 -13.30 se muestra los cálculos de muestra de los diferentes lotes. Junto con su diagrama convencional del proceso Figura 13.42

C. Monitoreo del oxígeno disuelto

1. Monitoreo del oxígeno disuelto (OD)

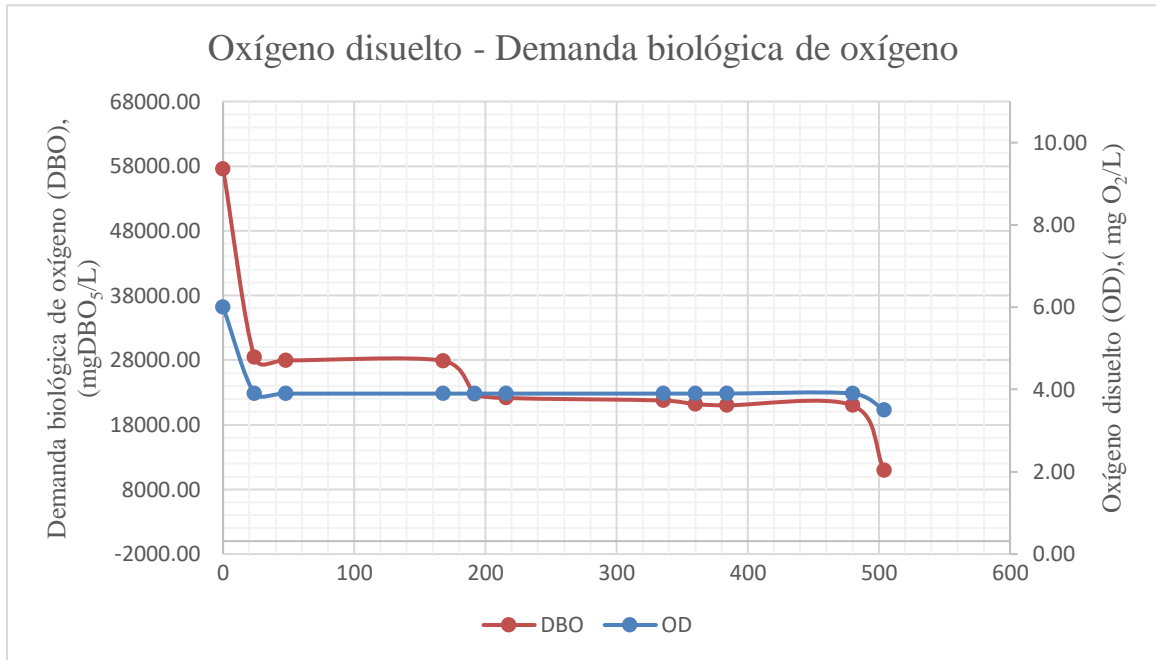
Cuadro 7.4 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

Tiempo retención	0	5	10	15	20
	min	min	min	min	min
Tiempo Muestra	Oxígeno disuelto				
h	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L
0	6,00	4,50	4,10	3,50	1,50
24	3,90	3,40	2,80	2,50	1,40
48	3,90	3,40	2,70	2,40	1,50
168	3,90	3,40	2,60	2,30	1,60
192	3,90	3,30	2,50	2,20	1,80
216	3,90	3,25	2,50	2,00	1,90
336	3,90	3,15	2,50	2,00	1,90
360	3,90	3,15	2,50	2,00	1,90
384	3,90	3,15	2,50	2,00	1,90
480	3,90	3,05	2,50	2,00	1,90
504	3,50	3,15	2,50	2,00	2,05

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

*Ver procedimiento de cálculos realizados en Apéndice B, 2 Cálculos de muestra 4.1 y 3 Análisis de error, Cálculo 4.2

Figura 7. 2 Relación de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y del oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) comparación del lote 1.



Fuente: Propia

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

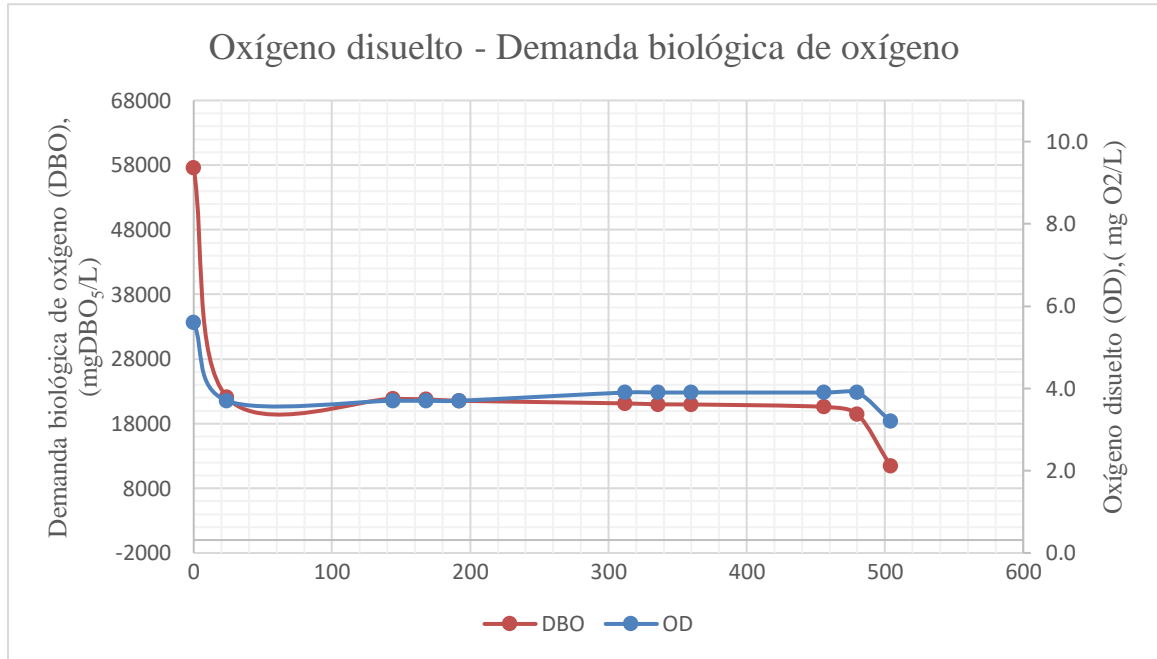
Cuadro 7. 5 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

Tiempo retención	0	5	10	15	20
	min	min	min	min	min
Tiempo Muestra	Oxígeno disuelto				
h	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L
0	5,6	4,5	3,6	1,5	1,1
24	3,7	3,3	2,3	2,2	1,4
144	3,7	3,3	2,35	2,25	1,4
168	3,7	3,3	2,35	2,25	1,4
192	3,7	3,3	2,35	2,35	1,4
312	3,9	3,5	2,8	2,4	1,8
336	3,9	3,5	2,75	2,45	1,75
360	3,9	3,5	2,8	2,5	1,8
456	3,9	3,5	2,8	2,5	1,9
480	3,9	3,5	2,8	2,5	1,9
504	3,2	2,4	2,2	1,5	1,6

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

*Ver procedimiento de cálculos realizados en Apéndice B, 2 Cálculos de muestra 4.1 y 3 Análisis de error, Cálculo 4.2

Figura 7. 3 Relación de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y del oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) comparación del lote 2.



Fuente: Propia

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 7. 6 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

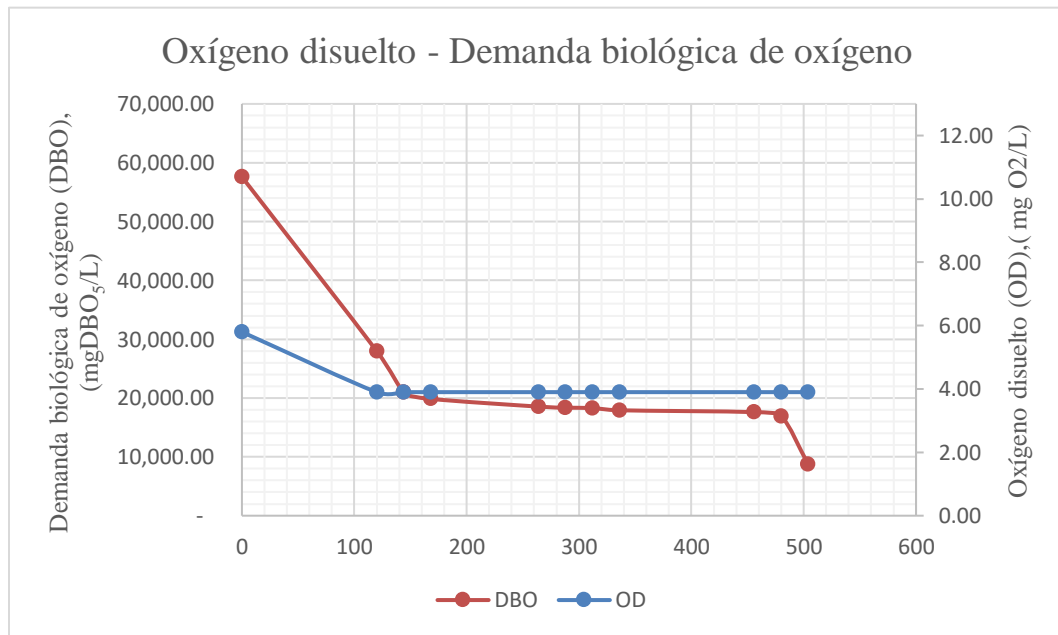
Tiempo retención	0	5	10	15	20
	min	min	min	min	min
Tiempo Muestra	Oxígeno disuelto				
h	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L
0	5,80	5,00	3,90	2,10	1,25
120	3,90	3,50	2,70	2,10	1,10

Cuadro 7.7 * Continuación, Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

Tiempo retención	0	5	10	15	20
	min	min	min	min	min
Tiempo Muestra	Oxígeno disuelto				
h	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L
144	3,90	3,50	2,80	2,50	1,40
168	3,90	3,50	2,80	2,50	1,45
264	3,90	3,50	2,80	2,60	1,50
288	3,90	3,50	2,80	2,60	1,50
312	3,90	3,50	2,80	2,60	1,50
336	3,90	3,50	2,80	2,55	1,55
456	3,90	3,50	2,80	2,55	1,55
480	3,90	3,50	2,80	2,50	1,60
504	3,90	3,50	2,80	2,50	1,90

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Figura 7.4 Relación de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y del oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) comparación del lote 3.



Fuente: Propia

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

D. Caracterización de afluente y efluente

1. Caracterización del afluente

Cuadro 7. 8 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos del afluente emulado de melaza y agua (5%p/v), para los tres lotes.

Ensayo	Unidad de medición	Resultados	Métodos	±
Temperatura	°C	25.8	SMEWW 2550	0.1
Potencial de hidrógeno, pH	min - máx.	5.52 – 6.68	SMEWW 4500 PH	0.01
Sólidos Suspendidos (MLSS)	mgMLSS/L	4,668.43	SMEWW 2540 D	10
Sólidos Sedimentables	mm/L	5.00	SMEWW 2540 F	10
Demanda de química de oxígeno (DQO)	mg DQO /L	26,400.00	SMEWW 5220 D SQM 114690 91	25
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	mg DBO5/L	20,980.00	SMEWW 5210 D	5

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill.

*Nota: La concentración de melaza inicial de 5.00%P/V, con pH inicial de 6.5 y viscosidad inicial de 0.014 ± 0.02 Pa*s.

*Donde el índice de biodegradabilidad, según Symons (Symons, 1960), es la relación DBO5/DQO de las aguas residuales debería ser > 0.6, por lo que este se encuentra por encima 0.795 esto indica que se van a tratar fácilmente mediante tratamiento biológico y 0.4 es el valor mínimo para el tratamiento biológico.

2. Caracterización del efluente

Cuadro 7. 9 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

Ensayo	Unidad	Resultados											Métodos	±
		0h	24h	48h	168h	192h	216h	336h	360h	384h	480h	504h		
Temperatura	°C	25.8	25.4	25.7	25.8	24.8	25.8	24.9	25.2	25.8	25.3	25.0	SMEWW 2550	0.1
Potencial de hidrógeno (pH)	min - máx.	5.70 – 6.80	5.52 – 6.81	5.50 – 6.82	5.55 – 6.83	5.58 – 6.84	5.59 – 6.85	5.50 – 6.86	5.50 – 6.87	5.70 – 6.88	5.53 – 6.89	5.54 – 6.90	SMEWW 4500 PH	0.01
Sólidos Suspendidos (MLSS)	mgMLSS/L	4,668.43	5,157.00	5,149.00	5,328.65	5,804.00	6,015.43	6,196.65	6,552.00	7,089.00	7,179.00	7,284.00	SMEWW 2540 D	10
Sólidos Sedimentables	mm/L	5.00	17.00	34.00	150.00	211.00	220.00	240.00	410.00	440.00	475.00	529.00	SMEWW 2540 F	10
Demanda de química de oxígeno (DQO)	mgDQO/L	75,200.00	35,980.00	35,700.00	35,640.00	28,500.00	28,420.00	27,600.00	26,680.00	26,500.00	26,400.00	14,420.00	SMEWW 5220 D SQM 114690 91	25
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	mgDBO ₅ /L	57,581.00	28,464.00	27,970.00	27,884.00	22,750.00	22,136.00	21,750.00	21,180.00	20,998.00	20,980.00	10,936.00	SMEWW 5210 D	5

*La velocidad de utilización de oxígeno se puede observar en Anexos D1, D2 y D3 procedimiento detallado del análisis de error junto con los datos originales y datos calculados.

*Las pruebas SS, MLVSS, ST, SST, DQO y DBO se realizaron en un laboratorio externo (LABIND) y sus resultados se pueden verificar en Anexos F

*La caracterización completa se puede observar en Apéndice B1

*Los lotes 1, 2 y 3 se hicieron con el objetivo de obtener un resultado de análisis estadístico el cual no se logró hacer ver discusión

*La muestra extraída de la alimentación del afluente o de los depósitos de agua residual cruda su caracterización se realizó una sola vez por cada lote

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill.

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹ m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 7. 10 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

Ensayo	Unidad	Resultados											Métodos	±
		0h	24h	144h	168h	192h	312h	336h	360h	456h	480h	504h		
Temperatura	°C	25.8	25.4	25.7	25.8	24.8	25.8	24.9	25.2	25.8	25.3	25.0	SMEWW 2550	0.1
Potencial de hidrógeno, pH	min - máx.	5.70 – 6.80	5.52 – 6.81	5.50 – 6.82	5.55 – 6.83	5.58 – 6.84	5.59 – 6.85	5.50 – 6.86	5.50 – 6.87	5.70 – 6.88	5.53 – 6.89	5.54 – 6.90	SMEWW 4500 PH	0.01
Sólidos Suspendidos, MLSS	mgMLSS/L	4,539.00	4,554.85	4,649.94	4,668.43	4,690.00	5,157.00	5,551.57	5,889.78	7,062.33	7,457.71	7,919.00	SMEWW 2540 D	10
Sólidos Sedimentables	mm/L	5.00	17.00	34.00	95.00	141.00	162.00	261.00	279.00	420.00	468.00	529.00	SMEWW 2540 F	10
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	mgDBO ₅ /L	57,581.00	22,110.00	21,840.00	21,763.00	21,540.00	21,140.00	20,980.00	20,970.00	20,596.00	19,461.00	11,478.00	SMEWW 5210 D	5
Demanda química de oxígeno (DQO)	mgDQO/L	75,200.00	27,580.00	27,540.00	27,540.00	27,380.00	26,700.00	26,600.00	26,600.00	26,400.00	26,000.00	14,460.00	SMEWW 5220 D SQM 114690 91	25

*La velocidad de utilización de oxígeno se puede observar en Anexos D1, D2 y D3 procedimiento detallado del análisis de error junto con los datos originales y datos calculados.

*Las pruebas SS, MLVSS, ST, SST, DQO y DBO se realizaron en un laboratorio externo (LABIND) y sus resultados se pueden verificar en Anexos F

*La caracterización completa se puede observar en Apéndice B1

*Los lotes 1, 2 y 3 se hicieron con el objetivo de obtener un resultado de análisis estadístico el cual no se logró hacer ver discusión

*La muestra extraída de la alimentación del afluente o de los depósitos de agua residual cruda su caracterización se realizó una sola vez por cada lote

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill.

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 7. 11 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

Ensayo	Unidad de medición	Resultados											Métodos	±
		0h	120h	144h	168h	264h	288h	312h	336h	456h	480h	504h		
Temperatura	°C	25.8	25.4	25.7	25.8	24.8	25.8	24.9	25.2	25.8	25.3	25.0	SMEWW 2550	0.1
Potencial de hidrógeno, pH	min - máx.	5.70 – 6.80	5.52 – 6.81	5.50 – 6.82	5.55 – 6.83	5.58 – 6.84	5.59 – 6.85	5.50 – 6.86	5.50 – 6.87	5.70 – 6.88	5.53 – 6.89	5.54 – 6.90	SMEWW 4500 PH	0.01
Sólidos Suspendidos, MLSS	mgMLSS/L	4,484.34	4,505.04	4,523.15	4,649.94	4,668.43	4,687.43	5,005.50	5,157.00	5,323.43	6,322.00	7,284.00	SMEWW 2540 D	10
Sólidos Sedimentables	mm/L	5.00	17.00	34.00	95.00	150.00	162.00	220.00	240.00	295.00	468.00	529.00	SMEWW 2540 F	10
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	mgDBO ₅ /L	57,581.00	27,970.00	20,980.00	19,865.00	18,540.00	18,350.00	18,301.00	17,920.00	17,603.00	16,901.00	8,740.00	SMEWW 5210 D	5
Demanda de química de oxígeno (DQO)	mg DQO /L	75,200.00	35,700.00	26,400.00	25,720.00	23,640.00	23,600.00	23,400.00	22,800.00	22,740.00	22,200.00	12,480.00	SMEWW 5220 D SQM 114690 91	25

*La velocidad de utilización de oxígeno se puede observar en Anexos D1, D2 y D3 procedimiento detallado del análisis de error junto con los datos originales y datos calculados.

*Las pruebas SS, MLVSS, ST, SST, DQO y DBO se realizaron en un laboratorio externo (LABIND) y sus resultados se pueden verificar en Anexos F

*La caracterización completa se puede observar en Apéndice B1

*Los lotes 1, 2 y 3 se hicieron con el objetivo de obtener un resultado de análisis estadístico el cual no se logró hacer ver discusión

*La muestra extraída de la alimentación del afluente o de los depósitos de agua residual cruda su caracterización se realizó una sola vez por cada lote

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill.

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la etapa de investigación se estudió el tratamiento biológico aerobio de biomasa en suspensión por lodos activados para evaluar el proceso biológico de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias, así como la identificación de sus componentes, los requerimientos y procedimiento de activación de lodos para el arranque de la planta.

Al evaluar la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) dentro del reactor aeróbico de lodos activados del laboratorio de operaciones unitarias, se realizó una comparación entre los tres lotes experimentales como se muestra en la Figura 7.1 durante el tiempo de operación. Tomando en cuenta que la carga orgánica en el afluente del reactor anaeróbico de lodos activados se mantiene constante al igual que el caudal. Se puede observar al inicio que no tardó mucho en disminuir dicha demanda biológica en tan solo 24 horas se dio la disminución en un 30% únicamente para el lote 1 y 2; para el lote 3 paso 120 horas para que lograra disminuir el mismo porcentaje de los anteriores.

El estado estacionario de las etapas experimentales de los tres lotes se alcanzó a partir de las horas 24 y 192 de operación, respectivamente. El reactor aeróbico de lodos activados tardó 168 horas en alcanzar el estado estacionario en ambas etapas experimentales debido a alta concentración inicial de SSV en su interior. En estado estacionario, el porcentaje de remoción de las etapas experimentales de lote 1 fue de $47.9 \pm 7.09 \cdot 10^{-4}\%$, del lote 2 fue de $45.3 \pm 6.69 \cdot 10^{-4}\%$ y del lote 3 fue de $58.3 \pm 6.80 \cdot 10^{-4}$ respectivamente. El porcentaje de remoción del presente trabajo posiblemente fue mayor porque se trató un solo tipo de agua residual emulada de la industria azucarera (melaza 5%P/V), a diferencia de los autores mencionados, quienes usaron una mezcla de diferentes tipos de aguas residuales.

Trabajar con un solo tipo de agua residual emulada a la industria azucarera, evitó posibles variaciones en la calidad del agua, la cual puede influir en el tratamiento aerobio. Además, el lodo aerobio estaba adaptado previamente al mismo tipo de agua residual emulada, es decir se hizo un arranque previo para poder hacer el proceso de adaptación a la temperatura ambiente; favoreciendo el porcentaje de remoción de la DBO.

Evaluando la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y comparándola con los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (MLVSS) como se observa en las Figuras 13.43, 13.44 y 13.45 nos muestran las curvas típicas de sustrato soluble DBO y MLVSS. Con una concentración inicial de $115,162 \pm 5 \text{ mg DBO/L}$. Y al final de 21 días se obtuvo: $21,872 \pm 5 \text{ mg DBO/L}$ del lote 1, $22,956.00 \pm 5 \text{ mg DBO/L}$ del lote 2, $17,480.00 \pm 5 \text{ mg DBO/L}$ del lote 3. Estas figuras nos muestran que al mismo tiempo que se reduce la DBO hay un incremento de los MLVSS y cuando estas dos curvas se cruzan es cuando las dos llegan a una concentración debida donde la DBO iguala la concentración de los MLVSS en el tiempo.

En estas figuras se demuestra cómo fue que la disminución de la DBO fue en pocos días. Esto se logró gracias a la aclimatación del sistema previo a realizar la experimentación. Luego de los 21 días de experimentación de cada lote se observa como el crecimiento de los MLVSS se genera mientras que la concentración de la DBO se mantiene constante, por lo que se pudo haber alargado el tiempo de experimentación para lograr ver el efecto de la oxidación de la DBO ya que esta se mantiene lineal. Para cada lote se puede ver una caída al final de las 480 horas de un 5% de su reducción lo que se entiende que este crecimiento de los MLVSS al final de cada lote logró su objetivo en la disminución de la demanda biológica de oxígeno.

Se logró observar el funcionamiento de los MLVSS, ya que cada vez que hay una disminución en la DBO, esto incrementan. Es por ello por lo que estas dos curvas se comparan por el trabajo que tiene el microorganismo debido su metabolismo celular. Esta parte es específica al consumo de sustrato después de haber sido consumido como alimento por los microorganismos y se utiliza para sintetizar nuevas células de microorganismo lo que conduce un aumento de biomasa (fase de síntesis). Por lo que se puede dar por hecho que se obtuvo un proceso de lodos activados de carga elevada, porque aún hay crecimiento de ellos MLVSS y reducción en la carga orgánica. Esta reducción puede ser evaluada por medio de una razón, es por ello por lo que se especifica de la mejor forma en las Figuras 13.49, 13.50, 13.51 y 13.52. Estas representan una aproximación a la tasa de reducción de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) junto al crecimiento de la biomasa (MLVSS).

Para determinar la evaluación de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en la planta de tratamiento, fue necesario calibrar y efectuar pruebas previas con agua potable. Después de finalizar la fase de calibración se evaluó el agua residual procedente del digestor anaerobio de una industria privada, compuesta principalmente de excremento animal 24% (aproximadamente $0.066 \pm 0.0605 \text{ m}^3$ filtrado y retenido $0.55 \pm 0.01 \text{ kg}$) del volumen dentro del reactor y el resto 76% (aproximadamente

$0.207 \pm 0.0605 \text{ m}^3$) compuesto de una concentración de melaza y agua (5% p/V). Respecto a los requerimientos para el arranque de la planta y activación de lodos. El agua residual reportó: viscosidad de $0.014 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, concentración de sólidos totales de $24,116.00 \pm 0.05 \text{ mgST/L}$, Demanda Química de Oxígeno (DQO) de $90,133.00 \pm 25 \text{ mgDQO/L}$, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de $52,100.00 \pm 5 \text{ mgDBO}_5/\text{L}$, pH de 6.5, (Ver Cuadro 7.2 y 7.3 Resultados B). Es decir que en la entrada del reactor se tiene una carga contaminante por día de $5.6979 \cdot 10^{-4} \pm 2.390 \cdot 10^{-6} \text{ kgDBO/d}$ (Ver Cuadro 7.2 Resultados B). Esto nos establece condiciones a tomar en cuenta porque se trabaja con un afluente contaminado y que cada día se ingresa al reactor una carga contaminante diferente a un volumen constante.

De lo anterior en el reactor de lodos activados que se mantiene dentro del laboratorio de operaciones unitarias, la humedad y la temperatura juegan un rol importante dentro del espacio tal que pueden volatilizarse las partículas de las aguas residuales y evaporarse dentro del laboratorio (índice de evo transpiración). Esto no solo se debe a las condiciones ambientales, sino que es forzado por la aireación y la mezcla total que intervienen en el proceso para poder mantener los flóculos suspendidos y no permitir la sedimentación dentro del mismo. Lo que el nivel del agua puede disminuir lo que afectaría a dicho proceso aumentando la concentración y llevando el proceso a una respiración endógena ya que, la carga orgánica que permanece dentro del reactor aumenta y el tiempo de retención hidráulico aumenta.

Por lo que, se estableció una velocidad de agitación de $58.43 \pm 0.02887 \text{ rpm}$ y una potencia del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro de $0.004305 \pm 1.49 \cdot 10^{-4} \text{ HP}$ y una retención hidráulica de 21 días. Además, se establece un caudal constante de $1.811 \cdot 10^{-7} \pm 3.332 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$ y el volumen del reactor de $0.329 \pm 6.04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$, que se tiene que mantener dentro del reactor para ingresar agua residual nueva dentro del equipo y no incurrir a cambios para no tener pérdidas de masa de agua residual dentro del equipo.

La temperatura dentro del reactor tendió a mantenerse entre $24.9 \pm 0.1^\circ\text{C}$ y $27.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$, siendo una constante, que obtiene velocidades de reacción óptima (la velocidad de las reacciones catalizadas enzimáticamente y la velocidad de difusión del sustrato a las células) logrando un tratamiento estable. Sin embargo, pudo observarse que hubo un incremento promedio de la misma de $2.9 \pm 0.1^\circ\text{C}$ entre el inicio y final de cada lote de experimentación. Dicho incremento en la temperatura del licor mezclado se debe a un aumento de la actividad biológica como consecuencia del consumo del sustrato durante la fase de síntesis del sustrato. Por otro lado, la temperatura del afluente tendió a mantenerse en $24.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$, mientras que la temperatura del efluente oscilo entre

24.9±0.1°C, ver Cuadro 7.8 para el afluente y el Cuadro 7.9, 7.10 y 7.11 para el efluente del lote 1, 2 y 3 respectivamente.

El pH promedio del afluente fue de 5.53±0.01 mínimo y 6.68±0.01 la máxima lo cual indica que es ligeramente ácido. Esto nos indica que el tratamiento aerobio se mantuvo estable, lo cual se debió a que la alcalinidad fue suficiente para amortiguar los cambios de pH causados por el tratamiento biológico. Por lo tanto, el monitoreo del pH permitió evitar la acidificación del reactor. Sin embargo, una vez el afluente entraba al sistema, el líquido de la mezcla y del efluente tomaban valores de pH neutros comprendidos entre 5.54±0.01 como la mínima y 6.90±0.01 la máxima respectivamente, ver Cuadro 7.8 para el afluente y el Cuadro 7.9, 7.10 y 7.11 para el efluente del lote 1, 2 y 3 respectivamente.

Como se puede observar en el Cuadro 7.4, 7.5 y 7.6 del lote 1, 2 y 3 respectivamente, el oxígeno disuelto dentro del reactor no presentó variaciones significativas después del primer día de experimentación, se mantuvo entre 5.90±0.01 mgO₂/L y 3.50±0.01 mgO₂/L durante las tres semanas de operación del sistema. Por otro lado, se pudo observar que la concentración de oxígeno disuelto en el efluente fue prácticamente nula. Dichas condiciones anóxicas del efluente se dan como consecuencia de la interrupción de inyección de oxígeno en la zona de sedimentación. Sin embargo, también hay que tener en cuenta que los microorganismos presentes en el sedimentador consumen oxígeno disuelto “residual” para poder continuar con sus funciones vitales.

El comportamiento de estos tres parámetros a lo largo de la evaluación indica una buena condición para la formación y desarrollo de los microorganismos.

Se determinaron las condiciones estándar de la planta de tratamientos aeróbico de lodos activados del laboratorio de operaciones unitarias, del efluente simulado de agua melaza concentración de 5%P/V de la industria azucarera, este se representa en el Cuadro 7.3. Estas condiciones son de utilidad porque se podrían usar como estándar para nuevos estudios en el momento de arranque la planta de lodos activados y no demorar esta parte crucial por la investigación de datos iniciales, mientras que con estos Cuadros se puede tomar como partida inicial.

Según los cuadros 7.4, 7.5, 7.6 y 7.7 (ver Resultados B monitoreo del oxígeno disuelto) nos muestran como las concentraciones van en su disminución. Es decir, se comenzó con una concentración de 6.00±0.01 mgO₂/L del lote 1, 5.60±0.01 mgO₂/L de lote 2, 5.80±0.01 mgO₂/L del lote 3. Y finalizó con una concentración de 3.50±0.01 mgO₂/L del lote 1, 3.20±0.01 mgO₂/L del lote

2, 3.90 ± 0.01 mgO₂/L del lote 3. Lo que nos muestra los Cuadros 7.4, 7.5 y 7.6 del lote 1, 2 y 3 respectivamente, el oxígeno disuelto al inicio se mantuvo a concentraciones altas y luego promedio en una fluctuación por encima de 3 mg/L, por lo que después de las 24 horas fue estable a través del tiempo para los tres lotes.

Esto garantiza que cada uno de los lotes contará con la cantidad de oxígeno suficiente para que se llevarán a cabo los procesos de biodegradación del efluente emulado de la industria azucarera. Luego se puede observar dentro de los mismos Cuadros 7.4, 7.5 y 7.6 del lote 1, 2 y 3 respectivamente, al mismo tiempo que se tomó la muestra dentro del reactor este fue extraído para revisar el consumo de oxígeno que los microorganismos realizaron durante la experimentación. Luego de 20 minutos de retención, se logra observar que hay una disminución de oxígeno disuelto y una mejora en la calidad del agua residual; pudiendo ser que los microorganismos utilicen menos oxígeno disuelto para realizar sus funciones metabólicas.

En las figuras 7.3, 7.4 y 7.5 se muestra la relación que tiene la demanda biológica de oxígeno (DBO) con el oxígeno disuelto (OD) Los valores de OD y DBO fluctúan de un día a otro. La puntuación más alta de OD fue de 6.00 ± 0.01 mgO₂/L al inicio y la más baja fue 3.50 ± 0.01 mgO₂/L luego de las 504 horas, del lote 1. El valor más bajo de DBO ocurrió luego de las 504 horas de $10,936.00 \pm 5$ mg DBO5/L y el más alto de DBO al inicio de $57,581.00 \pm 5$ mg DBO5/L del lote 1, de la Figura 7.3. La puntuación más alta de OD fue de 5.60 ± 0.01 mgO₂/L al inicio y la más baja fue 3.20 ± 0.01 mgO₂/L luego de las 504 horas, del lote 2. El valor más bajo de DBO ocurrió luego de las 504 horas de $11,478.00 \pm 5$ mg DBO5/L y el más alto de DBO al inicio de $57,581.00 \pm 5$ mg DBO5/L de lote 2, de la Figura 7.4. La puntuación más alta de OD fue de 5.80 ± 0.01 mgO₂/L al inicio y la más baja fue 3.90 ± 0.01 mgO₂/L luego de las 504 horas, del lote 3. El valor más bajo de DBO ocurrió luego de las 504 horas de $8,740.00 \pm 5$ mg DBO5/L y el más alto de DBO al inicio de $57,581.00 \pm 5$ mg DBO5/L de lote 3, de la Figura 7.5.

De lo anterior se observa que existe una correlación entre la demanda biológica y el oxígeno disuelto siendo esta, que al aumentar el oxígeno disuelto dentro del reactor la DBO disminuye; para los tres lotes.

En el Cuadro 7.9 puede observarse que durante el tiempo de experimentación de dos semanas de operación del sistema la DBO del efluente osciló entre $57,581.00 \pm 5$ mgDBO/L y $21,750.00 \pm 5$ mgDBO/L, alcanzando porcentaje de remoción de hasta el $62 \pm 7.09 \cdot 10^{-4}$ %. Sin embargo, se pudo observar que los valores de la DBO tendieron a estabilizarse entre $21,180 \pm 5$

mgDBO/L y $10,936.00 \pm 5$ mgDBO/L durante la tercera de operación del sistema, alcanzando eficiencias de remoción de hasta el $81 \pm 7.09 * 10^{-4} \%$. Porcentaje de remoción en general tomando en cuenta la concentración del efluente emulado de melaza y agua al 5%P/V inicial de $20,980.00 \pm 5$ mgDBO/L se obtiene un porcentaje de remoción de $48 \pm 7.09 * 10^{-4} \%$ para el lote 1.

En el Cuadro 7.10 puede observarse que durante el tiempo de experimentación de dos semanas de operación del sistema la DBO del efluente osciló entre $57,581.00 \pm 5$ mgDBO/L y $20,980.00 \pm 5$ mgDBO/L, alcanzando porcentaje de remoción de hasta el $64 \pm 6,69 * 10^{-4} \%$. Sin embargo, se pudo observar que los valores de la DBO tendieron a estabilizarse entre $20,970.00 \pm 5$ mgDBO/L y $11,478 \pm 5$ mgDBO/L durante la tercera de operación del sistema, alcanzando eficiencias de remoción de hasta el $80 \pm 6,69 * 10^{-4} \%$. Porcentaje de remoción en general tomando en cuenta la concentración del efluente emulado de melaza y agua al 5%P/V inicial de $20,980.00 \pm 5$ mgDBO/L se obtiene un porcentaje de remoción de $45 \pm 6,69 * 10^{-4} \%$ para el lote 2.

En el Cuadro 7.11 puede observarse que durante el tiempo de experimentación de dos semanas de operación del sistema la DBO del efluente osciló entre $57,581.00 \pm 5$ mgDBO/L y $17,920.00 \pm 5$ mgDBO/L, alcanzando porcentaje de remoción de hasta el $69 \pm 6,80 * 10^{-4} \%$. Sin embargo, se pudo observar que los valores de la DBO tendieron a estabilizarse entre $17,603 \pm 5$ mgDBO/L y $8,740 \pm 5$ mgDBO/L durante la tercera de operación del sistema, alcanzando eficiencias de remoción de hasta el $84 \pm 6,80 * 10^{-4} \%$. Porcentaje de remoción en general tomando en cuenta la concentración del efluente emulado de melaza y agua al 5%P/V inicial de $20,980.00 \pm 5$ mgDBO/L se obtiene un porcentaje de remoción de $58 \pm 6,80 * 10^{-4} \%$ para el lote 3.

El monitoreo del parámetro de la DBO mostró a lo largo del tiempo, como la operación que se realizó en el reactor para lograr una reducción de la carga contaminante.

En los Cuadros 7.9, 7.10 y 7.11 puede observarse que durante el tiempo de experimentación de dos semanas de operación del sistema la DQO del efluente osciló entre $75,200.00 \pm 25$ mgDQO/L y $27,600.00 \pm 25$ mgDQO/L, alcanzando porcentaje de remoción de hasta el 63%. Sin embargo, se pudo observar que los valores de la DQO tendieron a estabilizarse entre $26,680 \pm 25$ mgDQO/L y $14,420 \pm 25$ mgDQO/L durante la tercera de operación del sistema, alcanzando eficiencias de remoción de hasta el 80%. Porcentaje de remoción en general tomando en cuenta la concentración del efluente emulado de melaza y agua al 5%P/V inicial de $26,400.00 \pm 25$ mgDQO/L se obtiene un porcentaje de remoción de $45 \pm 6,69 * 10^{-4} \%$ para el lote 1, al igual que el lote 2 se obtuvo un porcentaje de remoción de $57 \pm 7,09 * 10^{-4} \%$ y $67 \pm 6,80 * 10^{-4} \%$ de porcentaje de remoción para el lote

3. Medir este parámetro dentro de la operación del reactor, determina si el mismo es apto para tratar, este tipo de afluente; basado en la relación DBO/DQO.

Es por esto, que se calculó el parámetro de diseño, que nos indica que tan biodegradable es hacerle un tratamiento como el de lodos activados, lo que nos muestra el Cuadro 7.3 condiciones de operación del afluente, con un $0.795 \pm 3.70 \cdot 10^{-4}$ DBO/DQO lo que se estableció que es un material biodegradable.

Por otro lado, en la Figura 2 se puede notar que a medida que el tiempo de retención hidráulico aumenta, aumenta la concentración de sólidos en el licor mezclado, siendo marcada la diferencia cuando pasa desde el inicio de la experimentación hasta llegar a 504 horas. El aumento en la concentración de SSVLM a medida que aumenta el tiempo de retención hidráulico se debe a que una vez los microorganismos han consumido la mayor parte del sustrato disponible, algunos se ven en la necesidad de hacer un consumo de su propia biomasa para poder continuar así con sus funciones vitales y otros siguen consumiendo el material orgánico que entra al día de $5.6979 \cdot 10^{-4} \pm 2.390 \cdot 10^{-6}$ kgDBO/d, de tal forma que a medida que se incrementan los tiempos de retención hidráulico aumenta también el consumo de biomasa característico de la fase de respiración endógena y de la alimentación que es la fase de síntesis parte de su metabolismo, lo que conlleva a que haya una reducción en la concentración de microorganismos (SSVLM) presentes en el sistema. En este caso es recomendable la recirculación o la purga, dependiendo del nivel de sólidos suspendidos en el reactor para que en el sedimentador no permanezca mucho tiempo el lodo y que no entre en condiciones de anaerobiosis con la consecuente producción de metano, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico.

Las tasas de sedimentación alcanzaron valores que pueden considerarse altos, con promedios de 529 ± 10 mm/L, 468 ± 10 mm/L y 295 ± 10 mm/L, del lote 1, 2 y 3 respectivamente (ver los Cuadros 7.9, 7.10 y 7.11). Un valor alto indica que los lodos sedimentaron en un tiempo corto; el requerimiento del mismo para este período de la secuencia de trabajo será menor, valores que se encuentran en el mismo rango de experiencias similares realizadas por otros investigadores quienes han reportado como aceptables valores semejantes obtenidos en ensayos de sedimentación. +

Para finalizar, se encontraron errores de operación, un indicador de ello fue la espuma ascendente dentro del reactor, el cual indica que los niveles de sólido no están en el intervalo recomendado (lodos viejos o nuevos). Esta espuma blanca cremosa indica que el lodo es muy joven y se debe hacer una purga, de la misma forma pudo deberse a la presencia de agentes espumantes.

El color, el cual indicó la edad de los lodos, a lo largo del proceso se observó y demostró estar en buen estado reflejando así un color café claro. Ya que, un lodo oscuro o negro indica lo contrario, condiciones de septicidad dentro del reactor, ya sea por mala distribución del oxígeno disuelto (fallas en el equipo de aeración, condiciones de mezcla inadecuadas) o por sobrecarga orgánica. El oxígeno disuelto en el reactor debe mantenerse entre 1 y 2 mg/L, esto se debe por la fuerte presencia de microorganismo que se tiene dentro del reactor; los microorganismos necesitan de oxígeno para su fase de respiración endógena. Es indispensable la aireación dentro del reactor y tratar de controlar el burbujeo por la purga de lodos. La claridad en el sedimentador nos indica el estado del proceso, parte del tiempo en toda la experimentación se dio un efluente turbio. La causa posiblemente se deba a la sobrecarga hidráulica de sólidos. Se obtuvo un porcentaje de remoción de la DBO en un rango de $45.3 \pm 6.69 \cdot 10^{-4} \% - 53 \pm 6.80 \cdot 10^{-4} \%$ como nos muestra el Cuadro 7.1 (porcentaje de remoción de la demanda biológica de oxígeno, DBO), tomando en cuenta estos detalles de operación se pudo haber mejorado el rendimiento. En este caso es recomendable la recirculación o la purga, dependiendo del nivel de sólidos suspendidos en el reactor para que en el sedimentador no permanezca mucho tiempo el lodo y que no entre en condiciones de anaerobiosis con la consecuente producción de metano, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico.

IX. CONCLUSIONES

Los parámetros de estandarización del proceso de lodos activados en cada lote son, pH con un rango de 5.53 ± 0.01 y 6.68 ± 0.01 , la temperatura con un rango de $24.9 \pm 0.1^\circ\text{C}$ y $27.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$ y el oxígeno disuelto del reactor con un rango de OD $5.90 \pm 0.01 \text{ mgO}_2/\text{L}$ y 3.50 ± 0.01 . El comportamiento de estos tres parámetros en la evaluación proporcionó condiciones para la formación y desarrollo de los microorganismos.

La calidad del agua en tiempos de retención para 20 minutos en términos de oxígeno disuelto se encontró que va en aumento por cada día que pasa en el tiempo de muestreo para el lote 1 se encontró el intervalo de $1.50 \pm 0.01 \text{ mgO}_2/\text{L}$ a $2.05 \pm 0.01 \text{ mgO}_2/\text{L}$. Para el lote 2 se encontró el intervalo de $1.10 \pm 0.01 \text{ mgO}_2/\text{L}$ a $1.6 \pm 0.01 \text{ mgO}_2/\text{L}$. Para el lote 3 se encontró el intervalo de $1.40 \pm 0.01 \text{ mgO}_2/\text{L}$ a $1.90 \pm 0.01 \text{ mgO}_2/\text{L}$.

El contenido de materia orgánica en términos de DBO del afluente se encontró en $20,980 \pm 5 \text{ mgDBO}/\text{L}$, mientras que en el efluente del lote 1 se encontró en el intervalo de $57,581.00 \pm 5 \text{ mgDBO}/\text{L}$ a $10,936.00 \pm 25 \text{ mgDBO}/\text{L}$, para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DBO de $47.9 \pm 7.09 * 10^{-4}\%$. Para el efluente del lote 2 se encontró en el intervalo de $57,581.00 \pm 5 \text{ mgDBO}/\text{L}$ a $11,478.00 \pm 25 \text{ mgDBO}/\text{L}$, para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DBO de $45.3 \pm 6.69 * 10^{-4}\%$. Para el efluente del lote 3 se encontró en el intervalo de $57,581.00 \pm 5 \text{ mgDBO}/\text{L}$ a $8,740.00 \pm 25 \text{ mgDBO}/\text{L}$, para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DBO de $58.3 \pm 6.80 * 10^{-4}\%$.

El contenido de materia orgánica en términos de DQO del afluente se encontró en $26,400.00 \pm 25 \text{ mgDQO}/\text{L}$, mientras que en el efluente del lote 1 se encontró en el intervalo de $75,200 \pm 25 \text{ mgDQO}/\text{L}$ a $14,420.00 \pm 25 \text{ mgDQO}/\text{L}$, para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DQO de $57 \pm 7.09 * 10^{-4}\%$. Para el efluente del lote 2 se encontró en el intervalo de $75,200 \pm 25 \text{ mgDQO}/\text{L}$ a $14,460.00 \pm 25 \text{ mgDQO}/\text{L}$, para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DQO de $45 \pm 6.69 * 10^{-4}\%$. Para el efluente del lote 3 se encontró en el intervalo de $75,200.00 \pm 25 \text{ mgDQO}/\text{L}$ a $12,480.00 \pm 25 \text{ mgDQO}/\text{L}$, para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DQO de $67 \pm 6.80 * 10^{-4}\%$.

El porcentaje de remoción de la DBO y DQO aumenta a medida que incrementan los tiempos de retención hidráulica del sistema, llegando a un $58.3\% \pm 6.80 * 10^{-4}\%$ y $67 \pm 6.80 * 10^{-4}\%$ para el lote 3 luego de 1,512 horas de operación.

Existe una correlación entre la demanda biológica de oxígeno (DBO) y el oxígeno disuelto (OD) siendo esta, que al aumentar el oxígeno disuelto dentro del reactor la DBO disminuye; para los tres lotes.

X. RECOMENDACIONES

Hacer pruebas con el reactor de lodos activados en el laboratorio de operaciones unitarias, para cumplir con el acuerdo gubernativo del ministerio de ambientes y recursos naturales Guatemala CA. 236-2006 en los parámetros de demanda biológica oxígeno DBO, turbiedad, sólidos suspendidos totales SST.

Complementar el informe de ensayo químicos y fisicoquímicos de tal manera que las pruebas se realicen bajo un régimen puntual de hora en que se realizan las pruebas y que se estandarice dicho horario hasta finalizar la experimentación. Para que las pruebas sean comparables estadísticamente por cada lote.

Evaluar las muestras de cada lote para lograr la identificación de los tipos de microorganismos que rigen dicho tratamiento biológico, con el fin de identificar las fases del crecimiento Microbiano.

Realizar una caracterización fisicoquímica del lodo generado en el proceso biológico con el propósito de plantear alternativas de tratamiento (si fuese necesario) antes de su disposición final. Tomar en cuenta la cantidad de lodo al termina cada lote para completar el balance y tener un mayor detalle del proceso.

Disminuir la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y demás ensayos químicos y físico químicos, según el acuerdo gubernativo 236-2006 y con ello poder darle un reuso al efluente para riego en los jardines de la universidad y aprovechar el agua tratada.

Reducir el tiempo de las pruebas hasta que se estabilice la concentración de la demanda biológica de oxígeno desde el inicio de la experimentación hasta llegar a las 336 horas aproximadamente, es decir disminuir el tiempo de retención hidráulico de 21 a 14 días.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. American Water Works Association (AWWA). (2002). *Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria*. New York City : McGraw-Hill.
2. Bhandari, V., & Ranade, V. (2014). *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Oxford, Reino Unido: Elsevier .
3. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). (1992). *Agua Potable. Especificaciones COGUANOR NGO 29 001 99*. Guatemala, Guatemala: Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR).
4. Domennech, X., & Peral, J. (2006). *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Barcelona: Editor Reverte S.A.
5. Dotaniya, M., Datta, S., Biswas, D., Dotaniya, C., Meena, B., Rajendiran, S., . . . Lata, M. (2016). Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric*, 185-194.
6. Eckenfelder, W. (1966). *Industrial Waste Pollution Control*. New York : McGraw-Hill Book Co.
7. Eckenfelder, W. W. (1970). *Water Pollution Control*. New York : The Pemberton Press.
8. Estrada, G. (2012). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una industria alimenticia de Guatemala*. Guatemala : Tesis de la Universidad del Valle de Guatemala .
9. García, J. (2012). *Tratamiento de aguas residuales de industria textil mediante bio-filtros percoladores empacados con turba y nanopartículas de TiO₂-MgO*. México : Tesis de Ingeniería .
10. Gracias, D. A. (2018). *Activación y arranque de la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias*. Guatemala : Universidad del Valle de Guatemala .
11. Green, D. W., & Southard, M. Z. (2019). *Perry's Chemical, Engineers Handbook*. New York : McGraw Hill Education .
12. Gregory, R. C., & Dillion, G. C. (2002). Minimizing Sludge Production at Water-Treatments Plants. *Journal of Chartered Institution of Water and Environmental Management*, 174-179.
13. Gupta, N., Tripathi, S., & Balomajumder, C. (2011). Characterization of pressmud: A sugar industry waste. *Fuel*, 389–394.
14. Hach Company . (2003). *Digital Reactor Block 200 (DRB 200) Instrument Manual*. Germany: Hach Company .
15. HACH Company . (2013). *HACH DR/890 COLORIMETER PROCEDURES MANUAL*. Loveland, Colorado : Hach Company World Headquarters .
16. HACH Company . (2017). *Oxygen Demand, Biochemical: Dilution Method*. Loveland, Colorado: Hach Company/Hach Lange GmbH.

17. Herrera, A. (1 de Agosto de 2020). *Pronóstico diario* . Obtenido de INSIVUMEH: <https://insivumeh.gob.gt/>
18. HFT Education . (2016). *User guide. WPN110 Automated Aerobic Water Treatment Pilot Plant*. N, Y. : HFT Global Ltd.
19. Hofsetz, K., & Silva, M. (2012). Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption. *Biomass and Bioenergy* , 564–573.
20. Levenspiel, O. (2006). *Ingeniería de las Reacciones Químicas* . Mexico, D.F: Limusa Wiley.
21. Luarda, J. (2004). *Manual de operación para una planta de tratamiento de aguas residuales en una fábrica de productos químicos auxiliares para la industria textil*. Guatemala: Tesis de la Universidad del Valle de Guatemala.
22. Macey, R., Oster, G., & Zahnley, T. (21 de April de 2003). *Berkeley Madonna User's Guide*. Obtenido de Berkeley Madonna : <https://mcb.berkeley.edu/courses/mcb137/exercises/madonnamanual.pdf>
23. Mashoko, L., Mbohwa, C., & Thomas, V. (2010). LCA of the South African sugar industry. *J. Environ. Plan. Manag*, 793–807.
24. McKinney, R. (1956). *Biological Flocculation, in Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*. New York : Reinhold Pub.
25. Meghana, M., & Shastri, Y. (2020). *Sustainable Valorization of Sugar Industry Waste: Status, Opportunities, and Challenges* . Mumbai, India: Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay.
26. Mejía L., A., Cabrera, M., & Carrillo, Y. (2017). *Remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala de laboratorio* . Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana (UPS).
27. Melgar, M., Meneses, A., Orozco, H., Pérez, O., & Espinosa, R. (2012). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala* . Guatemala : Librerías Artemis Edinter, S.A.
28. Mendez C., G. (1985). *Cinética del tratamiento biológico de aguas residuales para reuso en irrigación de áreas verdes de la ciudad universitaria*. Monterrey, N.L.: Universidad Autonoma de Nuevo León .
29. Méndez, C. (2012). *Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Lodos Activados*. Madrid, España: Editorial Academia Española (EAE).
30. Mendez, G. (1985). *Cinetica del tratamiento biológico de aguas residuales para reuso en irrigación de areas verdes de la ciudad universitaria*. Monterrey: Universidad Autonoma de Nuevo León.
31. Metcalf, & Eddy. (2004). *Ingeniería de las Aguas Residuales Tratamiento y Reuso* . New York : TATA McGraw-Hill .
32. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) & Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). (2017). *Manual de Educación Ambiental sobre el Recurso Hídrico en Guatemala* . Guatemala .

33. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2016). *Manual de Educación Ambiental sobre el Recurso Hídrico en Guatemala* . Guatemala : Revista Virtual "somos Ambiente".
34. Mittal, A. (2011). *Biological Wastewater Treatment* . Augus, Fulltide: Water Today.
35. Noyola, Morgan, & Güereca. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Muinicipales: Guía de Apoyo para Ciudades Pequeñas y Medianas* . México : Universidad Nacional Autonoma de México.
36. Othman, A., & Sohaili, J. S. (2019). A Review: Methodologies Review of Magnetic Water Treatment As Green Approach of Water Pipeline System . *Pertanika Journals: Science & Technology* , 281-296.
37. Pérez, N., Marañon, A., Bermúdez, R., Aguilera, I., Cumbá, F., & Abalos, A. (2005). ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA REFINERÍA HNOS DÍAZ. *Revista Cubana de Química*, 34.
38. Phelps, E. B. (1944). *Stream Sanitation*. N. Y.: Wiley.
39. Presidencia de Republica de Guatemala . (2006). *Acuerdo Gubernativo No.236-2006*. Guatemala, Guatemala: Gobierno de la República .
40. Ramalho, R. S. (2009). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec, Canada: Editorial REVERTÉ, S.A.
41. Romero R., J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Santafé de Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
42. Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortiz, M. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* , 157-167.
43. Sarin, V. (2013). *Wastewater Treatment Using Membrane Bio Reactor* . Delhi: PhD Thesis, IIT.
44. Schroeppfer, G. J., Robins, M. L., & Susag, R. H. (1964). THE RESEARCH PROGRAM ON THE MISSISSIPPI RIVER IN THE VICINITY OF MINNEAPOLIS AND ST. PAUL: Advances in Water Pollution Research. *Proceedings of the International Conference Held in London*, 137-162.
45. Schulze, K. (1965). The Activated Sludge Process as a Continuous Culture Product on Biological Kinetics. *JWPCF*, 255-260.
46. Silalertruksa, T., & Gheewala, S. (2019). *Competitive use of sugarcane for food, fuel, and biochemical through the environmental and economic factors*. Assess: Int. J. Life Cycle.
47. Singh, A., Bjar, S., Bishnoi, N., & Singh, N. (2010). Laccase production by *Aspergillus heteromorphus* using distillery spent wash and lignocellulosic biomass. *J. Hazard. Mater*, 1079–1082.
48. Symons, J. M. (1960). A procedure for determination of the biological. *Journal Water Pollut Control Fed*, 841-51.
49. Talmadge, E., & Fitch, B. (1955). Determining Thickener Unit Areas. *Industrial and Engineering Chemistry* , 1-47.

50. Valera B., K. F. (2016). *Caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera Tres Valles, en Honduras*. Zamorano, Honduras: Univerisdad de Zamorano.
51. Viracucha, S. (2012). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Generadas en un Ingenio Azucarero - Con la Tecnología de Lodos Activados*. Quito : Universidad Central de Ecuador .

XII. APÉNDICE A

A. Determinación experimental de los parámetros de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO)

1. Datos originales

a. Caracterización del afluente

Cuadro 12. 1 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos del afluente emulado de melaza y agua (5%p/v), para los tres lotes.

Ensayo	Unidad de medición	Resultados	Métodos	±
Temperatura	°C	25.8	SMEWW 2550	0.1
Potencial de hidrógeno, pH	min - máx.	5.52 – 6.68	SMEWW 4500 PH	0.01
Sólidos Suspendidos (MLSS)	mgMLSS/L	4,668.43	SMEWW 2540 D	10
Sólidos Sedimentables	mm/L	5.00	SMEWW 2540 F	10
Demanda de química de oxígeno (DQO)	mg DQO /L	26,400.00	SMEWW 5220 D SQM 114690 91	25
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	mg DBO5/L	20,980.00	SMEWW 5210 D	5

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill.

*Nota: La concentración de melaza inicial de 5.00%P/V, con pH inicial de 6.5 y viscosidad inicial de 0.014 ± 0.02 Pa*s.

*Donde el índice de biodegradabilidad, según Symons (Symons, 1960), es la relación DBO5/DQO de las aguas residuales debería ser > 0.6 si las aguas se van a tratar fácilmente mediante tratamiento biológico y 0.4 es el valor mínimo para el tratamiento biológico.

b. Caracterización del efluente

Cuadro 12. 2 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

Ensayo	Unidad	Resultados											Métodos	±
		0h	24h	48h	168h	192h	216h	336h	360h	384h	480h	504h		
Temperatura	°C	25.8	25.4	25.7	25.8	24.8	25.8	24.9	25.2	25.8	25.3	25.0	SMEWW 2550	0.1
Potencial de hidrógeno (pH)	min - máx.	5.70 – 6.80	5.52 – 6.81	5.50 – 6.82	5.55 – 6.83	5.58 – 6.84	5.59 – 6.85	5.50 – 6.86	5.50 – 6.87	5.70 – 6.88	5.53 – 6.89	5.54 – 6.90	SMEWW 4500 PH	0.01
Sólidos Suspendidos (MLSS)	mgMLSS/L	4,668.43	5,157.00	5,149.00	5,328.65	5,804.00	6,015.43	6,196.65	6,552.00	7,089.00	7,179.00	7,284.00	SMEWW 2540 D	10
Sólidos Sedimentables	mm/L	5.00	17.00	34.00	150.00	211.00	220.00	240.00	410.00	440.00	475.00	529.00	SMEWW 2540 F	10
Demanda de química de oxígeno (DQO)	mgDQO/L	75,200.00	35,980.00	35,700.00	35,640.00	28,500.00	28,420.00	27,600.00	26,680.00	26,500.00	26,400.00	14,420.00	SMEWW 5220 D SQM 114690 91	5
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	mgDBO5/L	57,581.00	28,464.00	27,970.00	27,884.00	22,750.00	22,136.00	21,750.00	21,180.00	20,998.00	20,980.00	10,936.00	SMEWW 5210 D	25

*La velocidad de utilización de oxígeno se puede observar en Anexos D1, D2 y D3 procedimiento detallado del análisis de error junto con los datos originales y datos calculados.

*Las pruebas SS, MLVSS, ST, SST, DQO y DBO se realizaron en un laboratorio externo (LABIND) y sus resultados se pueden verificar en Anexos F

*Los lotes 1, 2 y 3 se hicieron con el objetivo de obtener un resultado de análisis estadístico el cual no se logró hacer ver discusión

*La muestra extraída de la alimentación del afluente o de los depósitos de agua residual cruda su caracterización se realizó una sola vez por cada lote

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill.

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 12. 3 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

Ensayo	Unidad	Resultados											Métodos	±
		0h	24h	144h	168h	192h	312h	336h	360h	456h	480h	504h		
Temperatura	°C	25.8	25.4	25.7	25.8	24.8	25.8	24.9	25.2	25.8	25.3	25.0	SMEWW 2550	0.1
Potencial de hidrógeno, pH	min - máx.	5.70 – 6.80	5.52 – 6.81	5.50 – 6.82	5.55 – 6.83	5.58 – 6.84	5.59 – 6.85	5.50 – 6.86	5.50 – 6.87	5.70 – 6.88	5.53 – 6.89	5.54 – 6.90	SMEWW 4500 PH	0.01
Sólidos Suspendedos, MLSS	mgMLSS/L	4,539.00	4,554.85	4,649.94	4,668.43	4,690.00	5,157.00	5,551.57	5,889.78	7,062.33	7,457.71	7,919.00	SMEWW 2540 D	10
Sólidos Sedimentables	mm/L	5.00	17.00	34.00	95.00	141.00	162.00	261.00	279.00	420.00	468.00	529.00	SMEWW 2540 F	10
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	mgDBO ₅ /L	57,581.00	28,464.00	27,970.00	27,884.00	22,750.00	22,136.00	21,750.00	21,180.00	20,998.00	20,980.00	10,936.00	SMEWW 5210 D	25
Demanda química de oxígeno (DQO)	mgDQO/L	75,200.00	35,980.00	35,700.00	35,640.00	28,500.00	28,420.00	27,600.00	26,680.00	26,500.00	26,400.00	14,420.00	SMEWW 5220 D SQM 114690 91	5

*La velocidad de utilización de oxígeno se puede observar en Anexos D1, D2 y D3 procedimiento detallado del análisis de error junto con los datos originales y datos calculados.

*Las pruebas SS, MLVSS, ST, SST, DQO y DBO se realizaron en un laboratorio externo (LABIND) y sus resultados se pueden verificar en Anexos F

*Los lotes 1, 2 y 3 se hicieron con el objetivo de obtener un resultado de análisis estadístico el cual no se logró hacer ver discusión

*La muestra extraída de la alimentación del afluente o de los depósitos de agua residual cruda su caracterización se realizó una sola vez por cada lote

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill.

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 12. 4 Informe de ensayos químicos y fisicoquímicos en la salida del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

Ensayo	Unidad de medición	Resultados											Métodos	±
		0h	120h	144h	168h	264h	288h	312h	336h	456h	480h	504h		
Temperatura	°C	25.8	25.4	25.7	25.8	24.8	25.8	24.9	25.2	25.8	25.3	25.0	SMEWW 2550	0.1
Potencial de hidrógeno, pH	min - máx.	5.70 – 6.80	5.52 – 6.81	5.50 – 6.82	5.55 – 6.83	5.58 – 6.84	5.59 – 6.85	5.50 – 6.86	5.50 – 6.87	5.70 – 6.88	5.53 – 6.89	5.54 – 6.90	SMEWW 4500 PH	0.01
Sólidos Suspendidos, MLSS	mg MLSS/L	4,484.34	4,505.04	4,523.15	4,649.94	4,668.43	4,687.43	5,005.50	5,157.00	5,323.43	6,322.00	7,284.00	SMEWW 2540 D	10
Sólidos Sedimentables	mm/L	5.00	17.00	34.00	95.00	150.00	162.00	220.00	240.00	295.00	468.00	529.00	SMEWW 2540 F	10
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)	mg DBO ₅ /L	57,581.00	27,970.00	20,980.00	19,865.00	18,540.00	18,350.00	18,301.00	17,920.00	17,603.00	16,901.00	8,740.00	SMEWW 5210 D	5
Demanda de química de oxígeno (DQO)	mg DQO /L	75,200.00	35,700.00	26,400.00	25,720.00	23,640.00	23,600.00	23,400.00	22,800.00	22,740.00	22,200.00	12,480.00	SMEWW 5220 D SQM 114690 91	25

*La velocidad de utilización de oxígeno se puede observar en Anexos D1, D2 y D3 procedimiento detallado del análisis de error junto con los datos originales y datos calculados.

*Las pruebas SS, MLVSS, ST, SST, DQO y DBO se realizaron en un laboratorio externo (LABIND) y sus resultados se pueden verificar en Anexos F

*Los lotes 1, 2 y 3 se hicieron con el objetivo de obtener un resultado de análisis estadístico el cual no se logró hacer ver discusión

*La muestra extraída de la alimentación del afluente o de los depósitos de agua residual cruda su caracterización se realizó una sola vez por cada lote

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill.

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

2. Cálculo de muestra

a. Parámetros de diseño

Cálculo 1.1. Determinación del coeficiente de transformación, f , del lote 1, referencia al Cuadro 7.14 caracterización del afluente

Ecuación (12.1)

$$f = \frac{DBO_5}{DQO}$$

Donde:

f , Coeficiente de transformación

DBO_5 , Demanda bioquímica de oxígeno, mg DBO_5/L

DQO , Demanda química de oxígeno, mg DQO/L

$$f = \frac{20,980.00 \pm 9.4 \text{ mg}DBO_5/L}{26,400.00 \pm 3.4 \text{ mg}DQO/L} = 0.795 \pm 3.70 \times 10^{-4}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 1.2 Determinación de la carga másica, C_m , del lote 1

Ecuación (12.2)

$$C_m = \frac{QS_F}{VX}$$

Donde:

C_m , Carga másica, kg O_2/kg SST*d⁻¹

Q_F , Caudal de alimentación inicial, L/h

S_F , DBO_5 en la alimentación inicial, mg DBO_5/L

V , Volumen del reactor piloto, L

X , Sólidos suspendidos en el reactor piloto, mg SST/L

$$C_m = \frac{0.652 \pm 1.20 * 10^{-4} L/h \times 20,980 \pm 9.4 mgDBO_5/L}{328.5 \pm 0.652 L \times 1157.00 \pm 0.05 mgSST/L} \times \frac{24h}{1d}$$

$$C_m = 4.740 \pm 4.70 * 10^{-3} kgDBO_5/kgSST * d$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 1.3 Determinación de la carga volumétrica, C_v , del lote 1

Ecuación (12.3)

$$C_v = \frac{Q * S_F}{V}$$

Donde:

- C_v , Carga volumétrica, $mg O_2/L * d^{-1}$
- Q_F , Caudal de alimentación inicial, L/h
- S_F , DBO_5 en la alimentación inicial, $mgDBO_5/L$
- V , Volumen del reactor piloto, L

$$C_v = \frac{0.652 \pm 1.20 * 10^{-4} L/h \times 20,980.00 \pm 9.4 mgDBO_5/L}{328.5 \pm 0.652 L} \times \frac{24h}{1d}$$

$$C_v = 5,483.9 \pm 1.50 mgDBO_5/L * d$$

*Se realizó el mismo cálculo para el lote 2 y 3

Cálculo 1.4 Determinación del rendimiento, R , del lote 1

Ecuación (12.4)

$$\%R = \frac{S_F - S_e}{S_F} * 100$$

Donde:

- R , Rendimiento, %
- S_F , DBO_5 en la alimentación inicial, $mgDBO_5/L$

$$\%R = \frac{20,980.00 \pm 9.4mgDBO_5/L - 10,936.00 \pm 9.4mgDBO_5/L}{20,980.00 \pm 9.4mgDBO_5/L} * 100$$

$$\%R = 47.9 \pm 4.64 \times 10^{-4}\%$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

b. Velocidad de consumo de sustrato

Cálculo 2.1. Determinación del tiempo de residencia, t, lote 1

Ecuación (12.5)

$$t = \frac{V}{Q_F}$$

Donde

V, Volumen del reactor, m³

Q_F, Caudal de alimentación inicial, m³/h

$$t = \frac{0.329 \pm 6.05 \times 10^{-5} m^3}{6.52 \times 10^{-4} \pm 1.20 \times 10^{-7} m^3/h} = 504 \pm 9.28 \times 10^{-2} h$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Calculo 2.2. Velocidad específica de consumo de sustrato del lote 1, referencia al Cuadro 7.1, 7.2 y 7.3 de la tasa de utilización de la demanda biológica de oxígeno (DBO) para los tres lotes.

Ecuación (12.6)

$$q = \frac{S_o - S_e}{X_{V,a} t}$$

Donde

S_o, Concentración de la DBO₅ en la alimentación combinada, mg DBO₅/L

S_e, Concentración de la DBO₅ en el efluente, mg DBO₅/L

$X_{v,a}$. Concentración de los sólidos volátiles en suspensión VSS, en el reactor, mg MLVSS/L
 t, Tiempo de residencia, h

$$q = \frac{115,162.00 \pm 9.4 \text{ mgDBO}_5/\text{L} - 57,581.00 \pm 9.4 \text{ mgDBO}_5/\text{L}}{4,668.43 \pm 0.05 \text{ mgMLVSS}/\text{L} \times 504 \pm 9.28 \times 10^{-2} \text{ h}}$$

$$q = 0.02447 \pm 7.52 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

c. Consumo e IVL en función de A/M

Cálculo 3.1. Índice volumétrico de lodos, IVL lote 1

Ecuación (12.7)

$$IVL = \frac{\text{volumen del lodo sedimentado (mL/L)}}{SSV} \times 1000$$

Donde:

IVL índice volumétrico de lodos, ml/g;
 SSV sólidos suspendidos volátiles, mg/L.

$$IVL = \frac{5.00 \pm 0.05 \text{ mL/L}}{1,157.00 \pm 0.05 \text{ mg/L}} \times 1000 = 4.32 \pm 0.0432 \text{ mL/g}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 3.2. Relación de alimento a microorganismo lote 1

Ecuación (12.8)

$$A/M = \frac{S_o}{X_{v,a} t_h}$$

Donde:

- A/M Relación de alimento a microorganismos, kg de sustrato en el afluente/d*kg MLVSS en el reactor.
- S_o, Concentración de la DBO₅ en la alimentación combinada, mg DBO₅/L
- X_{V, a}, Concentración de los sólidos volátiles en suspensión VSS, en el reactor, mg MLVSS/L
- t, Tiempo de residencia, h

$$A/M = \frac{115,162.00 \pm 9.4mgDBO_5/L}{4,668.43 \pm 0.05mgMLVSS/L \times 504 \pm 9.28 \times 10^{-2}h}$$

$$A/M = 1.175 \pm 3.61 \times 10^{-4}kgDBO_5/kgMLVSS * h$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

d. Parámetros de utilización de oxígeno

Cálculo 4.1. Velocidad específica de utilización de oxígeno lote 1, referencia al Cuadro 7.11, 7.12 y 7.13 velocidad de utilización de oxígeno disuelto.

Ecuación (12.9)

$$R_{O_2} = \frac{VUO}{X_{V,a}}$$

Donde:

- R_{O₂}, Velocidad específica de utilización de oxígeno, kg O₂ / h*kg MLVSS
- VUO, Velocidad de utilización de oxígeno, mg O₂/L*h
- X_{V, a}, Concentración de los sólidos volátiles en suspensión VSS, en el reactor, mg MLVSS/L

$$R_{O_2} = \frac{12.00 \pm 0.0185mg O_2/L * h}{4,668.43 \pm 0.05mgMLVSS/L}$$

$$R_{O_2} = 2.570 \times 10^{-3} \pm 3.958 \times 10^{-6} kg O_2/h * kg MLVSS$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

e. Parámetros de producción de biomasa

Cálculo 5.1. Producción de lodos lote 1

Ecuación (12.10)

$$\Delta X_V = (X'_{V,a} - X_{V,a})Q_F$$

Donde:

ΔX_V , Producción de lodos, g MLVSS/día

$X'_{V,a}$, Concentración de los sólidos volátiles en suspensión VSS, en el reactor, mg MLVSS/L

$X_{V,a}$, Concentración de los sólidos volátiles en suspensión VSS, en el reactor, mg MLVSS/L

Q_F , Caudal de alimentación inicial, L/h

$$\Delta X_V = \left(4,690.49 \pm 0.05 \frac{mgMLVSS}{L} - 4,668.43 \pm 0.05 \frac{mgMLVSS}{L} \right) \times 0.652 \pm 1.20 \times 10^{-4} \frac{L}{h}$$
$$\Delta X_V = 14.4 \pm 0.0462 mgMLVSS/h$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 5.2. Velocidad específica de crecimiento de la biomasa lote 1

Ecuación (12.11)

$$\mu = \frac{\Delta X_V/V}{X_{V,a}}$$

Donde:

ΔX_V , Producción de lodos, mg MLVSS/h

μ , Producción de biomasa por unidad de tiempo y por unidad de biomasa presente en el reactor,
(mg MLVSS producidos/h*mg MLVSS

$X_{V,a}$, Concentración de los sólidos volátiles en suspensión VSS, en el reactor, mg MLVSS/L

V , Volumen del reactor, L

$$\mu = \frac{\frac{14.4 \pm 0.0462 \text{mgMLVSS}_{\text{producidos}} / \text{h}}{328.5 \pm 0.652 \text{L}}}{4,668.43 \pm 0.05 \text{mgMLVSS}/\text{L}}$$

$$\mu = 9.375 \times 10^{-6} \pm 3.015 \times 10^{-8} \frac{\text{kgMLVSS}_{\text{producidos}}}{\text{h kg MLVSS}}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

3. Análisis de error

a. Parámetros de diseño

Cálculo 1.5. Propagación de error del cálculo del coeficiente de transformación, f, del lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 0.795 \sqrt{\left(\frac{9.4 \text{mgDBO}_5/\text{L}}{20,980.00 \text{mgDBO}_5/\text{L}}\right)^2 + \left(\frac{3.4 \text{mgDQO}/\text{L}}{26,4000.00 \text{mgDQO}/\text{L}}\right)^2}$$

$$S_y = 0.795 \pm 3.70 \times 10^{-4}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 1.6. Propagación de error del cálculo de la carga másica, C_m, del lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 4.740 \sqrt{\left(\frac{1.20 * 10^{-4} \frac{\text{L}}{\text{h}}}{0.652 \frac{\text{L}}{\text{h}}}\right)^2 + \left(\frac{9.4 \frac{\text{mgDBO}_5}{\text{L}}}{115,162.00 \frac{\text{mgDBO}_5}{\text{L}}}\right)^2 + \left(\frac{0.652 \text{L}}{328.5 \text{L}}\right)^2 + \left(\frac{0.05 \frac{\text{mgSST}}{\text{L}}}{1157.00 \frac{\text{mgSST}}{\text{L}}}\right)^2}$$

$$S_y = 4.740 \pm 1.31 * 10^{-3} \text{mgDBO}_5/\text{mgSST} * d$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 1.7. Propagación de error del cálculo de la carga volumétrica, C_v, del lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 5,483.9 \sqrt{\left(\frac{1.20 * 10^{-4} L/h}{0.652 L/h}\right)^2 + \left(\frac{9.4 mgDBO_5/L}{115,162.00 mgDBO_5/L}\right)^2 + \left(\frac{0.652 L}{328.5 L}\right)^2}$$

$$S_y = 5,483.9 \pm 1.50 mgDBO_5/L * d$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 1.8. Propagación de error del cálculo del rendimiento, R, del lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 47.9 \sqrt{\left(\frac{9.4 mgDBO_5/L}{20,980.00 mgDBO_5/L}\right)^2 + \left(\frac{9.4 mgDBO_5/L}{10,936.00 mgDBO_5/L}\right)^2} = 47.9 \pm 4.64 \times 10^{-4} \%$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

b. Velocidad de consumo de sustrato

Cálculo 2.3. Propagación de error del cálculo del tiempo de residencia del lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 504 h \sqrt{\left(\frac{6.05 \times 10^{-5} m^3}{0.329 m^3}\right)^2 + \left(\frac{1.20 \times 10^{-7} m^3/h}{6.52 \times 10^{-4} m^3/h}\right)^2} = 504 \pm 9.28 \times 10^{-2} h$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 2.4. Propagación de error del cálculo de la velocidad específica de consumo de sustrato del lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 0.02447 h^{-1} \sqrt{\left(\frac{9.28 \times 10^{-2} h}{504 h}\right)^2 + \left(\frac{0.05 mgMLVSS/L}{4,668.43 mgMLVSS/L}\right)^2 \left(\frac{9.4 mgDBO_5/L}{57,581.00 mgDBO_5/L}\right)^2}$$

$$S_y = 0.02447 \pm 7.52 \times 10^{-6} h^{-1}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

c. Consumo e IVL en función de A/M

Cálculo 3.3. Propagación de error del cálculo del índice volumétrico de lodos del lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 4.32 \sqrt{\left(\frac{0.05 mL/L}{5.00 mL/L}\right)^2 + \left(\frac{0.05 mg/L}{1,157.00 mg/L}\right)^2} = 4.32 \pm 0.0432 mL/g$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 3.4. Propagación de error del cálculo de la relación de alimento a microorganismo del lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 1.175 \sqrt{\left(\frac{9.4 mgDBO_5/L}{115,162.00 mgDBO_5/L}\right)^2 + \left(\frac{0.05 mgMLVSS/L}{4,668.43 mgMLVSS/L}\right)^2 \left(\frac{9.28 \times 10^{-2} h}{504 h}\right)^2}$$

$$S_y = 1.175 \pm 3.61 \times 10^{-4} mgDBO_5/mgMLVSS * h$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

d. Parámetros de utilización de oxígeno

Cálculo 4.2. Propagación de error del cálculo de la velocidad de utilización de oxígeno del lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 2.57 \times 10^{-3} \sqrt{\left(\frac{0.0185 \text{ mg } O_2/L * h}{12.00 \text{ mg } O_2/L * h}\right)^2 + \left(\frac{0.05 \text{ mg MLVSS/L}}{4,668.43 \text{ mg MLVSS/L}}\right)^2}$$

$$S_y = 2.570 \times 10^{-3} \pm 3.958 \times 10^{-6} \text{ kg } O_2/h * \text{ kg MLVSS}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

e. Parámetros de producción de biomasa

Cálculo 5.3. Propagación de error del cálculo de la producción de lodos lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 0.345 \sqrt{\left(\frac{0.0707 \text{ mg MLVSS/L}}{22.1 \text{ mg MLVSS/L}}\right)^2 + \left(\frac{1.20 \times 10^{-4} \text{ L/h}}{0.652 \text{ L/h}}\right)^2}$$

$$S_y = 0.345 \pm 1.11 \times 10^{-3} \text{ g MLVSS/d}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

Cálculo 5.4. Propagación de error del cálculo de la velocidad específica de crecimiento de la biomasa lote 1

Propagación de error multiplicación y división

$$S_y = 9.37 \times 10^{-6} \sqrt{\left(\frac{0.005 \frac{\text{mg MLVSS}}{\text{L}}}{4668.43 \frac{\text{mg MLVSS}}{\text{L}}}\right)^2 + \left(\frac{0.652 \text{ L}}{328.5 \text{ L}}\right)^2 + \left(\frac{0.0462 \frac{\text{mg MLVSS}_{\text{producidos}}}{\text{h}}}{14.4 \frac{\text{mg MLVSS}_{\text{producidos}}}{\text{h}}}\right)^2}$$

$$S_y = 9.375 \times 10^{-6} \pm 3.015 \times 10^{-8} \frac{\text{kg MLVSS}_{\text{producidos}}}{\text{h kg MLVSS}}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

4. Datos calculados

a. Parámetros de evaluación de la disminución de la demanda biológica de oxígeno (DBO)

Cuadro 12. 5 Concentración volumétrica y másica, que representa la cantidad presente de demanda biológica de oxígeno (DBO) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

Cm	± kg DBO₅/kg SST*d⁻¹	Cv	± mg DBO₅/L*d
4,740	1,31*10 ⁻³	5483,9	1,50
1,919	5,95*10 ⁻⁴	2710,9	0,84
1,724	5,37*10 ⁻⁴	2663,8	0,83
1,415	4,40*10 ⁻⁴	2655,6	0,82
1,061	3,54*10 ⁻⁴	2166,7	0,72
0,993	3,34*10 ⁻⁴	2108,2	0,71
0,907	3,07*10 ⁻⁴	2071,4	0,70
0,521	1,78*10 ⁻⁴	2017,1	0,69
0,483	1,66*10 ⁻⁴	1999,8	0,69
0,449	1,54*10 ⁻⁴	1998,1	0,69
0,216	1,09*10 ⁻⁴	1041,5	0,52

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 12. 6 Concentración volumétrica y másica, que representa la cantidad presente de demanda biológica de oxígeno (DBO) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

Cm	± kg DBO₅/kg SST*d⁻¹	Cv	± mg DBO₅/L*d
4,455	1,23*10 ⁻³	5483,9	1,68
1,568	5,30*10 ⁻⁴	2105,7	1,05
1,528	5,19*10 ⁻⁴	2080,0	1,05
1,499	5,10*10 ⁻⁴	2072,7	1,05
1,452	4,96*10 ⁻⁴	2051,4	1,04
1,284	4,41*10 ⁻⁴	2013,3	1,04
0,799	2,75*10 ⁻⁴	1998,1	1,04
0,758	2,61*10 ⁻⁴	1997,1	1,04

Cuadro 12. 7 *Continuación, concentración volumétrica y másica, que representa la cantidad presente de demanda biológica de oxígeno (DBO) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

Cm	± kg DBO₅/kg SST*d⁻¹	Cv	± mg DBO₅/L*d
0,503	1,74*10 ⁻⁴	1961,5	1,03
0,429	1,52*10 ⁻⁴	1853,4	1,02
0,227	1,10*10 ⁻⁴	1093,1	0,94

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 12. 8 Concentración volumétrica y másica, que representa la cantidad presente de demanda biológica de oxígeno (DBO) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

Cm	± kg DBO₅/kg SST*d⁻¹	Cv	± mg DBO₅/L*d
4,740	1,31*10 ⁻³	5483,9	1,50
2,164	6,76*10 ⁻⁴	2663,8	0,83
1,415	4,88*10 ⁻⁴	1998,1	0,69
1,206	4,26*10 ⁻⁴	1891,9	0,67
0,988	3,60*10 ⁻⁴	1765,7	0,64
0,930	3,41*10 ⁻⁴	1747,6	0,64
0,697	2,55*10 ⁻⁴	1743,0	0,64
0,648	2,40*10 ⁻⁴	1706,7	0,63
0,557	2,08*10 ⁻⁴	1676,5	0,63
0,366	1,40*10 ⁻⁴	1609,6	0,61
0,173	1,03*10 ⁻⁴	832,4	0,50

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 12. 9 Factor de biodegradabilidad, que representa la tasa entre la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) a la entrada del reactor de tanque agitado (MFR) de los tres lotes

Lote	F = DBO ₅ /DQO	± (DBO ₅ /DQO)
1	0,795	3.70*10 ⁻⁴
2	0,795	3.70*10 ⁻⁴
3	0,795	3.70*10 ⁻⁴

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 12. 10 Porcentaje de remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR) de los tres lotes

Lote	Rendimiento	±%
1	47.9	7,09*10 ⁻⁴
2	45.3	6,69*10 ⁻⁴
3	58.3	6.80*10 ⁻⁴

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 12. 11 Tasa de utilización de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR), tomando en cuenta la biomasa en el reactor y el tiempo de retención hidráulico del lote 1.

Tiempo (h)	q = (S _o -S _e) / (X _{v,a} *t _h)	± h ⁻¹
0	0,02447	7,52*10 ⁻⁶
23.98	0,01095	4,61*10 ⁻⁶
47.95	0,01057	4,49*10 ⁻⁶
168.03	0,01038	4,42*10 ⁻⁶
192.03	0,00778	3,80*10 ⁻⁶

Cuadro 12. 12 * Continuación, Tasa de utilización de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR), tomando en cuenta la biomasa en el reactor y el tiempo de retención hidráulico del lote 1.

Tiempo (h)	$q = (S_o - S_e) / (X_{v,a} * t_h)$	$\pm h^{-1}$
216.10	0,00730	$3,64 * 10^{-6}$
335.97	0,00696	$3,51 * 10^{-6}$
360.00	0,00641	$3,30 * 10^{-6}$
383.99	0,00588	$3,04 * 10^{-6}$
480.04	0,00580	$3,00 * 10^{-6}$
504.8	0,00298	$2,68 * 10^{-6}$

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 * 10^{-7} \pm 3.332 * 10^{-11}$ m³/s y Volumen: $0.329 \pm 6.04 * 10^{-5}$ m³.

Cuadro 12. 13 Tasa de utilización de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR), tomando en cuenta la biomasa en el reactor y el tiempo de retención hidráulico del lote 2.

Tiempo (h)	$q = (S_o - S_e) / (X_{v,a} * t_h)$	$\pm h^{-1}$
0	0,02517	$7,74 * 10^{-6}$
23.96	0,00963	$4,80 * 10^{-6}$
143.91	0,00932	$4,69 * 10^{-6}$
167.94	0,00925	$4,67 * 10^{-6}$
191.77	0,00911	$4,63 * 10^{-6}$
311.88	0,00813	$4,19 * 10^{-6}$
335.89	0,00750	$3,89 * 10^{-6}$
359.76	0,00706	$3,66 * 10^{-6}$
455.76	0,00579	$3,04 * 10^{-6}$
479.77	0,00518	$2,84 * 10^{-6}$
503.73	0,00288	$2,47 * 10^{-6}$

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 * 10^{-7} \pm 3.332 * 10^{-11}$ m³/s y Volumen: $0.329 \pm 6.04 * 10^{-5}$ m³.

Cuadro 12. 14 Tasa de utilización de la demanda biológica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del reactor de tanque agitado (MFR), tomando en cuenta la biomasa en el reactor y el tiempo de retención hidráulico del lote 3.

Tiempo (h)	$q = (S_o - S_e) / (X_{v,a} * t_h)$	$\pm h^{-1}$
0	0,02548	$7,83 * 10^{-6}$
120,00	0,01232	$5,24 * 10^{-6}$
144,00	0,00920	$4,77 * 10^{-6}$
168,00	0,00848	$4,58 * 10^{-6}$
263,89	0,00788	$4,49 * 10^{-6}$
287,89	0,00777	$4,46 * 10^{-6}$
311,89	0,00725	$4,18 * 10^{-6}$
335,89	0,00689	$4,04 * 10^{-6}$
455,73	0,00656	$3,90 * 10^{-6}$
479,73	0,00530	$3,26 * 10^{-6}$
503,73	0,00238	$2,63 * 10^{-6}$

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

- b. Evaluación del lodo biológico, consumo del índice volumétrico de oxígeno (IVL) en función de la alimentación microorganismo (A/M)

Cuadro 12. 15 Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

$A/M = S_o / (X_{v,a} * t_h)$	$\pm \text{kgDBO}_5 / \text{kg MLVSS} * \text{d}^{-1}$	IVL	$\pm \text{mL/g}$
1,175	$3,61 * 10^{-4}$	4,32	0,0432
0,526	$2,21 * 10^{-4}$	12,0	0,0354
0,507	$2,16 * 10^{-4}$	22,0	0,0324
0,498	$2,12 * 10^{-4}$	79,9	0,0267
0,373	$1,82 * 10^{-4}$	103	0,0246
0,350	$1,75 * 10^{-4}$	104	0,0237
0,334	$1,69 * 10^{-4}$	105	0,0220
0,308	$1,58 * 10^{-4}$	106	0,0130
0,282	$1,46 * 10^{-4}$	106	0,0121

Cuadro 12. 16 *Continuación, Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

A/M = $S_o / (X_{v,a} * t_h)$	$\pm \text{kgDBO}_5 / \text{kg MLVSS} * \text{d}^{-1}$	IVL	$\pm \text{mL/g}$
0,278	$1,44 * 10^{-4}$	107	0,0113
0,143	$1,28 * 10^{-4}$	110	0,0105

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 * 10^{-7} \pm 3.332 * 10^{-11}$ m³/s y Volumen: $0.329 \pm 6.04 * 10^{-5}$ m³.

Cuadro 12. 17 Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

A/M = $S_o / (X_{v,a} * t_h)$	$\pm \text{kgDBO}_5 / \text{kg MLVSS} * \text{d}^{-1}$	IVL	$\pm \text{mL/g}$
1,208	$3,71 * 10^{-4}$	4,06	0,0406
0,462	$2,31 * 10^{-4}$	12,7	0,0372
0,447	$2,25 * 10^{-4}$	25,0	0,0367
0,444	$2,24 * 10^{-4}$	68,7	0,0362
0,437	$2,22 * 10^{-4}$	100	0,0356
0,390	$2,01 * 10^{-4}$	103	0,0321
0,360	$1,87 * 10^{-4}$	104	0,0201
0,339	$1,76 * 10^{-4}$	106	0,0191
0,278	$1,46 * 10^{-4}$	108	0,0129
0,249	$1,36 * 10^{-4}$	108	0,0116
0,138	$1,19 * 10^{-4}$	110	0,0105

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 * 10^{-7} \pm 3.332 * 10^{-11}$ m³/s y Volumen: $0.329 \pm 6.04 * 10^{-5}$ m³.

Cuadro 12. 18 Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

A / M = $S_o / (X_{v,a} * t_h)$	$\pm \text{kgDBO}_5 / \text{kg MLVSS} * \text{d}^{-1}$	IVL	$\pm \text{mL/g}$
1,223	$3,76 * 10^{-4}$	4,32	0,0432
0,591	$2,51 * 10^{-4}$	13,8	0,0406
0,442	$2,29 * 10^{-4}$	24,1	0,0354

Cuadro 12. 19 *Continuación, Índice volumétrico de lodos IVL y relación de alimento microorganismo A/M dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

$A / M = S_o / (X_{v,a} * t_h)$	$\pm \text{kgDBO}_5 / \text{kg MLVSS} * \text{d}^{-1}$	IVL	$\pm \text{mL/g}$
0,407	$2,20 * 10^{-4}$	60,6	0,0319
0,378	$2,16 * 10^{-4}$	84	0,0281
0,373	$2,14 * 10^{-4}$	86	0,0267
0,348	$2,01 * 10^{-4}$	88	0,0201
0,331	$1,94 * 10^{-4}$	91	0,0191
0,332	$1,97 * 10^{-4}$	98	0,0167
0,276	$1,70 * 10^{-4}$	107	0,0114
0,239	$2,65 * 10^{-4}$	110	0,0105

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 * 10^{-7} \pm 3.332 * 10^{-11}$ m³/s y Volumen: $0.329 \pm 6.04 * 10^{-5}$ m³.

c. Parámetros de evaluación de utilización de oxígeno disuelto (OD)

Cuadro 12. 20 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

$RO_2 = VUO / X_{v,a}$	$\pm \text{kg O}_2 / \text{h} * \text{kg MLVSS}$
$2,570 * 10^{-3}$	$3,958 * 10^{-6}$
$1,373 * 10^{-3}$	$2,640 * 10^{-6}$
$1,326 * 10^{-3}$	$1,760 * 10^{-6}$
$1,284 * 10^{-3}$	$1,421 * 10^{-6}$
$1,096 * 10^{-3}$	$1,813 * 10^{-6}$
$1,047 * 10^{-3}$	$2,396 * 10^{-6}$
$9,973 * 10^{-4}$	$2,355 * 10^{-6}$
$9,432 * 10^{-4}$	$2,228 * 10^{-6}$
$8,717 * 10^{-4}$	$2,059 * 10^{-6}$
$8,441 * 10^{-4}$	$2,144 * 10^{-6}$
$6,590 * 10^{-4}$	$1,416 * 10^{-6}$

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0

± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 \cdot 10^{-7} \pm 3.332 \cdot 10^{-11} \text{m}^3/\text{s}$ y Volumen: $0.329 \pm 6.04 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$.

Cuadro 12. 21 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

$RO_2 = VUO / X_{v,a}$	$\pm \text{kg O}_2 / \text{h} \cdot \text{kg MLVSS}$
$3,173 \cdot 10^{-3}$	$5,868 \cdot 10^{-6}$
$1,502 \cdot 10^{-3}$	$2,028 \cdot 10^{-6}$
$1,458 \cdot 10^{-3}$	$2,161 \cdot 10^{-6}$
$1,452 \cdot 10^{-3}$	$2,850 \cdot 10^{-6}$
$1,407 \cdot 10^{-3}$	$2,837 \cdot 10^{-6}$
$1,257 \cdot 10^{-3}$	$1,050 \cdot 10^{-6}$
$1,156 \cdot 10^{-3}$	$1,328 \cdot 10^{-6}$
$1,070 \cdot 10^{-3}$	$1,189 \cdot 10^{-6}$
$8,751 \cdot 10^{-4}$	$7,799 \cdot 10^{-7}$
$8,287 \cdot 10^{-4}$	$7,385 \cdot 10^{-7}$
$6,213 \cdot 10^{-4}$	$2,098 \cdot 10^{-7}$

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986 \pm 0.75 - 988 \pm 0.75] mbar, Temperatura: [27.0 \pm 0.01 - 22.5 \pm 0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 \pm 0.02887 rpm, pH: [6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 \cdot 10^{-7} \pm 3.332 \cdot 10^{-11} \text{m}^3/\text{s}$ y Volumen: $0.329 \pm 6.04 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$

Cuadro 12. 22 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

$RO_2 = VUO / X_{v,a}$	$\pm \text{kg O}_2 / \text{h} \cdot \text{kg MLVSS}$
$3,211 \cdot 10^{-3}$	$4,453 \cdot 10^{-6}$
$1,865 \cdot 10^{-3}$	$2,459 \cdot 10^{-6}$
$1,592 \cdot 10^{-3}$	$3,106 \cdot 10^{-6}$
$1,523 \cdot 10^{-3}$	$3,021 \cdot 10^{-6}$
$1,465 \cdot 10^{-3}$	$2,787 \cdot 10^{-6}$
$1,459 \cdot 10^{-3}$	$3,145 \cdot 10^{-6}$
$1,366 \cdot 10^{-3}$	$2,945 \cdot 10^{-6}$
$1,315 \cdot 10^{-3}$	$1,952 \cdot 10^{-6}$
$1,274 \cdot 10^{-3}$	$1,891 \cdot 10^{-6}$
$1,063 \cdot 10^{-3}$	$9,491 \cdot 10^{-7}$
$8,237 \cdot 10^{-4}$	$8,389 \cdot 10^{-7}$

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986 \pm 0.75 - 988 \pm 0.75] mbar, Temperatura: [27.0 \pm 0.01 - 22.5 \pm 0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de

burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³

d. Parámetros de evaluación de producción de lodo biológico

Cuadro 12. 23 Evaluación en la producción de lodos y la velocidad específica de crecimiento de la biomasa dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

ΔX_v	\pm mg/h	$\mu = (\Delta X_v / V) / X_{v,a}$	\pm kg MLVSS/kg MLVSS*h ⁻¹
14,4	0,0462	9,375*10 ⁻⁶	3,015*10 ⁻⁸
7,90	0,0461	4,638*10 ⁻⁶	2,723*10 ⁻⁸
7,40	0,0461	4,283*10 ⁻⁶	2,675*10 ⁻⁸
7,00	0,0461	3,999*10 ⁻⁶	2,635*10 ⁻⁸
6,00	0,0461	3,123*10 ⁻⁶	2,419*10 ⁻⁸
5,50	0,0461	2,801*10 ⁻⁶	2,333*10 ⁻⁸
5,50	0,0461	2,682*10 ⁻⁶	2,265*10 ⁻⁸
5,00	0,0461	2,342*10 ⁻⁶	2,142*10 ⁻⁸
4,70	0,0461	2,019*10 ⁻⁶	1,980*10 ⁻⁸
4,53	0,0461	1,922*10 ⁻⁶	1,955*10 ⁻⁸
2,99	0,0461	1,248*10 ⁻⁶	1,926*10 ⁻⁸

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³

Cuadro 12. 24 Evaluación en la producción de lodos y la velocidad específica de crecimiento de la biomasa dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

ΔX_v	\pm mg/h	$\mu = (\Delta X_v / V) / X_{v,a}$	\pm kg MLVSS/kg MLVSS*h ⁻¹
15,8	0,0462	1,057*10 ⁻⁵	3,103*10 ⁻⁸
6,70	0,0461	4,486*10 ⁻⁶	3,082*10 ⁻⁸
6,70	0,0461	4,382*10 ⁻⁶	3,019*10 ⁻⁸
6,70	0,0461	4,364*10 ⁻⁶	3,007*10 ⁻⁸
6,50	0,0461	4,241*10 ⁻⁶	2,993*10 ⁻⁸
5,60	0,0461	3,323*10 ⁻⁶	2,722*10 ⁻⁸
5,60	0,0461	3,044*10 ⁻⁶	2,528*10 ⁻⁸
5,30	0,0461	2,722*10 ⁻⁶	2,383*10 ⁻⁸

Cuadro 12. 25 *Continuación, Evaluación en la producción de lodos y la velocidad específica de crecimiento de la biomasa dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

ΔX_v	\pm mg/h	$\mu = (\Delta X_v / V) / X_{v,a}$	\pm kg MLVSS/kg MLVSS*h ⁻¹
4,94	0,0461	2,129*10 ⁻⁶	1,987*10 ⁻⁸
4,65	0,0461	1,899*10 ⁻⁶	1,882*10 ⁻⁸
2,43	0,0461	9,339*10 ⁻⁷	1,772*10 ⁻⁸

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³

Cuadro 12. 26 Evaluación en la producción de lodos y la velocidad específica de crecimiento de la biomasa dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

ΔX_v	\pm mg/h	$\mu = (\Delta X_v / V) / X_{v,a}$	\pm kg MLVSS/kg MLVSS*h ⁻¹
12,8	0,0461	8,667*10 ⁻⁶	3,137*10 ⁻⁸
7,40	0,0461	5,000*10 ⁻⁶	3,117*10 ⁻⁸
6,30	0,0461	4,214*10 ⁻⁶	3,104*10 ⁻⁸
5,90	0,0461	3,833*10 ⁻⁶	3,019*10 ⁻⁸
5,70	0,0461	3,720*10 ⁻⁶	3,007*10 ⁻⁸
5,60	0,0461	3,605*10 ⁻⁶	2,995*10 ⁻⁸
5,50	0,0461	3,323*10 ⁻⁶	2,804*10 ⁻⁸
5,10	0,0461	3,001*10 ⁻⁶	2,722*10 ⁻⁸
5,04	0,0461	2,884*10 ⁻⁶	2,637*10 ⁻⁸
4,94	0,0461	2,381*10 ⁻⁶	2,220*10 ⁻⁸
4,56	0,0461	1,905*10 ⁻⁶	1,927*10 ⁻⁸

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³

e. Evaluación del consumo de oxígeno disuelto (OD)

Cuadro 12. 27 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

Tiempo (h)	$RO_2 = VUO / X_{v, a}$	$\pm \text{kg O}_2 / \text{kg MLVSS} \cdot \text{h}^{-1}$
0	$2,570 \cdot 10^{-3}$	$3,958 \cdot 10^{-6}$
23.98	$1,373 \cdot 10^{-3}$	$2,640 \cdot 10^{-6}$
47.95	$1,326 \cdot 10^{-3}$	$1,760 \cdot 10^{-6}$
168.03	$1,284 \cdot 10^{-3}$	$1,421 \cdot 10^{-6}$
192.03	$1,096 \cdot 10^{-3}$	$1,813 \cdot 10^{-6}$
216.10	$1,047 \cdot 10^{-3}$	$2,396 \cdot 10^{-6}$
335.97	$9,973 \cdot 10^{-4}$	$2,355 \cdot 10^{-6}$
360.00	$9,432 \cdot 10^{-4}$	$2,228 \cdot 10^{-6}$
383.99	$8,717 \cdot 10^{-4}$	$2,059 \cdot 10^{-6}$
480.04	$8,441 \cdot 10^{-4}$	$2,144 \cdot 10^{-6}$
504.8	$6,590 \cdot 10^{-4}$	$1,416 \cdot 10^{-6}$

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

*Ver procedimiento de cálculos realizados en Apéndice B, 2 Cálculos de muestra 4.1 y 3 Análisis de error, Cálculo 4.2

Cuadro 12. 28 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

Tiempo (h)	$RO_2 = VUO / X_{v, a}$	$\pm \text{kg O}_2 / \text{kg MLVSS} \cdot \text{h}^{-1}$
0	$3,173 \cdot 10^{-3}$	$5,868 \cdot 10^{-6}$
23.96	$1,502 \cdot 10^{-3}$	$2,028 \cdot 10^{-6}$
143.91	$1,458 \cdot 10^{-3}$	$2,161 \cdot 10^{-6}$
167.94	$1,452 \cdot 10^{-3}$	$2,850 \cdot 10^{-6}$
191.77	$1,407 \cdot 10^{-3}$	$2,837 \cdot 10^{-6}$
311.88	$1,257 \cdot 10^{-3}$	$1,050 \cdot 10^{-6}$
335.89	$1,156 \cdot 10^{-3}$	$1,328 \cdot 10^{-6}$
359.76	$1,070 \cdot 10^{-3}$	$1,189 \cdot 10^{-6}$
455.76	$8,751 \cdot 10^{-4}$	$7,799 \cdot 10^{-7}$
479.77	$8,287 \cdot 10^{-4}$	$7,385 \cdot 10^{-7}$
503.73	$6,213 \cdot 10^{-4}$	$2,098 \cdot 10^{-7}$

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

*Ver procedimiento de cálculos realizados en Apéndice B, 2 Cálculos de muestra 4.1 y 3 Análisis de error, Cálculo 4.2

Cuadro 12. 29 Velocidad específica de utilización de oxígeno disuelto dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

Tiempo (h)	RO ₂ = VUO / X _{v, a}	± kg O ₂ / kg MLVSS*h ⁻¹
0	3,211*10 ⁻³	4,453*10 ⁻⁶
120,00	1,865*10 ⁻³	2,459*10 ⁻⁶
144,00	1,592*10 ⁻³	3,106*10 ⁻⁶
168,00	1,523*10 ⁻³	3,021*10 ⁻⁶
263,89	1,465*10 ⁻³	2,787*10 ⁻⁶
287,89	1,459*10 ⁻³	3,145*10 ⁻⁶
311,89	1,366*10 ⁻³	2,945*10 ⁻⁶
335,89	1,315*10 ⁻³	1,952*10 ⁻⁶
455,73	1,274*10 ⁻³	1,891*10 ⁻⁶
479,73	1,063*10 ⁻³	9,491*10 ⁻⁷
503,73	8,237*10 ⁻⁴	8,389*10 ⁻⁷

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

*Ver procedimiento de cálculos realizados en Apéndice B, 2 Cálculos de muestra 4.1 y 3 Análisis de error, Cálculo 4.2

XIII. ANEXOS

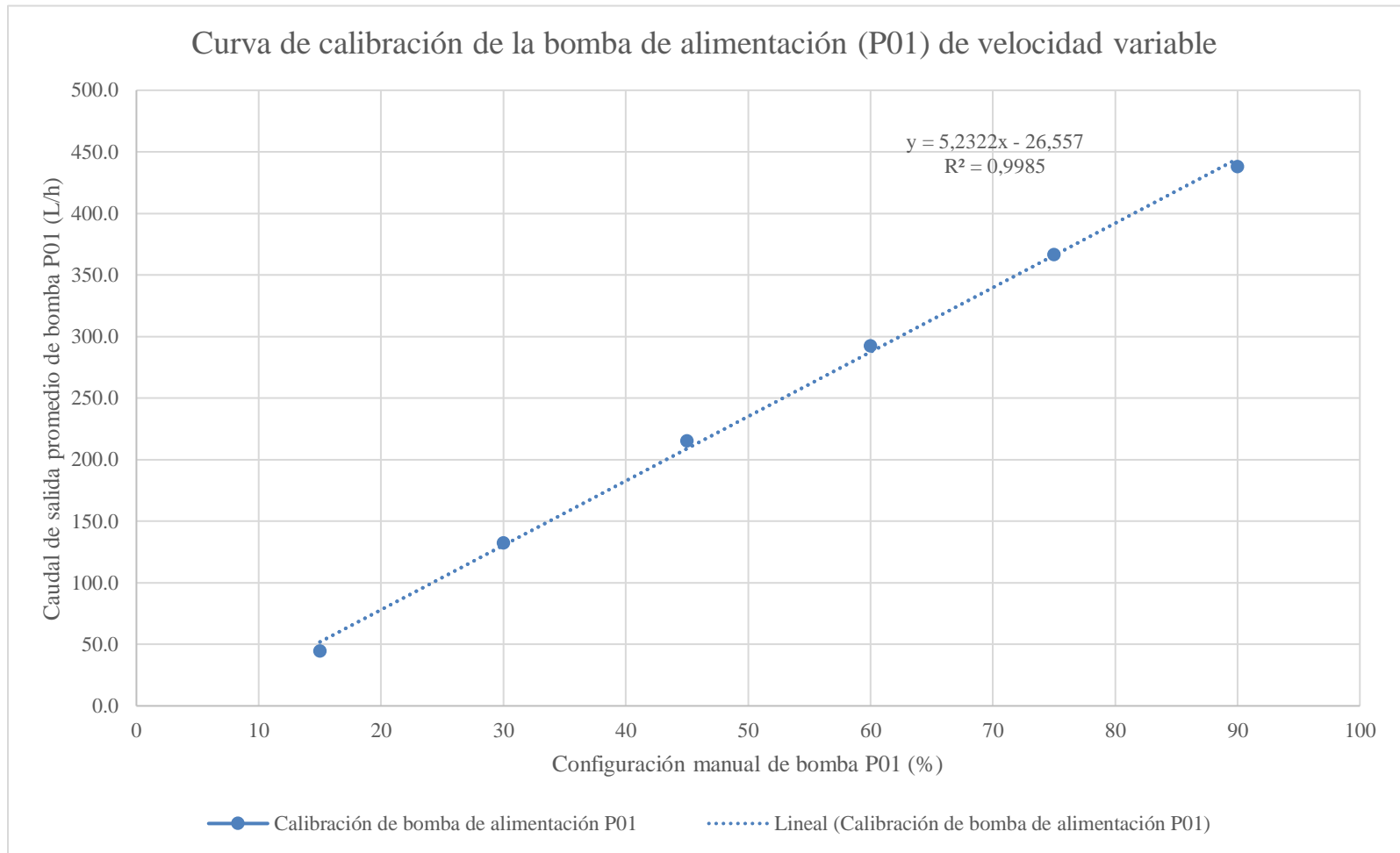
- A. Calibración de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias

1. Calibración de la bomba de alimentación (P01) de velocidad variable

Cuadro 13. 1 Calibración de la bomba de alimentación (P01) de velocidad variable

Flujo Real (m3/d)	Flujo Real (L/h)	Configuración Manual (%)	Tiempo	± min	Tiempo	± h	Caudal Experimental	± L/h	Promedio	± L/h	Error	± %
1,56	64,8	15	36,09	8,33*10 ⁻⁴	0,601	6,94*10 ⁻⁶	44,30	0,2780	44,605	0,162	31.2%	1.13E-03
			35,76	8,33*10 ⁻⁴	0,596	6,94*10 ⁻⁶	44,71	0,2805				
			35,69	8,33*10 ⁻⁴	0,595	6,94*10 ⁻⁶	44,80	0,2811				
3,11	129,6	30	12,14	8,33*10 ⁻⁴	0,202	6,94*10 ⁻⁶	131,70	0,8263	132,269	0,479	2.06%	7.46E-05
			12,04	8,33*10 ⁻⁴	0,201	6,94*10 ⁻⁶	132,84	0,8335				
			12,09	8,33*10 ⁻⁴	0,201	6,94*10 ⁻⁶	132,26	0,8298				
4,67	194,4	45	7,40	8,33*10 ⁻⁴	0,123	6,94*10 ⁻⁶	215,97	1,3550	215,123	0,779	10.7%	3.86E-04
			7,47	8,33*10 ⁻⁴	0,124	6,94*10 ⁻⁶	214,06	1,3431				
			7,42	8,33*10 ⁻⁴	0,124	6,94*10 ⁻⁶	215,34	1,3511				
6,22	259,2	60	5,55	8,33*10 ⁻⁴	0,093	6,94*10 ⁻⁶	287,94	1,8067	292,258	1,059	12.8%	4.62E-02
			5,49	8,33*10 ⁻⁴	0,092	6,94*10 ⁻⁶	291,05	1,8261				
			5,37	8,33*10 ⁻⁴	0,089	6,94*10 ⁻⁶	297,79	1,8684				
7,78	324	75	4,37	8,33*10 ⁻⁴	0,073	6,94*10 ⁻⁶	365,97	2,2964	366,573	1,328	13.1%	4.76E-04
			4,35	8,33*10 ⁻⁴	0,072	6,94*10 ⁻⁶	367,80	2,3078				
			4,37	8,33*10 ⁻⁴	0,073	6,94*10 ⁻⁶	365,95	2,2962				
9,33	388,8	90	3,65	8,33*10 ⁻⁴	0,061	6,94*10 ⁻⁶	437,80	2,7472	437,978	1,587	12.6%	4.58E-04
			3,63	8,33*10 ⁻⁴	0,061	6,94*10 ⁻⁶	440,39	2,7635				
			3,67	8,33*10 ⁻⁴	0,061	6,94*10 ⁻⁶	435,75	2,7343				

Figura 13. 1 Curva de calibración de la bomba de alimentación (P01) de velocidad variable

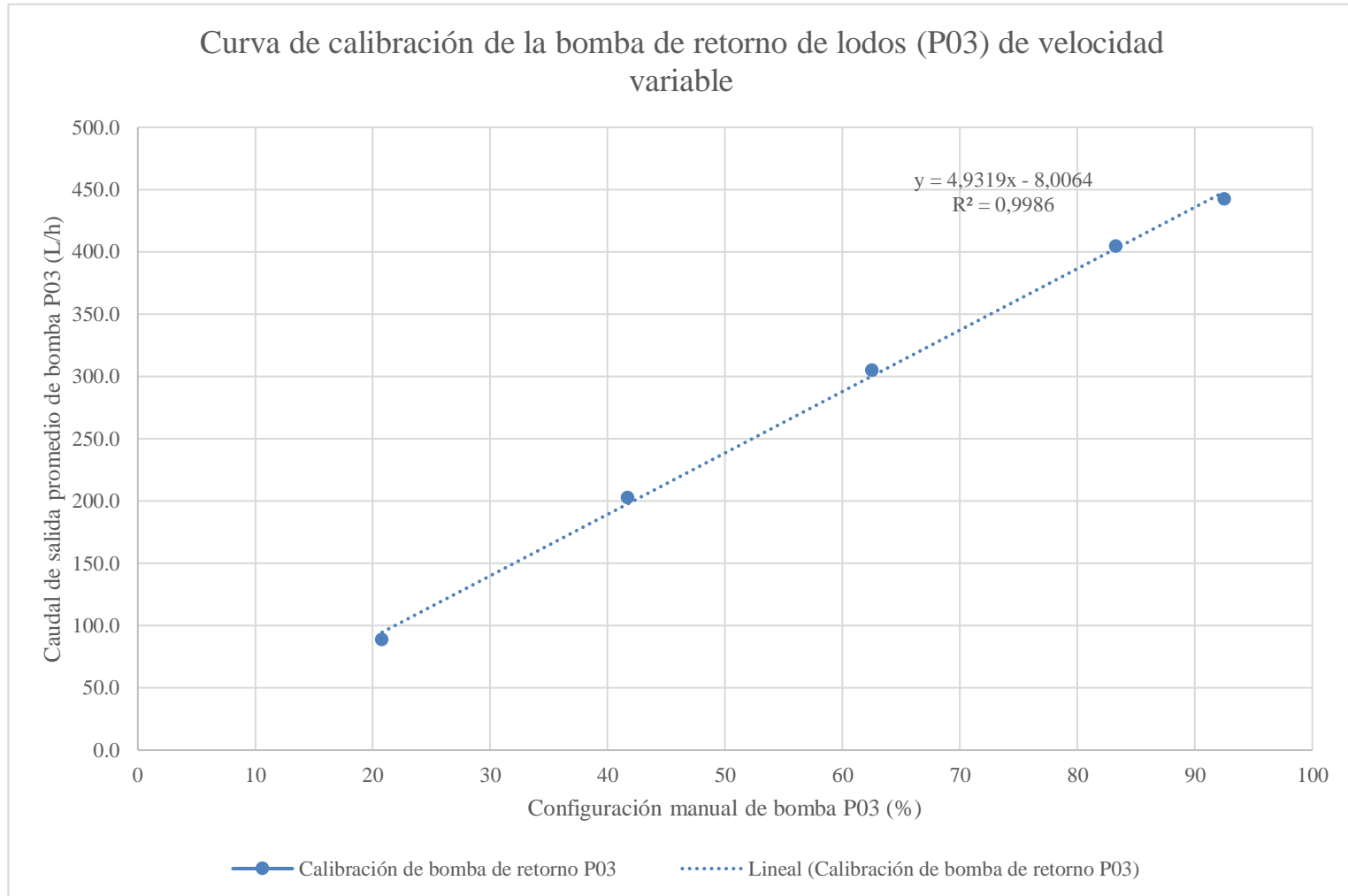


2. Calibración de la bomba de retorno de lodos (P03) de velocidad variable.

Cuadro 13. 2 Calibración de la bomba de retorno de lodos (P03) de velocidad variable

Flujo Real (m ³ /día)	Flujo Real (L/h)	Configuración Manual (%)	Tiempo	± min	Tiempo	± h	Caudal experimental	±L/h	Promedio	±L/h	Error	±%
2,2	89,9	20,8	18,12	8,33*10 ⁻⁴	0,302	6,94*10 ⁻⁶	88,2	0,553	88,7	0,322	1,24%	4,49E-05
			17,60	8,33*10 ⁻⁴	0,293	6,94*10 ⁻⁶	90,8	0,570				
			18,34	8,33*10 ⁻⁴	0,306	6,94*10 ⁻⁶	87,2	0,547				
4,3	180,1	41,7	7,82	8,33*10 ⁻⁴	0,130	6,94*10 ⁻⁶	204,5	1,283	202,8	0,735	12,59%	4,56E-04
			7,86	8,33*10 ⁻⁴	0,131	6,94*10 ⁻⁶	203,5	1,277				
			7,98	8,33*10 ⁻⁴	0,133	6,94*10 ⁻⁶	200,4	1,258				
6,5	270,0	62,5	5,24	8,33*10 ⁻⁴	0,087	6,94*10 ⁻⁶	305,0	1,914	304,9	1,105	12,92%	4,68E-04
			5,25	8,33*10 ⁻⁴	0,088	6,94*10 ⁻⁶	304,3	1,910				
			5,24	8,33*10 ⁻⁴	0,087	6,94*10 ⁻⁶	305,3	1,916				
8,6	359,9	83,3	3,96	8,33*10 ⁻⁴	0,066	6,94*10 ⁻⁶	404,1	2,535	404,6	1,466	12,42%	4,50E-04
			3,96	8,33*10 ⁻⁴	0,066	6,94*10 ⁻⁶	404,2	2,536				
			3,94	8,33*10 ⁻⁴	0,066	6,94*10 ⁻⁶	405,4	2,544				
9,6	399,6	92,5	3,60	8,33*10 ⁻⁴	0,060	6,94*10 ⁻⁶	444,7	2,791	442,5	1,604	10,72%	3,89E-04
			3,75	8,33*10 ⁻⁴	0,062	6,94*10 ⁻⁶	426,7	2,678				
			3,51	8,33*10 ⁻⁴	0,058	6,94*10 ⁻⁶	455,9	2,861				

Figura 13. 2 Curva de calibración de la bomba de retorno de lodos (P03) de velocidad variable

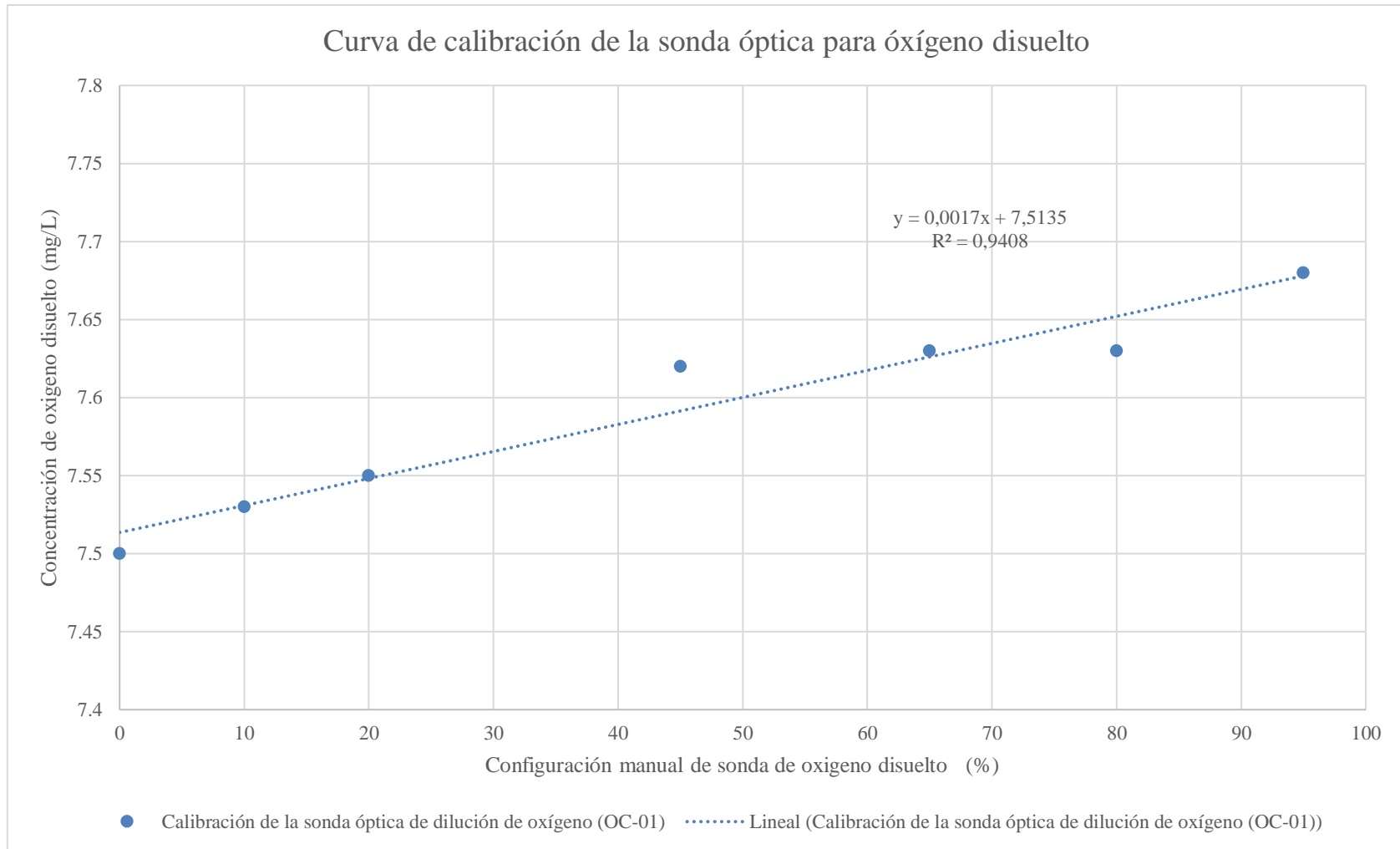


3. Calibración de la sonda óptica de dilución de oxígeno (OC-01)

Cuadro 13.3 Calibración de la sonda óptica de la dilución de oxígeno (OC-01)

Flujo Real (ppm)	Configuración Manual (%)	Concentración experimental	± mgO ₂ /L	Promedio	± mgO ₂ /L	Concentración Teórica	± mgO ₂ /L	Error	±%
2	10	7.53	0.01	7.53	0.01	8.23	0.01	12.7%	0.01
		7.52	0.01						
		7.53	0.01						
4	20	7.55	0.01	7.55	0.01	8.23	0.01	12.5%	0.01
		7.54	0.01						
		7.55	0.01						
9	45	7.62	0.01	7.62	0.01	8.23	0.01	11.7%	0.01
		7.61	0.01						
		7.62	0.01						
13	65	7.63	0.01	7.63	0.01	8.23	0.01	11.6%	0.01
		7.63	0.01						
		7.63	0.01						
16	80	7.63	0.01	7.63	0.01	8.23	0.01	11.6%	0.01
		7.63	0.01						
		7.63	0.01						
19	95	7.68	0.01	7.68	0.01	8.23	0.01	11.0%	0.01
		7.68	0.01						
		7.68	0.01						

Figura 13. 3 Curva de calibración de la sonda óptica de la dilución de oxígeno (OC-01)

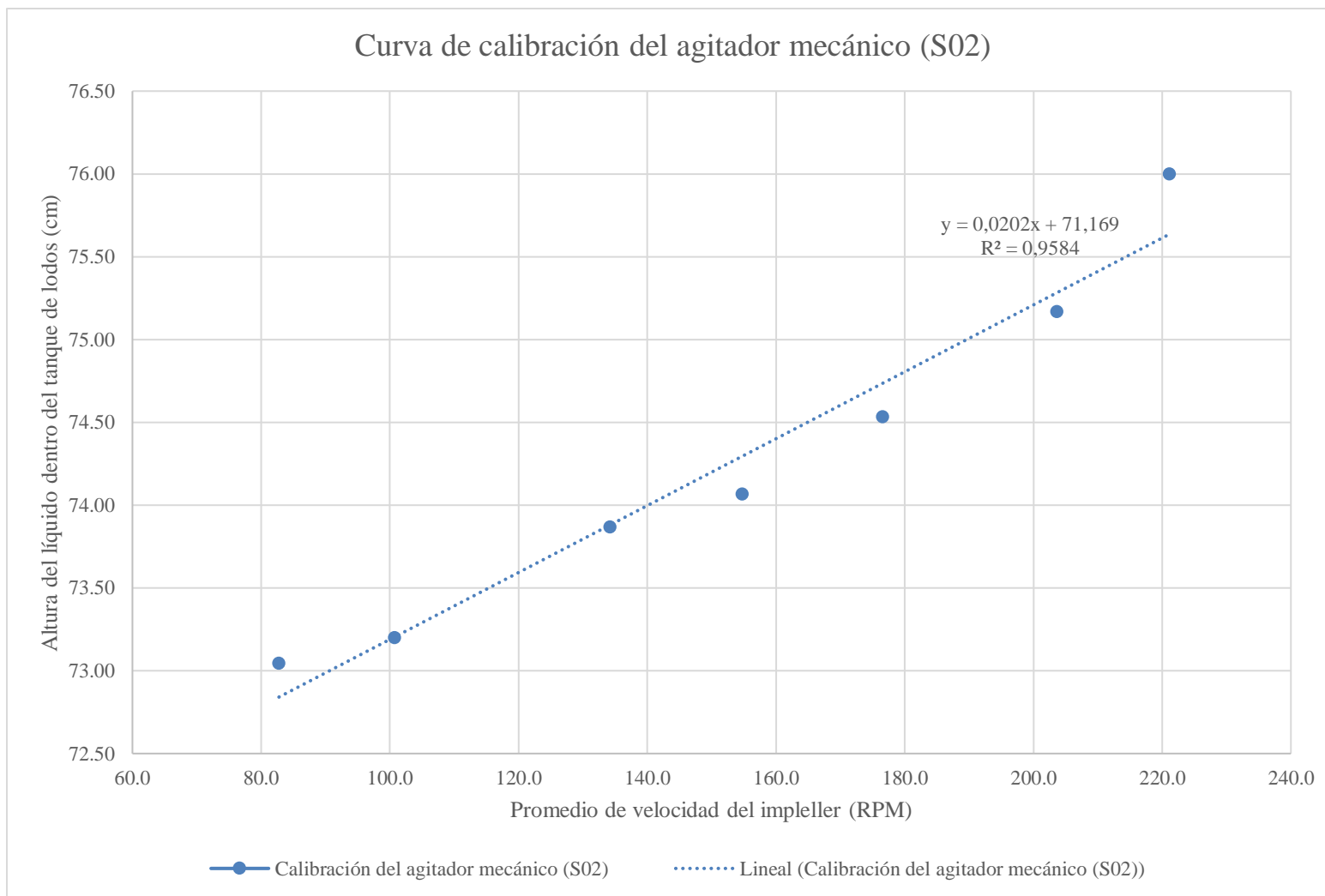


4. Calibración del agitador mecánico (S02)

Cuadro 13. 4 Calibración del agitador mecánico (S02)

Pruebas	Configuración manual	± RPM	Promedio	± RPM	Altura	± cm	Promedio	±cm
1	40,3	0,05	40,2	0,03	73,00	0,01	73,00	0,03
	40,0	0,05			73,00	0,01		
	40,3	0,05			73,00	0,01		
2	58,2	0,05	54,8	0,03	73,00	0,01	73,00	0,03
	50,7	0,05			73,00	0,01		
	55,6	0,05			73,00	0,01		
3	80,8	0,05	82,8	0,03	73,03	0,01	73,04	0,03
	83,0	0,05			73,00	0,01		
	84,5	0,05			73,10	0,01		
4	103,3	0,05	100,8	0,03	73,30	0,01	73,20	0,03
	99,8	0,05			73,10	0,01		
	99,2	0,05			73,20	0,01		
5	132,2	0,05	134,2	0,03	73,80	0,01	73,87	0,03
	137,9	0,05			74,00	0,01		
	132,6	0,05			73,80	0,01		
6	159,1	0,05	154,7	0,03	74,20	0,01	74,07	0,03
	156,4	0,05			74,00	0,01		
	148,7	0,05			74,00	0,01		
7	178,1	0,05	176,6	0,03	74,10	0,01	74,53	0,03
	178,5	0,05			75,00	0,01		
	173,2	0,05			74,50	0,01		
8	195,9	0,05	203,6	0,03	75,00	0,01	75,17	0,03
	210,0	0,05			75,00	0,01		
	205,0	0,05			75,50	0,01		

Figura 13. 4 Curva de calibración del agitador mecánico (S02)



B. Consumo e IVL en función A/M

Figura 13. 5 Representación del índice volumétrico de lodos en función de la relación alimento microorganismo lote 1

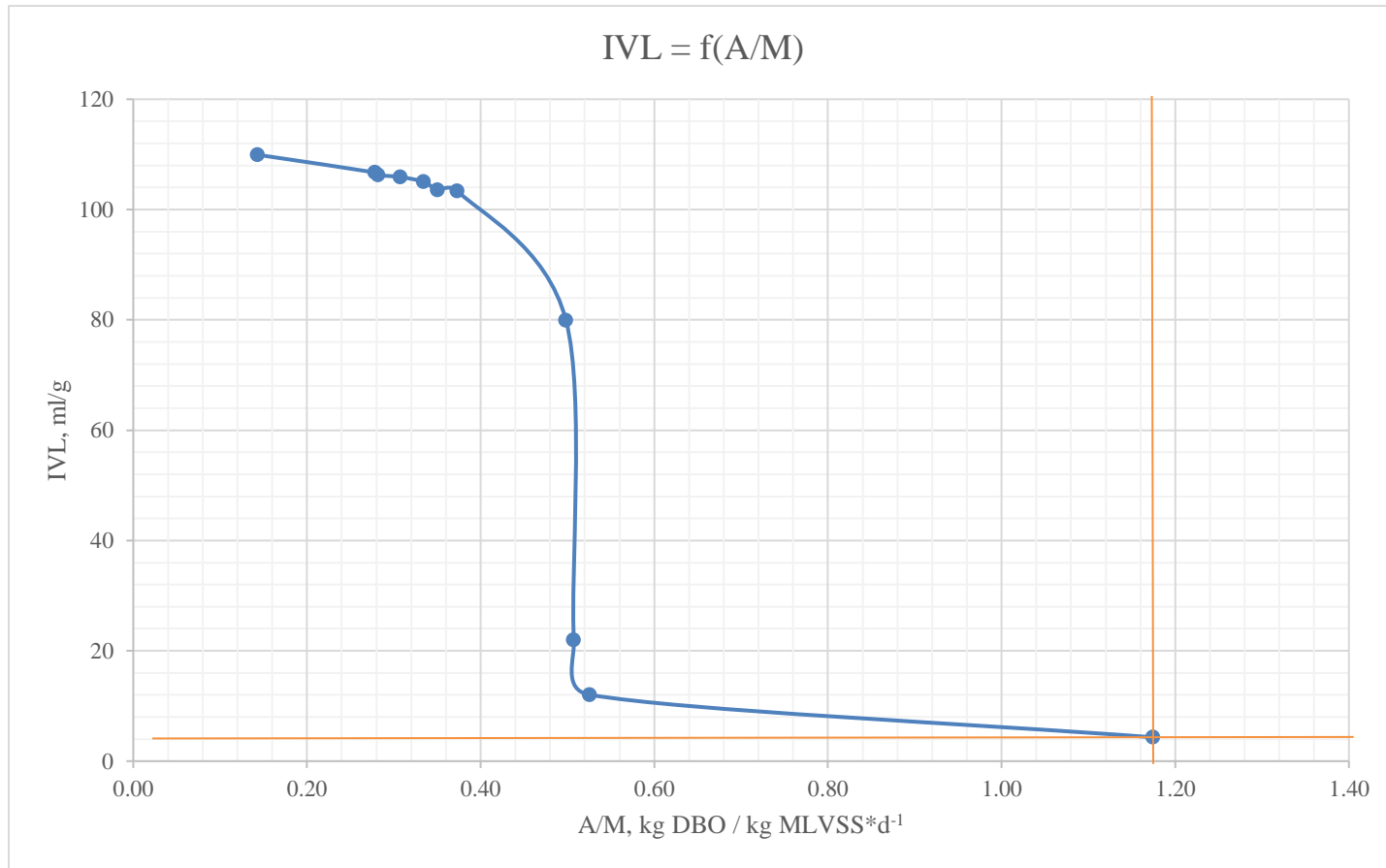


Figura 13. 6 Representación del índice volumétrico de lodos en función de la relación alimento microorganismo lote 2

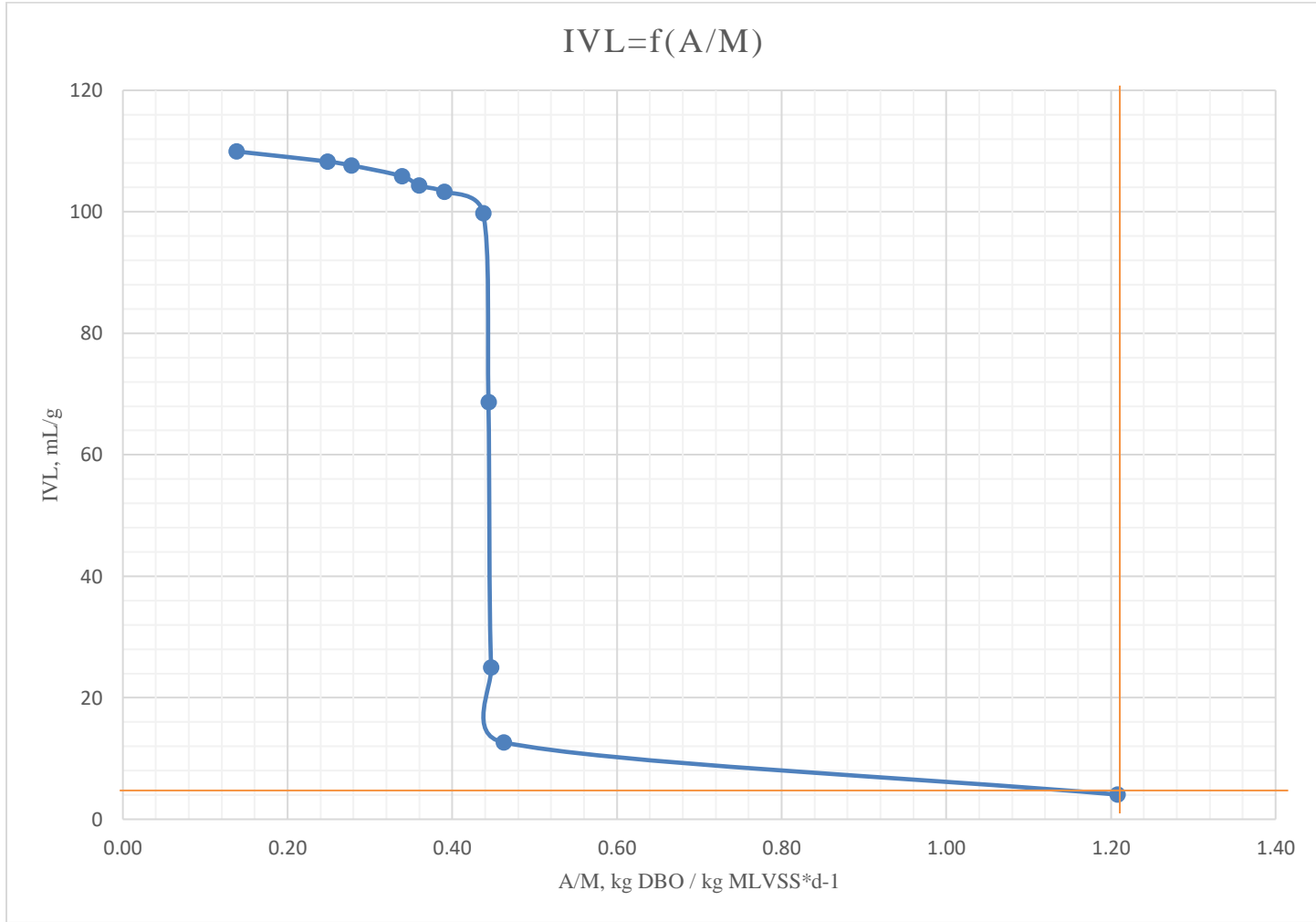
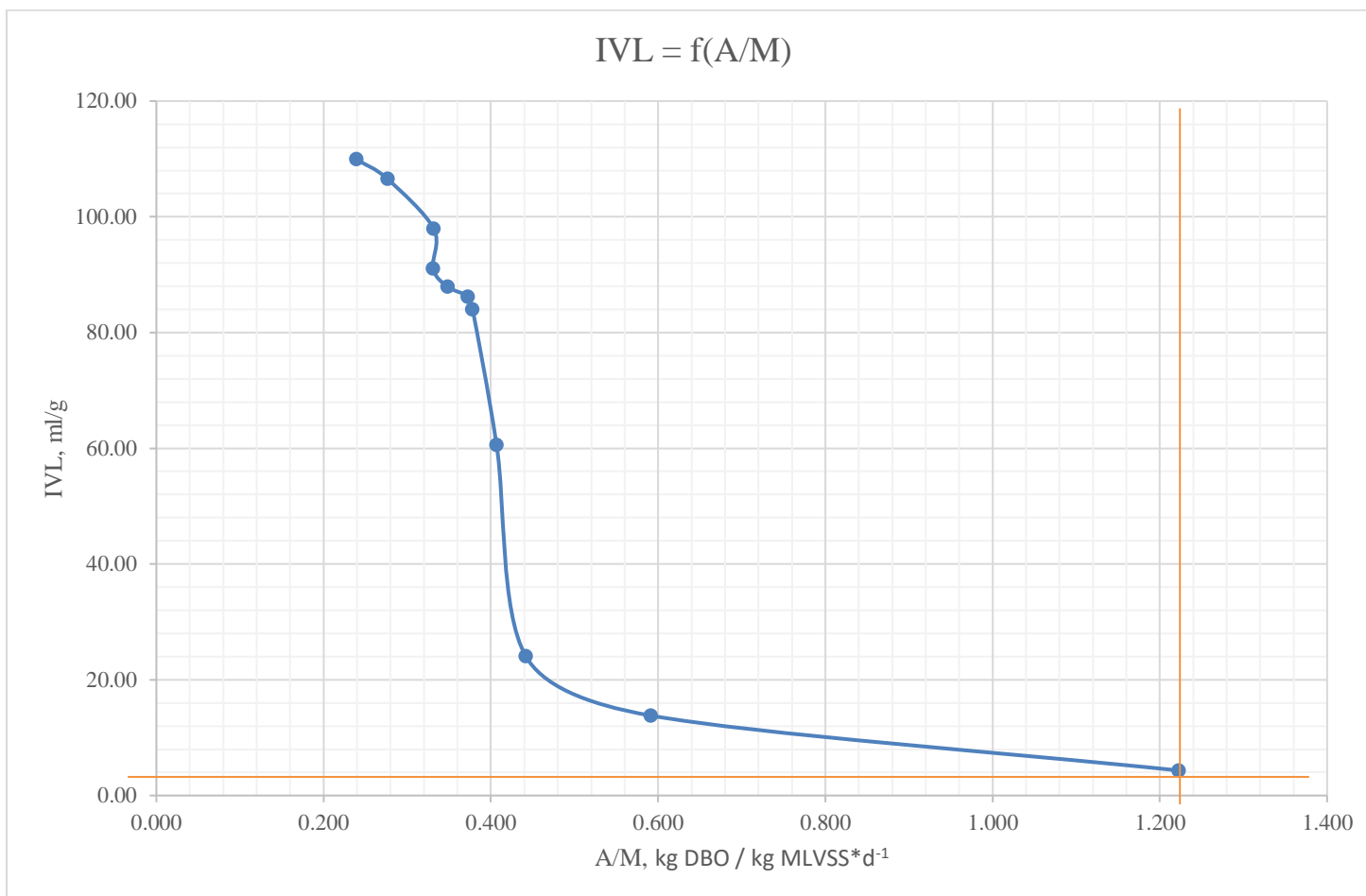


Figura 13. 7 Representación del índice volumétrico de lodos en función de la relación alimento microorganismo lote 3



C. Tasa de consumo de oxígeno

Velocidad de utilización de oxígeno, VUO. Los valores de la Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO), corresponden a la pendiente de las representaciones gráficas del oxígeno Disuelto en función del tiempo, utilizando los Cuadros de datos originales en los resultados, Cuadro 7.7, 7.8 y 7.9 monitoreo de consumo de oxígeno en cada uno de lotes.

1. Datos originales

Cuadro 13. 5 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

Tiempo	0	5	10	15	20
	min	min	min	min	min
Oxígeno Disuelto					
h	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L
0	6,00	4,50	4,10	3,50	1,50
24	3,90	3,40	2,80	2,50	1,40
48	3,90	3,40	2,70	2,40	1,50
168	3,90	3,40	2,60	2,30	1,60
192	3,90	3,30	2,50	2,20	1,80
216	3,90	3,25	2,50	2,00	1,90
336	3,90	3,15	2,50	2,00	1,90
360	3,90	3,15	2,50	2,00	1,90
384	3,90	3,15	2,50	2,00	1,90
480	3,90	3,05	2,50	2,00	1,90
504	3,50	3,15	2,50	2,00	2,05

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 13. 6 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

Tiempo	0	5	10	15	20
	min	min	min	min	min
Oxígeno Disuelto					
h	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L
0	5,6	4,5	3,6	1,5	1,1
24	3,7	3,3	2,3	2,2	1,4
144	3,7	3,3	2,35	2,25	1,4
168	3,7	3,3	2,35	2,25	1,4
192	3,7	3,3	2,35	2,35	1,4
312	3,9	3,5	2,8	2,4	1,8
336	3,9	3,5	2,75	2,45	1,75
360	3,9	3,5	2,8	2,5	1,8
456	3,9	3,5	2,8	2,5	1,9
480	3,9	3,5	2,8	2,5	1,9
504	3,2	2,4	2,2	1,5	1,6

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Cuadro 13. 7 Monitoreo del consumo de oxígeno disuelto (OD) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

Tiempo	0	5	10	15	20
	min	min	min	min	min
Oxígeno Disuelto					
h	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L	OD ± 0.01 mgO ₂ /L
0	5,80	5,00	3,90	2,10	1,25
120	3,90	3,50	2,70	2,10	1,10
144	3,90	3,50	2,80	2,50	1,40
168	3,90	3,50	2,80	2,50	1,45
264	3,90	3,50	2,80	2,60	1,50
288	3,90	3,50	2,80	2,60	1,50
312	3,90	3,50	2,80	2,60	1,50
336	3,90	3,50	2,80	2,55	1,55
456	3,90	3,50	2,80	2,55	1,55
480	3,90	3,50	2,80	2,50	1,60
504	3,90	3,50	2,80	2,50	1,90

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 – 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de

burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

2. Análisis de error

Cálculo 1.1. Regresión lineal para la determinación velocidad de utilización de oxígeno, VUO (mgO₂/L*min⁻¹)
 1)

Para esto fue necesario el software de Excel y con base en los cuadros 13.5, 13.6 y 13.7

Recta del lote 1, tiempo 0 h

$$OD = \left(0.200 \pm 0.0312 \frac{mgO_2}{L * min}\right) t + 6.92 \pm 0.517$$

$$R^2 = 0.932 \pm 0.493$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 2 y 3

3. Datos calculados

Cuadro 13. 8 Velocidad de utilización de oxígeno, VUO (mgO₂/L*min⁻¹) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1

Tiempo (h)	VUO	± mgO ₂ /L*min ⁻¹	Intercepto	±	R ²	±
0	0.200	0.0312	6.92	0.517	0.932	0.493
24	0.118	0.0136	4.57	0.226	0.962	0.215
48	0.116	0.00924	4.52	0.153	0.981	0.146
168	0.114	0.00757	4.47	0.126	0.987	0.120
192	0.106	0.0105	4.33	0.174	0.971	0.166
216	0.105	0.0144	4.29	0.239	0.946	0.228
336	0.103	0.0146	4.24	0.242	0.943	0.231
360	0.103	0.0146	4.24	0.242	0.943	0.231
384	0.103	0.0146	4.24	0.242	0.943	0.231
480	0.101	0.01539	4.19	0.255	0.935	0.243
504	0.081	0.0135	3.86	0.224	0.923	0.214

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0

± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 \cdot 10^{-7} \pm 3.332 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$ y Volumen: $0.329 \pm 6.04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$.

Cuadro 13. 9 Velocidad de utilización de oxígeno, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2

Tiempo (h)	VUO	$\pm \text{mgO}_2/\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	Intercepto	\pm	R^2	\pm
0	0.240	0.256	6.86	0.425	0.967	0.405
24	0.114	0.0136	4.29	0.226	0.959	0.215
144	0.113	0.0133	4.30	0.221	0.960	0.210
168	0.113	0.0133	4.30	0.221	0.960	0.210
192	0.111	0.0156	4.29	0.259	0.945	0.247
312	0.108	0.00541	4.49	0.0898	0.993	0.0856
336	0.107	0.00737	4.48	0.122	0.986	0.117
360	0.105	0.00700	4.46	0.116	0.987	0.111
456	0.103	0.00551	4.46	0.0913	0.991	0.0871
480	0.103	0.00551	4.46	0.0913	0.991	0.0871
504	0.082	0.0166	3.41	0.275	0.890	0.263

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [$986 \pm 0.75 - 988 \pm 0.75$] mbar, Temperatura: [$27.0 \pm 0.01 - 22.5 \pm 0.01$] °C, Oxígeno disuelto: [$2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01$] mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: [$6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01$], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 \cdot 10^{-7} \pm 3.332 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$ y Volumen: $0.329 \pm 6.04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$.

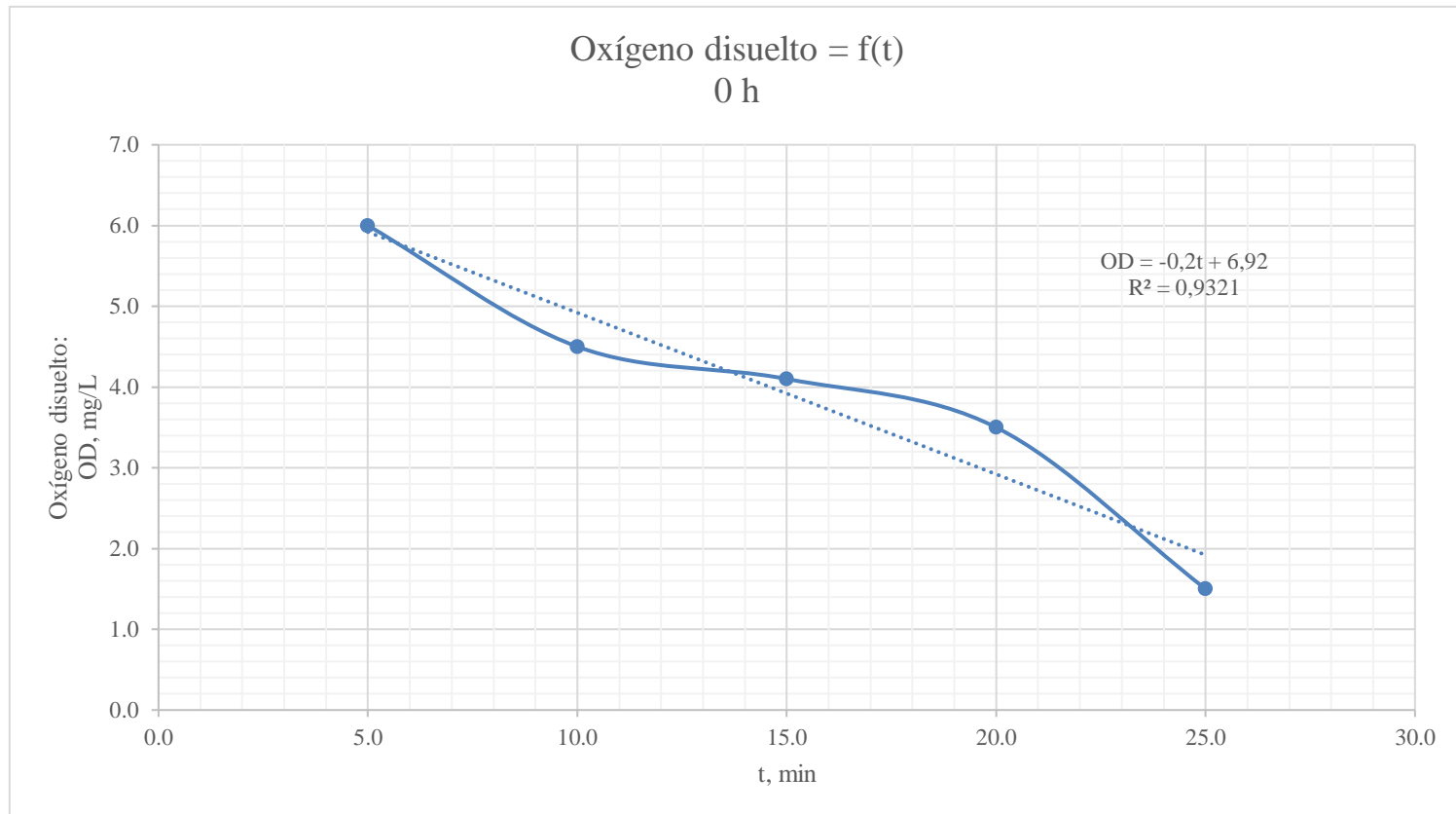
Cuadro 13. 10 Velocidad de utilización de oxígeno, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$) dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3

Tiempo (h)	VUO	$\pm \text{mgO}_2/\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	Intercepto	\pm	R^2	\pm
0	0.240	0.0187	7.21	0.310	0.982	0.296
120	0.140	0.0111	4.76	0.184	0.982	0.175
144	0.120	0.0140	4.62	0.233	0.961	0.222
168	0.118	0.0130	4.60	0.216	0.965	0.206
264	0.114	0.0147	4.57	0.244	0.952	0.233
288	0.114	0.0147	4.57	0.244	0.952	0.233
312	0.114	0.0147	4.57	0.244	0.952	0.233
336	0.113	0.0133	4.30	0.221	0.960	0.210
456	0.113	0.0133	4.30	0.221	0.960	0.210
480	0.112	0.0101	4.54	0.167	0.976	0.159
504	0.100	0.00611	4.42	0.101	0.989	0.0966

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [$986 \pm 0.75 - 988 \pm 0.75$] mbar, Temperatura: [$27.0 \pm 0.01 - 22.5 \pm 0.01$] °C, Oxígeno disuelto: [$2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01$] mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: [$6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01$], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 \cdot 10^{-7} \pm 3.332 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$ y Volumen: $0.329 \pm 6.04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$.

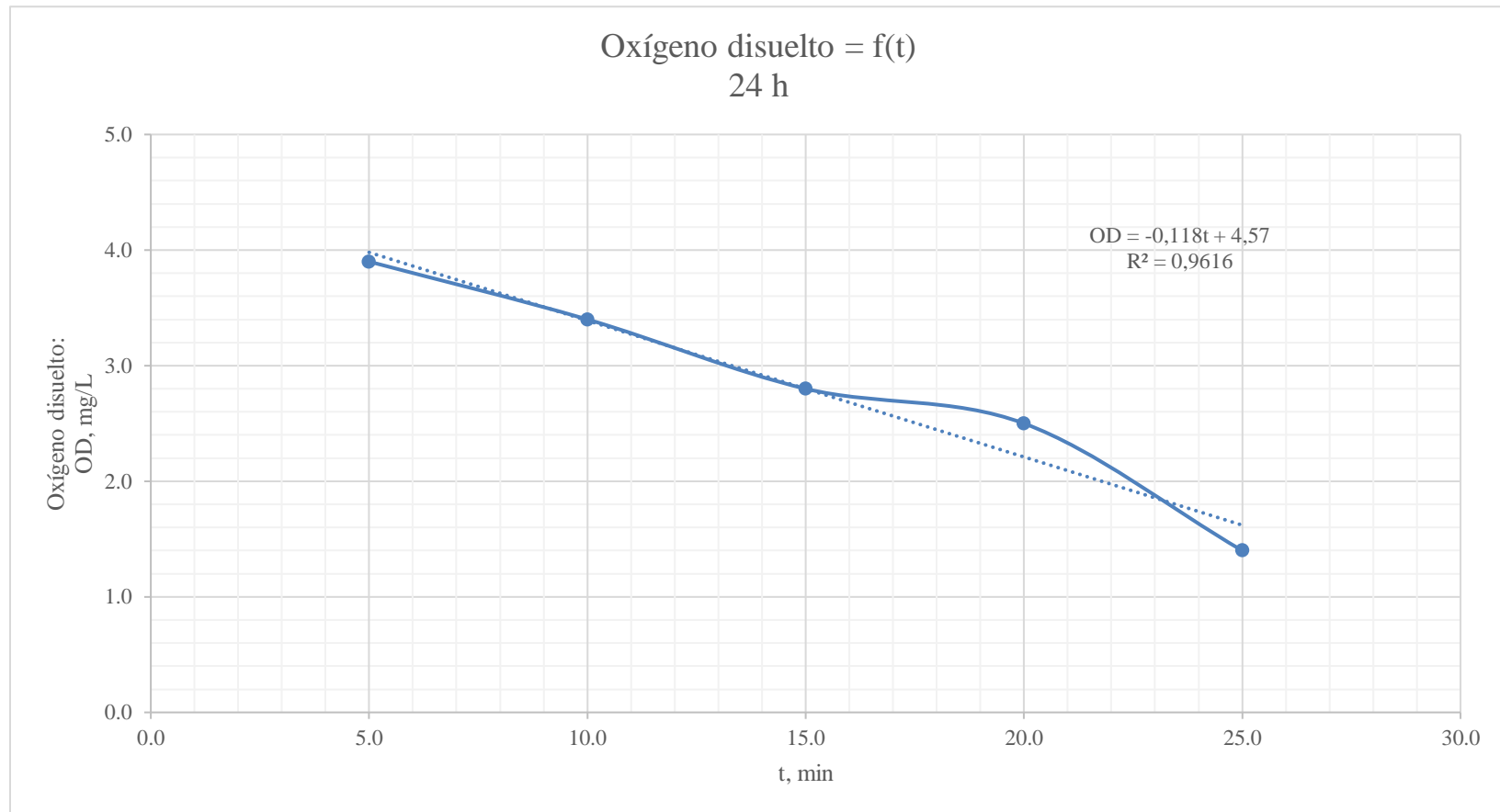
a. Evaluación de la velocidad de utilización de oxígeno (VUO) del lote 1

Figura 13. 8 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 0 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



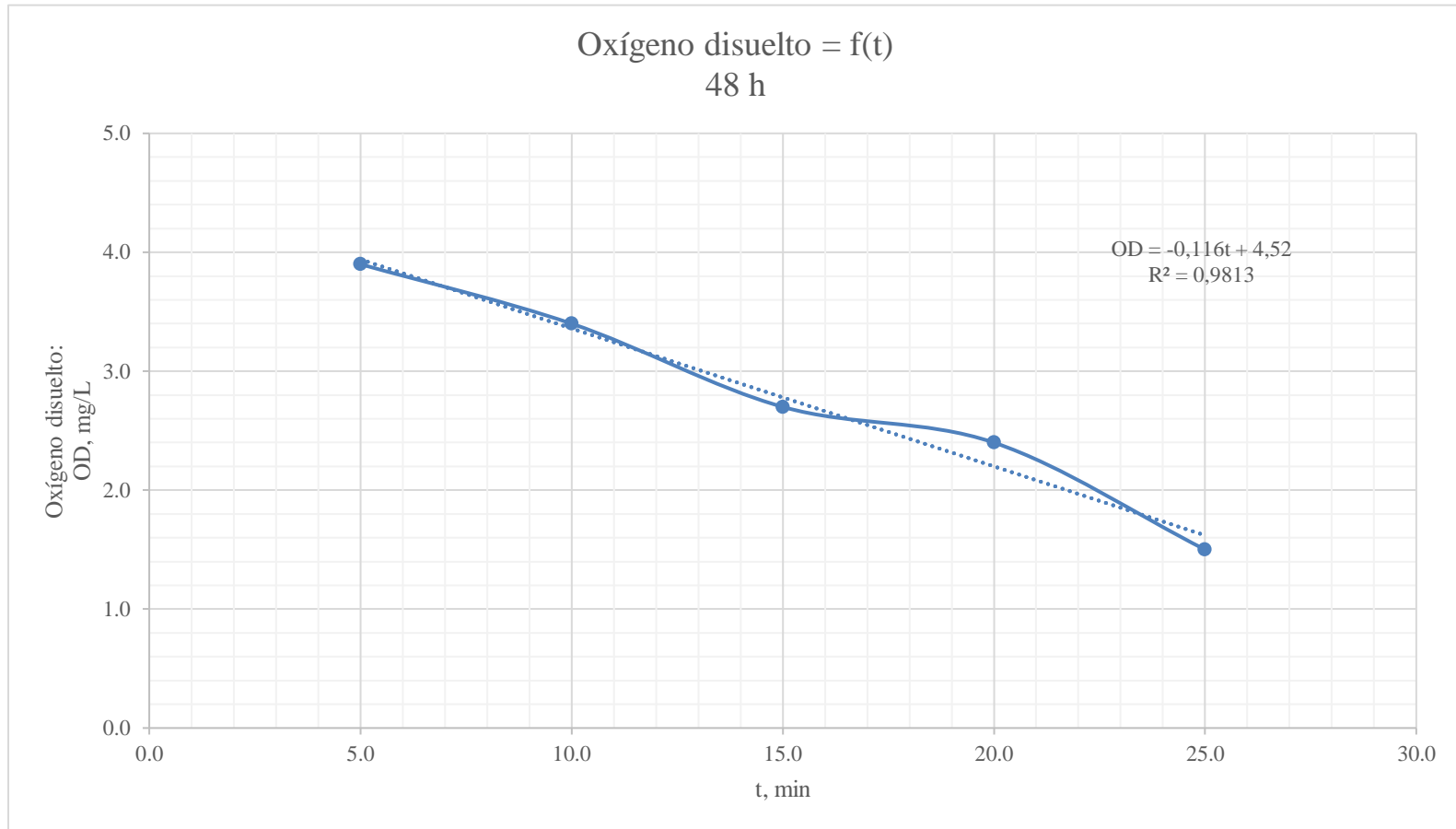
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Figura 13. 9 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 24 h, VUO (mgO₂/L*min⁻¹) lote1



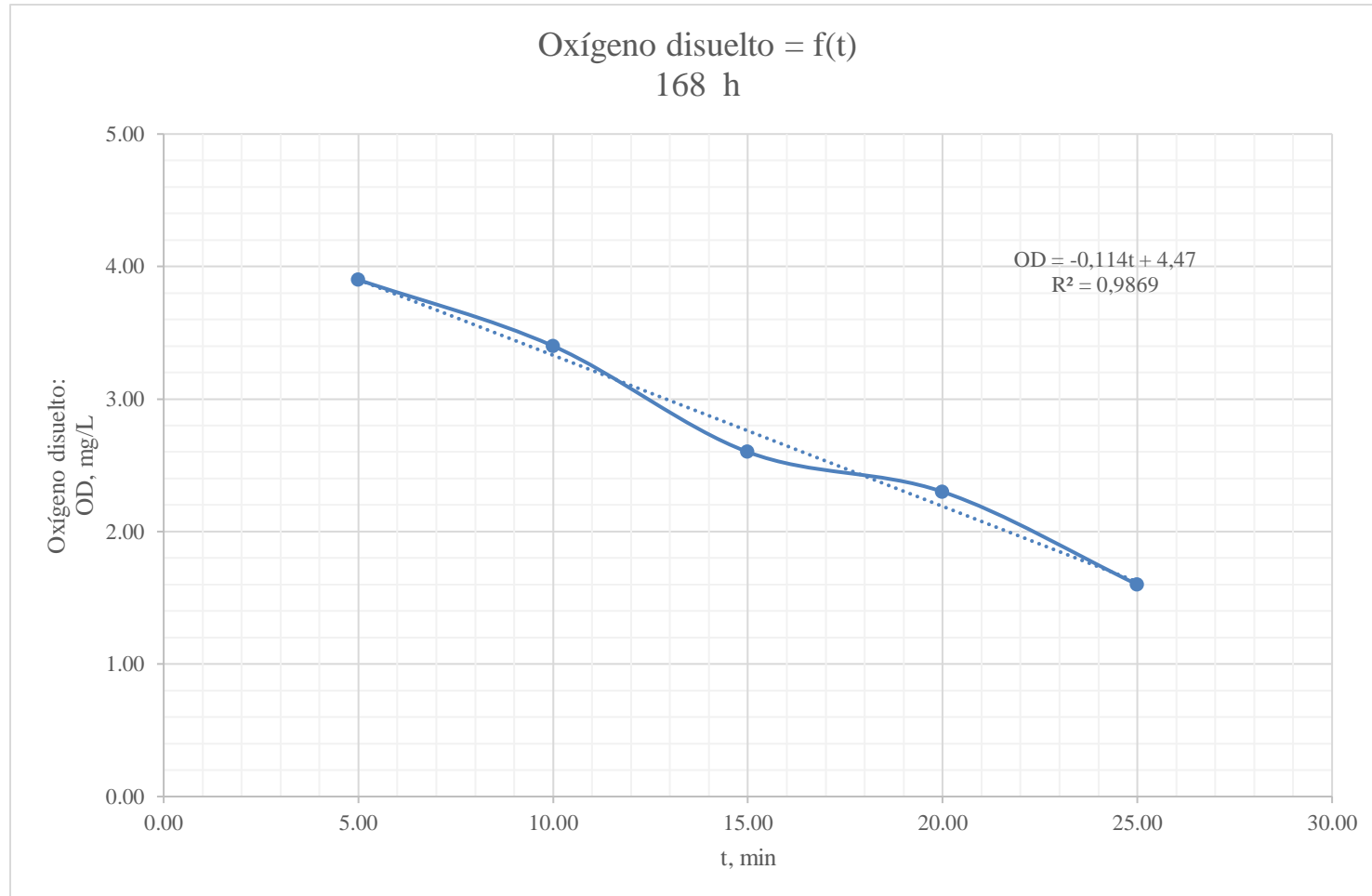
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Figura 13. 10 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 48 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



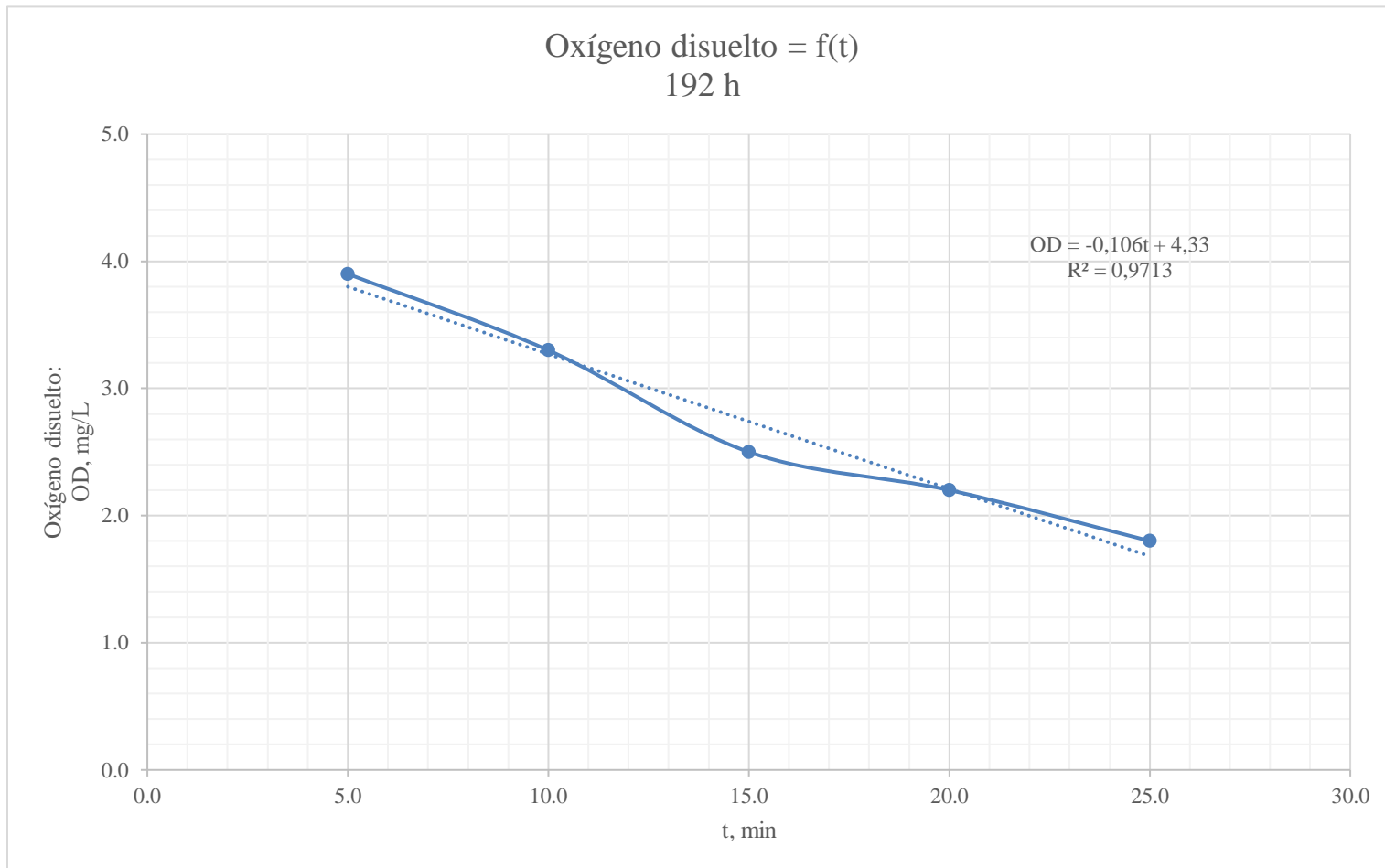
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Figura 13. 11 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 168 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



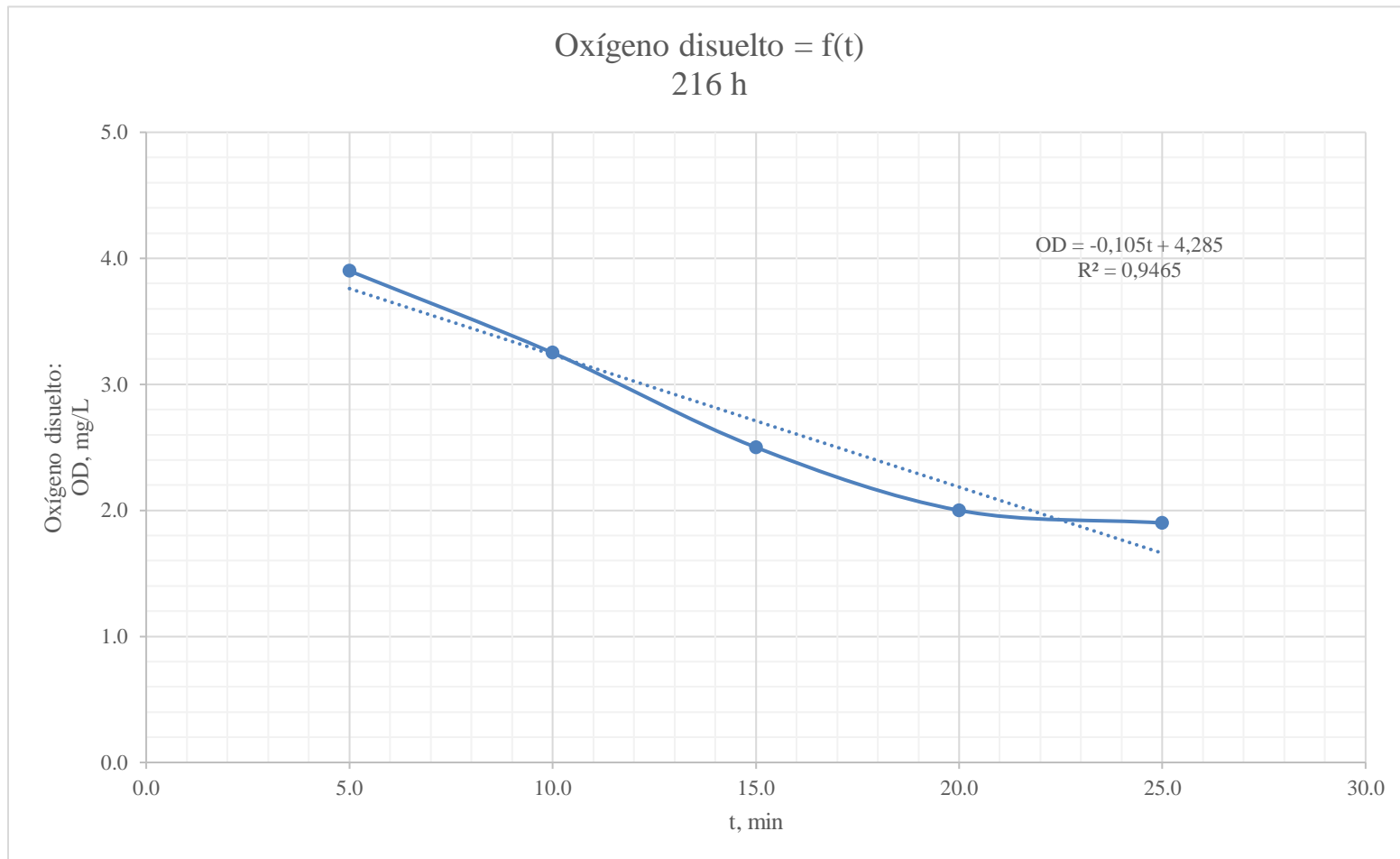
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 12 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 192 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



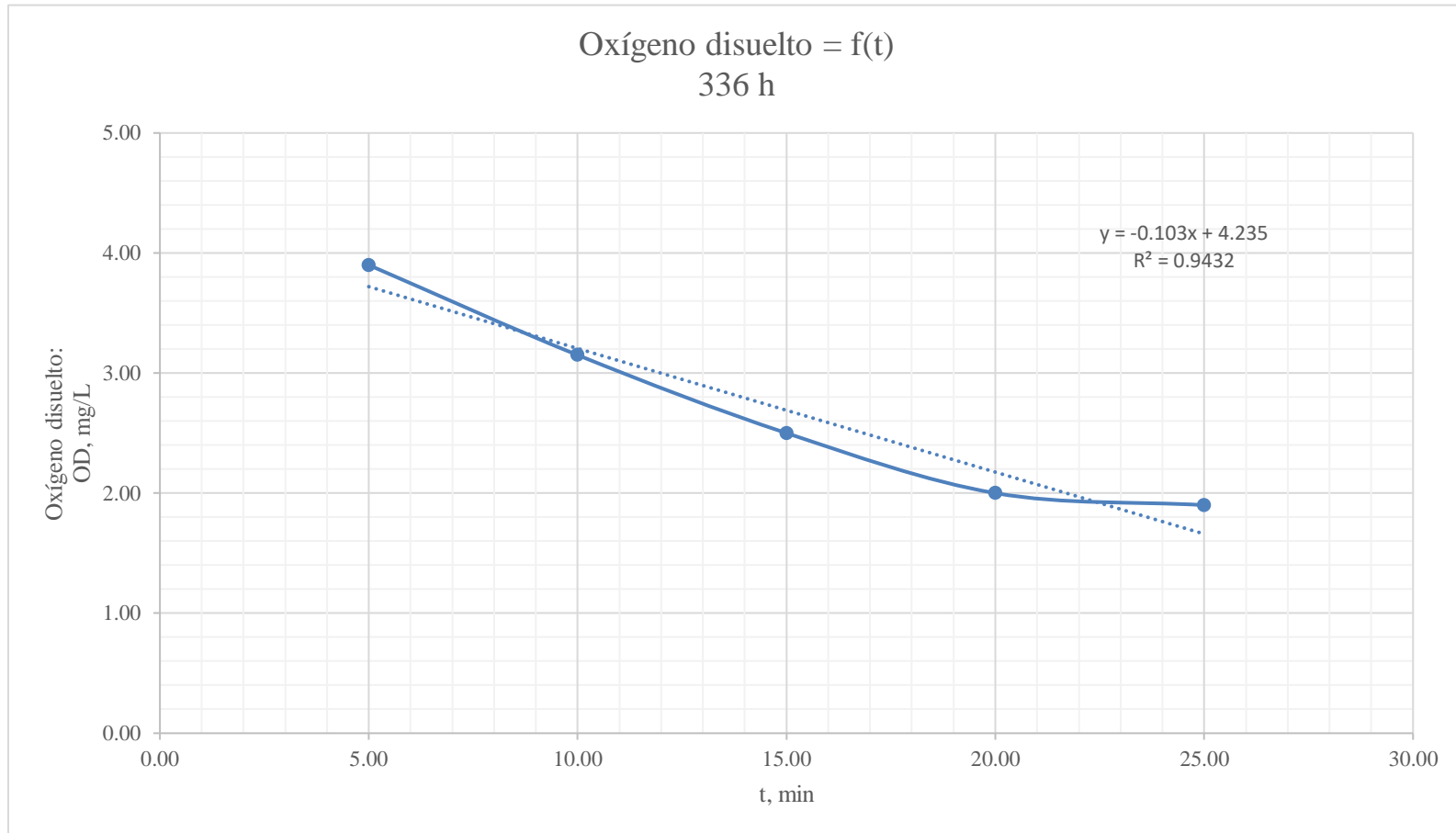
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 13 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 216 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



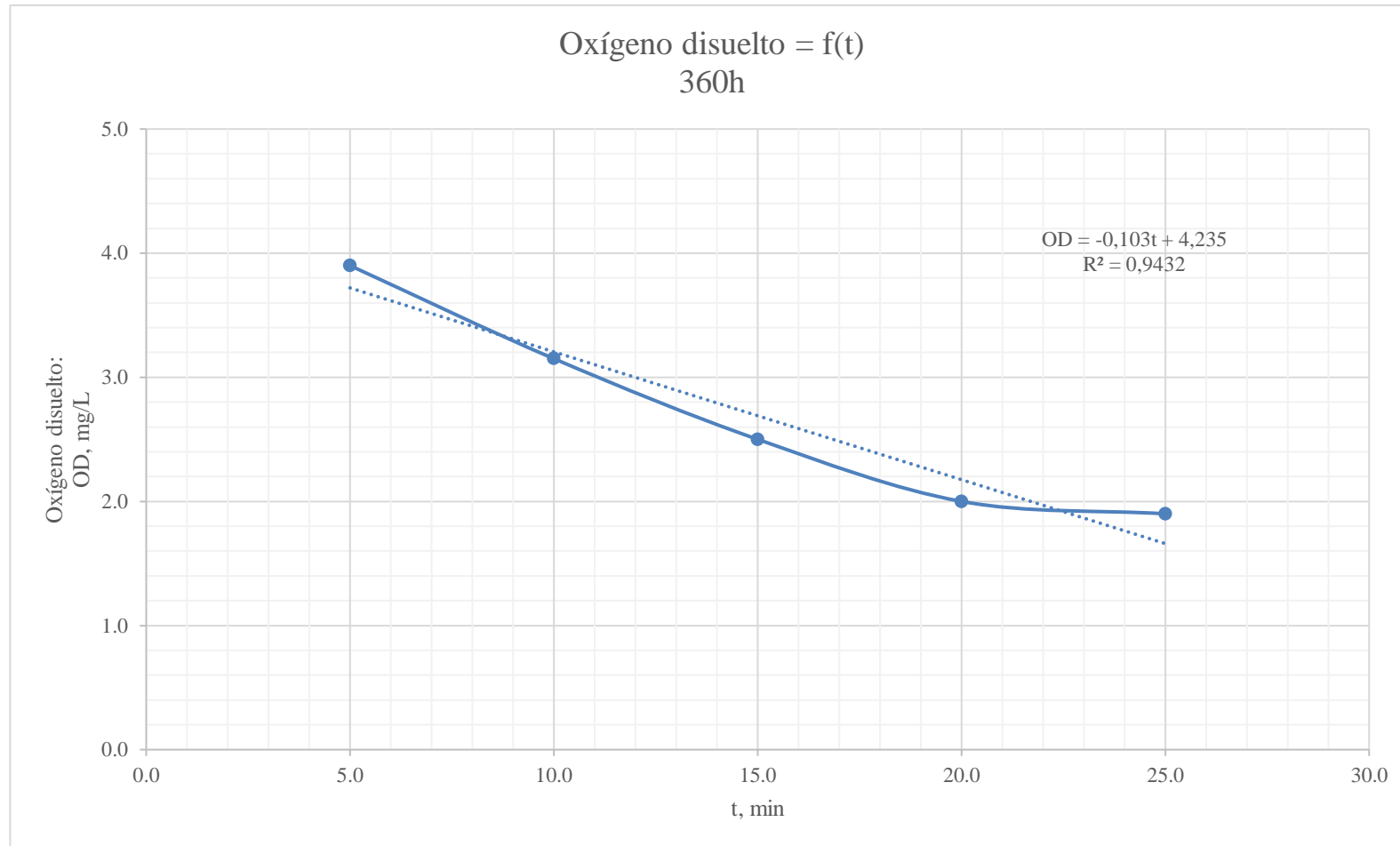
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 14 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 336 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



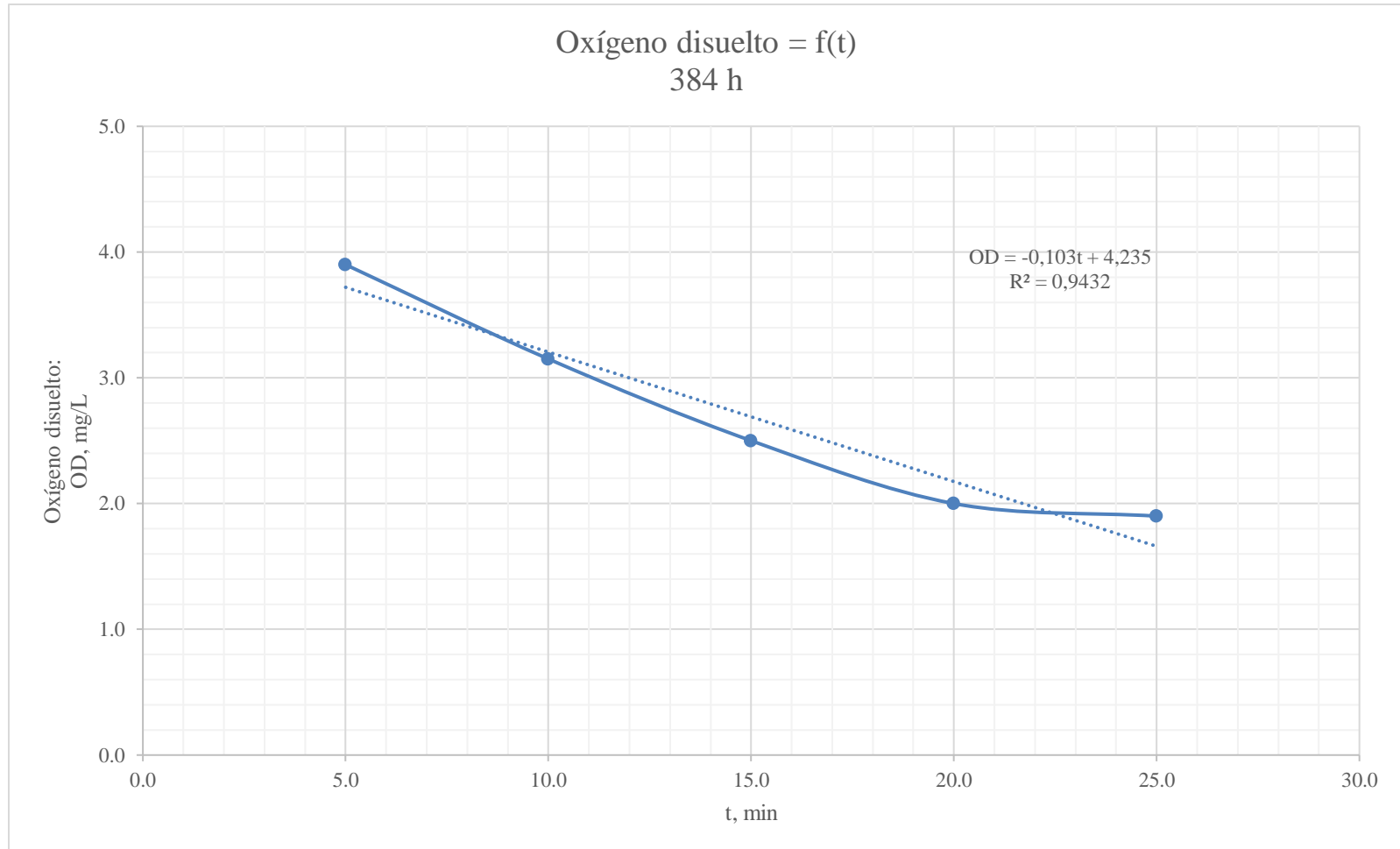
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 15 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 360 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



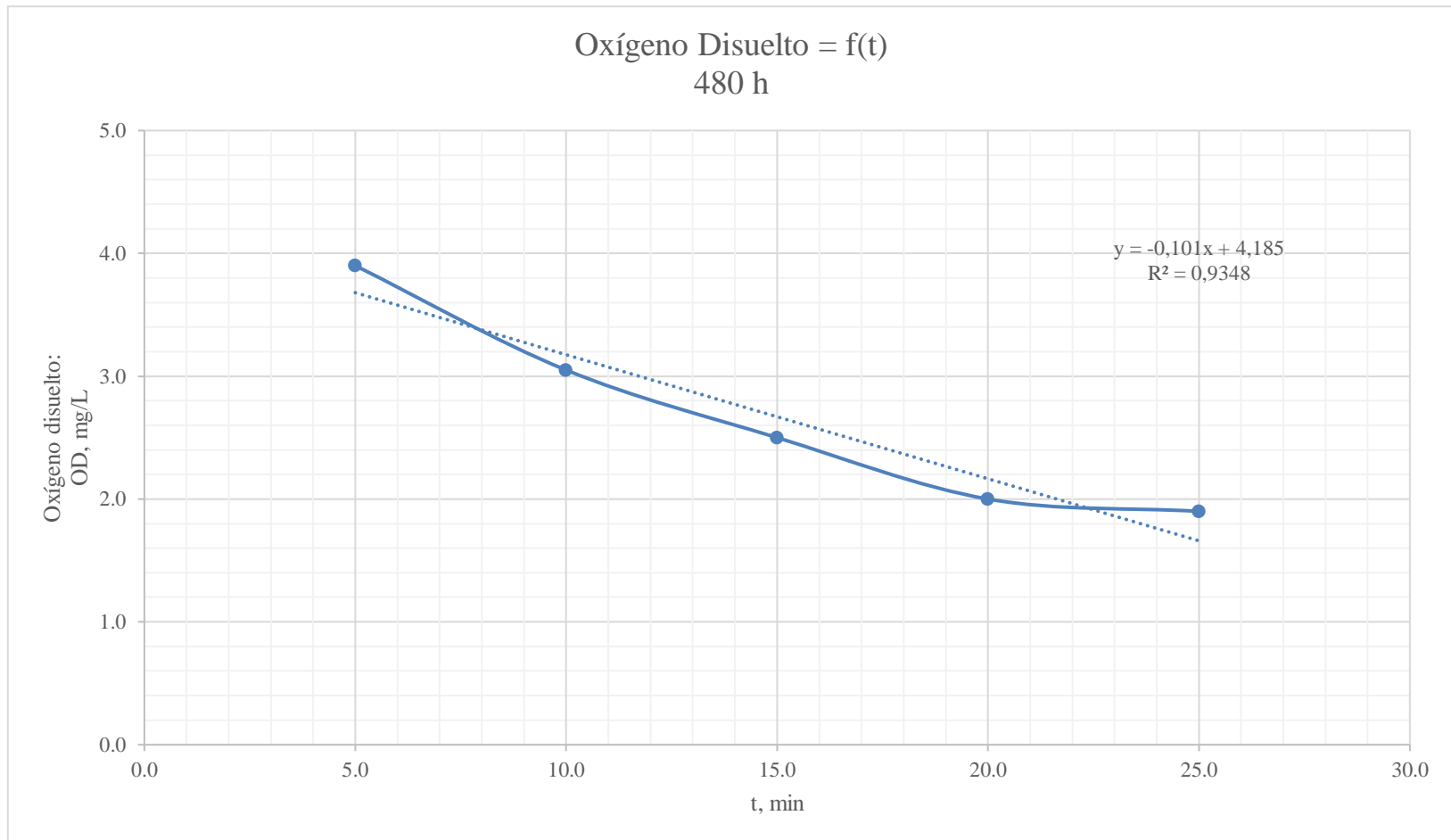
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 16 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 384 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



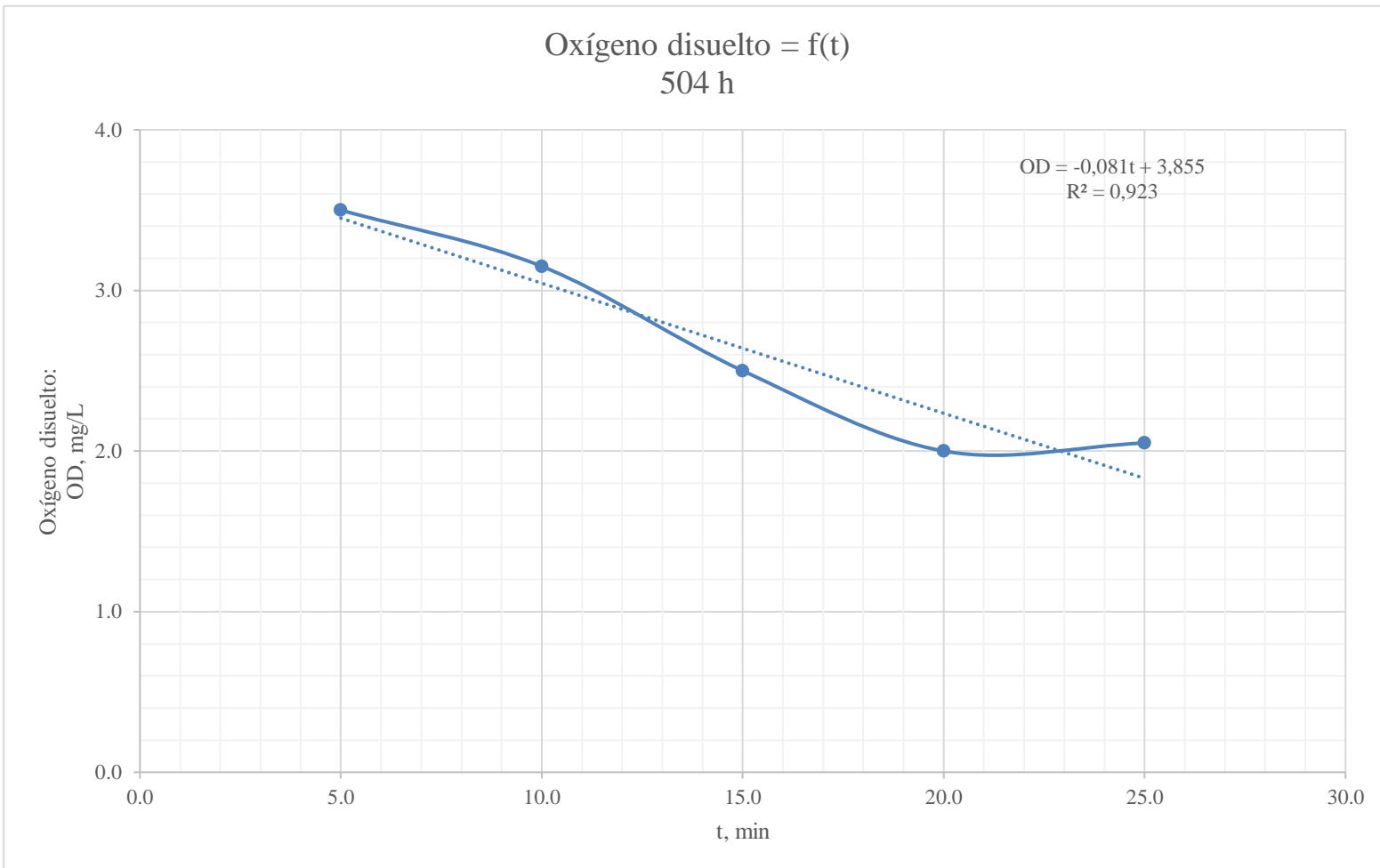
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 17 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 480 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

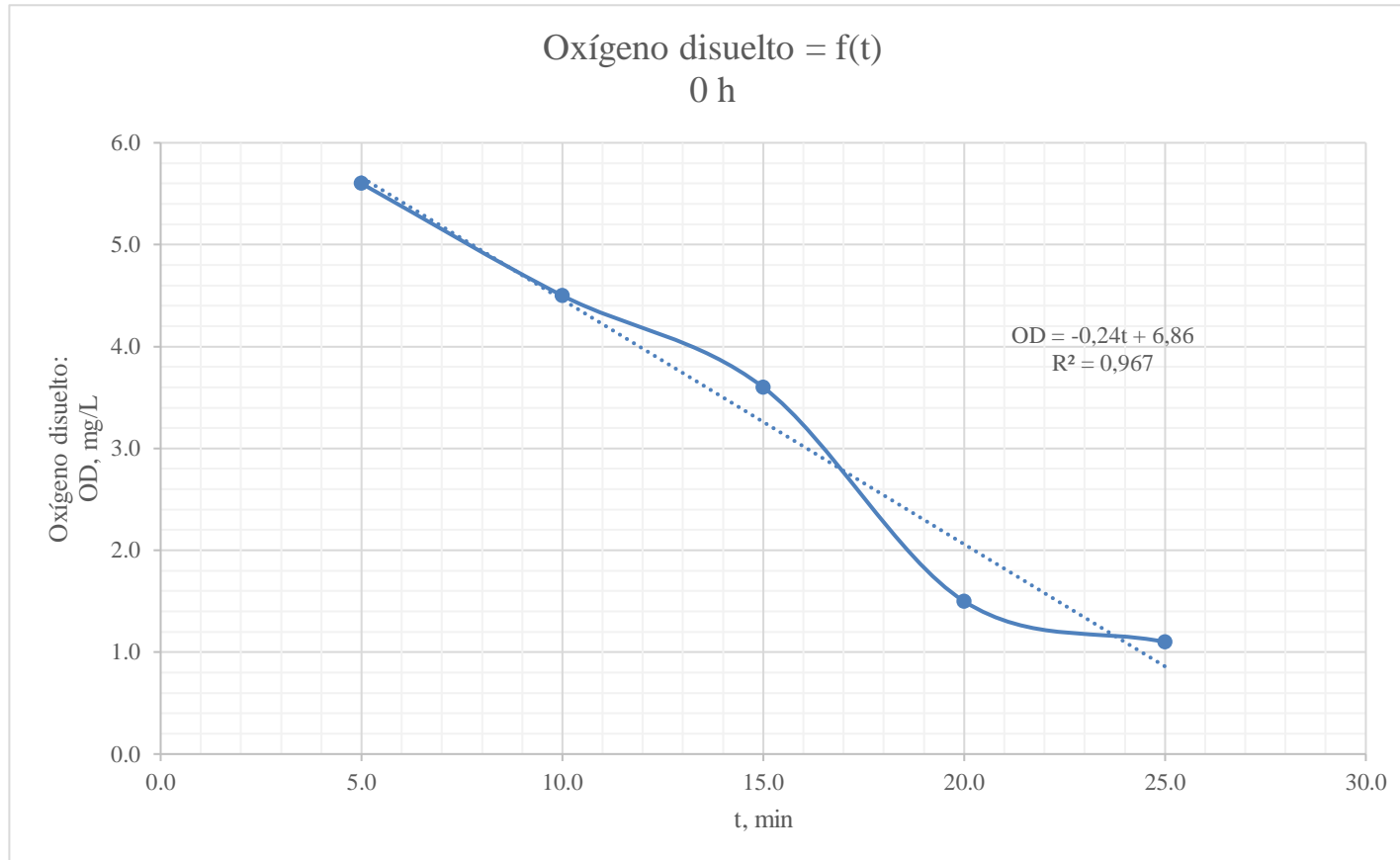
Figura 13. 18 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 504 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 1



*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

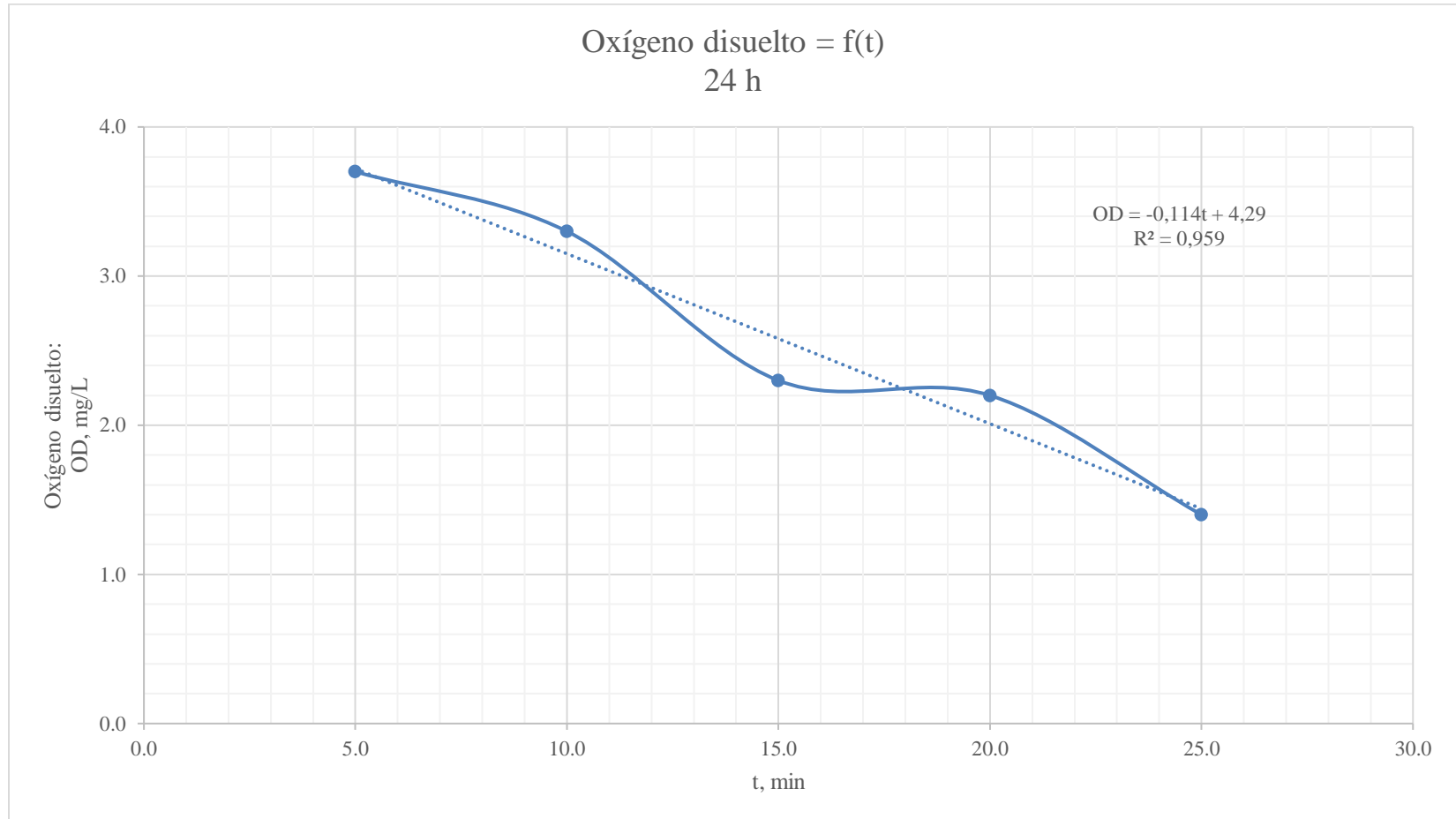
b. Evaluación de la velocidad de utilización de oxígeno (VUO) del lote 2

Figura 13. 19 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 0 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



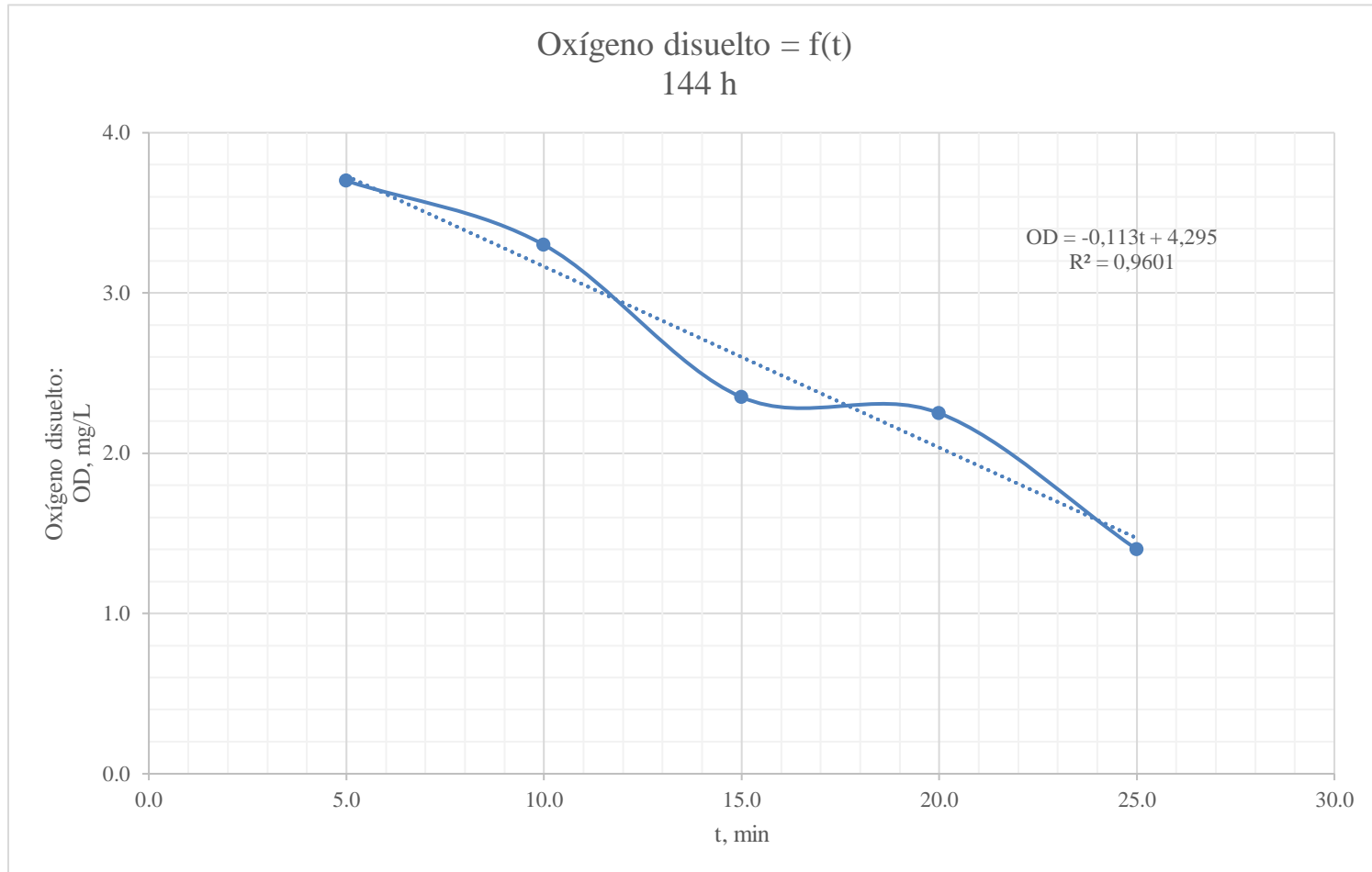
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Figura 13. 20 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 24 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



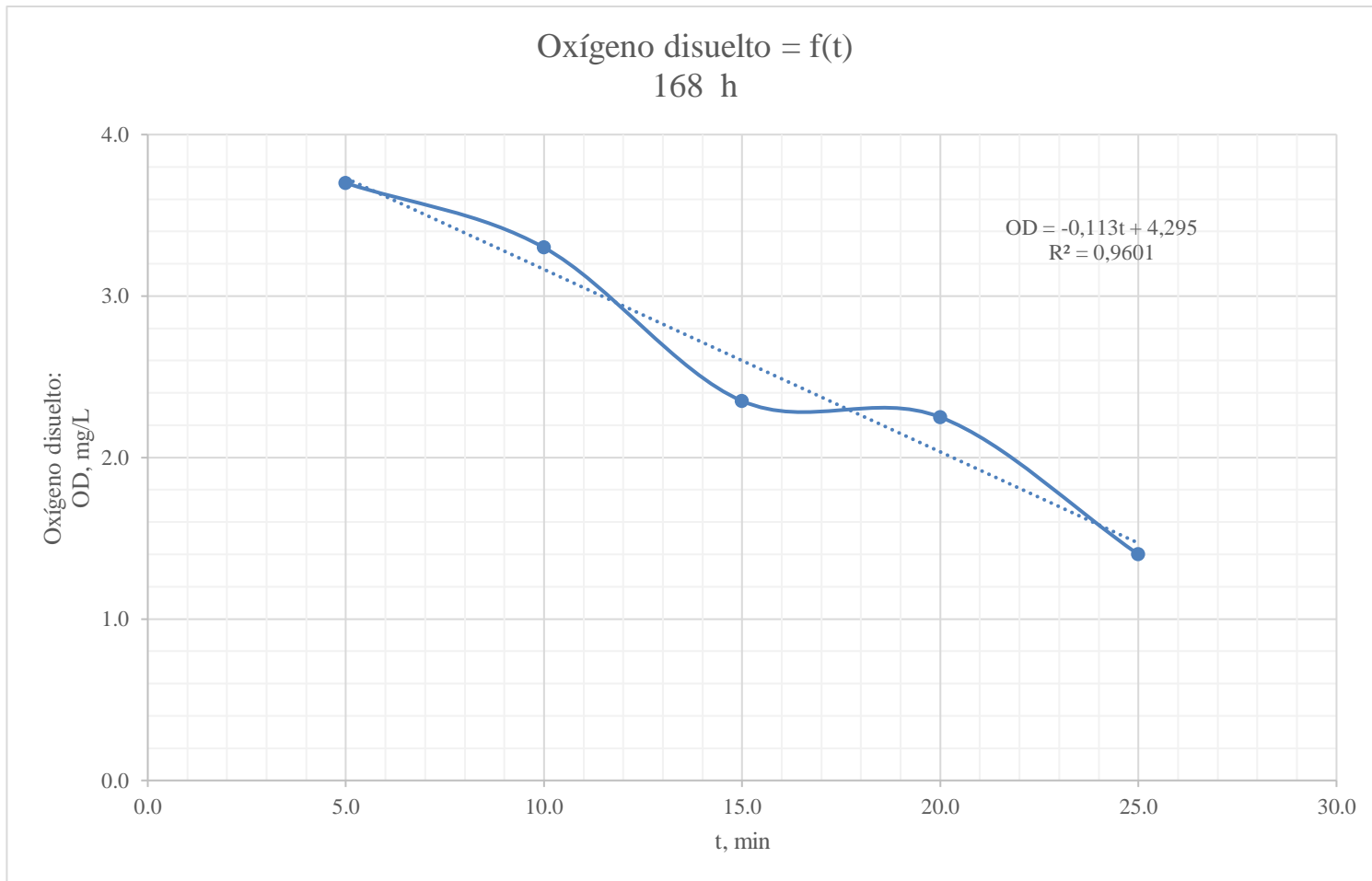
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

Figura 13. 21 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 144 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



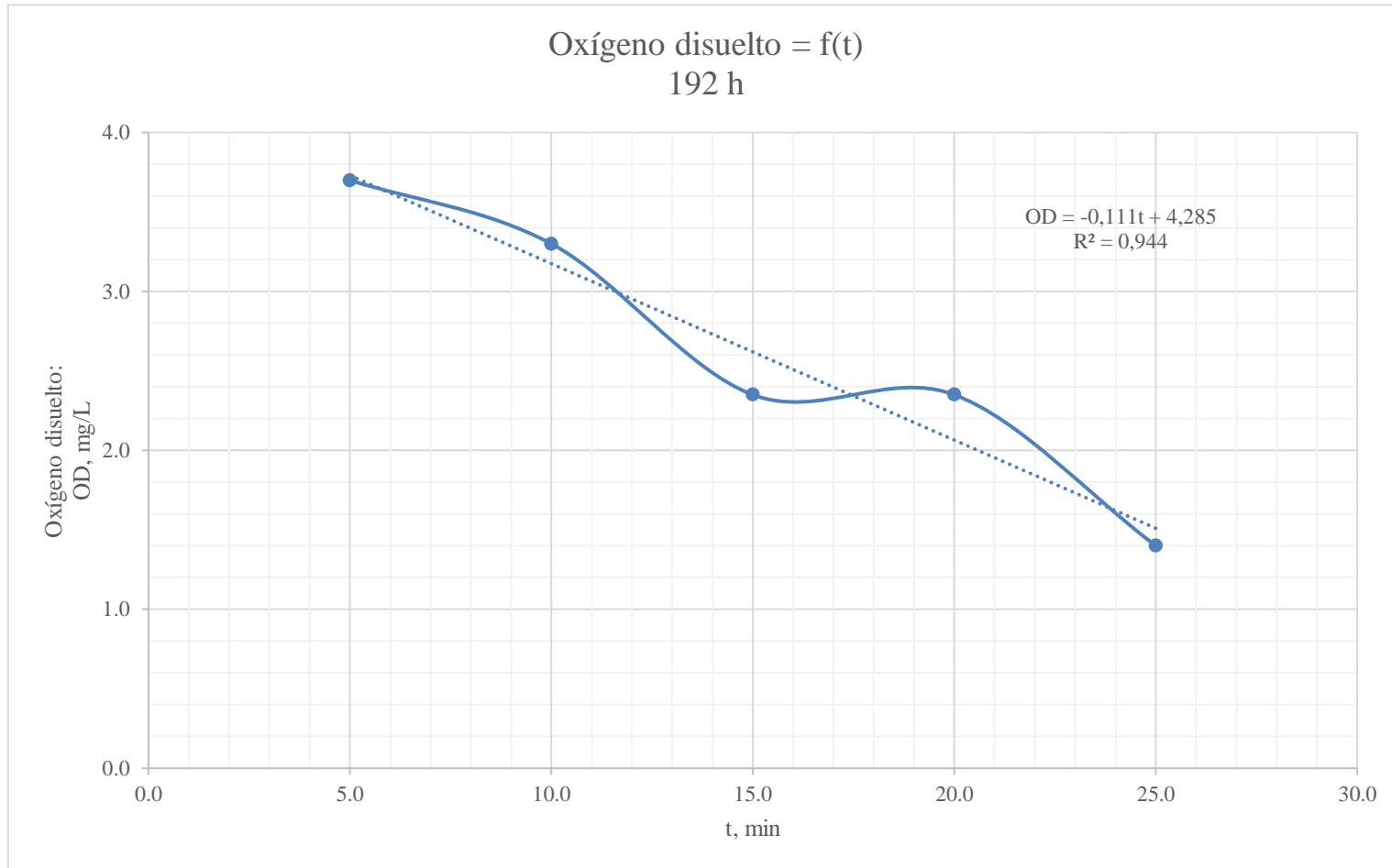
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 22 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 168 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



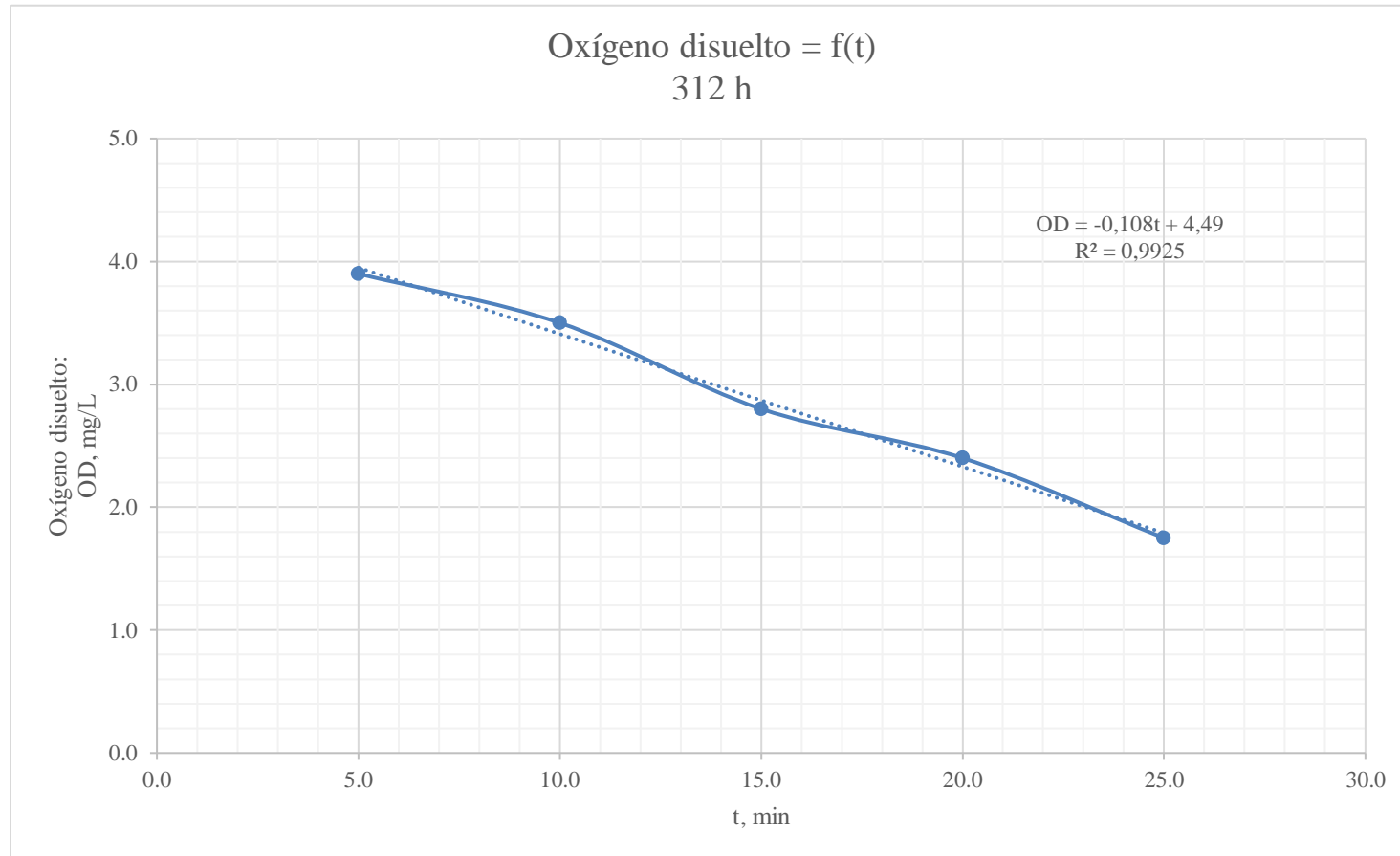
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 23 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 192 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



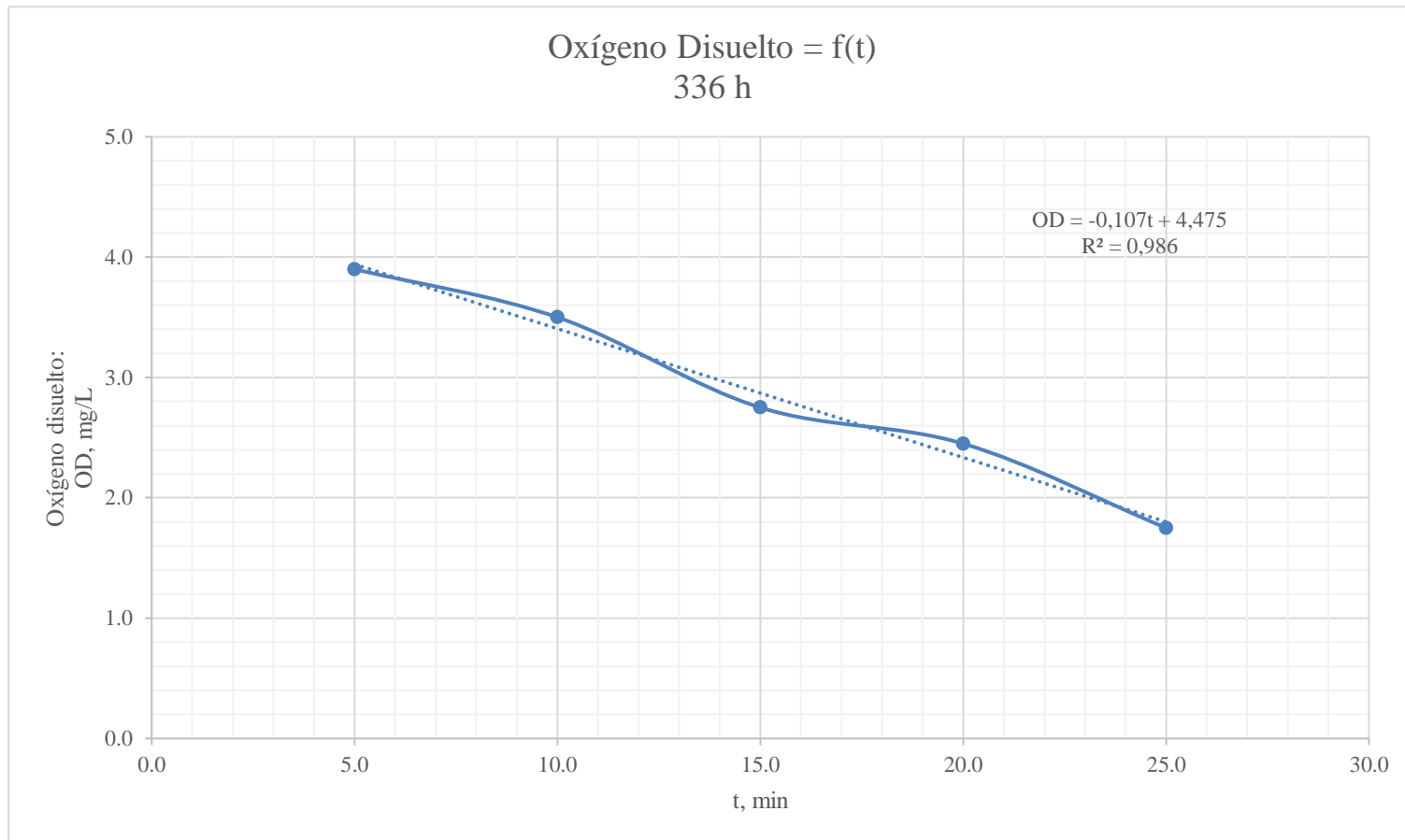
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 24 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 312 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



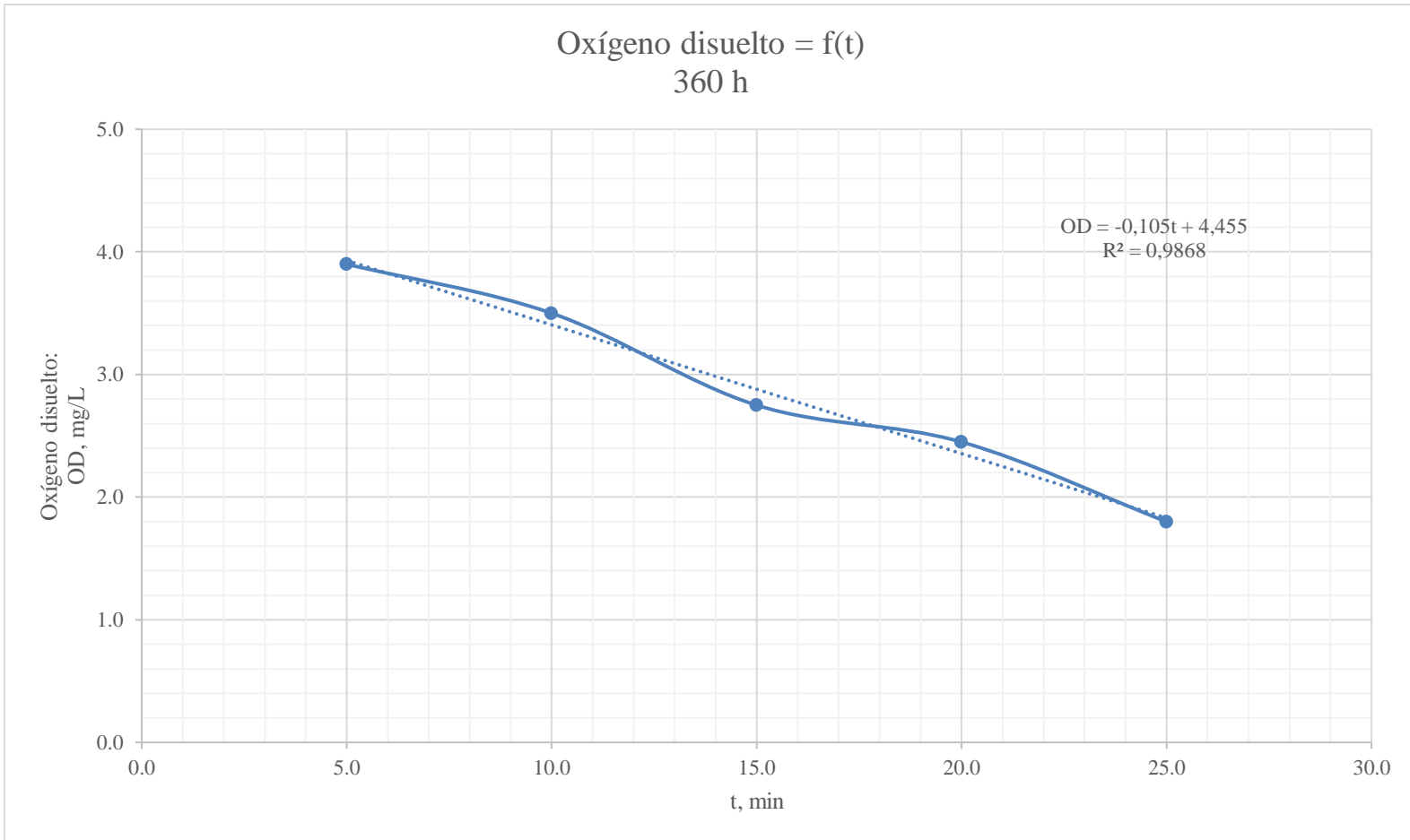
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 25 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 336 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



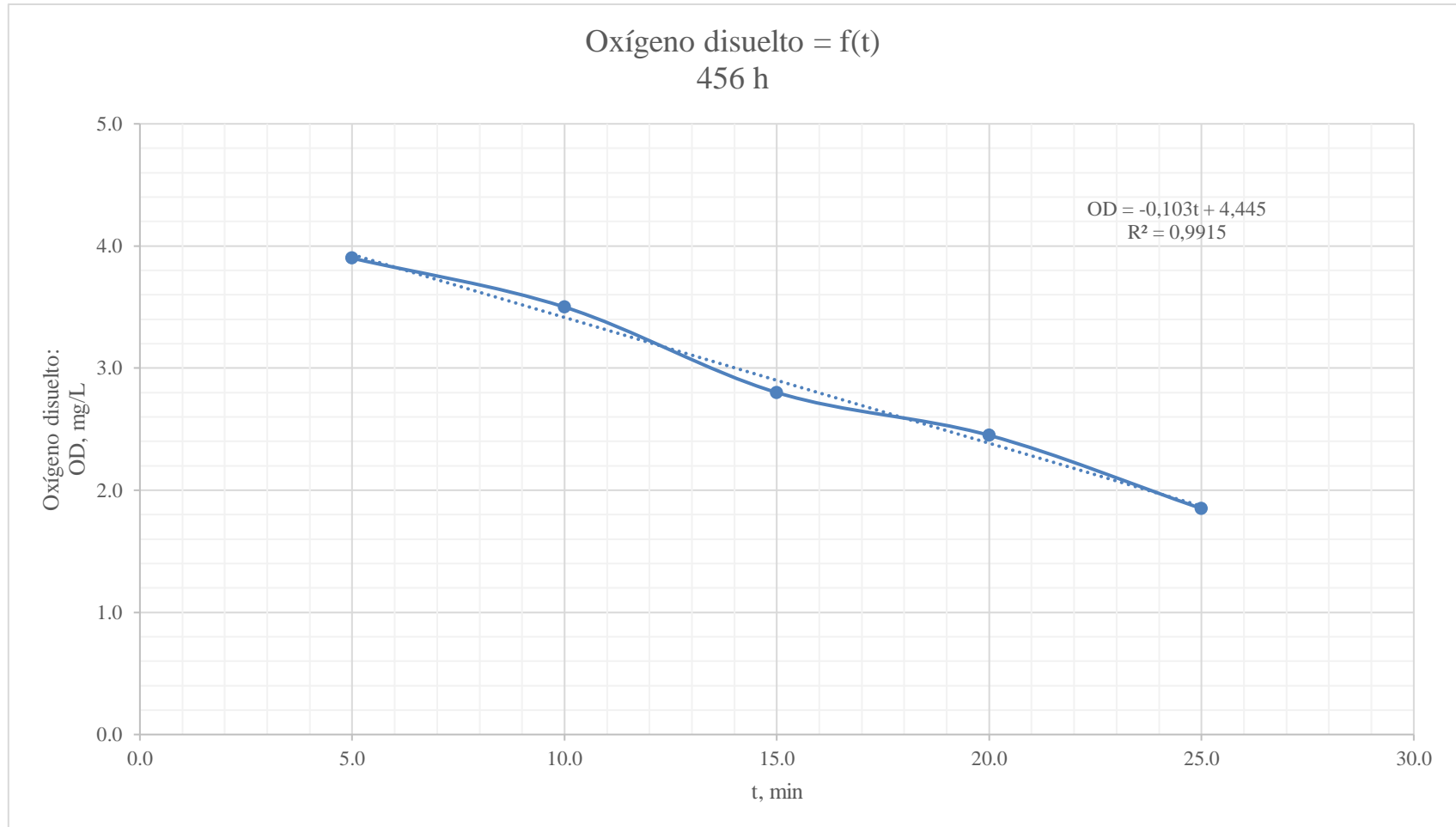
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 26 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 360 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



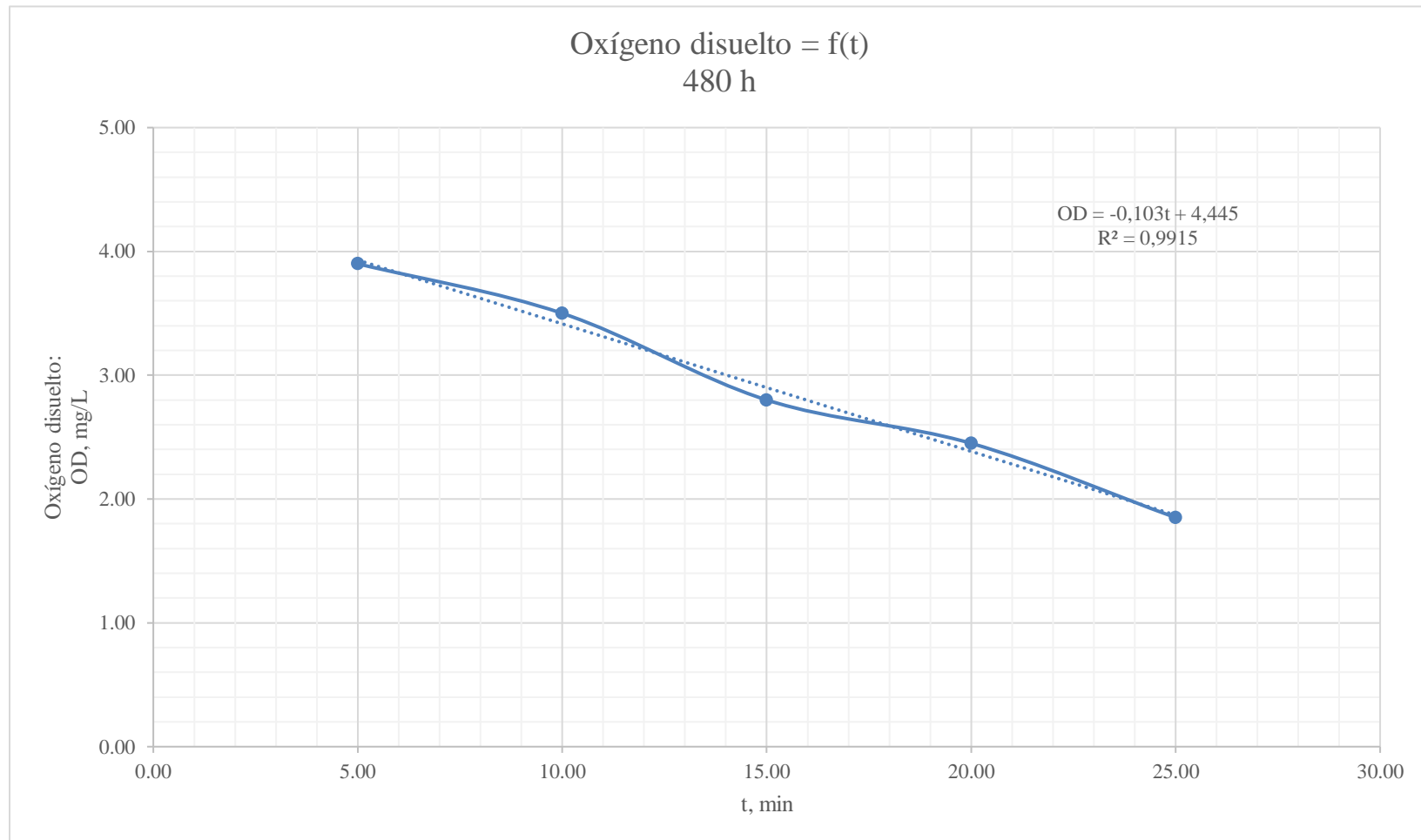
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 27 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 456 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



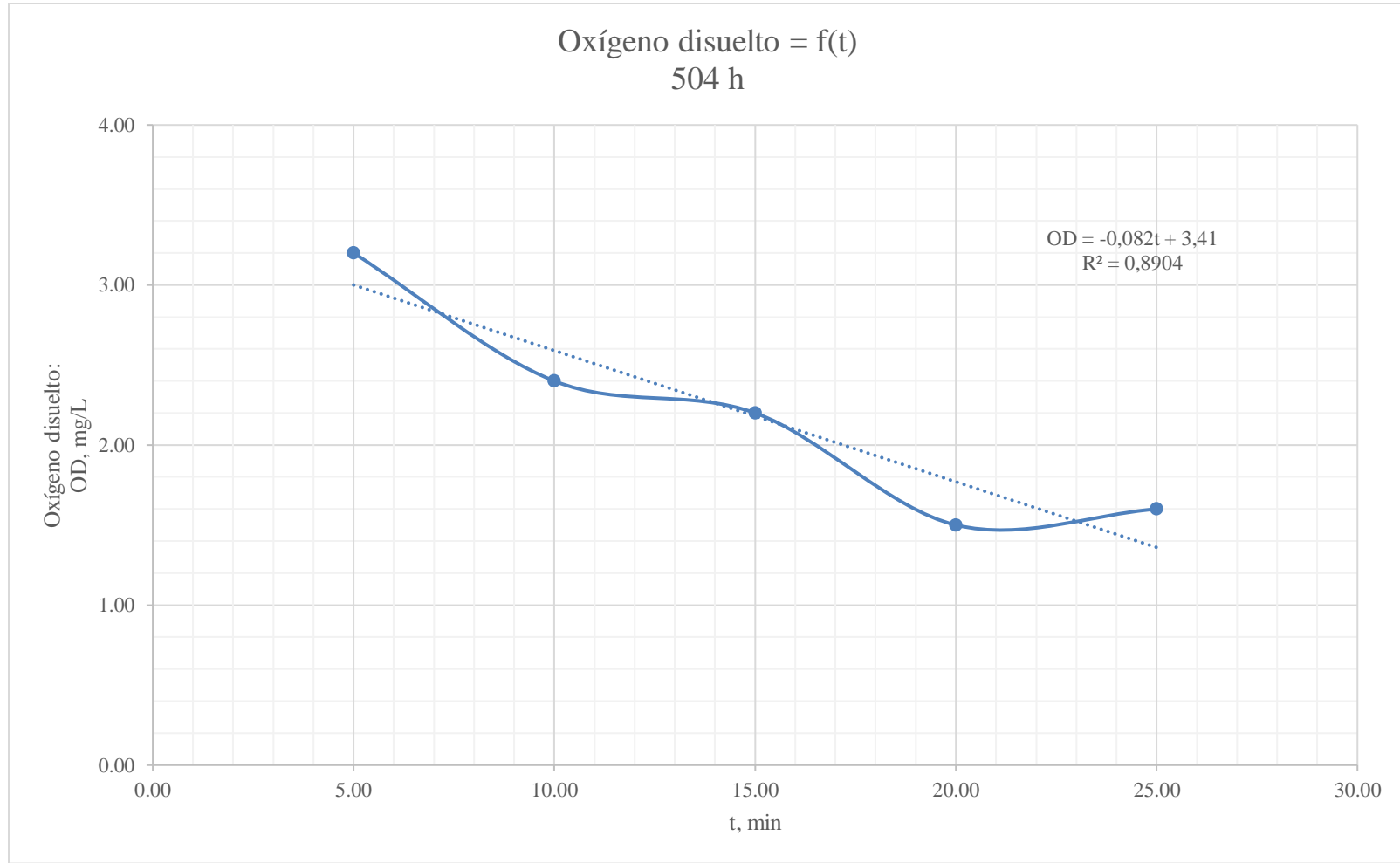
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 28 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 480 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

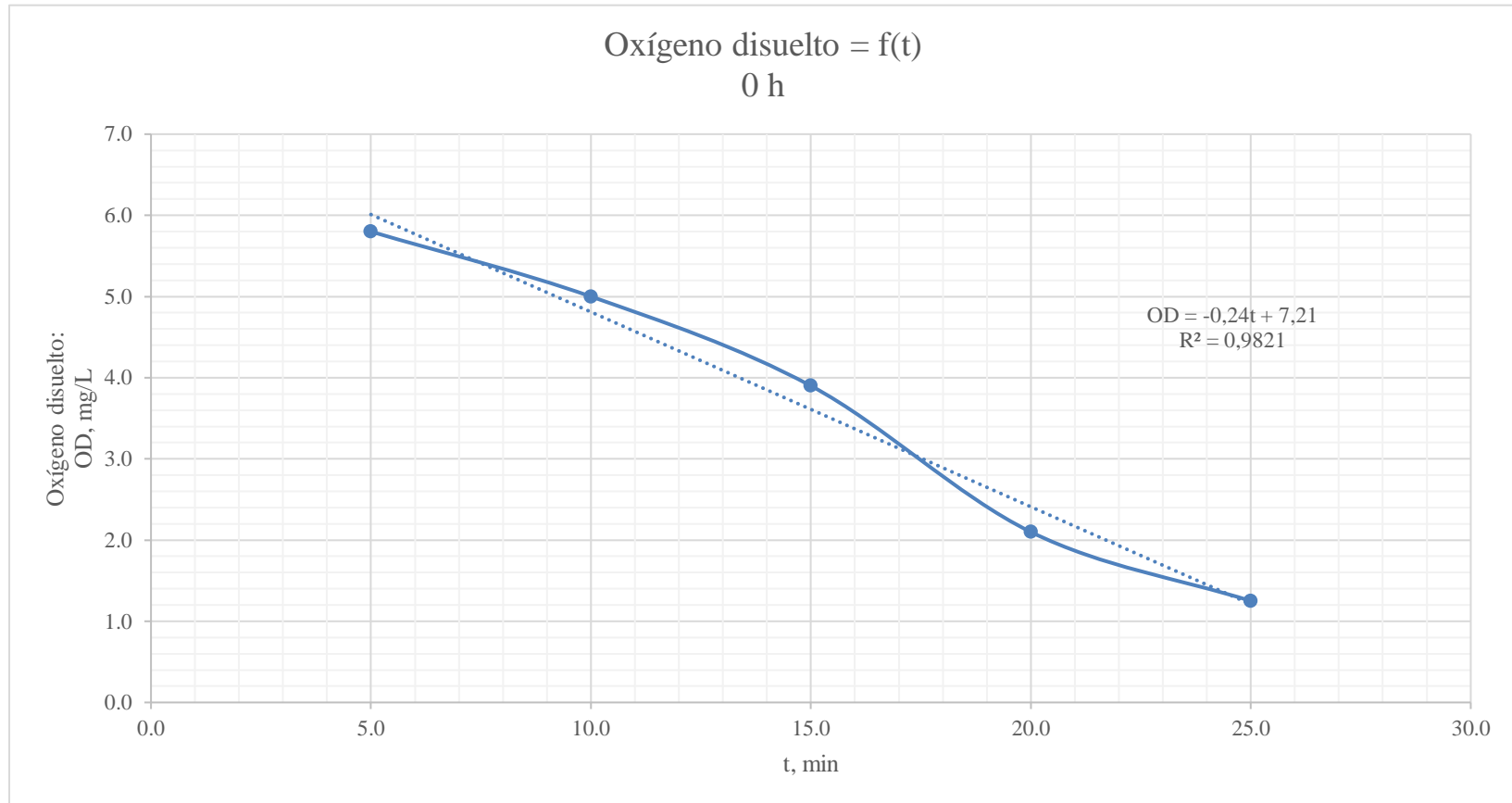
Figura 13. 29 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 504 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 2



*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

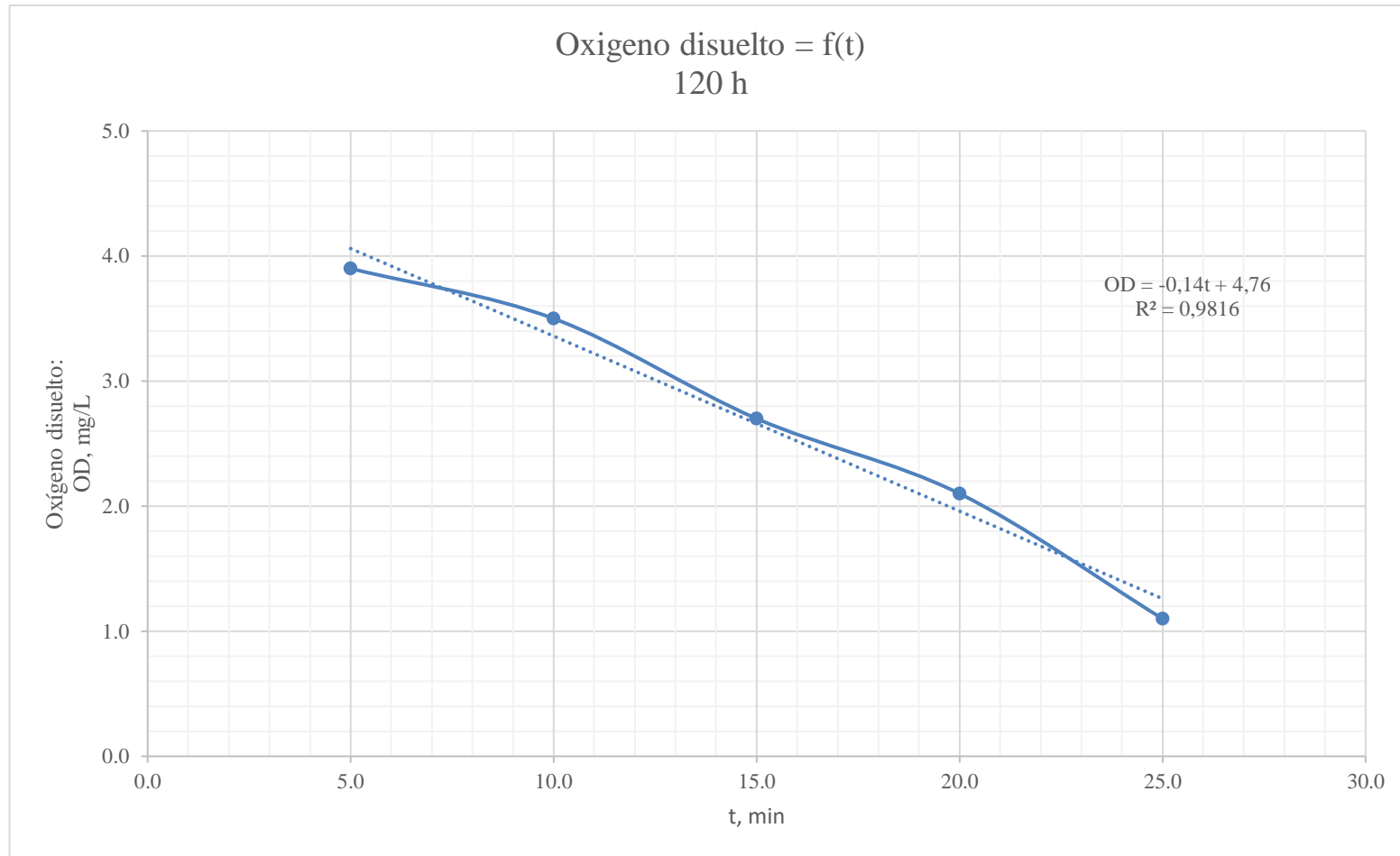
c. Evaluación de la velocidad de utilización de oxígeno (VUO) del lote 3

Figura 13. 30 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 0 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



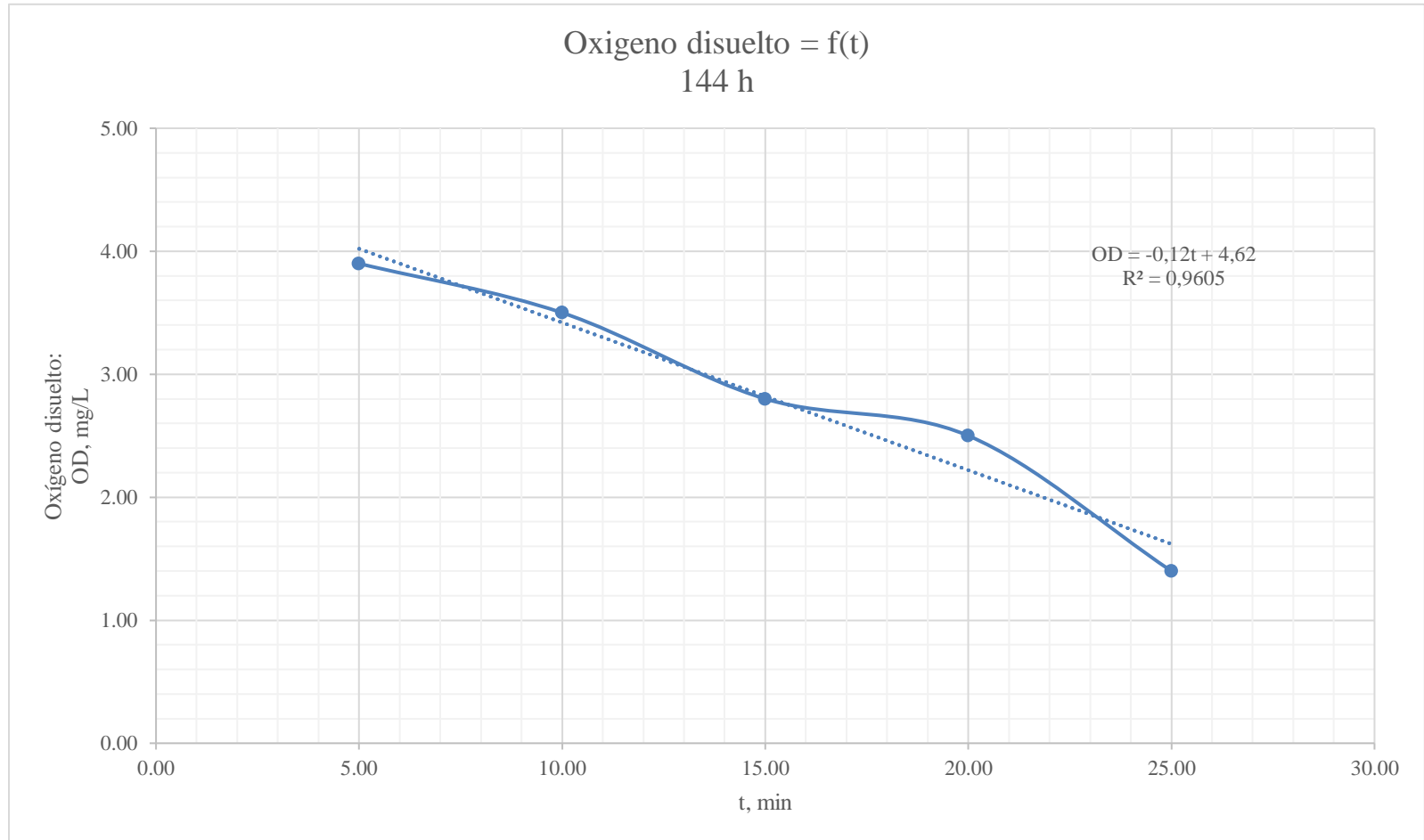
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 31 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 120 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



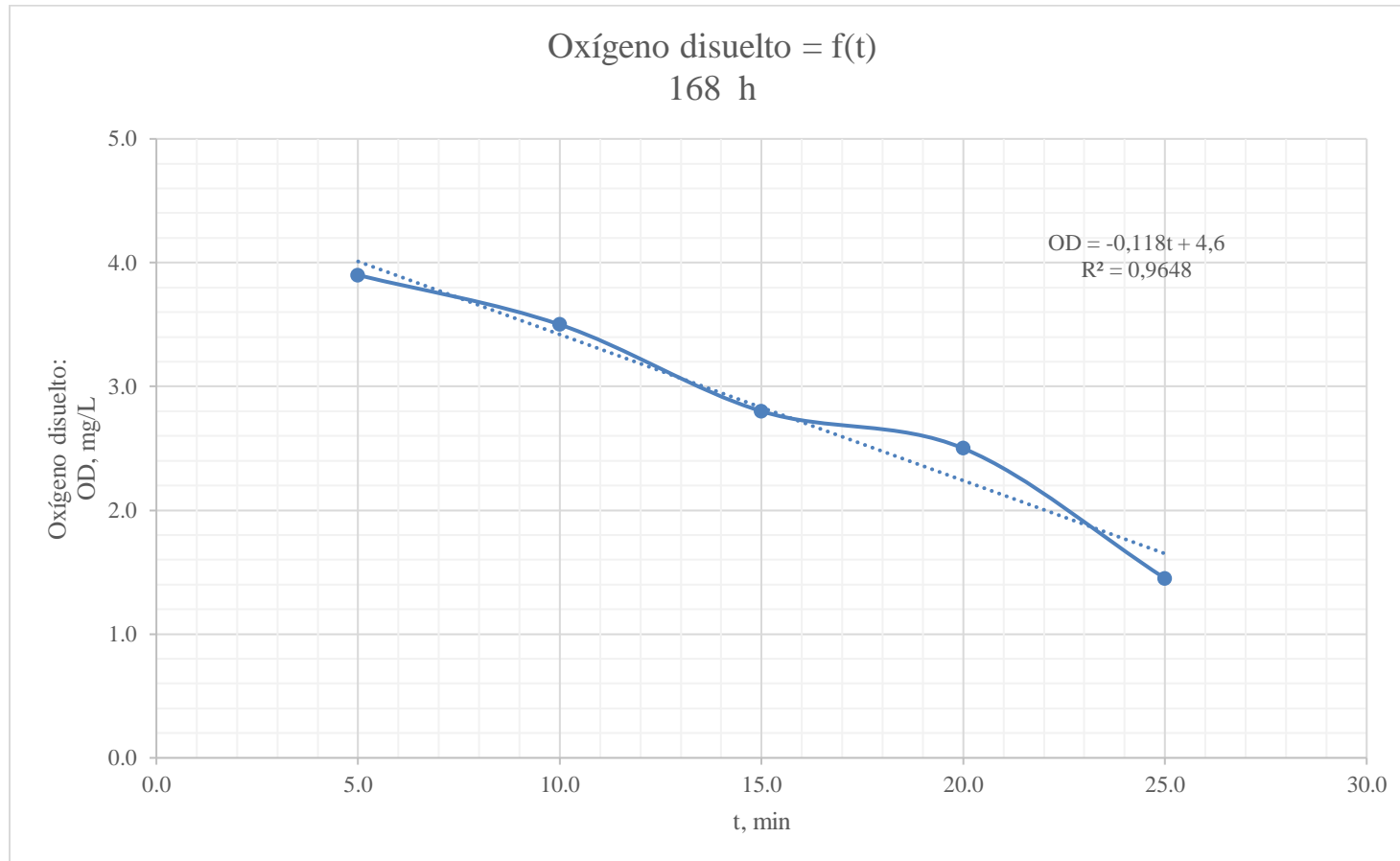
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 32 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 144 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



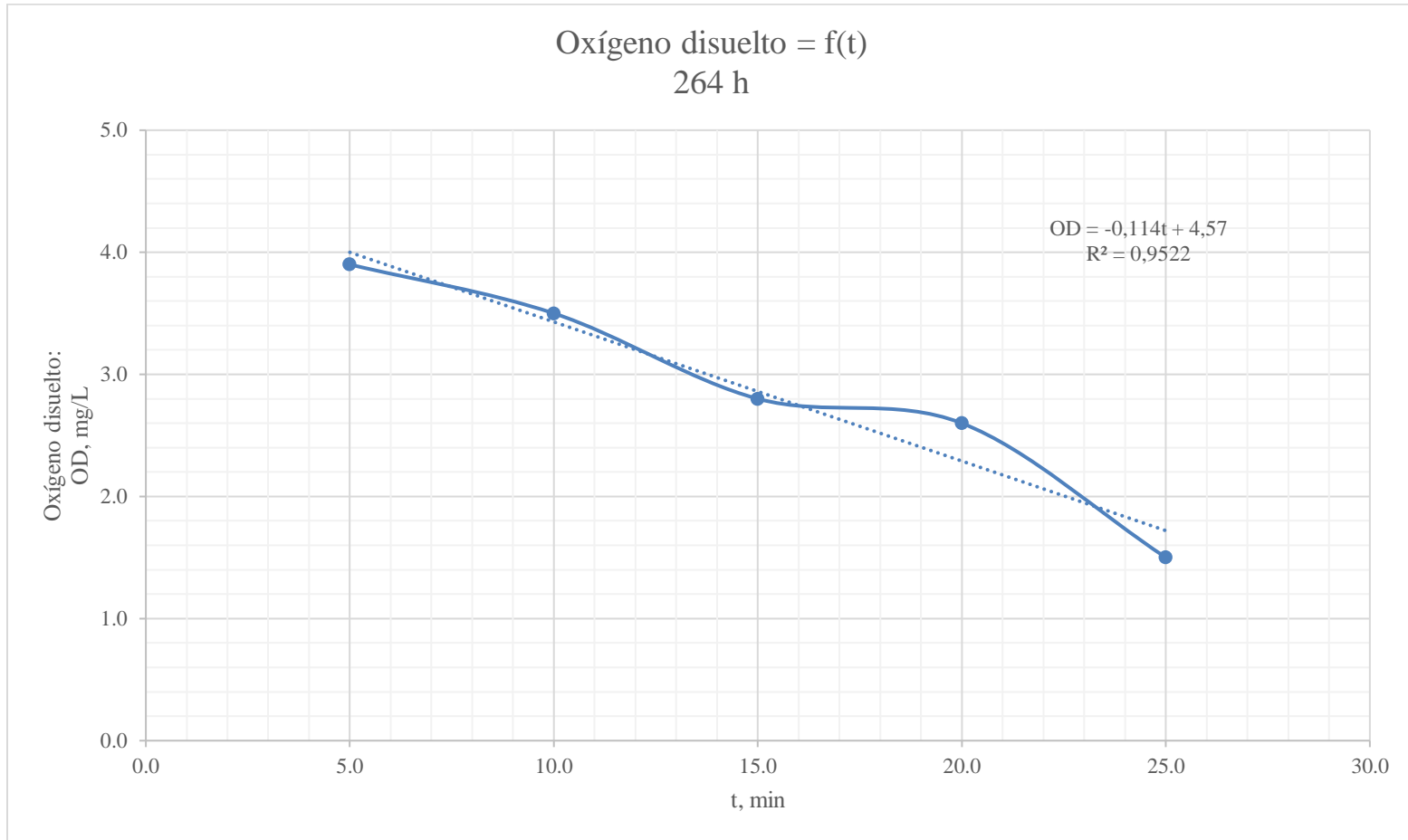
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 33 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 168 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



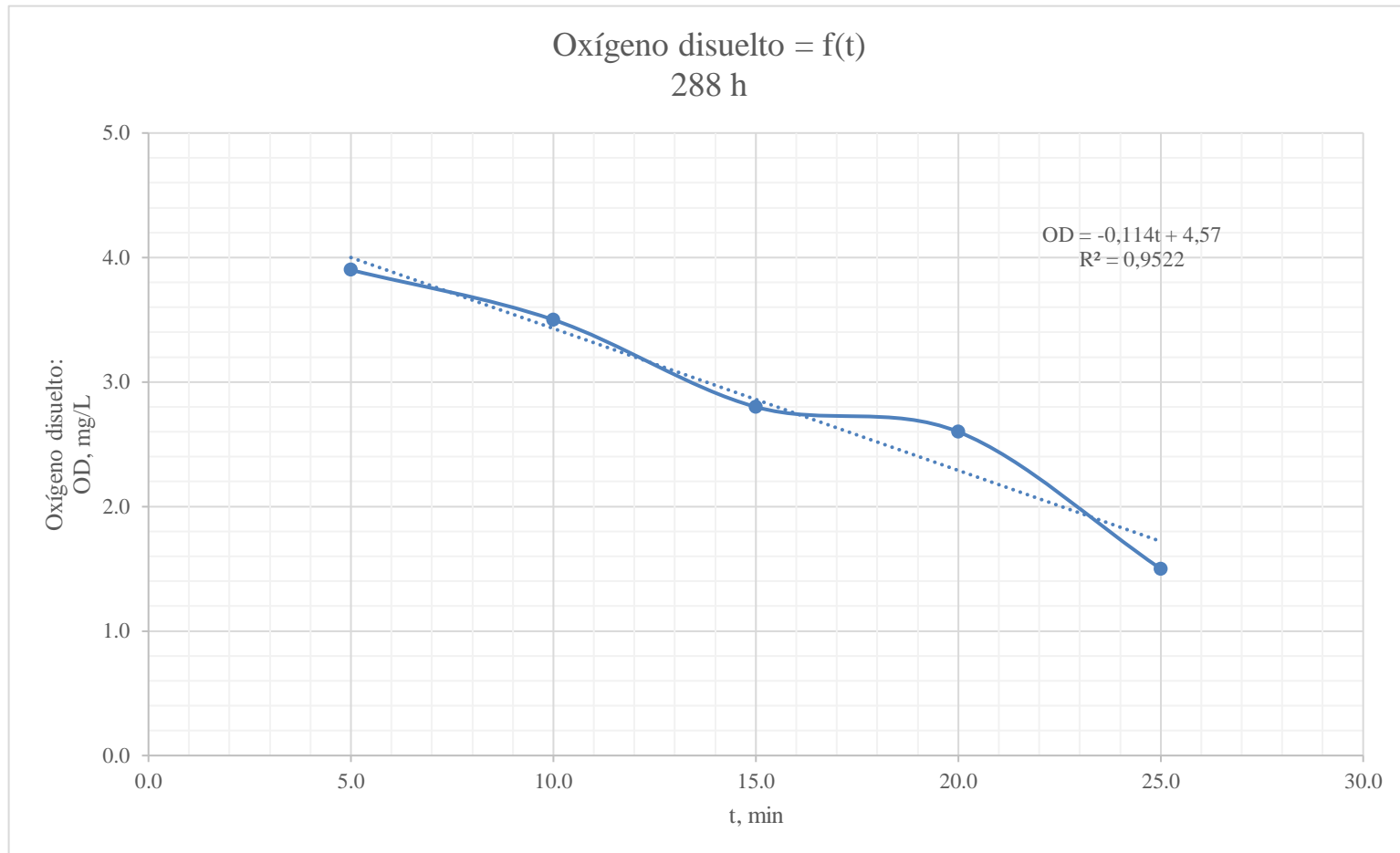
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 34 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 264 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



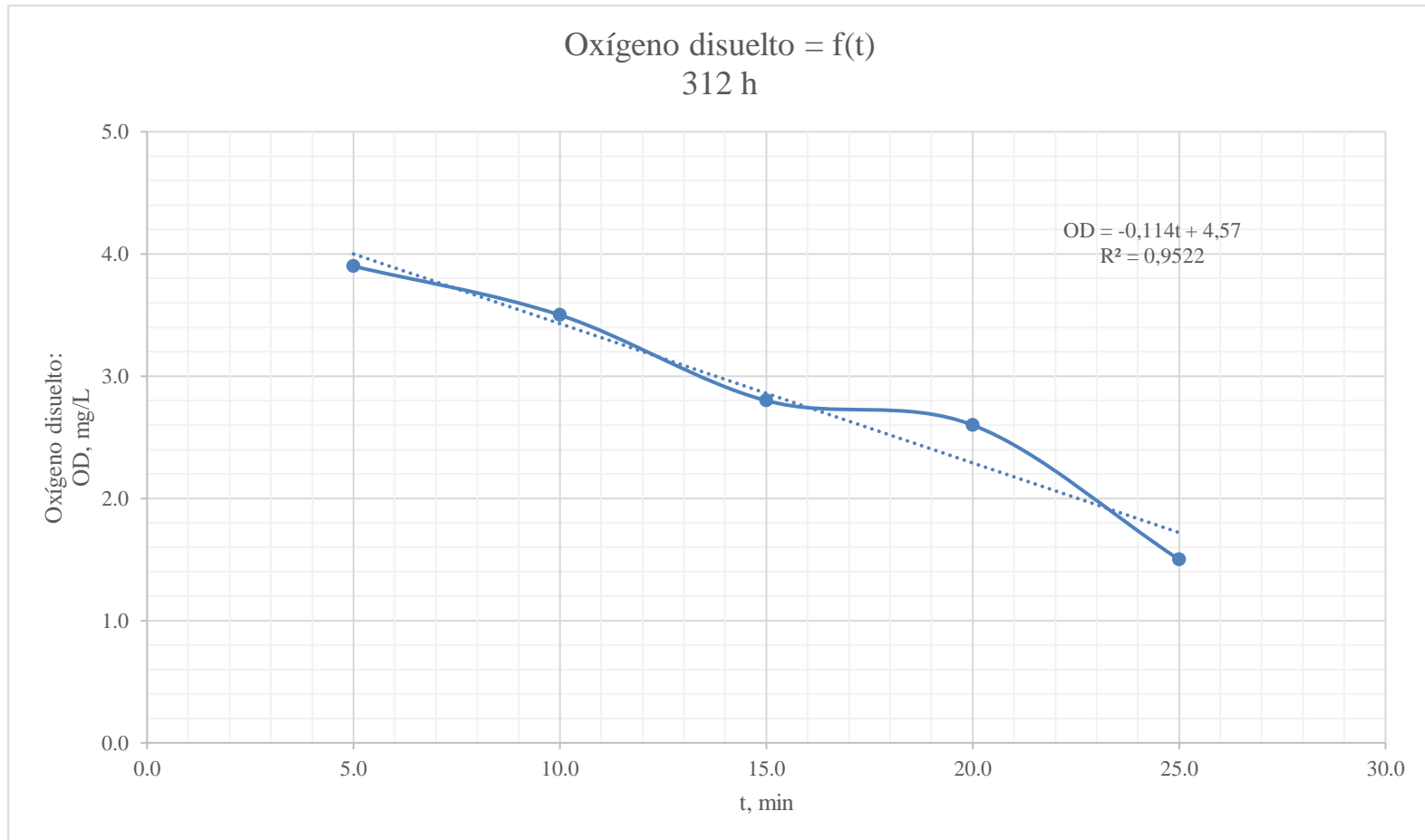
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986 ± 0.75 - 988 ± 0.75] mbar, Temperatura: [27.0 ± 0.01 - 22.5 ± 0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 35 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 288 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



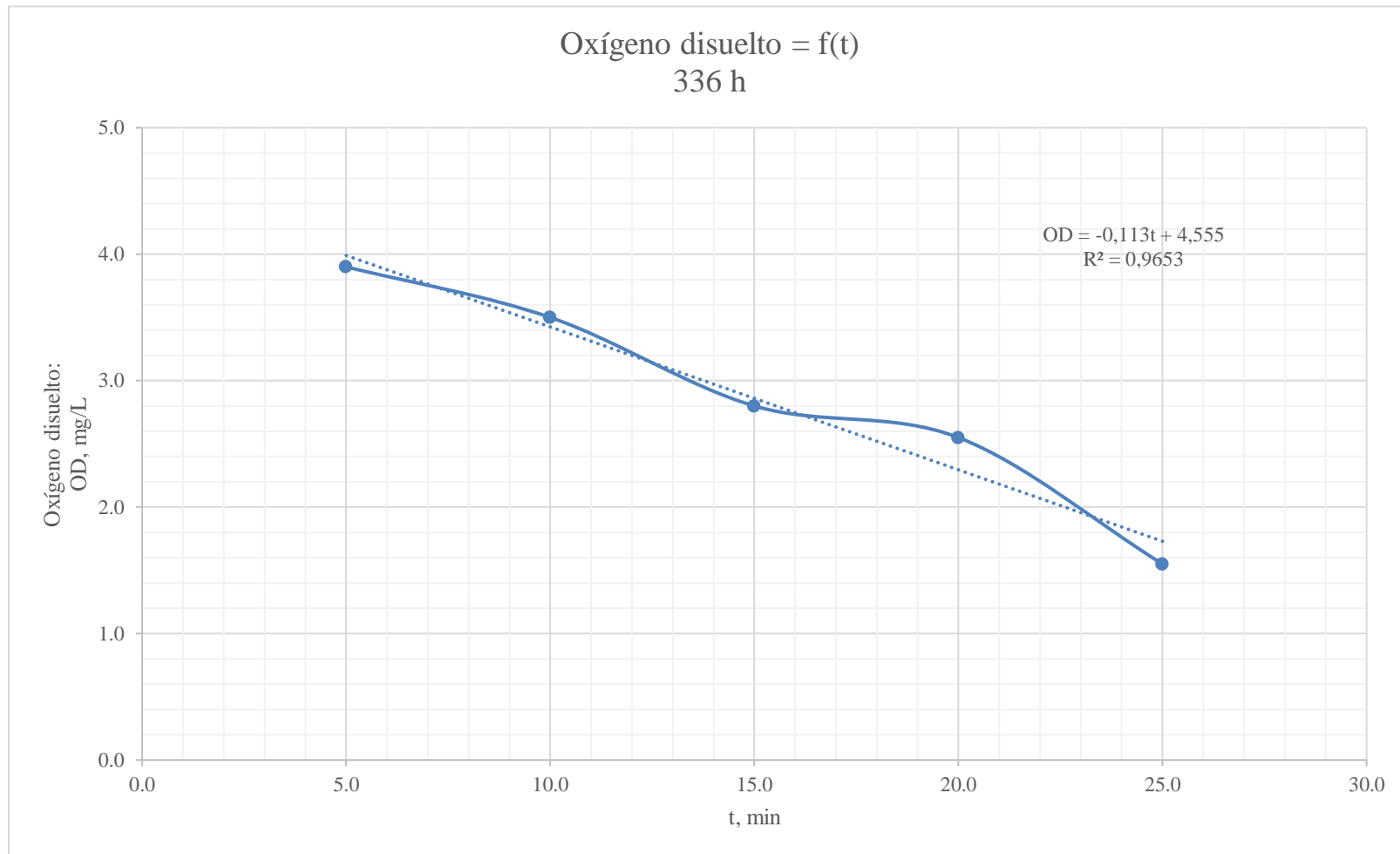
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 36 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 312 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



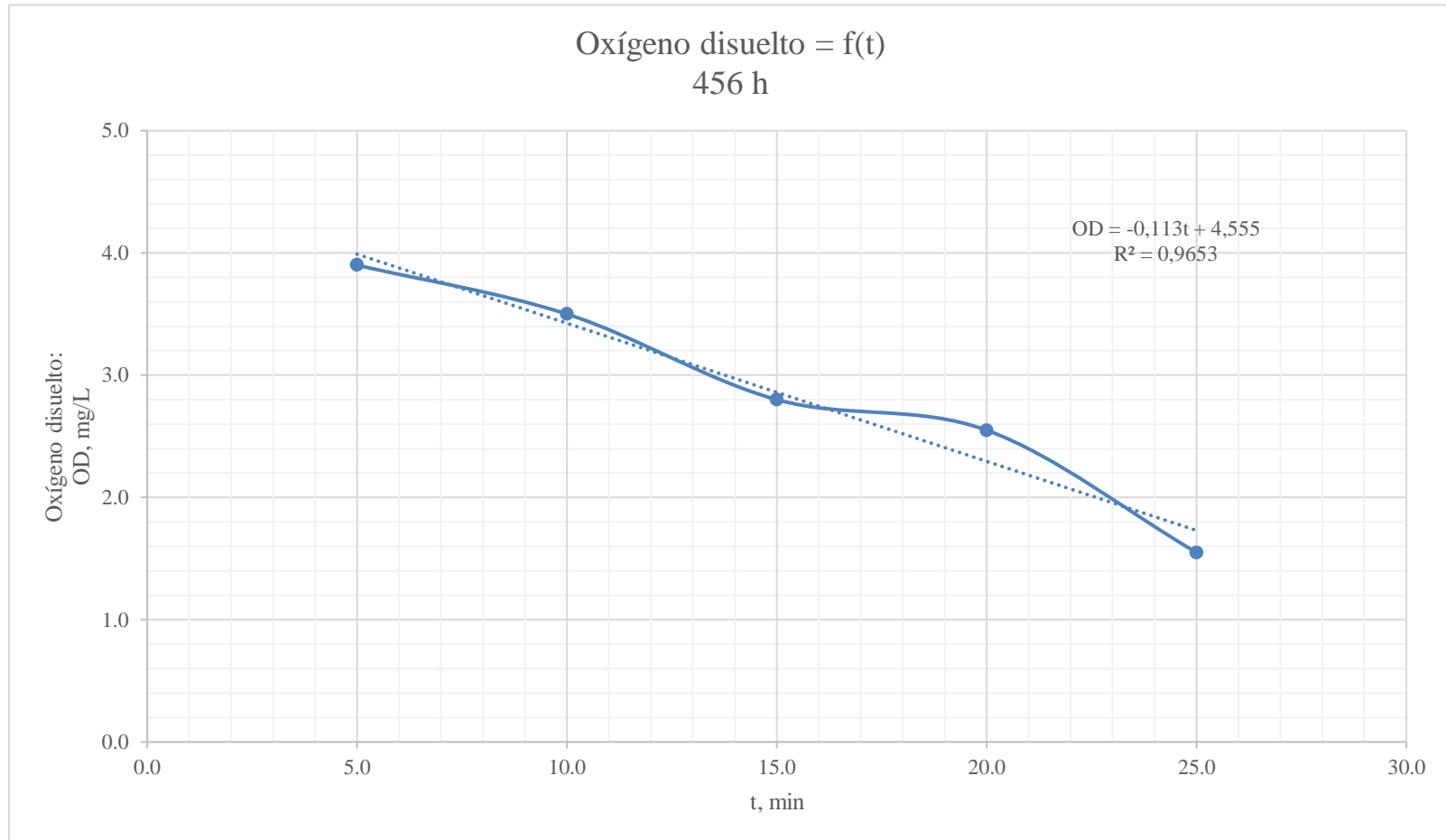
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m³/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m³.

Figura 13. 37 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 336 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



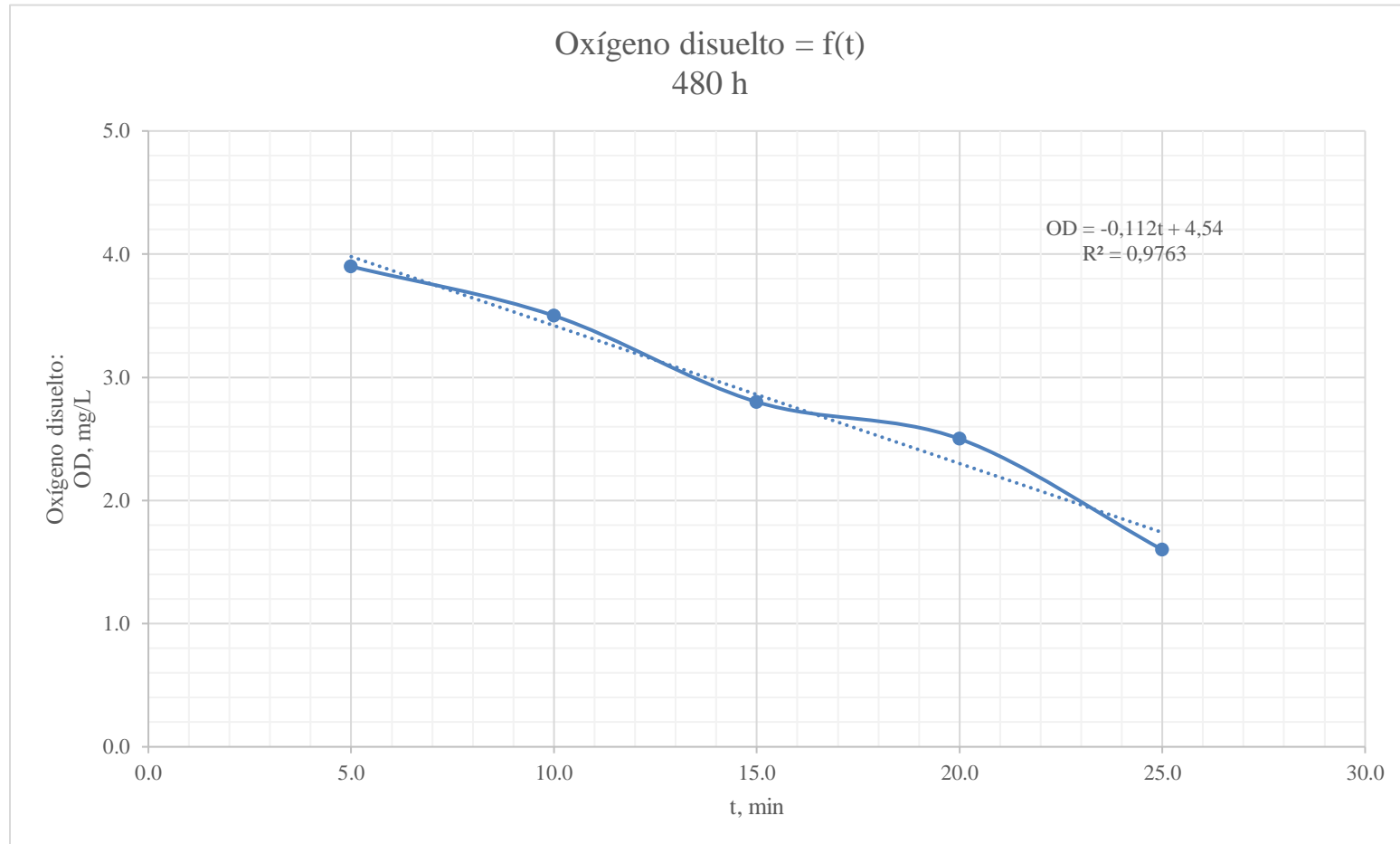
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811 \cdot 10^{-7} \pm 3.332 \cdot 10^{-11} \text{m}^3/\text{s}$ y Volumen: $0.329 \pm 6.04 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$.

Figura 13. 38 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 456 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



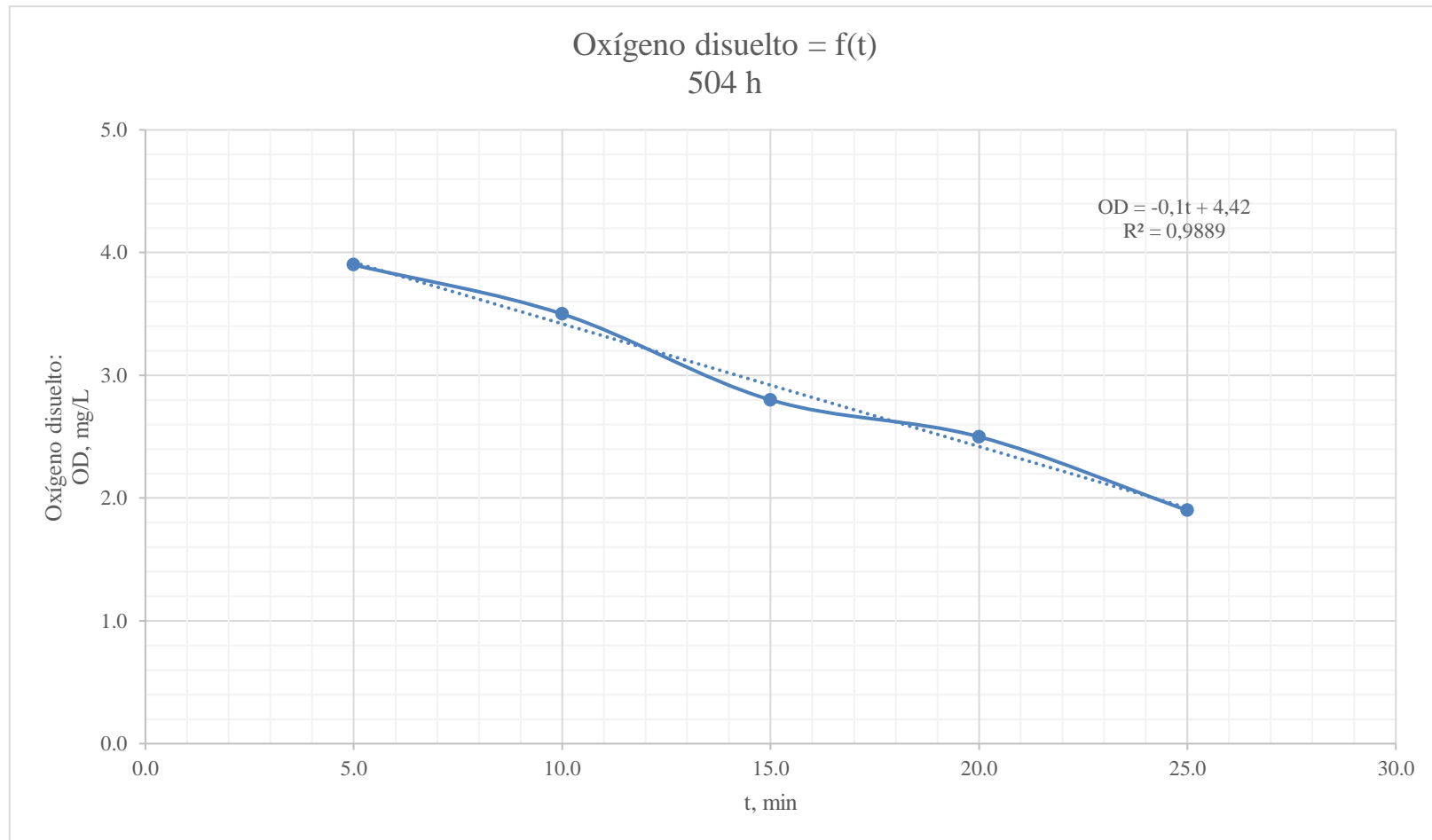
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

Figura 13. 39 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 480 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m³/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m³.

Figura 13. 40 Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno en el tiempo 504 h, VUO ($\text{mgO}_2/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) lote 3



*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión $[986\pm 0.75 - 988\pm 0.75]$ mbar, Temperatura: $[27.0\pm 0.01 - 22.5\pm 0.01]$ °C, Oxígeno disuelto: $[2.00 \pm 0.01 - 1.00 \pm 0.01]$ mgO_2/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43 ± 0.02887 rpm, pH: $[6.8 \pm 0.01 - 6.0 \pm 0.01]$, Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: $1.811\cdot 10^{-7} \pm 3.332\cdot 10^{-11}$ m^3/s y Volumen: $0.329\pm 6.04\cdot 10^{-5}$ m^3 .

D. Monitoreo, preparación y arranque de planta de tratamiento

1. Descripción de la planta piloto de tratamiento aeróbica de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias. (ANEXOS)

En la Figura 13.41 se muestra un esquema de la planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales, a escala planta piloto que junto con el Cuadro 13.18 se muestra una lista específica de equipos dentro de la planta de tratamiento. El reactor central (T02) contiene el lodo activado. En este tanque se incluye la sonda óptica para el oxígeno disuelto (OC01), la sonda de medición de pH (F104), un agitador mecánico de palas inclinadas (S02) y un difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro para agregar oxígeno (S01). Además, incluye un punto de desbordamiento en caso de una operación incorrecta proporciona salida segura al alcantarillado del laboratorio. El tanque derecho (T03) es el tanque de sedimentación, con un fondo cónico para ayudar a recolectar, las partículas más densas (lodo activado) y retornarlo al reactor de lodos activados (T02). Las pantallas muestran el valor de pH en el reactor (T02) y la temperatura en el tanque de sedimentación. Estas pantallas se encuentran en el panel de control que se ubica en la parte superior izquierda del marco, contiene el control eléctrico, tres controladores y pantallas PID. Un conector USB en la parte inferior del panel que permite al usuario conectar una computadora adecuada para el control remoto y el registro de datos.

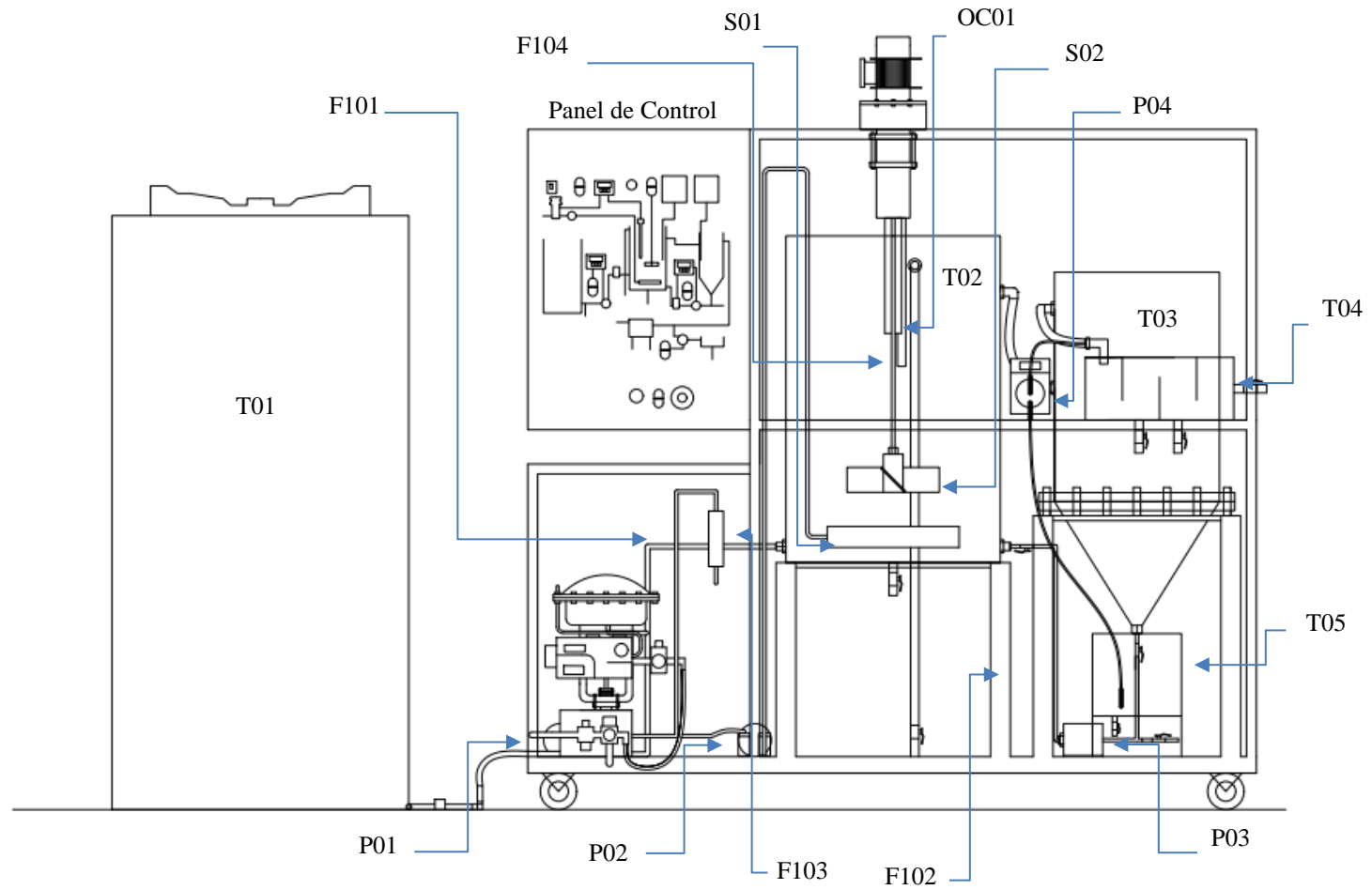
Una bomba de velocidad variable (P01) mueve las aguas residuales del tanque de almacenamiento (T01) al reactor de lodos activados (T02). El desbordamiento del reactor (T02) fluye al tanque de sedimentación (T03). Otra bomba de velocidad variable (P03) recircula el lodo más denso desde el tanque de sedimentación hasta el tanque de lodos activados. Los sensores de flujo (F101) en la línea de alimentación y retorno (F102) proporcionan la referencia de control del panel en las pantallas PID para regular el flujo.

El compresor eléctrico (P02) funciona a velocidad fija para proporcionar el flujo de aire al difusor de burbuja fina (S01). La válvula de control neumática (accionada por aire comprimido) en la parte inferior izquierda del marco en la Figura 13.41, funciona con el controlador PID OC01 para regular el flujo de aire que ingresa al difusor. El controlador utiliza el sensor de oxígeno disuelto en el tanque (T02) como referencia del control. El colector principal del aire comprimido se conecta al suministro de aire comprimido del laboratorio. Este colector contiene un interruptor de aislamiento, un filtro/secador y un puerto de salida a la válvula neumática. La válvula tiene su propio filtro – regulador.

Cuadro 13. 11 Equipos en la planta de tratamiento aeróbica de aguas residuales

Código	Equipo
F101	Sensor magnético inductivo de flujo de alimentación
F102	Sensor magnético inductivo de flujo de recirculación
F103	Medidor de flujo de aire
F104	Sonda de medición de alcalinidad (pH)
OC01	Sonda óptica para oxígeno disuelto
P01	Bomba de alimentación
P02	Compresor
P03	Bomba de retorno de lodos
P04	Bomba de dosificación
S01	Difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro
S02	Agitador mecánico
T00	Tanque de filtración
T01	Tanque de agua residuales
T02	Reactor de lodos activados
T03	Tanque de sedimentación
T04	Tanque de cloración
T05	Tanque de hipoclorito

Figura 13. 41 Planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales, a escala piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias. Vista de elevación.



2. Efluente emulado a 5% P/V de melaza y agua.

a. Propiedades

- Concentración de melaza inicial de 5.00% P/V
- pH inicial de 6.5
- Viscosidad inicial de 0.014 ± 0.02 Pa*s

3. Arranque de la planta de tratamiento de lodos activados

a. Preparación

- Sólidos filtrados, 0.066 ± 0.0605 m³, 24% respecto al volumen del reactor y un retenido 0.55 ± 0.01 kg de sólidos iniciales.
- Efluente emulado 0.207 ± 0.0605 m³ compuesto de una concentración de melaza y agua 5% P/V, 76% respecto al volumen dentro del reactor.
- Se inicio cada lote con un volumen de 0.162 ± 0.0605 m³ del efluente emulado (5% P/V)

Cuadro 13. 12 Caracterización del arranque de la planta de tratamiento de lodos activados con una duración de 25 días

No	Día	Fecha	pH	T (°C)	OD (mg/L)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	N (mg/L)	F (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SDT (mg/L)
	L	07/09/2020	6,8	35,9	3,8	-	-	-	-	-	-	-
	M	08/09/2020	6,4	35,4	2	-	-	840,00	16.08	-	-	-
1	X	09/09/2020	6,4	30	3	52.100,00	90.133,00	-	-	-	-	-
2	J	10/09/2020	6,2	25,4	3,5	-	-	-	-	-	-	-
3	V	11/09/2020	6,2	24,8	3.5	46.000,00	79.580,00	-	-	-	-	-
	L	14/09/2020	6,4	24,1	1,4	-	-	-	-	-	-	-
4	X	16/09/2020	6,4	25,2	2.1	30.884,00	54.355,84	426,00	5.40	-	-	-
5	J	17/09/2020	6,5	25,2	3.7	28.464,00	35.640,00	-	-	7.207,00	10.256,00	24.116,00
6	V	18/09/2020	6,4	24,7	2,5	27.970,00	35.700,00	-	-	-	-	-
	L	21/09/2020	6,3	24,8	3,4	-	-	-	-	-	-	-
	M	22/09/2020	6,3	25,7	2	-	-	288,00	1,00	-	-	-
7	X	23/09/2020	6,3	25	2,1	28.464,00	35.640,00	-	-	5.785,00	8.002,00	2.1945,00
8	J	24/09/2020	6,3	25,3	1,5	27.884,00	35.980,00	-	-	-	-	-
9	V	25/09/2020	6,3	24,8	3,2	22.750,00	28.500,00	-	-	-	-	-
	L	28/09/2020	6,3	25	0,3	-	-	-	-	-	-	-
	M	29/09/2020	6,3	24,9	0,3	-	-	300,00	0.2,00	-	-	-
10	X	30/09/2020	6,3	24	3.9	20.980,00	26.600,00	-	-	-	-	-
11	J	01/10/2020	6,3	25	0,5	19.076,00	26.220,00	-	-	4.908,00	4.974,00	19.940,00
12	V	02/10/2020	6,3	24	2.9	20.980,00	26.600,00	-	-	-	-	-

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill. *Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

E. Informe completo

Cuadro 13. 13 Informe completo de ensayos químicos y fisicoquímicos dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 1*

No	Día	Fecha	pH (±0.01)	T (±0.1°C)	Tiempo (h)	DBO5	± mg/L	DQO	± mg/L	SSV1	± mg/L	SSV2	± mg/L	SS	± mL/L	SST	± mg/L	SDT	± mg/L
1	X	07/10/2020	6.8	25.2	0	115,162	5	203,300	25	4,668.43	10	4,690.49	0.05	5	10	1,157.00	10	18,509.00	10
2	J	08/10/2020	6.40	24.7	23.98	56,928	5	101,900	25	5,157.00	10	5,169.05	0.05	17	10	1,412.57	10	18,615.14	10
3	V	09/10/2020	6.20	24.8	47.95	55,940	5	99,700	25	5,249.43	10	5,260.76	0.05	34	10	1,544.86	10	18,706.12	10
4	X	14/10/2020	6.40	24.80	168.03	55,768	5	99,300	25	5,328.65	10	5,339.39	0.05	150	10	1,877.31	10	18,862.00	10
5	J	15/10/2020	6.50	25.70	192.03	45,500	5	81,800	25	5,804.00	10	5,813.13	0.05	211	10	2,041.14	10	18,935.71	10
6	V	16/10/2020	6.40	25.00	216.10	44,272	5	78,700	25	6,015.43	10	6,023.92	0.05	220	10	2,123.86	10	18,992.04	10
7	X	21/10/2020	6.30	25.30	335.97	43,500	5	77,700	25	6,196.65	10	6,205.03	0.05	240	10	2,285.00	10	19,013.71	10
8	J	22/10/2020	6.30	24.90	360.00	42,360	5	75,900	25	6,552.00	10	6,559.73	0.05	410	10	3,872.00	10	19,039.00	10
9	V	23/10/2020	6.30	24.00	383.99	41,996	5	75,300	25	7,089.80	10	7,097.01	0.05	440	10	4,141.57	10	19,195.49	10
10	M	27/10/2020	6.20	23.20	480.04	41,960	5	75,200	25	7,179.43	10	7,186.38	0.05	475	10	4,451.00	10	19,221.57	10
11	X	28/10/2020	6.20	24.00	504.08	21,872	5	38,400	25	7,284.00	10	7,288.58	0.05	529	10	4,812.00	10	19,252.00	10

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill. Para la demanda biológica de oxígeno (SMEWW-5210B), demanda química de oxígeno (SQM-14540), temperatura (SMEWW-2550), potencial de hidrógeno (SMEWW-4500 pH), sólidos volátiles (SMEWW-1030E), sólidos totales (SMEWW-1030B), sólidos en suspensión (SMEWW-2540 D), sólidos sedimentables (SMEWW-2540 F).

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

*Las pruebas de los sólidos SS, MLVSS, ST, SST se realizaron en un laboratorio externo ya que al inicio del arranque no se tenía el equipo especializado para hacer las respectivas pruebas del laboratorio, lo que llevó en hacer las pruebas con un laboratorio externo y sus resultados se pueden verificar en Anexos F. Estas pruebas se realizaron una vez por semana.

*Se puede observar que los lunes y martes de cada semana no se logró hacer las debidas pruebas de DBO y DQO por los cinco días de prueba del laboratorio donde las pruebas finales quedaron los sábados y domingos y la universidad durante esta experimentación cerraba su laboratorio y no fue posible abrirlo para sacar dichas pruebas. Es por ello, que se tomaron únicamente los miércoles jueves y viernes para cada lote.

Cuadro 13. 14 Informe completo de ensayos químicos y fisicoquímicos dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 2*

No	Día	Fecha	pH (±0.01)	T (±0.1°C)	Tiempo (h)	DBO ₅	± mg/L	DQO	± mg/L	SSV ₁	± mg/L	SSV ₂	± mg/L	SS	± mL/L	SST	± mg/L	SDT	± mg/L
1	J	29/10/2020	6.8	25.2	0	115,162.00	5	203,300	25	4,539.00	10	4,563.18	10	5	10	1,231.00	10	18,509.00	10
2	V	30/10/2020	6.40	24.7	23.96	44,220.00	5	79,660	25	4,554.85	10	4,565.15	10	17	10	1,342.67	10	18,707.71	10
3	X	04/11/2020	6.20	25.00	143.91	43,680.00	5	78,300	25	4,649.94	10	4,660.21	10	34	10	1,361.29	10	18,870.00	10
4	J	05/11/2020	6.40	24.80	167.94	43,526.00	5	77,900	25	4,668.43	10	4,678.70	10	95	10	1,383.00	10	18,878.04	10
5	V	06/11/2020	6.50	25.70	191.77	43,080.00	5	76,900	25	4,690.00	10	4,700.02	10	141	10	1,412.57	10	18,935.71	10
6	X	11/11/2020	6.40	24.00	311.88	42,280.00	5	75,750	25	5,157.00	10	5,165.64	10	162	10	1,568.20	10	18,992.04	10
7	J	12/11/2020	6.30	25.30	335.89	41,960.00	5	75,100	25	5,551.57	10	5,560.09	10	261	10	2,502.00	10	19,330.00	10
8	V	13/11/2020	6.30	24.90	359.76	41,940.00	5	75,000	25	5,889.78	10	5,897.86	10	279	10	2,635.40	10	19,378.28	10
9	M	17/11/2020	6.20	25.00	455.76	41,192.00	5	73,300	25	7,062.33	10	7,069.90	10	420	10	3,902.27	10	19,626.73	10
10	X	18/11/2020	6.20	23.20	479.77	38,922.00	5	68,000	25	7,457.71	10	7,464.85	10	468	10	4,322.14	10	19,752.86	10
11	J	19/11/2020	6.20	24.00	503.93	22,956.00	5	41,000	25	7,919.00	10	7,922.73	10	529	10	4,812.00	10	19,900.00	10

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill. Para la demanda biológica de oxígeno (SMEWW-5210B), demanda química de oxígeno (SQM-14540), temperatura (SMEWW-2550), potencial de hidrógeno (SMEWW-4500 pH), sólidos volátiles (SMEWW-1030E), sólidos totales (SMEWW-1030B), sólidos en suspensión (SMEWW-2540 D), sólidos sedimentables (SMEWW-2540 F).

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

*Las pruebas de los sólidos SS, MLVSS, ST, SST se realizaron en un laboratorio externo ya que al inicio del arranque no se tenía el equipo especializado para hacer las respectivas pruebas del laboratorio, lo que llevó en hacer las pruebas con un laboratorio externo y sus resultados se pueden verificar en Anexos F. Estas pruebas se realizaron una vez por semana.

*Se puede observar que los lunes y martes de cada semana no se logró hacer las debidas pruebas de DBO y DQO por los cinco días de prueba del laboratorio donde las pruebas finales quedaron los sábados y domingos y la universidad durante esta experimentación cerraba su laboratorio y no fue posible abrirlo para sacar dichas pruebas. Es por ello, que se tomaron únicamente los miércoles jueves y viernes para cada lote.

Cuadro 13. 15 Informe completo de ensayos químicos y fisicoquímicos dentro del reactor de tanque agitado (MFR) del lote 3*

No	Día	Fecha	pH (±0.01)	T (±0.1°C)	Tiempo (h)	DBO ₅	± mg/L	DQO	± mg/L	SSV ₁	± mg/L	SSV ₂	± mg/L	SS	± mL/L	SST	± mg/L	SDT	± mg/L
1	V	20/11/2020	6.8	25.2	0	115,162.00	5	203,300.00	25	4,484.34	10	4,503.93	10	5	10	1,157.00	10	18,508.00	10
2	X	25/11/2020	6.40	24.70	120.00	55,940.00	5	99,700.00	25	4,505.04	10	4,516.39	10	17	10	1,231.00	10	18,508.86	10
3	J	26/11/2020	6.40	24.80	144.00	41,960.00	5	75,300.00	25	4,523.15	10	4,532.76	10	34	10	1,412.57	10	18,509.00	10
4	V	27/11/2020	6.40	24.80	168.00	39,730.00	5	70,400.00	25	4,649.94	10	4,658.92	10	95	10	1,568.20	10	18,870.00	10
5	M	01/12/2020	6.30	25.30	263.89	37,080.00	5	66,160.00	25	4,668.43	10	4,677.18	10	150	10	1,786.43	10	18,935.71	10
6	X	02/12/2020	6.30	24.90	287.89	36,700.00	5	65,240.00	25	4,687.43	10	4,695.94	10	162	10	1,879.00	10	18,975.71	10
7	J	03/12/2020	6.30	24.00	311.89	36,602.00	5	65,200.00	25	5,005.50	10	5,013.88	10	220	10	2,502.00	10	18,992.04	10
8	V	04/12/2020	6.30	25.00	335.89	35,840.00	5	64,000.00	25	5,157.00	10	5,164.80	10	240	10	2,635.40	10	19,039.00	10
9	X	09/12/2020	6.20	24.70	455.73	35,206.00	5	62,400.00	25	5,323.43	10	5,331.17	10	295	10	3,011.89	10	19,330.00	10
10	J	10/12/2020	6.20	23.20	479.73	33,802.00	5	59,500.00	25	6,322.00	10	6,329.59	10	468	10	4,393.00	10	19,433.46	10
11	V	11/12/2020	6.20	24.00	503.73	17,480.00	5	29,700.00	25	7,284.00	10	7,290.99	10	529	10	4,812.00	10	19,496.52	10

*Los métodos para cada ensayo realizado en la caracterización fue sacado de: American Water Works Association (AWWA). (2002). Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros de Agua Comunitaria. New York City: McGraw-Hill. Para la demanda biológica de oxígeno (SMEWW-5210B), demanda química de oxígeno (SQM-14540), temperatura (SMEWW-2550), potencial de hidrógeno (SMEWW-4500 pH), sólidos volátiles (SMEWW-1030E), sólidos totales (SMEWW-1030B), sólidos en suspensión (SMEWW-2540 D), sólidos sedimentables (SMEWW-2540 F).

*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³.

*Las pruebas de los sólidos SS, MLVSS, ST, SST se realizaron en un laboratorio externo ya que al inicio del arranque no se tenía el equipo especializado para hacer las respectivas pruebas del laboratorio, lo que llevó en hacer las pruebas con un laboratorio externo y sus resultados se pueden verificar en Anexos F. Estas pruebas se realizaron una vez por semana.

*Se puede observar que los lunes y martes de cada semana no se logró hacer las debidas pruebas de DBO y DQO por los cinco días de prueba del laboratorio donde las pruebas finales quedaron los sábados y domingos y la universidad durante esta experimentación cerraba su laboratorio y no fue posible abrirlo para sacar dichas pruebas. Es por ello, que se tomaron únicamente los miércoles jueves y viernes para cada lote.

F. Balance de Masa

*Se utiliza el lote 3 para ejemplificar el balance de masa

1. Datos y fundamentos para el diseño

Cuadro 13. 16 Datos sobre la alimentación inicial

Q_F	$1.811 \cdot 10^{-7} \pm 3.332 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s
S_F	$20,980.00 \pm 9.40$	mgDBO ₅ /L
$X_{V,F}^1$	0	mgVSS/L
Nitrógeno Total (NTK) ²	840 ± 0.01	mg/L
P	13.4 ± 0.01	mg/L
Temperatura ³	35.9 ± 0.01	°C
	22.5 ± 0.01	°C

1. Se desprecian los sólidos volátiles en la alimentación inicial, $X_{V,F} \approx 0$ mgVSS/L.
2. Se asume que no hay nitrificación en el agua residual.
3. La temperatura máxima y mínima de operación

Cuadro 13. 17 Datos sobre la calidad del efluente

S_e	$8,740 \pm 9.40$	mgDBO ₅ /L
$X_{V,e}^1$	10	mgVSS/L
$X_{NV,e}^2$	0	mgVSS/L

1. Los sólidos de suspensión, se basan en el diseño del clarificador secundario en una concentración permisible de VSS en el rebosadero, $X_{V,e} = 10$ mgVSS/L.
2. Se desprecia la concentración de NVSS en el rebosadero calificador, $X_{NV,e} \approx 0$ mgVSS/L.

Cuadro 13. 18 Información para el diseño del reactor*

$X_{V,a}$	$7,290.00 \pm 0.05$	mgMLVSS/L
$X_{V,u}$	$8,290.00 \pm 0.05$	mgMLVSS/L
FV^1	0.8	-
Temperatura²	27 ± 0.01	°C
	15 ± 0.01	°C

1. El porcentaje de sólidos volátiles en los MLVSS es del 80%, es decir, $F_V = 0.80$.
2. Temperatura máxima y mínima en el ambiente

*Nota: se asumen que $X_{v,u}$ (concentración de sólidos volátiles en suspensión (MLVSS)) tiene mayor el valor que los MLVSS dentro del reactor debido a la relación A/M que los sólidos dentro del reactor tienen una mala decantación y debido a la cantidad de burbujas dentro que se suspendieron los sólidos que se vertieron dentro del sedimentador.

Cuadro 13. 19 Parámetros biocinéticos

k ¹	$1.13 \cdot 10^{-2} \pm 1.75 \cdot 10^{-8}$	$d^{-1} \cdot L/mg$
Y ²	$3.00 \cdot 10^{-1} \pm 1.18 \cdot 10^{-5}$	$kgMLVSS/kgDBO_r$
k_d ³	$2.76 \cdot 10^{-3} \pm 3.02 \cdot 10^{-6}$	d^{-1}
a ²	$0.1038 \pm 2.351 \cdot 10^{-3}$	$kgO_2/kgDBO_5$
b ³	$1.461 \cdot 10^{-2} \pm 2.513 \cdot 10^{-5}$	d^{-1}

1. El coeficiente de Arrhenius para k, $\theta = 1.03$.
2. Se supone básicamente independiente de la temperatura.
3. El coeficiente de Arrhenius para k_d y b, $\theta = 1.05$.

*Nota: Las constantes cinéticas según Metcalf & Eddy, 2004, para el coeficiente cinético k (constante de velocidad de consumo de sustrato) de primer orden se encuentra en un rango de $[-0.0020$ a $-0.010]$ $d^{-1} \cdot L/mgDBO$; para el coeficiente K_d (coeficiente de descomposición microbiana) se encuentra en un rango de $[0.002$ a $0.0075]$ $d^{-1} \cdot kgMLVSS$ oxidados/ $kgMLVSS$; para el coeficiente Y (coeficiente de producción de lodo sustrato consumido (DBO)) se encuentra en un rango de $[0.2$ a $0.8]$ $kgMLVSS /kgDBO$; para el coeficiente de a y b (metabolismo energético mediante la oxidación de sustrato $kgO_2/kgDBO_5$ y kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramos de MLVSS en el reactor de procesos de respiración endógena $kgO_2/kgMLVSS \cdot d^{-1}$, respectivamente) los valores típicos de desecho en la fabricación de azúcar propuestos por Eckenfelder W., 1966 están dentro del rango, para a $[0.10-0.80]$ $kgO_2/kgDBO_5$ y b $[0.01-0.08]$ $kgO_2/kgMLVSS \cdot d^{-1}$.

*Nota: estas constantes se ajustaron por medio de gráficas gracias al software de Berkley Madonna (Macey, Oster, & Zahnley, 2003) como se muestran en las Figuras 13.49 hasta la Figura 13.52.

Cuadro 13. 20 Información para la selección y disposición de aireadores

$\alpha_{20^\circ C}$	0.87	-
β	0.97	-
P_{atm}	741.061 ± 0.75	mmHg
C_L ¹	2.00	mg/L

1. Diseño del nivel de oxígeno disuelto. (Metcalf & Eddy, 2004)

- α , Factor de corrección del efecto de la intensidad de mezclado y geometría del tanque. Típicos valores de equipos de aireación difusa y mecánica están en el rango entre 0.6 y 1.2. (Metcalf & Eddy, 2004)
- β , Factor de corrección del efecto de las características del agua residual. Los valores de β puede variar desde 0.7 a 0.98. (Metcalf & Eddy, 2004)

2. Cálculo de muestra

Cálculo 1.1. Se determina la cantidad de sustrato consumido por día, kg/d, de lote 3

Ecuación (13.1)

$$\frac{kg\ DBO_r}{d} = 86,4Q_F(S_F - S_e)$$

$$\frac{kg\ DBO_r}{d} = 86,40 \times \left(1,81 \times 10^{-7} \pm 3,3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s} \right) \left(20,980 \pm 9,4 \frac{mg}{L} - 8,740 \pm 9,4 \frac{mg}{L} \right)$$

$$\frac{kg\ DBO_r}{d} = 0,1915 \pm 2,26 \times 10^{-4} \frac{kg}{d}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.2. Se estima la potencia requerida para la aireación, HP, del lote 3

Ecuación (13.2)

$$HP = \frac{86,4Q_F(S_F - S_e)}{20 a 22}$$

Para emplear la ecuación de la potencia requerida, se supone un factor de 21 ($20 < 21 < 22$).

$$HP = \frac{86,4 \times 1,81 \times 10^{-7} \pm 3,3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s} \left(20,980 \pm 9,4 \frac{mg}{L} - 8,740 \pm 9,4 \frac{mg}{L} \right)}{21}$$

$$HP = 0,00912 \pm 1,08 \times 10^{-5}$$

$$HP = 0,004305 \pm 1,49 \times 10^{-4}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.3. Se estima la temperatura, T_w , del lote 3

a. Condiciones máximas

$$T_F = 35.9^\circ\text{C}$$

$$T_a = 27^\circ\text{C}$$

Ecuación (13.3)

$$T_w = \frac{3,6 \times 10^6 Q_F T_F + 1134(HP)T_a}{3,6 \times 10^6 Q_F + 1134(HP)}$$

$$T_w = \frac{3,6 \times 10^6 \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s}\right) \times 35.9^\circ\text{C} + 1134(0.0043 \pm 1.5 \times 10^{-4}) \times 27^\circ\text{C}}{3,6 \times 10^6 \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s}\right) + 1134(0.0043 \pm 1.5 \times 10^{-4})}$$

$$T_w = 28.05 \pm 0.01399^\circ\text{C}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

b. Condiciones mínimas del lote 3

$$T_F = 22.5^\circ\text{C}$$

$$T_a = 15^\circ\text{C}$$

Ecuación (13.4)

$$T_w = \frac{3,6 \times 10^6 Q_F T_F + 1134(HP)T_a}{3,6 \times 10^6 Q_F + 1134(HP)}$$

$$T_w = \frac{3,6 \times 10^6 \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s}\right) \times 22.5^\circ\text{C} + 1134(0.0043 \pm 1.5 \times 10^{-4}) \times 15^\circ\text{C}}{3,6 \times 10^6 \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s}\right) + 1134(0.0043 \pm 1.5 \times 10^{-4})}$$

$$T_w = 15.88 \pm 0.01306^\circ\text{C}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.4. Se determinan los valores para las temperaturas T_w máximas y mínimas del lote 3

a. Máximas: $T_w = 28.05^\circ\text{C}$

Ecuación (13.5)

$$k_{T,w} = k_{20}\theta^{(T_w-20)}$$
$$k_{28.05} = (1.13 \times 10^{-5} \pm 1.75 \times 10^{-8}d^{-1} * L/mg)(1.03)^{(28.05-20)}$$
$$k_{28.05} = 1.437 \times 10^{-5} \pm 2.330 \times 10^{-8}d^{-1} * L/mg$$

Ecuación (13.6)

$$k_{dT,w} = k_{d20}\theta^{(T_w-20)}$$
$$k_{d,28.05} = (2.76 \times 10^{-5} \pm 3.02 \times 10^{-8}d^{-1})(1.05)^{(28.05-20)}$$
$$k_{d28.05} = 4.085 \times 10^{-5} \pm 4.465 \times 10^{-6}d^{-1}$$

Ecuación (13.7)

$$b_{T,w} = k_{20}\theta^{(T_w-20)}$$
$$b_{28.05} = (1.46 \times 10^{-2} \pm 2.51 \times 10^{-5}d^{-1})(1.05)^{(28.05-20)}$$
$$b_{28.05} = 2.164 \times 10^{-2} \pm 3.875 \times 10^{-5}d^{-1}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

b. Mínimas: $T_w = 15.88$ °C

Ecuación (13.8)

$$k_{T,w} = k_{20}\theta^{(T_w-20)}$$
$$k_{15.88} = (1.13 \times 10^{-5} \pm 1.75 \times 10^{-8}d^{-1} * L/mg)(1.03)^{(15.88-20)}$$
$$k_{15.88} = 1.003 \times 10^{-5} \pm 1.754 \times 10^{-8}d^{-1} * L/mg$$

Ecuación (13.9)

$$k_{dT,w} = k_{d20}\theta^{(T_w-20)}$$
$$k_{d,15.88} = (2.76 \times 10^{-5} \pm 3.02 \times 10^{-8}d^{-1})(1.05)^{(15.88-20)}$$
$$k_{d15.88} = 2.256 \times 10^{-5} \pm 2.466 \times 10^{-6}d^{-1}$$

Ecuación (13.10)

$$b_{T,w} = k_{20}\theta^{(T_w-20)}$$
$$b_{15.88} = (1.46 \times 10^{-2} \pm 2.51 \times 10^{-5}d^{-1})(1.05)^{(15.88-20)}$$

$$b_{15.88} = 1.195 \times 10^{-2} \pm 2.278 \times 10^{-5} d^{-1}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.5 Se determina el tiempo de residencia t del lote 3

a. A partir del consumo de DBO soluble, para las condiciones mínimas

Ecuación (13.11)

$$t = \frac{(S_F - S_e)}{k_{15.88} X_{V,a} S_e}$$

$$t = \frac{(20,980 \pm 9.4 \frac{mg}{L} - 8,740 \pm 9.4 \frac{mg}{L})}{(1.003 \times 10^{-5} \pm 1.754 \times 10^{-8} \frac{L}{d * mg}) (7,290.99 \pm 0.05 \frac{mg}{L}) (8,740 \pm 9.4 \frac{mg}{L})}$$

$$t = 19.15 \pm 4.023 \times 10^{-2} d$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

b. Según las condiciones óptimas de floculación de los MLVSS

$$(A/M)_{opt} = 1.223 \pm 3.76 * 10^{-4} \text{ mgDBO}_5 / \text{mg MLVSS} * d$$

Ecuación (13.12)

$$t = \frac{S_F}{\left[X_{V,a} \left(\frac{A}{M} \right)_{opt} \right]}$$

$$t = \frac{20,980 \pm 9.4 \frac{mg}{L}}{\left[(7,290.99 \pm 0.05 \frac{mg}{L}) (1.22 \pm 3.76 \times 10^{-4} \frac{mg \text{ DBO}_5}{mg \text{ MLVSS} * d}) \right]}$$

$$t = 2.353 \pm 1.279 \times 10^{-3} d$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

c. Relación actual A/M

Ecuación (13.13)

$$\left(\frac{A}{M} \right)_{opt} = \frac{S_F}{X_{V,a} t_h}$$

$$\left(\frac{A}{M}\right)_{opt} = \frac{20,980 \pm 9.4 \frac{mg}{L}}{\left(7,290.99 \pm 0.05 \frac{mg}{L}\right) (119.15 \pm 4.023 \times 10^{-2} d)}$$

$$\left(\frac{A}{M}\right)_{opt} = 0.1503 \pm 3.228 \times 10^{-4} \frac{mg DBO_5}{mg MLVSS * d}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Observando la Figura 13.5, 13.6 y 13.7 se puede concluir que las características de sedimentación de los VSS no son satisfactorias. Esto se debe a que la curva no es completamente plana, y esta sigue disminuyendo. Por lo que resulta más cercano el valor estimado de $A/M = 0.1503$ al óptimo. En consecuencia, se utilizará un tiempo de residencia de 19.15 d para dimensionar el reactor.

- d. DBO soluble real en el efluente para las condiciones mínimas, el tiempo de residencia $t = 19.15d$ corresponde a $S_e = 8,740$ mg/L. Para condiciones máximas:

Ecuación (13.14)

$$S_e = \frac{S_F}{1 + k_{28.05} X_{V,a} t}$$

$$S_e = \frac{20,980 \pm 9.4 \frac{mg}{L}}{1 + \left(1.437 \times 10^{-5} \pm 2.330 \times 10^{-8} \frac{L}{d * mg}\right) \left(7,290 \pm 0.05 \frac{mg}{L}\right) (19.15 \pm 4.023 \times 10^{-2} d)}$$

$$S_e = 6,555.17 \pm 11.03 \frac{mg DBO_5}{L}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

El diseño resulta adecuado ya que bajo las condiciones más adversas (las mínimas), se cumple el requisito de obtener una DBO_5 máxima soluble de 8,740.00 mg/L

Calculo 1.6. Volumen del reactor del lote 3

Ecuación (13.15)

$$V = Q_F * t$$

$$V = \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s}\right) (19.15 \pm 4.023 \times 10^{-2} d) \left(\frac{86400s}{1 d}\right)$$

$$V = 0.300 \pm 6.317 \times 10^{-4} m^3$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.7. Demanda de oxígeno del lote 3

a. Condiciones máximas

Ecuación (13.16)

$$\frac{kgO_2}{d} = a(S_F - S_e)Q_F + b_{28.05}X_{V,a}V$$

$$\frac{kgO_2}{d} = 86.4 \times \left(0.1038 \pm 2.351 \times 10^{-3} \frac{kgO_2}{kgDBO_5}\right) \left(20,980.00 \pm 9.4 \frac{mg DBO_5}{L} - 6,498.66 \pm 10.93 \frac{mg DBO_5}{L}\right) \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s}\right) + (2.164 \times 10^{-2} \pm 3.875 \times 10^{-5} d^{-1}) \left(7,290 \pm 0.05 \frac{mg}{L}\right) (0.300 \pm 6.317 \times 10^{-4} m^3) \times \frac{1}{1000}$$

$$\frac{kgO_2}{d} = 0.07052 \pm 1.625 \times 10^{-3} \frac{kgO_2}{d}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

b. Condiciones mínimas

Ecuación (13.17)

$$\frac{kgO_2}{d} = a(S_F - S_e)Q_F + b_{15.88}X_{V,a}V$$

$$\frac{kgO_2}{d} = 86.4 \times \left(0.1038 \pm 2.351 \times 10^{-3} \frac{kgO_2}{kgDBO_5}\right) \left(20,980.00 \pm 9.4 \frac{mg DBO_5}{L} - 8,740.00 \pm 9.4 \frac{mg DBO_5}{L}\right) \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s}\right) + (1.195 \times 10^{-2} \pm 2.278 \times 10^{-5} d^{-1}) \left(7,290 \pm 0.05 \frac{mg}{L}\right) (0.300 \pm 6.317 \times 10^{-4} m^3) \times \frac{1}{1000}$$

$$\frac{kgO_2}{d} = 0.04584 \pm 1.057 \times 10^{-3} \frac{kgO_2}{d}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Como se puede observar las condiciones máximas son las que controlan las necesidades del oxígeno.

Cálculo 1.8 Potencia requerida en la aireación del lote 3

a. Concentración de saturación de oxígeno para agua destilada en la superficie en condiciones normales, $(C_{s,s})_{760}$.- Se obtiene este valor del Cuadro 14.23, para la temperatura de operación en el reactor biológico ($T_w = 28.89 \text{ }^\circ\text{C}$ y $T_w = 16.60 \text{ }^\circ\text{C}$)

1) Condiciones máximas

$$(C_{s,s})_{760} = 7.850 \text{ mgO}_2/L$$

2) Condiciones mínimas

$$(C_{s,s})_{760} = 10.023 \text{ mgO}_2/L$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cuadro 13. 21 Valores de saturación de oxígeno para agua destilada en condiciones normales (1atm)

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	O ₂ (mg/L)
0,0	14,60
10,0	11,30
15,0	10,20
20,0	9,20
25,0	8,40
25,4	8,19
30,0	7,60
34,7	7,00
40,0	6,60

Fuente: (Ramalho, 2009)

b. Presión de vapor del agua, P_v. Se obtiene este valor del Cuadro 14.24, para la temperatura de operación en el reactor biológico ($T_w = 28.89 \text{ }^\circ\text{C}$ y $T_w = 16.60 \text{ }^\circ\text{C}$)

1) Condiciones máximas

$$P_v = 28.958 \text{ mmHg}$$

2) Condiciones mínimas

$$P_v = 13.627 \text{ mmHg}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cuadro 13. 22 Presión de vapor de agua

Temperatura (°C)	P _v (mmHg)
0,0	4,579
10,0	9,209
15,0	12,788
20,0	17,535
25,0	23,756
25,4	25,068
30,0	31,824
34,7	42,392
40,0	55,324

Fuente: (Ramalho, 2009)

c. Concentración de saturación de oxígeno para agua corriente en la superficie, C_{s,s}

Ecuación (13.18)

$$C_{s,s} = (C_{s,s})_{760} \frac{P - P_v}{760 - P_v}$$

Donde:

(C_{s,s})₇₆₀, Concentración de saturación de oxígeno para agua destilada en la superficie en condiciones normales

P, Presión barométrica, 741.06 mmHg

P_v, Presión de Vapor, mmHg

1) Condiciones de temperatura mínima

$$C_{S,S} = 7.742 \text{ mgO}_2/\text{L} \frac{741.06\text{mmHg} - 13.627\text{mmHg}}{760\text{mmHg} - 14.303\text{mmHg}} = 9.769 \pm 0.19\text{mgO}_2/\text{L}$$

2) Condiciones de temperatura máxima

$$C_{S,S} = 9.981 \text{ mgO}_2/\text{L} \frac{741.06\text{mmHg} - 28.958\text{mmHg}}{760\text{mmHg} - 30.199\text{mmHg}} = 7.647 \pm 0.20\text{mgO}_2/\text{L}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

d. Presión a la que se introduce el aire

Ecuación (13.19)

$$P_b = P_{at} + \left(\frac{d}{10,33} \right) \times 1,033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + \text{pérdida de carga} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Donde:

d, profundidad a la que se sitúa el difusor, 0.79 m

Pérdidas de fricción por tubería se estiman de 0.14kg/cm²

$$P_b = \frac{741.06\text{mmHg}}{760\text{mmHg}} \times 1033 + \frac{0.79\text{m}}{10,33} \times 1,033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.14 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_b = 1.23 \pm 1.25 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

e. Valor estimado del porcentaje de oxígeno en el gas de salida O_t

Ecuación (13.20)

$$B = \frac{1-\epsilon}{(1-\epsilon) + 3,292}$$

Donde:

ϵ , Rendimiento de transferencia, suposición de que el 7% del oxígeno que burbujea se absorbe

$$B = \frac{1 - 0.07}{(1 - 0.07) + 3,292} = 0.2203$$
$$0,05 \leq \epsilon \leq 1,15$$

Ecuación (13.21)

$$O_t = \frac{B}{1,1429 - 0,1429B} \times 100$$
$$O_t = \frac{0.2203}{1,1429 - 0,1429B} \times 100 = 19.82\%$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

f. Concentración de oxígeno a saturación para el agua residual, en el punto de profundidad media del tanque de aireación $C_{s,m}$

Ecuación (13.22)

$$C_{s,m} = C_{s,s} \left[\frac{(P_b/1,033) + (O_t/21)}{2} \right] = C_{s,s} [(P_b/2,066) + (O_t/42)]$$

Donde:

$C_{s,s}$, Concentración de saturación de agua en la superficie

P_b , presión a la profundidad en que se introduce el aire, kg/cm^2

O_t , Porcentaje en el gas que sale por la superficie del tanque.

1) Condiciones de temperatura máxima

$$C_{s,m} = 7.65 \pm 0.20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \left[\frac{(1.23/1,033) + (0.1982/21)}{2} \right] = 8.15 \pm 0.21 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}$$

2) Condiciones de temperatura mínima

$$C_{S,m} = 9.77 \pm 0.19 \frac{mg}{L} \left[\frac{(1.23/1,033) + (0.1982/21)}{2} \right] = 10.41 \pm 0.57 \frac{mgO_2}{L}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

g. Correcciones de concentración de saturación de oxígeno en la superficie, $C_{s,w}$

Ecuación (13.23)

$$C_{S,w} = \beta * C_{S,m}$$

Donde:

β , Constante que relaciona las condiciones de saturación entre el agua corriente y el agua residual, para el cálculo tomaremos $\beta = 0,97$

$C_{s,s}$ Concentración de saturación de oxígeno para agua corriente en la superficie

1) Condiciones de temperatura máxima

$$C_{S,w} = 0.97 * 8.15 \pm 0.21 \frac{mgO_2}{L}$$

$$C_{S,w} = 7.904 \pm 0.2051 \frac{mgO_2}{L}$$

2) Condiciones de temperatura mínima

Ecuación (13.24)

$$C_{S,w} = 0.97 * 10.41 \pm 0.57 \frac{mgO_2}{L}$$

$$C_{S,w} = 10.098 \pm 0.5561 \frac{mgO_2}{L}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

h. Rendimiento de transferencia de oxígeno para el agua residual en condiciones de funcionamiento, $(RT)_{real}$

Ecuación (13.25)

$$(RT)_{real} = (RT)_{ref} \left(\alpha_{20^{\circ}\text{C}} \times 1,024^{T-20} \times \frac{\beta C_{S,m} - C_L}{9,2} \right)$$

Donde:

$(RT)_{ref}$, Rendimiento de transferencia de oxígeno en condiciones normales

α , factor de correlación que relaciona el coeficiente de transferencia global (K_{La}) de las aguas residuales con el de las aguas corrientes. Para el cálculo tomaremos $\alpha = 0,87$.

*Se asumirá como constante:

Ecuación (13.26)

$$K = \left(\alpha_{20^{\circ}\text{C}} \times 1,024^{T-20} \times \frac{\beta C_{S,m} - C_L}{9,2} \right)$$

Para el cálculo de “K” se requiere de la información siguiente:

C_L concentración de oxígeno disuelto en régimen estacionario, para procesos aerobios en continuo, diseñado para eliminar materia orgánica CL. Para este cálculo asumiremos $C_L = 2.00$ mg/l.

α factor de correlación que relaciona el coeficiente de transferencia global (K_{La}) de las aguas residuales con el de las aguas corrientes. Para el cálculo tomaremos $\alpha = 0,87$.

1) Condiciones máximas

$$K = \left(0,87 \times 1,024^{28,05-20} \times \frac{\left(7,904 \pm 0,2051 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}} \right) - 2,00 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}}{9,2} \right)$$

$$K = 0,676 \pm 1,75 \times 10^{-2}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

2) Condiciones mínimas

$$K = \left(0,87 \times 1,024^{15,88-20} \times \frac{\left(10,41 \pm 0,5733 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}} \right) - 2,00 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}}{9,2} \right)$$

$$K = 0,695 \pm 5,72 \times 10^{-2}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

El valor menor de K nos da las condiciones de control (menor transferencia de oxígeno). En conclusión, las condiciones máximas controlan la especificación de los aireadores.

i. Potencia

1) Se supone una potencia específica

$$P_V = 0.013105 \frac{CV}{m^3}$$

2) Con la ecuación de la recta

Ecuación (13.27)

$$(RT)_{ref} = 5.42P_V + 0.939$$

$$(RT)_{ref} = 5.42 \left(0.013105 \frac{CV}{m^3} \right) + 0.939$$

$$(RT)_{ref} = 1.010 \frac{kgO_2}{CV * h}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

3) Ecuación

Ecuación (13.28)

$$(RT)_{real} = (RT)_{ref} * k$$

$$(RT)_{real} = 1.010 \frac{kgO_2}{CV * h} * (0.676 \pm 1.75 \times 10^{-2}) = 0.683 \pm 0.0177 \frac{kgO_2}{CV * h}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

4) Potencia requerida

Ecuación (13.29)

$$Potencia = \frac{O_2 \text{ requerida} (kg/h)}{0.987}$$

$$Potencia = \frac{\left(0.0705 \frac{kgO_2}{d}\right) \left(\frac{1d}{24h}\right)}{0.683 \pm 0.0177 \frac{kgO_2}{CV * h}} = 0.004305 \pm 1.49 \times 10^{-4} CV$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

5) Recalcular P_V

$$P_V = \frac{0.004305 \pm 1.49 \times 10^{-4} CV}{0.330 \pm 6.251 \times 10^{-4} m^3} = 0.01305 \pm 4.55 \times 10^{-4} \frac{CV}{m^3}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

El valor de 0.004305HP Concuerta con el supuesto del cálculo 1.2. En consecuencia, las temperaturas T_w (para las condiciones máximas y mínimas calculadas en el cálculo 1.3, son correctas. Por ellos se ha obtenido la convergencia de la iteración conduciendo a:

T_w máxima = 28.05 °C

T_w mínima = 15.88 °C

Cálculo 1.9 Producción neta de biomasa ΔX_V del lote 3

a. Condiciones máximas

Ecuación (13.30)

$$\Delta X_V = Y(S_F - S_e)Q_F - k_{d28.05} X_{V,a} V$$

$$\begin{aligned} \Delta X_V &= 86.4(3.00 \times 10^{-4})(20,980.00 - 6,555.17)1.81 \times 10^{-7} \\ &\quad - (4.08 \times 10^{-5})(7290.99)(0.300)(0.001) \\ \Delta X_V &= -2.157 \times 10^{-5} \frac{kg}{d} \end{aligned}$$

$$\Delta X_V = 0 \frac{kg}{d}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

b. Condiciones mínimas

Ecuación (13.31)

$$\Delta X_V = Y(S_F - S_e)Q_F - k_{d15.88}X_{V,a}V$$

$$\Delta X_V = 86.4(3.00 \times 10^{-4})(20,980.00 - 8,740.00)1.81 \times 10^{-7} \\ - (2.26 \times 10^{-5})(7290.99)(0.296)(0.001)$$

$$\Delta X_V = 8.23 \times 10^{-6} \pm 9.56 \times 10^{-7} \frac{kg}{d}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.10. Caudales restantes del 3

- a. $Q_R = 0$, (no hay recirculación)
- b. $Q_o = Q_F$
- c. $Q_w = 0$
- d. $Q_e = Q_F$
- e. $Q_u = 0$
- f. $t = t_h$

Cálculo 1.11 Balance de materia de los sólidos no volátiles

- a. Cálculo de $X_{NV,a}$

Ecuación (13.32)

$$X_{NV,a} = \frac{(1 - F_V)X_{V,a}}{F_V}$$

$$X_{NV,a} = \frac{(1 - 0.8) \left(7,290 \pm 0.05 \frac{mg}{L} \right)}{0.8} = 1822.75 \pm 0.0125 \frac{mg}{L}$$

$$X_{NV,a} \approx X_{NV,o} \approx X_{NV,F} = 1822.75 \pm 0.0125 \frac{mg}{L}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

b. Cálculo de $X_{NV,e} \approx 0$

c. Cálculo de $X_{NV,u} \approx 0$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.12 Producción total de lodos del lote 3

a. Cálculo de $(VSS)_w$

1) Condiciones máximas

Ecuación (13.33)

$$\begin{aligned}(VSS)_W &= \Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_F X_{V,e} \\(VSS)_W &= 5.856 \pm 0.680 \frac{kg}{d} + (1.81 \times 10^{-7})(0) - (1.81 \times 10^{-7})(10) \\(VSS)_W &= 5.856 \pm 0.681 \frac{kg}{d}\end{aligned}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

2) Condiciones mínimas

Ecuación (13.34)

$$\begin{aligned}(VSS)_W &= \Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_F X_{V,e} \\(VSS)_W &= 4.969 \pm 0.577 \frac{kg}{d} + (1.81 \times 10^{-7})(0) - (1.81 \times 10^{-7})(10) \\(VSS)_W &= 4.969 \pm 0.578 \frac{kg}{d}\end{aligned}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

b. Cálculo de $(NVSS)_w$

Ecuación (13.35)

$$\begin{aligned}(NVSS)_W &= Q_w X_{NV,u} = Q_F X_{NV,F} \\(NVSS)_W &= 86.4 \left(1822.75 \pm 0.0125 \frac{mg}{L} \right) (1.81 \times 10^{-7}) \\(NVSS)_W &= 3.30 \times 10^{-4} \pm 6.08 \frac{kg}{d}\end{aligned}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

c. Cálculo de $(TSS)_w$

1) Condiciones máximas

Ecuación (13.36)

$$\begin{aligned}(TSS)_w &= (NVSS)_w + (VSS)_w \\(TSS)_w &= 3.30 \times 10^{-4} \pm 6.08 \frac{kg}{d} + 5.88 \pm 0.683 \frac{kg}{d} \\(TSS)_w &= 5.86 \pm 0.683 \frac{kg}{d}\end{aligned}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

2) Condiciones mínimas

Ecuación (13.37)

$$\begin{aligned}(TSS)_w &= (NVSS)_w + (VSS)_w \\(TSS)_w &= 3.30 \times 10^{-4} \pm 6.08 \frac{kg}{d} + 4.97 \pm 0.577 \frac{kg}{d} \\(TSS)_w &= 4.97 \pm 0.577 \frac{kg}{d}\end{aligned}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.13 Nutrientes requeridos del lote 3

a. Nitrógeno total perdido

Ecuación (13.38)

$$N = 0.12\Delta X_v + 86.4Q_F(1)$$

Nitrógeno perdido por purga de lodos $N = 0.12\Delta X_v \approx 0$ ya que no hay purga de lodos

Ecuación (13.39)

$$\begin{aligned}N &= 86.4Q_F(1) \\N &= 86.4 \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s} \right) (1) = 1.56 \times 10^{-5} \pm 8.16 \times 10^{-6} \frac{kg}{d}\end{aligned}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

b. Nitrógeno disponible

Ecuación (13.40)

$$N = 86.4Q_F(NTK)$$
$$N = 86.4 \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s} \right) \left(840 \pm 0.01 \frac{mg}{L} \right)$$
$$N = 0.0131 \pm 8.19 \times 10^{-6} \frac{kg}{d}$$

En consecuencia, no se necesita añadir nitrógeno por:

$$1.56 \times 10^{-5} < 0.0131$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

c. Fósforo total perdido

Ecuación (13.41)

$$P = 0.02\Delta X_V + 86.4Q_F(0.5)$$

Fósforo perdido por purga de lodos $P = 0.02\Delta X_V \approx 0$ ya que no hay purga de lodos

Ecuación (13.42)

$$P = 86.4Q_F(0.5)$$
$$P = 86.4 \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s} \right) (0.5) = 7.8 \times 10^{-6} \pm 1.4 \times 10^{-9} \frac{kg}{d}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

d. Fósforo disponible

Ecuación (13.43)

$$P = 86.4Q_F(P)$$
$$P = 86.4 \left(1.8 \times 10^{-7} \pm 3.3 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s} \right) \left(13.4 \pm 0.01 \frac{mg}{L} \right)$$
$$P = 2.10 \times 10^{-4} \pm 7.82 \times 10^{-6} \frac{kg}{d}$$

En consecuencia, no se necesita añadir nitrógeno por:

$$7.8 \times 10^{-6} < 2.10 \times 10^{-4}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.14. Se determina la carga orgánica, kg/d, de lote 3

Ecuación (13.44)

$$\frac{kg\ DBO_r}{d} = Q_F \times S_F$$

$$\frac{kg\ DBO_r}{d} = \left(0.652 \pm 1.20 \times 10^{-4} \frac{L}{h}\right) \left(20,980 \pm 9.4 \frac{mg}{L}\right) \left(\frac{24\ h}{1\ d}\right)$$

$$\frac{kg\ DBO_r}{d} = 569.79 \pm 2.39 \frac{mg}{d} \times \frac{1\ kg}{1000000\ mg} = 5.698 \times 10^{-4} \pm 2.39 \times 10^{-6} \frac{kg\ DBO_r}{d}$$

*Se realizó el mismo cálculo para los lotes 1 y 2

Cálculo 1.15. Potencia de agitación (turbina de 4 palas inclinadas a 45°), del lote 3

Ecuación (13.45)

$$N_{re} = \frac{ND^2\rho}{\mu}$$

$$N_p = \frac{Pg_c}{N^3D^5\rho} \therefore P = \frac{N^3D^5\rho N_p}{g_c}$$

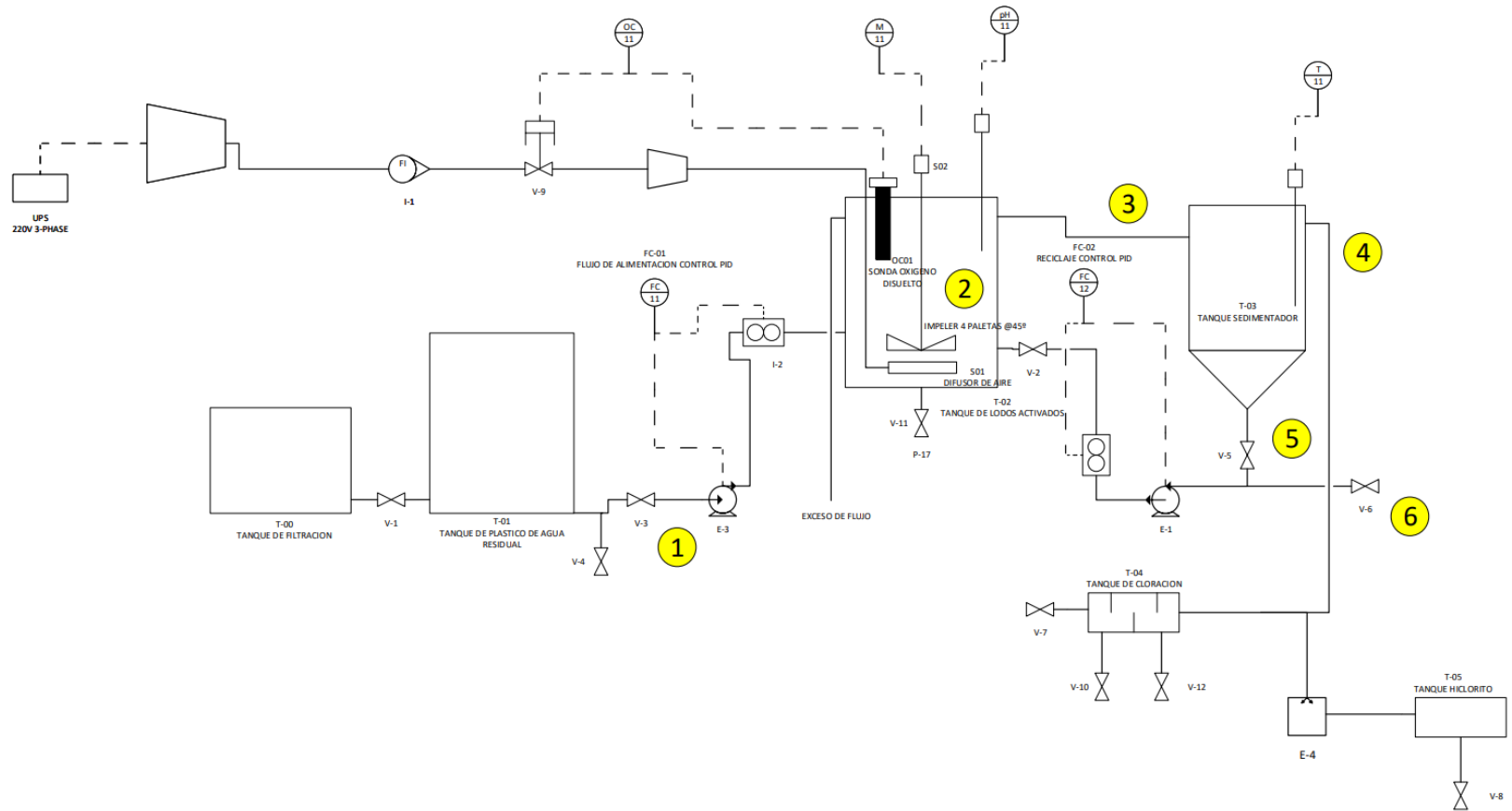
$$N_{re} = \frac{(3.67 \pm 0.002RPS)(0.2167 \pm 0.1m)^2 \left(1,056.00 \pm 5.29 \frac{kg}{m^3}\right)}{29.50 \pm 0.6 \frac{kg}{ms}} = 6.16 \pm 2.85$$

*Nota: Se tomó la curva característica para el impeller de disco de cuatro paletas inclinadas a 45° tomando $kt=N_p=1.40$ sobre la gráfica que relaciona el número de Reynolds contra el número de potencia.

$$\begin{aligned}P &= (3.67 \pm 0.002RPS)^3(0.2167 \pm 0.1m)^5 \left(1,056.00 \pm 5.29 \frac{kg}{m^3}\right) \times 1.40 \\&= 34.80 \pm 16.08Nm/s \\P &= 0.0348 \pm 0.02kW\end{aligned}$$

3. Datos calculados

Figura 13. 42 Diagrama convencional de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias



Cuadro 13. 23 Balance de materia en el afluente (punto 1) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias

Lotes	1			2			3		
Q_F	$1.81 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3.33 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s	$1.81 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3.33 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s	$1.81 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3.33 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s
S_F	20,980.00	±9.4	mgDBO ₅ /l	20,980.00	±9.4	mgDBO ₅ /l	20,980.00	±9.4	mgDBO ₅ /l
$X_{V,F}$	-	-	mg/l	-	-	mg/l	-	-	mg/l
$X_{NV,F}$	1,822.15	±0.335	mg/l	1,980.68	±0.365	mg/l	1,882.75	±0.0125	mg/l
T_F	35.90	±0.01	°C	35.90	±0.01	°C	35.90	±0.01	°C
	22.5	±0.01	°C	22.5	±0.01	°C	22.5	±0.01	°C

Cuadro 13. 24 Balance de materia en la salida del reactor (punto 3) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias

Lotes	1			2			3		
$Q_O = Q_F$	$1.81 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3.33 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s	$1.81 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3.33 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s	$1.81 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3.33 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s
S_e	9,042.13	± 14.93	mgDBO ₅ /l	10,171.42	±29.22	mgDBO ₅ /l	6,555.17	±11.03	mgDBO ₅ /l
	10,936.00	± 9.4	mgDBO ₅ /l	11,478.00	±33.81	mgDBO ₅ /l	8,740.00	±15.77	mgDBO ₅ /l
$X_{V,a}$	7,288.58	± 0.05	mg/l	7,922.73	±0.05	mg/l	7,290.99	±0.05	mg/l
$X_{NV,a}$	1,822.15	± 0.0125	mg/l	1,980.68	±0.365	mg/l	1,822.75	± 0.0125	mg/l

Cuadro 13. 25 Balance de materia en el reactor (punto 2) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias

Lotes	1			2			3		
S_e	9,042.13	±14.93	mgDBO ₅ /l	10,171.42	±29.22	mgDBO ₅ /l	6,555.17	±11.03	mgDBO ₅ /l
	10,936.00	±9.4	mgDBO ₅ /l	11,478.00	±33.81	mgDBO ₅ /l	8,740.00	±15.77	mgDBO ₅ /l
X_{v, a}	7,288.58	±0.05	mg/l	7,922.73	±0.05	mg/l	7,290.99	±0.05	mg/l
X_{NV, a}=X_{NV, o}	1,822.15	±0.0125	mg/l	1,980.68	±0.365	mg/l	1,822.75	± 0.0125	mg/l
F_v	80	-	%	80	-	%	80	-	%
T_w	28.76	±0.014	°C	28.91	±0.014	°C	28.05	±0.014	°C
	16.49	±0.013	°C	16.61	±0.013	°C	15.88	±0.013	°C
t	12.07	±0.00238	d	9.95	±0.0304	d	19.15	±0.0402	d
V	0.189	±3.48*10 ⁻⁵	m ³	0.156	±2.86*10 ⁻⁵	m ³	0.300	±6.32 *10 ⁻⁴	m ³
CV	0.00233	±6.82*10 ⁻⁵	CV	0.00211	±8.65*10 ⁻⁵	CV	0.00431	±1.49*10 ⁻⁴	CV
ΔX_v	7.10*10 ⁻⁵	±2.33*10 ⁻⁴	kg/d	6.95*10 ⁻⁵	±1.52*10 ⁻⁴	kg/d	8.23*10 ⁻⁶	±9.56*10 ⁻⁷	kg/d
	6.03*10 ⁻⁵	±1.98*10 ⁻⁴	kg/d	6.24*10 ⁻⁵	± 1.37*10 ⁻⁴	kg/d	8.23*10 ⁻⁶	±9.56*10 ⁻⁷	kg/d
Oxígeno	0.0015	± 5.4*10 ⁻⁴	kgO ₂ /h	0.0014	±1.09*10 ⁻³	kgO ₂ /h	0.0029	±1.63*10 ⁻³	kgO ₂ /h
	0.0010	±3.4*10 ⁻⁴	kgO ₂ /h	0.0010	±8.10*10 ⁻⁴	kgO ₂ /h	0.0019	±1.06*10 ⁻³	kgO ₂ /h
P	0.0348	±	kW	0.0348	±	kW	0.0348	±	kW
P/V	0.1055	±	kW/ m ³	0.1055	±	kW/ m ³	0.1055	±	kW/ m ³

Cuadro 13. 26 Balance de materia en el efluente (punto 4) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias

Lotes	1			2			3		
$Q_e = Q_F$	$1.81 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3.33 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s	$1.81 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3.33 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s	$1.81 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3.33 \cdot 10^{-11}$	m ³ /s
S_e	9,042.13	± 14.93	mgDBO ₅ /l	10,171.42	\pm	mgDBO ₅ /l	6,555.17	± 11.03	mgDBO ₅ /l
	10,936.00	± 9.4	mgDBO ₅ /l	11,478.00	\pm	mgDBO ₅ /l	8,740.00	± 15.77	mgDBO ₅ /l
$X_{V,e}$	10.00	± 0.05	mg/l	10.00	± 0.05	mg/l	10.00	± 0.05	mg/l
$X_{NV,e}$	-	-	mg/l	-	-	mg/l	-	-	mg/l

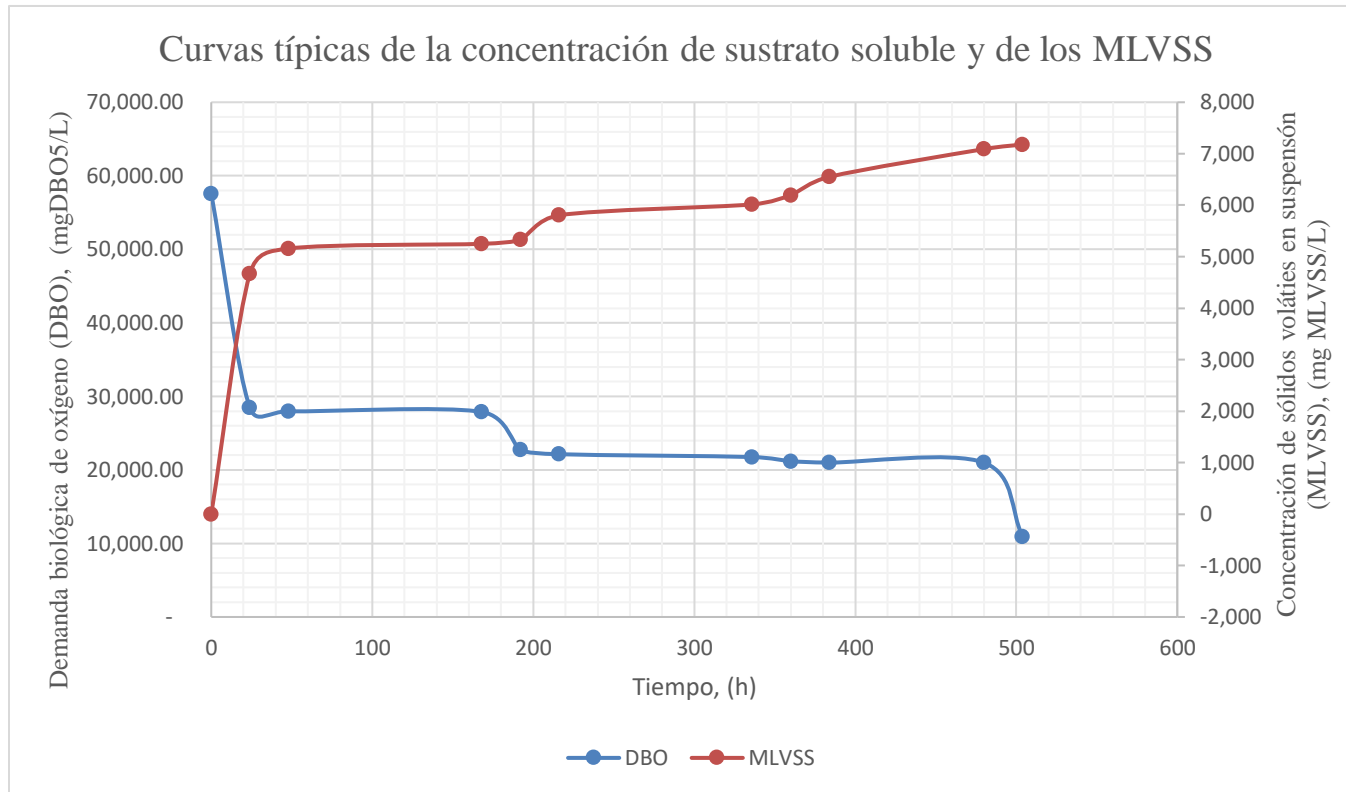
Cuadro 13. 27 Balance de materia en la descarga del clarificador del efluente (punto 5) del diagrama de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Laboratorio de Operaciones Unitarias

Lotes	1			2			3		
Q_u	-	-	m ³ /s	-	-	m ³ /s	-	-	m ³ /s
S_e	9,042.13	± 14.93	mgDBO ₅ /l	10,171.42	\pm	mgDBO ₅ /l	6,555.17	± 11.03	mgDBO ₅ /l
	10,936.00	± 9.4	mgDBO ₅ /l	11,478.00	\pm	mgDBO ₅ /l	8,740.00	± 15.77	mgDBO ₅ /l
$X_{V,u}$	8,290	± 0.05	mgDBO ₅ /l	8,290	± 0.05	mgDBO ₅ /l	8,290	± 0.05	mgDBO ₅ /l
$X_{V,e}$	10.00	± 0.05	mg/l	10.00	± 0.05	mg/l	10.00	± 0.05	mg/l
$X_{NV,u}$	-	-	mg/l	-	-	mg/l	-	-	mg/l

*No se hicieron purgas en los lotes y no hay recirculación.

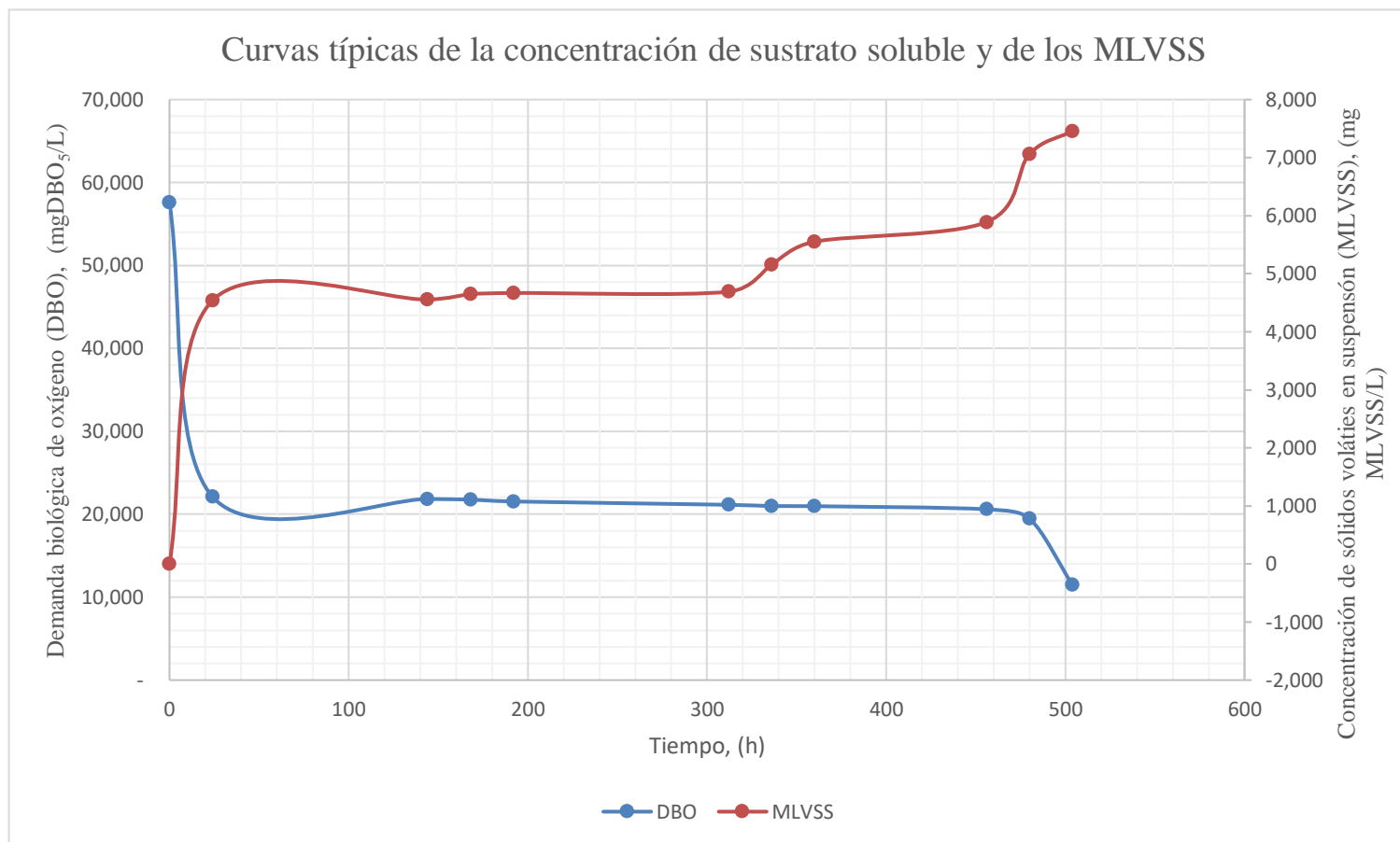
G. Evaluación de la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO)

Figura 13. 43 Curvas típicas de la concentración de sustrato soluble (DBO) y de la biomasa (MLVSS), lote 1



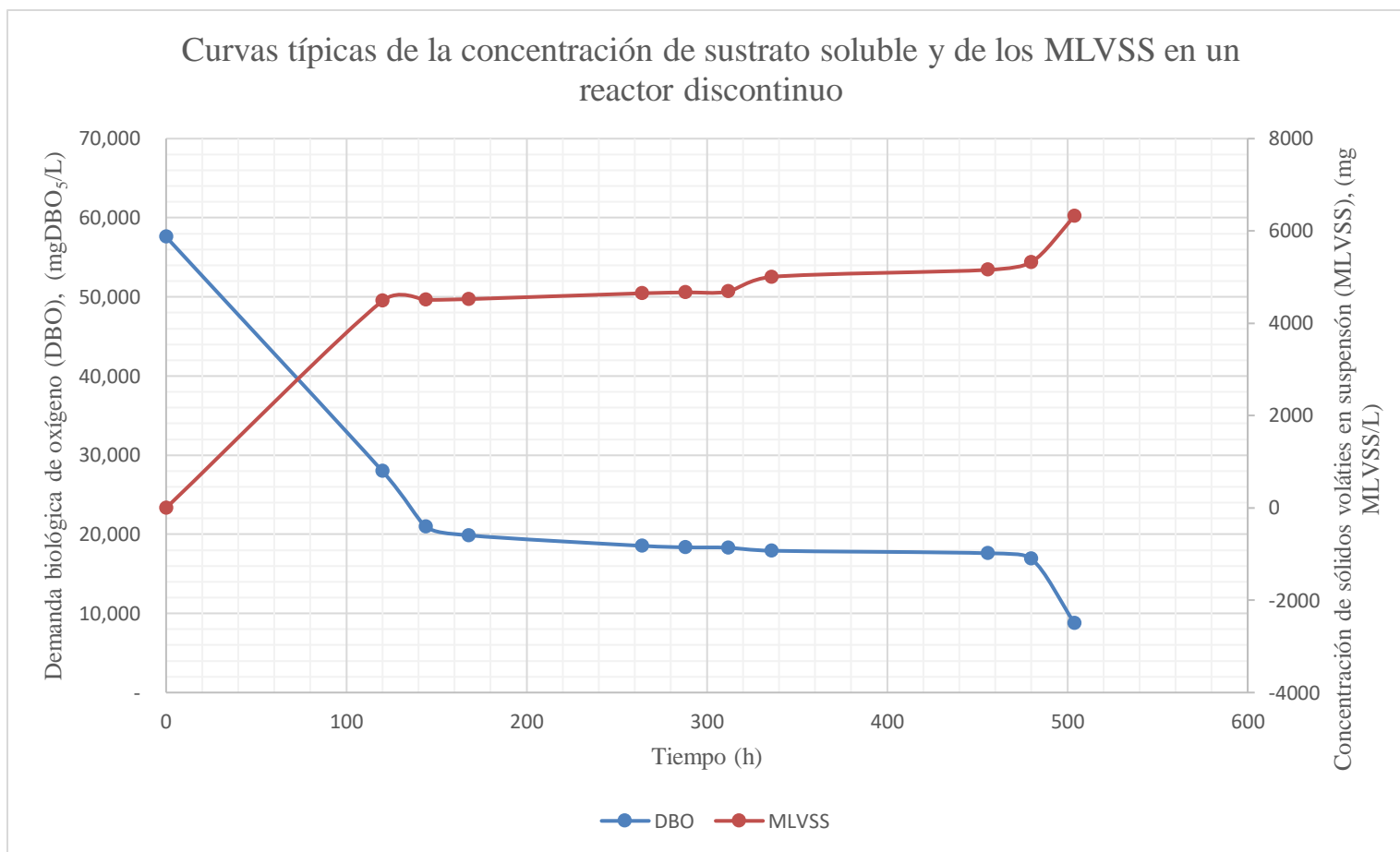
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³. *Ver las Figuras 14.45, 14.46 y 14.47 de cada uno de los lotes respectivamente. Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo.

Figura 13. 44 Curvas típicas de la concentración de sustrato soluble (DBO) y de la biomasa (MLVSS), lote 2



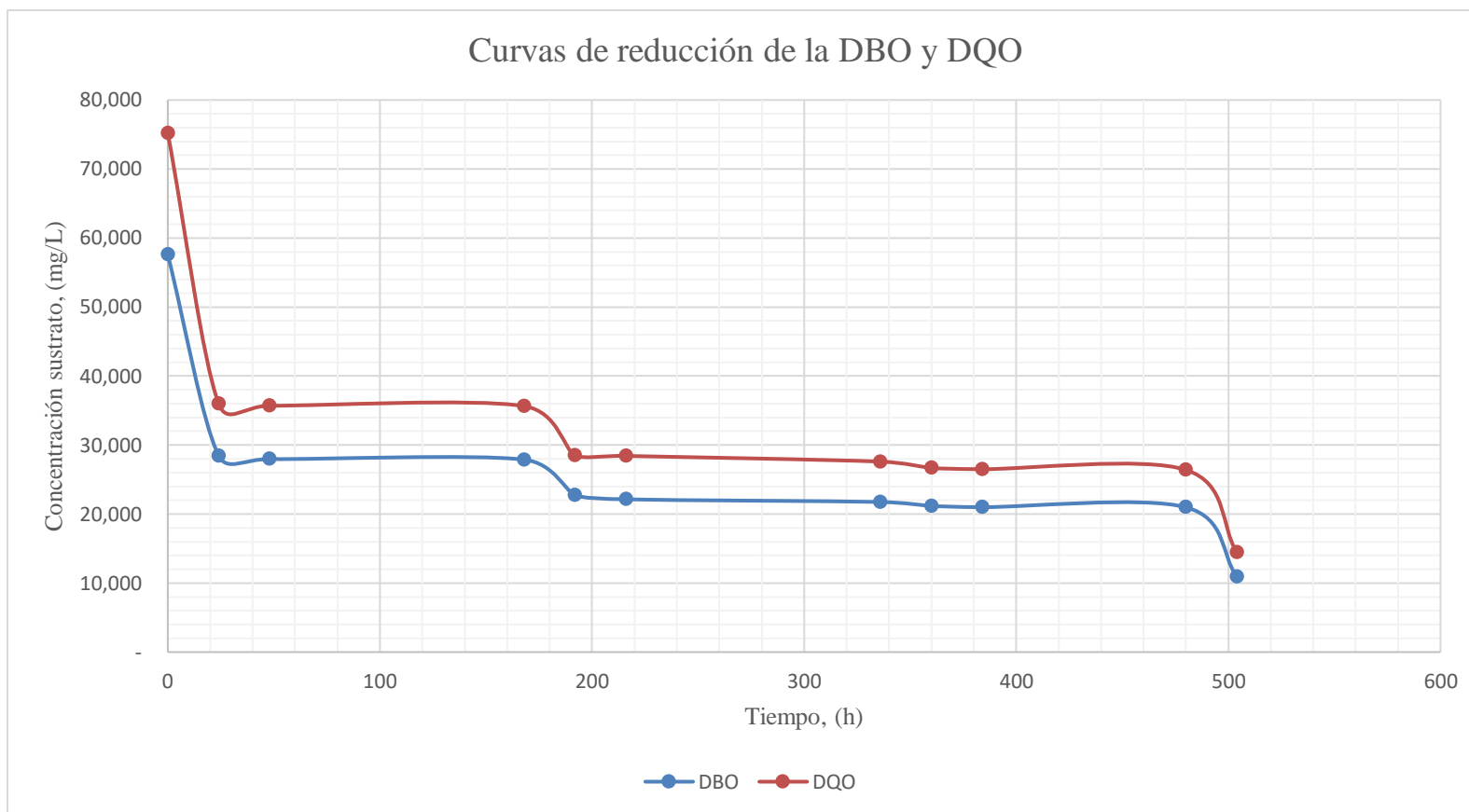
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³. *Ver las Figuras 14.45, 14.46 y 14.47 de cada uno de los lotes respectivamente. Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo.

Figura 13. 45 Curvas típicas de la concentración de sustrato soluble (DBO) y de la biomasa (MLVSS), lote 3



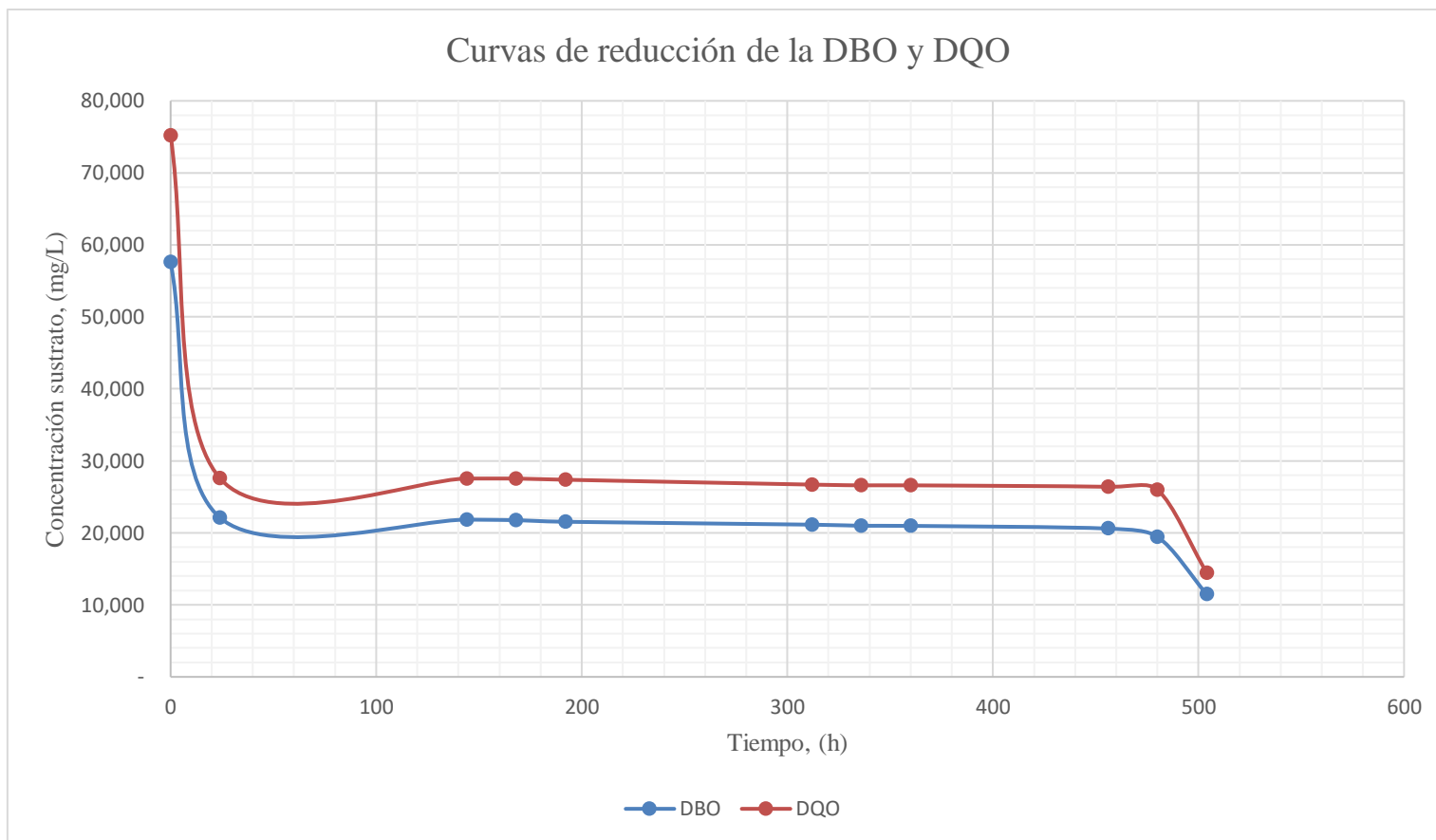
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³. *Ver las Figuras 14.45, 14.46 y 14.47 de cada uno de los lotes respectivamente. Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo.

Figura 13. 46 Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo, lote 1



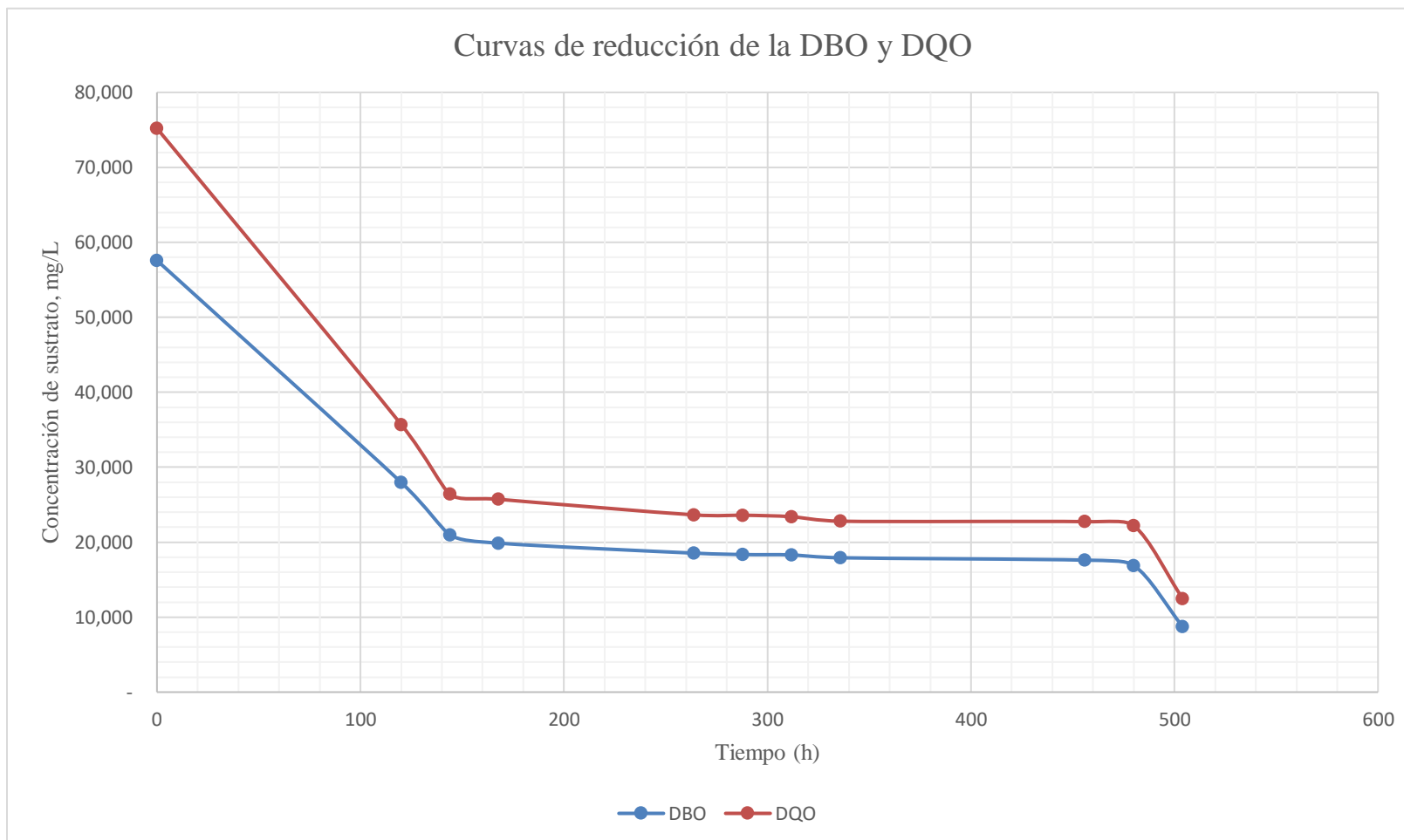
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³. *Ver las Figuras 14.45, 14.46 y 14.47 de cada uno de los lotes respectivamente. Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo.

Figura 13. 47 Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo, lote 2



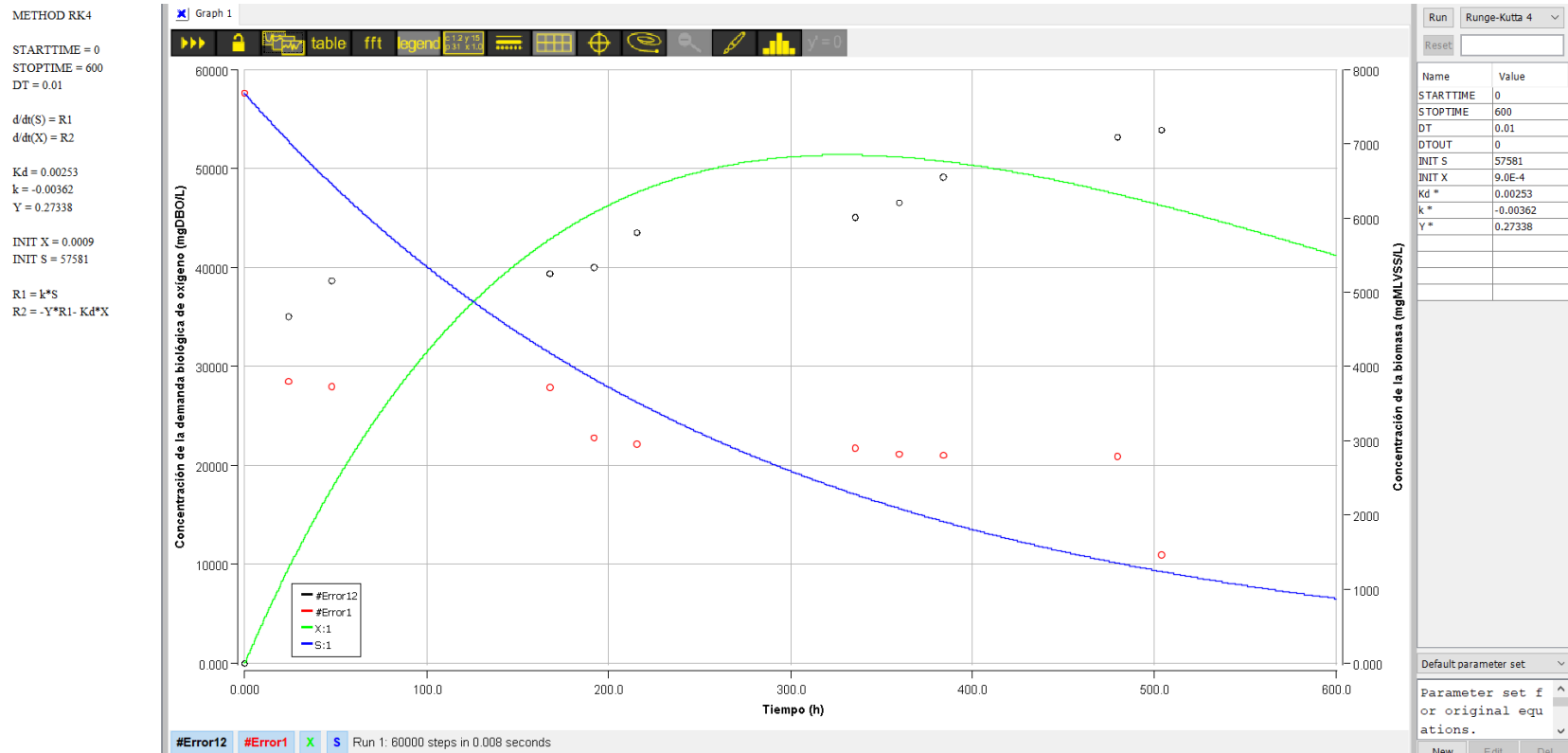
*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³. *Ver las Figuras 14.45, 14.46 y 14.47 de cada uno de los lotes respectivamente. Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo.

Figura 13. 48 Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo, lote 3



*Condiciones de operación: Altitud máxima: 2000 m, Presión [986±0.75 - 988±0.75] mbar, Temperatura: [27.0±0.01 - 22.5±0.01] °C, Oxígeno disuelto: [2.00 ± 0.01 - 1.00 ± 0.01] mgO₂/L (a la salida del difusor de burbuja fina con membrana de microfiltro), Velocidad de agitación: 58.43±0.02887 rpm, pH: [6.8 ± 0.01 - 6.0 ± 0.01], Tiempo de retención: 21 días (504 horas), Caudal de alimentación: 1.811*10⁻⁷ ± 3.332*10⁻¹¹m³/s y Volumen: 0.329±6.04*10⁻⁵ m³. *Ver las Figuras 14.45, 14.46 y 14.47 de cada uno de los lotes respectivamente. Curvas de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el tiempo.

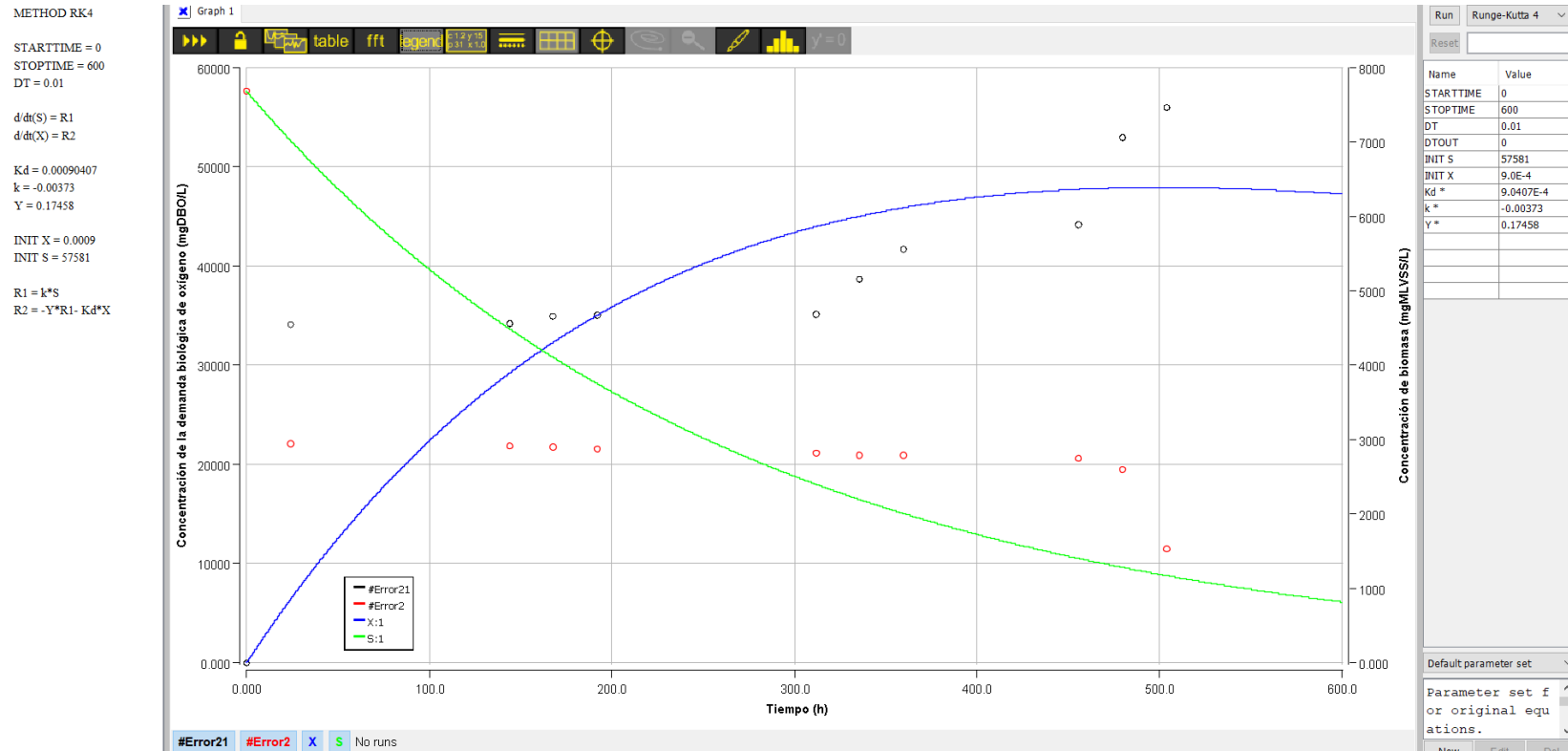
Figura 13. 49 Aproximación a la tasa de reducción de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) junto al crecimiento de la biomasa (MLVSS), lote 1



* Error12 (X) y Error1 (S), son los datos experimentales de la concentración de biomasa (mgMLVSS/L) y de la demanda biológica de oxígeno (mgDBO/L) respectivamente

*Nota: Las constantes cinéticas según Metcalf & Eddy, 2004, para el coeficiente cinético k (constante de velocidad de consumo de sustrato) de primer orden se encuentra en un rango de $[-0.0020$ a $-0.010]$ $d^{-1} * L/mgDBO$; para el coeficiente Kd (coeficiente de descomposición microbiana) se encuentra en un rango de $[0.002$ a $0.0075]$ $d^{-1} * kgMLVSS oxidados/KgMLVSS$; para el coeficiente Y (coeficiente de producción de lodo sustrato consumido (DBO)) se encuentra en un rango de $[0.2$ a $0.8]$ $kgMLVSS /KgDBO$.

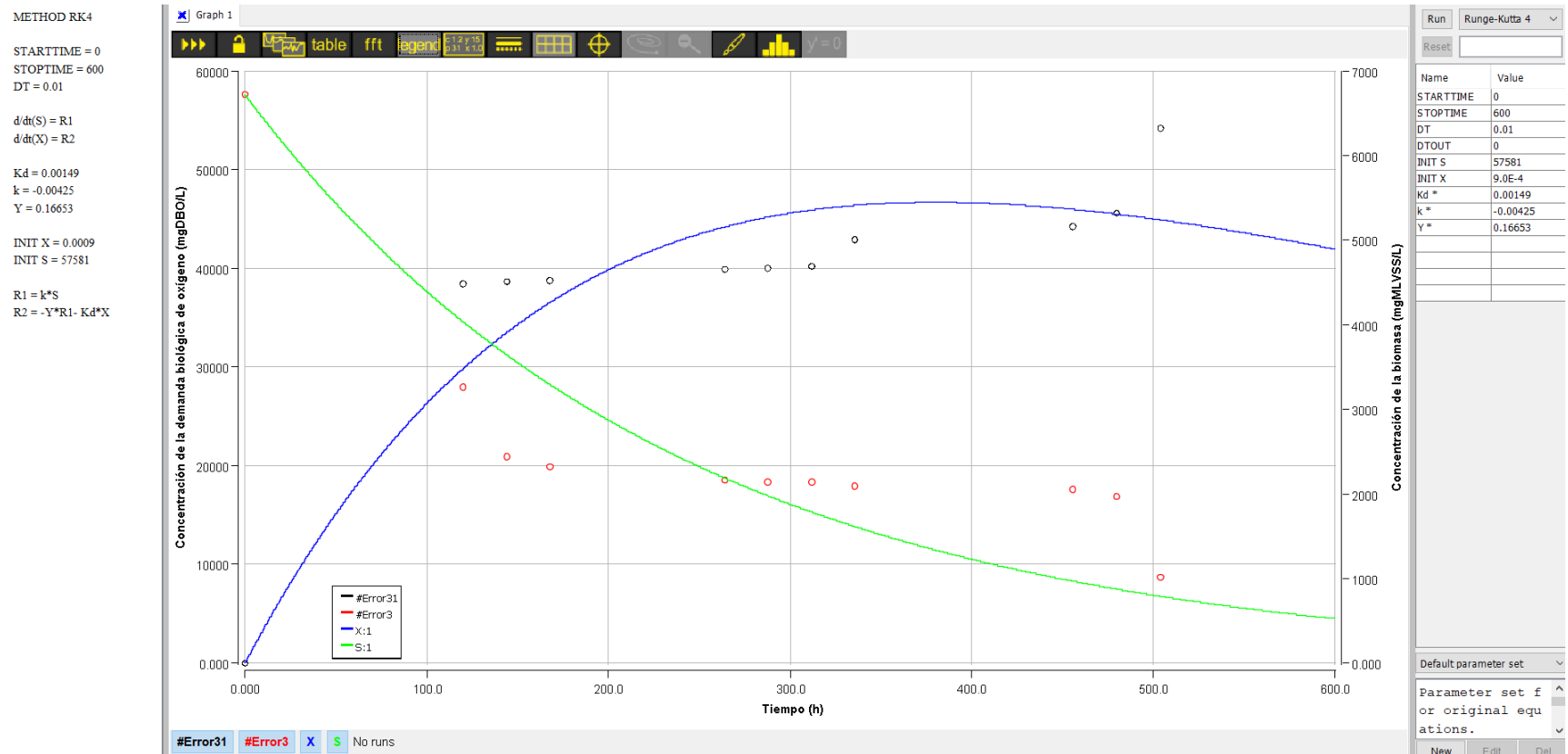
Figura 13. 50 Aproximación a la tasa de reducción de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) junto al crecimiento de la biomasa (MLVSS), lote 2



* Error21 (X) y Error2 (S), son los datos experimentales de la concentración de biomasa (mgMLVSS/L) y de la demanda biológica de oxígeno (mgDBO/L) respectivamente.

*Nota: Las constantes cinéticas según Metcalf & Eddy, 2004, para el coeficiente cinético k (constante de velocidad de consumo de sustrato) de primer orden se encuentra en un rango de [-0.0020 a -0.010] d⁻¹*L/mgDBO; para el coeficiente Kd (coeficiente de descomposición microbiana) se encuentra en un rango de [0.002 a 0.0075] d⁻¹*kgMLVSS oxidados/KgMLVSS; para el coeficiente Y (coeficiente de producción de lodo sustrato consumido (DBO)) se encuentra en un rango de [0.2 a 0.8] kgMLVSS /KgDBO.

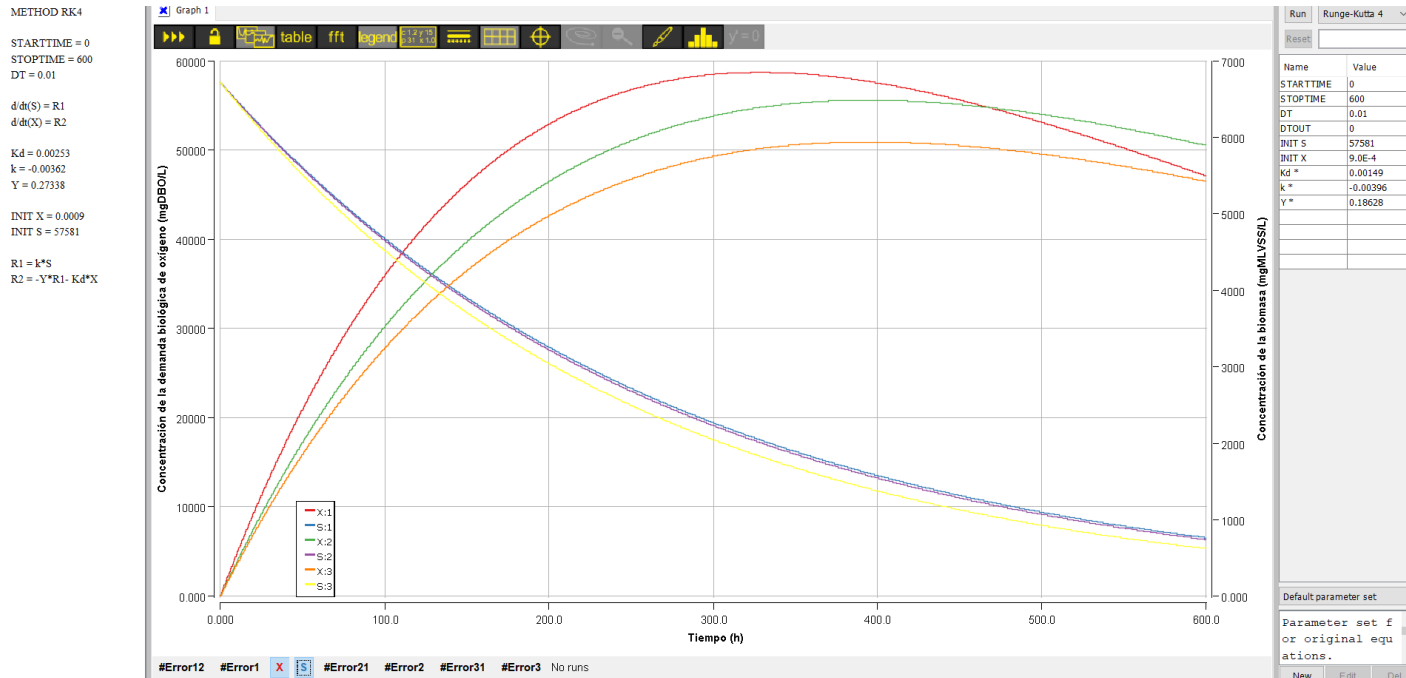
Figura 13. 51 Aproximación a la tasa de reducción de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (DBO) junto al crecimiento de la biomasa (MLVSS), lote 3



* Error21 (X) y Error2 (S), son los datos experimentales de la concentración de biomasa (mgMLVSS/L) y de la demanda biológica de oxígeno (mgDBO/L) respectivamente.

*Nota: Las constante cinéticas según Metcalf & Eddy, 2004, para el coeficiente cinético k (constante de velocidad de consumo de sustrato) de primer orden se encuentra en un rango de $[-0.0020$ a $-0.010]$ $d^{-1} * L / mgDBO$; para el coeficiente Kd (coeficiente de descomposición microbiana) se encuentra en un rango de $[0.002$ a $0.0075]$ $d^{-1} * kgMLVSS$ oxidados/ $kgMLVSS$; para el coeficiente Y (coeficiente de producción de lodo sustrato consumido (DBO)) se encuentra en un rango de $[0.2$ a $0.8]$ $kgMLVSS / KgDBO$.

Figura 13. 52 Comparación de la tasa de reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) junto al crecimiento de la biomasa (MLVSS) de los tres lotes




* X y S, son los datos experimentales de la concentración de biomasa (mgMLVSS/L) y de la demanda biológica de oxígeno (mgDBO/L) de los lotes 1, 2 y 3 respectivamente.

*Nota: Las constante cinéticas según Metcalf & Eddy, 2004, para el coeficiente cinético k (constante de velocidad de consumo de sustrato) de primer orden se encuentra en un rango de [-0.0020 a -0.010] d-1*L/mgDBO; para el coeficiente Kd (coeficiente de descomposición microbiana) se encuentra en un rango de [0.002 a 0.0075] d-1*kgMLVSS oxidados/KgMLVSS; para el coeficiente Y (coeficiente de producción de lodo sustrato consumido (DBO)) se encuentra en un rango de [0.2 a 0.8] kgMLVSS /KgDBO.

*Nota: Las constante cinéticas según Metcalf & Eddy, 2004, para el coeficiente cinético k (constante de velocidad de consumo de sustrato) de primer orden se encuentra en un rango de [-0.0020 a -0.010] d-1*L/mgDBO; para el coeficiente Kd (coeficiente de descomposición microbiana) se encuentra en un rango de [0.002 a 0.0075] d-1*kgMLVSS oxidados/KgMLVSS; para el coeficiente Y (coeficiente de producción de lodo sustrato consumido (DBO)) se encuentra en un rango de [0.2 a 0.8] kgMLVSS /KgDBO. Estas fueron establecidas de modo teórico para tener en cuenta que hay una mejor evaluación que se apega a a la realidad de la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y el crecimiento de la biomasa (MLVSS)

H. Resultados del laboratorio externo (LABIND)

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1
		Mayo 2016 Versión 04

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	18 av. 11-95 zona 15 UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	17 de septiembre del 2020, 11:45 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	EFUENTE DE INGENIO
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	49,381	Hora de Ingreso:	12:53 Hrs
No. De Laboratorio:	73.506	Temp. de transporte °C:	13
Fecha de Ingreso:	17 de septiembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	17 de septiembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	7207	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	24116	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	10256	-	SMEWW ¹ -1030E

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección. * - *: No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Soectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=oom=partes por millón. mL/L=mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 2/10/2020




LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
 EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA
 INGENERO QUIMICO
 COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04 RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	24 de septiembre del 2020, 11:15 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	Muestra 2	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,464	Hora de Ingreso:	12:38 Hrs	
No. De Laboratorio:	73,601	Temp. de transporte °C:	7.2	
Fecha de Ingreso:	24 de septiembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	24 de septiembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	5785	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	21945	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	8002	-	SMEWW ¹ -1030E

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del limite de detección.

* - °: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= milligramos por litro=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofía Cobos

Fecha de reporte: 2/10/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio

EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04
RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	01 de octubre del 2020, 11:15 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 3	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,507	Hora de ingreso:	11:53 Hrs	
No. De Laboratorio:	73,668	Temp. de transporte °C:	6.4	
Fecha de Ingreso:	01 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de inicio de análisis:	01 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	4908	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	19940	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	4974	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26220	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	19076.00	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - -: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² SPECTROQUANT Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofia Cobos**

Fecha de reporte: 16/10/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, 2. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04
RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	02 de octubre del 2020, 11:14 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 4	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,535	Hora de Ingreso:	12.29 Hrs	
No. De Laboratorio:	73,701	Temp. de transporte °C:	8.6	
Fecha de Ingreso:	02 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	02 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26600	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	20980	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofía Cobos

Fecha de reporte: 16/10/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04
RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	07 de octubre del 2020, 13:27 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 5	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,603	Hora de ingreso:	14:24 Hrs	
No. De Laboratorio:	73,786	Temp. de transporte °C:	17.4	
Fecha de Ingreso:	07 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	07 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	4812	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	18509	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	5157	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26400	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	20980	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=oom=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofía Cobos

Fecha de reporte: 19/10/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04
RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	08 de octubre del 2020, 12:35 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 6	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,619	Hora de ingreso:	14:16 Hrs	
No. De Laboratorio:	73.802	Temp. de transporte °C:	11.2	
Fecha de Ingreso:	08 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	08 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	35980	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	27884	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - -: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF).

²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofia Cobos**

Fecha de reporte: 16/10/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1

Mayo 2016
Versión 04

RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	09 de octubre del 2020, 12:25 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 7	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,646	Hora de ingreso:	14:21 Hrs	
No. De Laboratorio:	73.833	Temp. de transporte °C:	10.4	
Fecha de Ingreso:	09 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de inicio de análisis:	09 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	28420	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	22136	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.
 ND=No Detectable debajo del límite de detección. * - *; No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL/L=mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofia Cobos**

Fecha de reporte: 16/10/2020

LABIND
 LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
 EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04
RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	14 de octubre del 2020, 14:15 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA NO. 8	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,703	Hora de Ingreso:	15:32 Hrs	
No. De Laboratorio:	73.909	Temp. de transporte °C:	12.8	
Fecha de Ingreso:	14 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de inicio de análisis:	14 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	2285	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	19252	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	5804	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	28500	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	22750	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: Sofia Cobos

Fecha de reporte: 29/10/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	15 de octubre del 2020, 13:20 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA NO. 9
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	49,724	Hora de Ingreso:	14:19 Hrs
No. De Laboratorio:	73,937	Temp. de transporte °C:	14.2
Fecha de Ingreso:	15 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	15 de octubre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	35640.00	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	28464.00	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.
 Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.
 ND=No Detectable debajo del límite de detección. * - *: No efectuado NE: No Especificado
¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).
²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL/L=mililitros por litro.
 Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.
 Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.
 El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofia Cobos** Fecha de reporte: 29/10/2020




LABIND
 LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
 EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA
 INGENIERO QUIMICO
 COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página 1 de 1
Mayo 2016 Versión 04 RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	16 de octubre del 2020, 11:03 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA NO. 10	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,735	Hora de ingreso:	12:38 Hrs	
No. De Laboratorio:	73,949	Temp. de transporte °C:	12.6	
Fecha de Ingreso:	16 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	16 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	14420	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	10936	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección. * - -: No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: Sofia Cobos

Fecha de reporte: 29/10/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04
RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	21 de octubre del 2020, 11:45 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 11	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,766	Hora de ingreso:	13:19 Hrs	
No. De Laboratorio:	73,990	Temp. de transporte °C:	10.4	
Fecha de Ingreso:	21 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	21 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	1157	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	19039	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	7284	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	35700	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	27970	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección. "-": No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Soectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL/L=mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: Sofia Cobos

Fecha de reporte: 19/10/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, 2. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA
INGENERO QUIMICO
COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04 RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	23 de octubre del 2020, 13:50 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA NO. 13	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,811	Hora de Ingreso:	14:46 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,045	Temp. de transporte °C:	11.8	
Fecha de Ingreso:	23 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	23 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	27600	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	21750	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Soectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 30/10/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, CDL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	22 de octubre del 2020, 11:30Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA NO. 12
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	49,792	Hora de Ingreso:	13:09 Hrs
No. De Laboratorio:	74,022	Temp. de transporte °C:	19.4
Fecha de Ingreso:	22 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	22 de octubre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26680	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	20998	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección. * - -: No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: Sofia Cobos

Fecha de reporte: 30/10/2020


LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400



Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04 RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	28 de octubre del 2020, 12:46 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 14	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,847	Hora de Ingreso:	13:37 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,111	Temp. de transporte °C:	3.8	
Fecha de Ingreso:	28 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	28 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	3872	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	18862	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	6552	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26500	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	21180	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - -: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL=L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofía Cobos

Fecha de reporte: 13/11/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04 RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	29 de octubre del 2020, 13:47 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 15	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,866	Hora de Ingreso:	15:09 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,132	Temp. de transporte °C:	9.6	
Fecha de Ingreso:	29 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	29 de octubre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	27580	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	22110	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 13/11/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO N.º 1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	30 de octubre del 2020, 14:51 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 16
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	49,876	Hora de Ingreso:	15:54 Hrs
No. De Laboratorio:	74,148	Temp. de transporte °C:	4.4
Fecha de Ingreso:	30 de octubre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	30 de octubre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	14460	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	11478	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - -: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofía Cobos

Fecha de reporte: 13/11/2020


LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400




Gerente Técnico de Laboratorio

EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	04 de octubre del 2020, 13:42 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 17
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	49,933	Hora de Ingreso:	14:34 Hrs
No. De Laboratorio:	74,218	Temp. de transporte °C:	8.2
Fecha de Ingreso:	04 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	04 de noviembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	1383	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	19900	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	7919	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26600	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	19461	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del limite de detección.

* - °: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Soectroquant Merck. mg/L= milligramos por litro=oom=partes por millón. mL=L=mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofia Cobos

Fecha de reporte: 13/11/2020





LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
 EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	05 de noviembre del 2020, 14:23 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 18
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	49,971	Hora de Ingreso:	15:40 Hrs
No. De Laboratorio:	74,264	Temp. de transporte °C:	9.6
Fecha de Ingreso:	05 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de inicio de análisis:	05 de noviembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	27380	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	21763	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección. "-": No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: Sofia Cobos

Fecha de reporte: 16/11/2020


LABIND
 LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400



Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04
RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	06 de noviembre del 2020, 10:18Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 19	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	49,980	Hora de Ingreso:	11:24 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,280	Temp. de transporte °C:	13	
Fecha de Ingreso:	06 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	06 de noviembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	27540	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	21540	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofía Cobos

Fecha de reporte: 13/11/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1

Mayo 2016
Versión 04

RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	11 de noviembre del 2020, 13:00 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 20
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	50,056	Hora de Ingreso:	14:19 Hrs
No. De Laboratorio:	74,370	Temp. de transporte °C:	8.4
Fecha de Ingreso:	11 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	11 de noviembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	1231	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	18870	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	4690	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26000	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	20596	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - -: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofia Cobos

Fecha de reporte: 3/12/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	12 de noviembre del 2020, 13:20 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 21
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	50,079	Hora de Ingreso:	13:57 Hrs
No. De Laboratorio:	74,402	Temp. de transporte °C:	15.2
Fecha de Ingreso:	12 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de inicio de análisis:	12 de noviembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	75200	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	57581	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.
 Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.
 ND=No Detectable debajo del límite de detección. * - *: No efectuado NE: No Especificado
¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).
²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL= mililitros por litro.
 Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.
 Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.
 El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.


Transcrito por: **Sofia Cobos** Fecha de reporte: 3/12/2020




LABIND
 LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
 EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA
 INGENIERO QUIMICO
 COLEGIADO N.º 1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	13 de noviembre del 2020, 10:04 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 22
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	50,095	Hora de Ingreso:	10:51Hrs
No. De Laboratorio:	74,424	Temp. de transporte °C:	14.8
Fecha de Ingreso:	13 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	13 de noviembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26600	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	20970	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - : No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: Sofia Cobos

Fecha de reporte: 3/12/2020




LABIND
 LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	19 de noviembre del 2020, 14:15 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 24
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	50,182	Hora de Ingreso:	15:26 Hrs
No. De Laboratorio:	74,527	Temp. de transporte °C:	8.4
Fecha de Ingreso:	19 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de inicio de análisis:	19 de noviembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	27540	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	21840	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Soectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L=mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofía Cobos

Fecha de reporte: 3/12/2020




LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400


Gerente Técnico de Laboratorio

EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	18 de noviembre del 2020, 10:20 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 23
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	50,154	Hora de Ingreso:	11:13 Hrs
No. De Laboratorio:	74,496	Temp. de transporte °C:	8.8
Fecha de Ingreso:	18 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de inicio de análisis:	18 de noviembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	2502	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	19330	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	4539	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26700	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	21140	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - * No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Soectroouant Merck. ml/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofia Cobos

Fecha de reporte: 3/12/2020




LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
 EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1
Mayo 2016
Versión 04 RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	20 de noviembre del 2020, 14:45 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 25	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	50,219	Hora de Ingreso:	15:34 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,565	Temp. de transporte °C:	9.4	
Fecha de Ingreso:	20 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	20 de noviembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	25520	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	19875	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección. * - -: No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² SPECTROQUANT Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL=L=mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.


Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 3/12/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	25 de noviembre del 2020, 14:48 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 26
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	50,282	Hora de Ingreso:	15:17 Hrs
No. De Laboratorio:	74,633	Temp. de transporte °C:	9.4
Fecha de Ingreso:	25 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	25 de noviembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	1879	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	18508	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	6322	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	23640	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	18540	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - -: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.


Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 23/12/2020


LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400




Gerente Técnico de Laboratorio
 EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 1 de 1	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	26 de noviembre del 2020, 14:46 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 27
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	50,313	Hora de Ingreso:	15:15 Hrs
No. De Laboratorio:	74,682	Temp. de transporte °C:	9.2
Fecha de Ingreso:	26 de noviembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	26 de noviembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	23400	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	18350	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L=mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 23/12/2020


LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400



Gerente Técnico de Laboratorio
 EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	02 de diciembre del 2020, 14:30 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91defeon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 28	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	50,370	Hora de Ingreso:	15:03 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,776	Temp. de transporte °C:	16.2	
Fecha de Ingreso:	02 de diciembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	02 de diciembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Sólidos en Suspensión	mg/L	5125	-	SMEWW ¹ -2540 D
Sólidos Totales	mg/L	19975	-	SMEWW ¹ -1030B
Sólidos Volátiles	mg/L	6967	-	SMEWW ¹ -1030E
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	23100	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	17980	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Soectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 23/12/2020



LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 1

Mayo 2016
Versión 04 RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	03 de diciembre del 2020, 14:15 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA No. 29	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	50,409	Hora de Ingreso:	15:37 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,821	Temp. de transporte °C:	10.8	
Fecha de Ingreso:	03 de diciembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	03 de diciembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	22940	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	18235	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 23/12/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 3

Mayo 2016
Versión 04

RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	04 de diciembre del 2020, 12:00 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA 30 T-02	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	50,430	Hora de Ingreso:	12:30 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,845	Temp. de transporte °C:	9.8	
Fecha de Ingreso:	04 de diciembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	04 de diciembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	12480	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	8740	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección. * - -: No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofia Cobos

Fecha de reporte: 23/12/2020



LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
2 de 3
Mayo 2016
Versión 04
RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	04 de diciembre del 2020, 12:00 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA 31 T-03-1	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	50,430	Hora de Ingreso:	12:30 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,846	Temp. de transporte °C:	9.8	
Fecha de Ingreso:	04 de diciembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	04 de diciembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	22200	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	16901	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección. * - °: No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 23/12/2020



LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
3 de 3
Mayo 2016
Versión 04 RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	04 de diciembre del 2020, 12:00 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA 32 T-03-2	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	50,430	Hora de Ingreso:	12:30 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,847	Temp. de transporte °C:	9.8	
Fecha de Ingreso:	04 de diciembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	04 de diciembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	22480	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	17293	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - °: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Soectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L=mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por: **Sofía Cobos**

Fecha de reporte: 23/12/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. *B*
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUÍMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
1 de 4
Mayo 2016
Versión 04 RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	09 de diciembre del 2020, 08:15 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91defeon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA NO. 33 T-01	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	50,471	Hora de Ingreso:	09:50 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,892	Temp. de transporte °C:	8.4	
Fecha de Ingreso:	09 de diciembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	09 de diciembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	23600	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	18301	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - : No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofía Cobos

Fecha de reporte: 23/12/2020


LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 2 de 4	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	09 de diciembre del 2020, 08:15 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA NO. 34 T-02
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	50,471	Hora de Ingreso:	09:50 Hrs
No. De Laboratorio:	74,893	Temp. de transporte °C:	8.4
Fecha de Ingreso:	09 de diciembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	09 de diciembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	22740	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	17920	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - °: No efectuado NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Soectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL/L=mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofia Cobos

Fecha de reporte: 23/12/2020




LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
 EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1



RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL

Página
3 de 4

Mayo 2016
Versión 04

RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra		
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual	
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG	
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	09 de diciembre del 2020, 08:15 Hrs	
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente	
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA NO. 35 T-03	
		Análisis solicitados:	Residual básico	
Datos de Ingreso al Laboratorio				
No. de orden de servicio:	50,471	Hora de Ingreso:	09:50 Hrs	
No. De Laboratorio:	74,894	Temp. de transporte °C:	8.4	
Fecha de Ingreso:	09 de diciembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico	
Fecha de Inicio de análisis:	09 de diciembre del 2020			
Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	22800	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	17603	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - -: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

² Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.


Transcrito por: Sofia Cobos

Fecha de reporte: 23/12/2020

LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
PBX: 2247-8400

Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

	RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL	Página 4 de 4	
		Mayo 2016 Versión 04	RT.06.01

Datos del Cliente		Identificación de la Muestra	
Atención a:	Sr. Jose Carlos Bolaños	Tipo de muestra:	Agua residual
Empresa:	Jose Carlos Bolaños	Lugar de captación:	UVG
Dirección:	Ciudad	Fecha y hora de Captación:	09 de diciembre del 2020, 08:15 Hrs
Telefono:	30002287	Captada por:	Cliente
Correo electrónico:	jose91deleon@gmail.com	Identificación de la muestra:	MUESTRA NO. 36 T-04
		Análisis solicitados:	Residual básico

Datos de Ingreso al Laboratorio			
No. de orden de servicio:	50,471	Hora de Ingreso:	09:50 Hrs
No. De Laboratorio:	74,895	Temp. de transporte °C:	8.4
Fecha de Ingreso:	09 de diciembre del 2020	Tipo de recipiente:	Plastico
Fecha de Inicio de análisis:	09 de diciembre del 2020		

Resultados de los Análisis Físicos y Químicos				
Parámetro	Dimensionales	Resultado		Método de Referencia
		Laboratorio	Campo	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	25720	-	SQM ² -14540
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	19865	-	SMEWW ¹ -5210 B

Método de muestreo: SMEWW¹-1060 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección.

* - *: No efectuado

NE: No Especificado

¹ Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

²Soectroquant Merck. mg/L= milligramos por litro=pom=partes por millón. mL/L= mililitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Sofía Cobos

Fecha de reporte: 23/12/2020


LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 31 CALLE 18-08, Z. 12, COL. STA. ROSA 2, APTO. "B"
 PBX: 2247-8400



Gerente Técnico de Laboratorio
EDGAR ALEJANDRO ARANA VALENZUELA

INGENIERO QUIMICO

COLEGIADO No.1919

Archivo de Calidad: 23.1

I. Glosario

1. Caudales

Q_F	Alimentación inicial, m^3/s
Q_e	Efluente final, m^3/s
Q_w	Purga, m^3/s
Q_U	Descarga del clarificador, m^3/s

2. Concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

S_f	DBO ₅ alimentación inicial, mg/L
S_o	DBO ₅ alimentación combinada, mg/L
S_e	DBO ₅ del efluente, mg/L

3. Sólidos

X ,	Sólidos suspendidos, mg/L
SST,	Sólidos en suspensión totales, mg/L
VSS,	Sólidos volátiles en suspensión, mg/L
NVSS,	Sólidos no volátiles en suspensión, mg/L
MLSS,	Sólidos en suspensión del licor mezclado, mg/L
MLVSS,	Sólidos en suspensión volátiles del licor mezclado, mg/L
MLNVSS,	Sólidos en suspensión no volátiles del licor mezclado, mg/L
ΔX_v ,	Producción de lodos, kg/d

4. Concentraciones de los sólidos volátiles en suspensión (VSS)

$X_{v,F}$	VSS en la alimentación inicial, mg/L
$X_{v,0}$	VSS en la alimentación combinada, mg/L
$X_{v,a}$	VSS en el reactor, mg/L
$X_{v,u}$	VSS en la descarga del clarificador, mg/L
$X_{v,e}$	VSS en el efluente final, mg/L

5. Concentraciones de los sólidos no volátiles en suspensión (NVSS)

- $X_{NV,F}$ NVSS en la alimentación inicial, mg/L
 $X_{NV,0}$ NVSS en la alimentación combinada, mg/L
 $X_{NV,a}$ NVSS en el reactor, mg/L
 $X_{NV,u}$ NVSS en la descarga del clarificador, mg/L
 $X_{NV,e}$ NVSS en el efluente final, mg/L

6. Purga

- $(VSS)_w$ Sólidos suspendidos volátiles VSS en la purga, kg/d
 $(NVSS)_w$ Sólidos suspendidos no volátiles NVSS en la purga, kg/d
 $(SST)_w$ Sólidos suspendidos totales SST en la purga, kg/d

7. Temperatura

- θ Coeficiente de temperatura, °C
 T_w Temperatura del agua residual, °C
 T_F Temperatura de la alimentación, °C
 T_a Temperatura del ambiente, °C

8. Consumo de nutrientes

- N, Nitrógeno total en la alimentación, mg/L
P, Fósforo en la alimentación

9. Parámetros cinéticos

- a. Parámetros biocinéticos correspondientes a la producción neta de MLVSS y a la demanda de oxígeno
- a, Metabolismo energético mediante oxidación de sustrato (kg de sustrato consumido utilizado para el metabolismo energético/kg de sustrato total consumido), kg O₂/kg DBO
 - b, Kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramos de MLVSS en el reactor de proceso de respiración endógena, kg O₂/kg MLVSS*d⁻¹

- Y, Metabolismo celular (producción de lodo biológico por kilogramo de sustrato total consumido), kg MLVSS/kg DBO
 - k_d, Respiración endógena (fracción de MLVSS por unidad de tiempo oxidada durante el proceso de respiración endógena), kg MLVSS oxidados/d*kg MLVSS en el reactor
- b. Parámetros biocinéticos correspondientes a la velocidad de consumo de sustrato (DBO) debido a la utilización por los microorganismos
- q, Velocidad específica de consumo de sustrato, kg DBO consumidos/d*kg MLVSS
 - k, Constante cinética de primer orden, constante de velocidad de consumo, (d⁻¹*L/mg)
- c. Parámetros biocinéticos alternativas para la determinación de la producción neta de biomasa y para el consumo de oxígeno
- μ, Producción de biomasa por unidad de tiempo y por unidad de biomasa presente en el reactor, (mg MLVSS producidos/d*Litro del licor) /mg MLVSS/Litro de licor
 - k_d, Coeficiente de descomposición microbiana, kg MLVSS oxidados/kg MLVSS*d⁻¹ en el reactor
 - Y, Producción de lodo biológico de sustrato consumido, kg MLVSS/kg DBO
- d. Parámetros biocinéticos alternativos para el consumo de oxígeno
- VUO, Velocidad de utilización de oxígeno, kgO₂/kg de licor*d⁻¹
 - RO₂, Velocidad específica de utilización de oxígeno, kg O₂ / kg MLVSS*d⁻¹
 - a, Metabolismo energético mediante oxidación de sustrato (kg de sustrato consumido utilizado para el metabolismo energético/kg de sustrato total consumido) kg O₂/kg DBO
 - b, Kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramos de MLVSS en el reactor de proceso de respiración endógena, kg O₂/kg MLVSS*d⁻¹

10. Condiciones óptimas de decantación de lodo

- IVL, Índice volumétrico de lodo, volumen en mililitros ocupado por 1 g de sólidos en suspensión del licor mezclado (MLSS), mL/g
- A/M, Relación de alimento a microorganismos, kg de sustrato en el afluente/kg MLVSS*d⁻¹ en el reactor.
- t_h, Tiempo de retención hidráulico, d