

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

Unidad de Posgrado de Ingeniería y Arquitectura



Una Institución Adventista

Efecto de Microorganismos Eficaces (ME) en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas en condiciones altoandinas

Tesis para obtener el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Ambiental

Autor:

Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor:

Dr. Alfredo Rodrigo Matos Chamorro

Lima, diciembre del 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Dr. Alfredo Rodrigo Matos Chamorro, de la Escuela de Posgrado, Unidad de Posgrado de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN CONDICIONES ALTOANDINAS”** constituye la memoria que presenta el Ingeniero Juan Eduardo Vigo Rivera para aspirar al Grado Académico de Maestro en Ingeniería Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 04 días del mes de diciembre del año 2020.



Dr. Alfredo Rodrigo Matos Chamorro

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE MAESTRO(A)

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 04 días del mes de diciembre del año 2020, siendo la 10:00 am, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, bajo la dirección del Señor Presidente del Jurado: MSc. Fredy Abel Huanca Torres, el secretario: Mg. Nemias Saboya Rios y los demás miembros: PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala; Mg Milda Amparo Cruz Huaranga y Mg. Rose Adeline Callata Chura y el asesor: Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de Tesis de Maestro(a) titulada "Efecto de Microorganismos Eficaces (ME) en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas en condiciones altoandinas"; **del Bachiller JUAN EDUARDO VIGO RIVERA**. Conducente a la obtención del Grado Académico de Maestro(a) en: Ingeniería Ambiental

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del Jurado a efectuar las preguntas, cuestionamientos y aclaraciones pertinentes, los cuales fueron absueltos por el candidato. Luego se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del Jurado. Posteriormente, el Jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller: **JUAN EDUARDO VIGO RIVERA**

CALIFICACIÓN	ESCA AS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
Aprobado	18.6	A	Excelente	Excelencia

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del Jurado invitó al candidato a ponerse de pie, para recibir la evaluación final. Además, el Presidente del Jurado concluyó el acto académico de sustentación, procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente



Secretario

Asesor

Miembro

Miembro

Bachiller/Licenciado(a)

DEDICATORIA

A Dios dador de sabiduría

A mi amada esposa Ana Judith

A mis queridos hijos Fares y Ximena

A mis adorables padres Rosa y Eduardo

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser la fuente de conocimiento y sabiduría

A mi esposa e hijos por apoyarme en todo momento e impulsarme terminar la investigación.

Al Dr. Alfredo Matos Chamorro por ser guía para la ejecución de la investigación.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental – FJ por su apoyo en la ejecución del trabajo de investigación.

Al Dr. Elías Torres Armas por apoyarme en el procesamiento e interpretación de los datos.

ÍNDICE GENERAL

Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras	xi
Índice de anexos.....	xiii
Símbolos utilizados.....	xiv
Resumen	xvi
Abstract	xvii
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	18
1.1. Identificación del problema.....	18
1.2. Justificación de la investigación	26
1.3. Objetivos.....	26
1.3.1. Objetivo general	26
1.3.2. Objetivos específicos.....	27
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	28
2.1. Aguas residuales	28
2.1.1. Parámetros de calidad de agua residual	29
2.1.2. Composición de las aguas residuales domesticas	31
2.1.3. Ratios de los contaminantes	34
2.2. Tratamientos de aguas residuales	35
2.2.1. Tipos de tratamientos.....	35
2.2.2. Tratamiento de agua por procesos biotecnológicos	36
2.2.2.1. Tecnología de los microorganismos eficaces en tratamiento de aguas residuales ...	37
2.2.3. Metabolismo microbiano	39
2.2.4. Nitrógeno en aguas residuales.....	40
2.2.4.1. Ciclo del Nitrógeno.....	41
2.2.5. Cinética de la reacción.....	42
2.2.5.1. Velocidad de reacción.....	43

2.2.5.2. Ecuación de primer orden	43
2.2.6. Modelos matemáticos de cinética carbonácea y de nitrificación.....	44
2.2.6.1. Cálculo de la constante cinética	46
2.2.6.2. Reactor de mezcla completa.....	46
2.2.7. Consumo energía en el tratamiento de aguas residuales.....	46
2.2.7.1. Energías Renovables.....	47
2.2.7.2. Colectores solares planos de bajo costo	48
2.3. Legislación para el tratamiento de aguas residuales.....	49
2.3.1. Conceptos de legislación de aguas residuales.....	49
2.3.2. Normas nacionales	50
2.3.3. Normas internacionales	56
2.4. Resultados anteriores de investigación	61
2.4.1. Antecedentes internacionales	61
2.4.2. Antecedentes nacionales	63
2.4.3. Antecedentes locales	65
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS	67
3.1. Lugar de ejecución.....	67
3.2. Materiales, insumos, equipos.....	67
3.2.1. Materiales de monitoreo.....	68
3.2.2. Materiales del sistema de calentamiento solar	68
3.2.3. Insumos	68
3.2.4. Equipos.....	69
3.3. Variables meteorológicos.....	69
3.4. Activación de los microorganismos eficaces patentados.....	70
3.5. Medición de parámetros.....	71
3.5.1. Parámetros In situ	71
3.5.2. Parámetros de laboratorio.....	72

3.6. Variables en estudio.....	74
3.7. Tratamientos.....	74
3.8. Diseño metodológico.....	75
3.9. Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	75
CAPÍTULO IV PROPUESTA DE INGENIERÍA	76
4.1. Instalación experimental	76
4.2. Criterios generales de diseño de calentamiento.....	78
4.2.1. Diseño de los colectores solares planos	80
4.3. Sistema de intercambio térmico	81
4.4. Circuito hidráulico	83
4.5. Determinación de las constantes cinéticas.....	86
4.6. Determinación de eficiencia energética de los colectores solares planos.....	87
4.6.1. Costo energético por KWh	87
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	88
4.1. Caracterizar del agua residual de origen doméstico y determinar la carga orgánica (DBO ₅ , DQO y SST), el nitrógeno (amoniacal, nitrito y nitrato) y fósforo total.....	88
4.2. Determinar el cumplimiento de resultados obtenidos con normas nacionales e internacionales.....	98
4.3. Determinar el aporte energético generado por los colectores solares planos de bajo costo sobre los tratamientos en el proceso de depuración.....	112
4.4. Modelar cinéticamente la evolución de la carga orgánica (DBO ₅ y DQO) a partir de un modelo de reactor de mezcla completa.....	124
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
5.1. Conclusiones	128
5.2. Recomendaciones	129
Referencias	130
ANEXOS.....	139

Índice de tablas

Tabla 1. Composición típica del agua residual doméstica	31
Tabla 2. Composición típica en aguas residuales municipales.....	32
Tabla 3. Valores medios parámetros analizados en 22 depuradoras	33
Tabla 4. Relaciones típicas entre contaminantes en aguas residuales municipales	34
Tabla 5. Criterios de biodegradabilidad del ratio demanda biológica de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ /DQO)	35
Tabla 6. Reacción de primer orden.....	44
Tabla 7. Valores típicos de la constante cinética (K) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) esperado (L).....	45
Tabla 8. Proporción de uso de energía en una planta de tratamiento de aguas residuales de 7.5 millón de galones de agua al día (MGD).....	47
Tabla 9. Desarrollo de los Recursos Energéticos Renovables – Perú.....	47
Tabla 10. Rendimiento colectores solares de plástico.....	49
Tabla 11. Límites máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.....	52
Tabla 12. Categoría y subcategoría de los estándares de calidad ambiental del agua	53
Tabla 13. Estándar de calidad de ambiental del agua.....	54
Tabla 14. Estándar de calidad de aamoniac total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH ₃).	55
Tabla 15. Valores máximos admisibles para descargas industriales al alcantarillado	55
Tabla 16. Límite máximo permisible de vertimientos de carga orgánica de aguas residuales urbanas.....	56
Tabla 17. Límite máximo permisible de los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas a zonas sensibles cuyas aguas sean eutróficas o tengan tendencia a serlo.....	57
Tabla 18. Límites máximos permisibles de vertidos al dominio público hidráulico y marítimo-terrestre de Andalucía.....	58
Tabla 19. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales enaguas y bienes nacionales.....	59
Tabla 20. Límites máximo permisible de contaminantes para las aguas residuales urbanas que se reúsen en servicios al público.....	59
Tabla 21. Límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.....	60

Tabla 22. Parámetros y Límites máximos permisibles de vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas.	61
Tabla 23. Métodos de análisis de laboratorio de los parámetros monitoreados	74
Tabla 24. Especificaciones técnicas del reactor tipo bach y del distribuidor concéntrico	78
Tabla 25. Especificaciones técnicas del Colector solar 1	79
Tabla 26. Especificaciones técnicas de los colectores solares 2, 3 y 4	79
Tabla 27. Especificaciones técnicas de bombas	84
Tabla 28. Promedios de caudales de los colectores	88
Tabla 29. Resultados de los valores iniciales de los parámetros monitoreados del agua residual doméstica	89
Tabla 30. Ratios de parámetros	89
Tabla 31. Resultados de los parámetros determinados en laboratorio	99
Tabla 32. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas.....	100
Tabla 33. Valores promedios horario de la radiación solar y energía solar incidente.	113
Tabla 34. Valores promedio horaria de parámetros conexos con calentamiento solar	115
Tabla 35. Matriz de correlación de Pearson de las variables de calentamiento solar	116
Tabla 36. Eficiencias de los colectores solares de bajo costo	121
Tabla 37. Porcentaje de energía ahorrada.....	124
Tabla 38. Cinéticas de los tratamientos en función a la DBO ₅	124
Tabla 39. Cinéticas en función de la DQO	125

Índice de figuras

Figura 1. Comportamiento de niveles del Lago Titicaca 1920 – 2010 (IMARPE, 2012).....	22
Figura 2. Variabilidad del nivel del Lago Titicaca 2010–2018 (Imarpe, 2018).....	22
Figura 3. Metabolismo como una combinación de catabolismo y anabolismo (adaptado de Todar, 2007)	40
Figura 4. Ciclo del Nitrógeno (van Loosdrecht, 2017)	42
Figura 5. Activación de los Microorganismos Eficaces y proporción de rendimiento (EMRO, 2020)	71
Figura 6. Vista isométrica de la instalación experimental	77
Figura 7. Vista de planta e isométrica del colector solar 1	80
Figura 8. Colector 2 -Vista de Planta (izquierda) y vista isométrica (derecha).....	80
Figura 9. Colector 3 -Vista de Planta (izquierda) y vista isométrica (derecha).....	81
Figura 10. Colector 4 -Vista de Planta (izquierda) y vista isométrica (derecha).....	81
Figura 11. Sistema de intercambio de calor	82
Figura 12. Distribución de bombas, tuberías y accesorios	83
Figura 13. Izquierda (Bomba WP – 4880) derecha (Bomba WP -1000F).....	84
Figura 14. Estanque concéntrica de distribución del fluido caloportador. A sin agua y B con agua	85
Figura 15. Sistema de aireación para los tratamientos aerobios. A sin agua y B con agua ...	85
Figura 16. Operación del circuito hidráulico	86
Figura 17. Comportamiento del potencial de hidrógeno	91
Figura 18. Comportamiento de conductividad eléctrica	92
Figura 19. Comportamiento del oxígeno disuelto	93
Figura 20. Comportamiento de la temperatura media horaria diaria de los tratamientos y la ambiental	96
Figura 21. Comportamiento de la temperatura promedio diario de los tratamientos y la ambiental.....	97
Figura 22. Demanda bioquímica de oxígeno versus los límites máximos permisibles de las normas nacionales y extranjeras.....	101
Figura 23. Demanda química de oxígeno versus los límites máximos permisibles de las normas nacionales e internacionales	102

Figura 24. Sólidos suspendidos totales versus los límites máximos permisibles de las normas internacionales.....	103
Figura 25. Nitrógeno Amoniacal versus límites máximos permisibles de las normas nacionales e internacionales.....	104
Figura 26. Nitrógeno en forma de Nitrito versus el Límite Máximo Permisible de las normas nacionales e internacionales.....	105
Figura 27. Nitrógeno en forma de nitrato versus el límite máximo permisible de las normas nacionales e internacionales.....	106
Figura 28. Fósforo total versus el límite máximo permisible de las normas internacionales	107
Figura 29. Porcentaje de remoción de los parámetros monitoreados de los tratamientos. ...	108
Figura 30. Porcentaje de remoción de nitrógeno a los 14 y 22 días	108
Figura 31. Remoción de demanda bioquímica de oxígeno según diferentes autores al aplicar microorganismos eficaces a las aguas residuales domésticas.	109
Figura 32. Remoción de demanda química de oxígeno según diferentes autores al aplicar microorganismo eficaces a las aguas residuales domésticas.....	111
Figura 33. Comportamiento de la radiación y energía solar incidente horaria	114
Figura 34. Comportamiento de las temperaturas medias (colectores solares, ambiental, THW y THSW) con la radiación solar.....	119
Figura 35. Gradientes promedio de temperatura de los colectores solares	120
Figura 36. Comportamiento de la eficiencia de los colectores y la radiación solar	122
Figura 38. Modelamiento de la eficiencia de remoción de DBO y DQO según el modelo de mezcla completa.....	127

Índice de anexos

Anexo 1. Cadena de custodia de los parámetros diarios	139
Anexo 2. Datos de la Estación Meteorológicos de la UPeU – Juliaca Marca DAVIS	143
Anexo 3. Caudales hidráulicos.....	149
Anexo 4. Datos de temperaturas (Tratamientos y ambiental).....	150
Anexo 5. Temperaturas de salida de los colectores solares de bajo costo.....	156
Anexo 6. Informe de laboratorio de los parámetros monitoreados	158
Anexo 7. Temperatura del estanque concéntrica de distribución del fluido caloportador	162
Anexo 8. Estimaciones de los gradientes promedio de temperatura de los colectores solares	163
Anexo 9. Estimaciones de la energía acumulada media diaria, rendimiento de los colectores solares de plástico y las estimaciones de los coeficientes de pérdida térmica	164
Anexo 10. Descripción de los materiales y equipos	165
Anexo 11. Resultados Estadísticos.....	167
Anexo 12. Modelamiento para reactores de mezcla completa de los tratamientos.....	177
Anexo 13. Dibujos del diseño experimental	179
Anexo 14. Panel Fotográfico.....	184

Símbolos utilizados

ALA	: Administración Local del Agua
ALT	: Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico del Lago Titicaca
ARD	: aguas residuales domesticas
ARnD	: aguas residuales no domesticas
ART	: aguas residuales tratadas
ARU	: agua residual urbana
AyG	: aceites y grasas
CE	: conductividad eléctrica
CTT	: coliformes termotolerantes
d ⁻¹	: día ⁻¹
DBO ₅	: Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	: Demanda química de oxigena
DS.	: Decreto supremo
IMARPE	: Instituto del Mar del Perú
LMP	: Límites máximos permisibles
ME	: Microorganismos Eficaces
mg/L	: miligramo por litro
msnm	: metros sobre el nivel del mar
nm	: nanómetro

NMP/100 mL	: número más probable en 100 mL
N-NH ₄ o N-NH ₃	: Nitrógeno en forma de amoníaco
N-NO ₂	: Nitrógeno en forma de nitrito
N-NO ₃	: Nitrógeno en forma de nitrato
N-T	: Nitrógeno total
OD	: Oxígeno disuelto
pH	: Potencial de Hidrógeno
P-T	: Fósforo total
SST	: Sólidos suspendidos totales
T°	: Temperatura
T1	: Tratamiento 1
T2	: Tratamiento 2
T3	: Tratamiento 3
T4	: Tratamiento 4
UNT	: Unidad nefelométrica de turbiedad
°C	: grados Celsius
μS/cm	: Micro siemens por centímetro
Tg	: Terogrammo

Resumen

La investigación tuvo el objetivo evaluar el efecto de microorganismos eficaces (ME) en el proceso de depuración de aguas residuales domesticas en condiciones altoandinas. El diseño de la investigación es pre-experimental de tipo descriptivo. Se instaló 4 tratamientos de 110 L de capacidad de agua, los dos primeros contienen ME (220 mL) aplicado en sistemas aerobio y anaerobio y los dos últimos fueron el testigo, asimismo, se incorporó colectores solares de plástico para incrementar la temperatura de los tratamientos con un tiempo de operación de 10 horas por 22 días. Los parámetros monitoreados fueron T°, pH, CE, OD, DBO₅, DQO, SST, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, P-Total y turbiedad. Esta agua presenta un ratio DBO₅/DQO poco degradable y la relación DBO, N y P no es óptima para el desarrollo de procesos biológicos. El primer tratamiento presenta mejores resultados de remoción de DBO₅ (80.7%), DQO(79.9%), SST(88.9%) y P-total(81.8%) y el segundo tratamiento presenta mejores resultados para la remoción de nitrógeno N-NH₄(100%), N-NO₂(100%) y N-NO₃(98.1%). Los colectores solares aportaron 502.65 KWh, obteniendo eficiencias medias de 45.2, 40.7, 41.3 y 40.0% de radiación solar captada para los colectores 1, 2,3 y 4, respectivamente. Las constantes cinéticas de primer orden para DBO₅ (-0.0980,-0.0745,-0.0812,-0.0924 días⁻¹) y DQO (-0.1026,-0.0526,-0.0605,-0.0758 días⁻¹) corresponden a efluentes secundarios y el tratamiento 1 presenta mejor modelo de remoción para un reactor de mezcla completa de 68.3 y 69.3% de DBO₅ y DQO. Por lo tanto, ambos tratamientos con ME obtuvieron mejores resultados para reducción de materia orgánica y nitrógeno respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Aguas residuales domésticas, colectores solares, depuración, microorganismos eficientes.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the effect of effective microorganisms (EM) in the domestic wastewater treatment process in high Andean conditions. The research design is descriptive pre-experimental. Four treatments of 110 L of water capacity were installed, the first two contain ME (220 mL) applied in aerobic and anaerobic systems and the last two were the control, also, plastic solar collectors were incorporated to increase the temperature of the treatments with an operating time of 10 hours for 22 days. The monitored parameters were T°, pH, EC, DO, BOD₅, COD, SST, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, P-Total and turbidity. This water has a BOD₅ / COD ratio that is not very degradable and the BOD, N and P ratio is not optimal for the development of biological processes. The first treatment presents better results for removal of BOD₅ (80.7%), COD (79.9%), SST (88.9%) and P-total (81.8%) and the second treatment presents better results for the removal of nitrogen N-NH₄ (100%), N-NO₂ (100%) and N-NO₃ (98.1%). The solar collectors contributed 502.65 KWh, obtaining average efficiencies of 45.2, 40.7, 41.3 and 40.0% of solar radiation captured for collectors 1, 2, 3 and 4, respectively. The first order kinetic constants for BOD₅ (-0.0980, -0.0745, -0.0812, -0.0924 days⁻¹) and COD (-0.1026, -0.0526, -0.0605, -0.0758 days⁻¹) correspond to secondary effluents and the Treatment 1 presents the best removal model for a reactor with a complete mixture of 68.3 and 69.3% of BOD₅ and COD. Therefore, both treatments with ME obtained better results for reduction of organic matter and nitrogen respectively.

Keywords: Domestic wastewater, solar collectors, purification, efficient microorganisms.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

El Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas afirma que, en el mundo más del 80% de aguas residuales se vierte al medio ambiente sin tratamiento (UNESCO, 2020b). En el año 2012, ochocientas mil personas murieron por causa del consumo de agua contaminada. Asimismo, los inadecuados servicios de saneamiento, los limitados lavaderos de manos y el derramamiento de agua residual, incrementa las zonas muertas y desoxigenadas en los mares y en los océanos, afectando al ecosistema en un área de 245000 km², además, genera impactos negativos en la pesquería industrial y artesanal, así como la cadena trófica (WWAP, 2017).

Por otro lado, el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales es de 70, 38, 28 y 8% en países de ingresos altos, ingresos medios-altos, ingresos medios-bajos, ingresos bajos respectivamente (WWAP, 2017), de estos datos se sustenta que más del 80% de aguas residuales en el mundo son vertidas sin ningún tratamiento (UNESCO, 2020a).

Sin embargo, a pesar de los importantes esfuerzos realizados durante las últimas décadas para implementar sistemas de tratamientos de aguas residuales en todo el mundo, en el 2015, el 32% de la población mundial, todavía carecía de instalaciones de tratamiento de aguas residuales (UNICEF-WHO, 2015).

La implementación de tecnologías avanzadas en el tratamiento de aguas residuales en países de ingresos altos tuvo en propósito de mejorar de la calidad del medio ambiente y la alternativa hídrica frente a la escasez, no obstante, la falta de infraestructura, la limitada capacidades técnicas e institucionales y el escaso financiamiento han generado vertimientos de aguas residuales como una práctica común en países en desarrollo (WWAP, 2017).

El vertido de aguas residuales que no son tratadas al ambiente tienen un impacto negativo en la calidad del agua, reduciendo la cantidad de recursos hídricos disponibles para uso directo, es un impacto directo, una inadecuada gestión de aguas residuales afecta en los servicios que prestan y en los ecosistemas (Corcoran et al., 2010)

La Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS/UNESCO, 2019) declara que “prácticamente todos los países de las Américas experimentan algún grado de eutrofización artificial en sus cursos y cuerpos de agua”, especialmente la eutrofización cultural, que se da cuando los vertimientos son por actividades agropecuarias e industriales en lugar de proceder de fuentes naturales. La eutrofización cultural puede hacer que el agua no sea apta para el consumo y otros fines, llegando a desestabilizar el ecosistema acuático; y como consecuencia la proliferación de algas, el agotamiento de oxígeno; liberación de toxinas y el crecimiento explosivo de especies no deseadas (Vammen y Vaux, 2019).

El Plan Nacional de Saneamiento 2017 – 2021, reporta que en 2016 la cobertura del servicio de saneamiento fue de 68%, que significa mil millones de m³ de aguas residuales aproximadamente. Este informe considera que el sector rural representa el 15 % de la población y estima que el vertimiento de aguas residuales es de 15.5 millones de m³. Además, se considera que la producción per cápita de aguas residuales en el Perú es de 59.13 m³/hab./año o de 162 L/hab./día (MVCS, 2017).

La norma técnica OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), reglamenta el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales, en el numeral 4.3.11, declara “en ningún caso se permitirá la descarga de aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo receptor, aun cuando los estudios del cuerpo receptor indiquen que no es necesario el tratamiento” (MVCS, 2006a).

Hasta octubre del 2016, el Perú tenía 342 proyectos de agua y saneamiento en ejecución, las Empresas Prestadoras de Servicio, hasta diciembre del 2013, el 17.5 millón de habitantes contaban con servicio de agua potable y 16 millones con servicio de alcantarillado, las EPS

produjeron un promedio de 3.78 millones de m³ de agua potable al día; es decir, una producción de agua potable per cápita de 216 L/hab./día (SUNASS y GIZ, 2016).

Para determinar la cantidad de agua residual producida se multiplica la producción de agua potable por el 80% (SUNASS, 2006), lo que resulta en un caudal diario de 30 000 L/s o 2.59 millones de m³ /día, equivalente a 162 L/hab./día y en promedio se estima que 2.59 millones de m³ de aguas residuales son vertidas al alcantarillado y requieren tratamiento antes de su disposición en el medio ambiente o su reúso, considerando la diferencia de habitantes con servicio de agua potable y con servicio de alcantarillado (1.5 millones de habitantes), se puede estimar que actualmente no se captan 238 000 m³/día de agua residual en el sistema de alcantarillado (SUNASS y GIZ, 2016).

De acuerdo al diagnóstico en el Perú hasta el año 2014, había 204 plantas de tratamiento de aguas residuales de las cuales 163 estaban operativas, 32 en construcción y 9 paralizadas, de las cuales, el 61% son lagunas facultativas y el 4%, lagunas aireadas (SUNASS y GIZ, 2016).

El Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (2010) presenta los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, esto contiene siete parámetros de monitoreo: aceites y grasas (AyG), coliformes termotolerantes (CTT), potencial de hidrógeno (pH), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales en suspensión (STS) y temperatura (T) para efluentes de planta de tratamiento de aguas residual (PTAR) a cuerpos receptores. La norma en mención no considera al nitrógeno (N) y fósforo (P), pero es de importancia su monitoreo para identificar la eutrofización de los cuerpos receptores como en la zona de altiplano peruano (PNUD-Perú, 2019), en la bahía interior de Puno del lago Titicaca (Aguilar, 2014).

El decreto establece como LMP 100 y 200 mg/L al DBO₅ y DQO respectivamente, que es una relación de 1 a 2, sin embargo, la práctica en el Perú es de 1 a 3 o 4 cuando se trata de efluentes de tratamiento biológicos. Por lo tanto, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) recomienda que no se deben diseñar PTAR nuevas con valores de 100 mg/L de DBO₅, sino con concentración menores a 50 mg/L, a fin de cumplir la DQO esperada de 200 mg/L. Si en la operación de una PTAR se verifica el cumplimiento del LMP de la DQO, es probable que también se cumpla el LMP de la DBO₅ (SUNASS y GIZ, 2016).

El estudio de la situación actual y perspectivas en el sector agua y saneamiento en el Perú, presentado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) señala que los ríos de Loreto, Piura, Pasco, Arequipa, Moquegua, Puno, Ucayali y Madre de Dios, se encuentran contaminados por aguas residuales municipales sin tratamiento (Larios-Meño et al., 2015). El altiplano es una cuenca endorreica de aproximadamente 190 000 km² de clima medio árido y de altura media 3700 msnm, con una pluviometría de un gradiente de 750 hasta 160 mm/año, la evaporación estimada es de 1600 mm/año que proviene por mayor parte de los lagos y salares pero también del acuífero superficial (Satge, 2013).

Según el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF, 2010) las zonas altoandinas son ubicadas a partir de los 2500 msnm, el altiplano se extiende desde el sur del Perú (1/4 de su superficie), cruza Bolivia y termina en el norte de Chile y Argentina. El clima es seco con grandes amplitudes térmicas diarias, las temperaturas pueden variar hasta 30°C en el mismo día, -5 ° C por la noche y 25 ° C al mediodía y la radiación solar es bastante fuerte (Cermal, 2014). En el altiplano se encuentra el Lago Titicaca entre Perú y Bolivia, a una altitud de 3810 msnm, con un área total de 8 167 km² (Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental del Lago Titicaca y sus Afluentes - DS. N° 075-2013-PCM, 2014).

La variabilidad del nivel del Lago Titicaca es otro problema que se presenta en el altiplano, en la figura 1 se muestra el comportamiento desde 1920 al 2010, el valor mínimo se presenta en año 1944 (3806 msnm) y el máximo el año 1986 (3811.83 msnm) (MINAM, 2013).

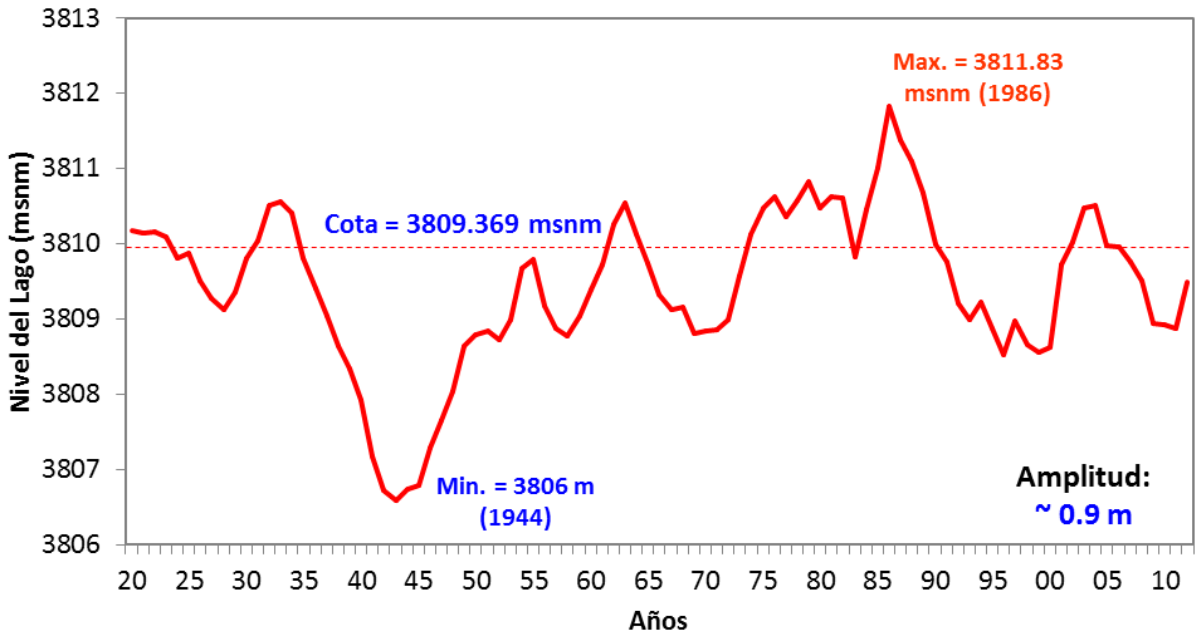


Figura 1. Comportamiento de niveles del Lago Titicaca 1920 – 2010 (IMARPE, 2012)

En la figura 2 se muestran el comportamiento del nivel del lago Titicaca desde el 2010 hasta el 2018 (IMARPE, 2018).

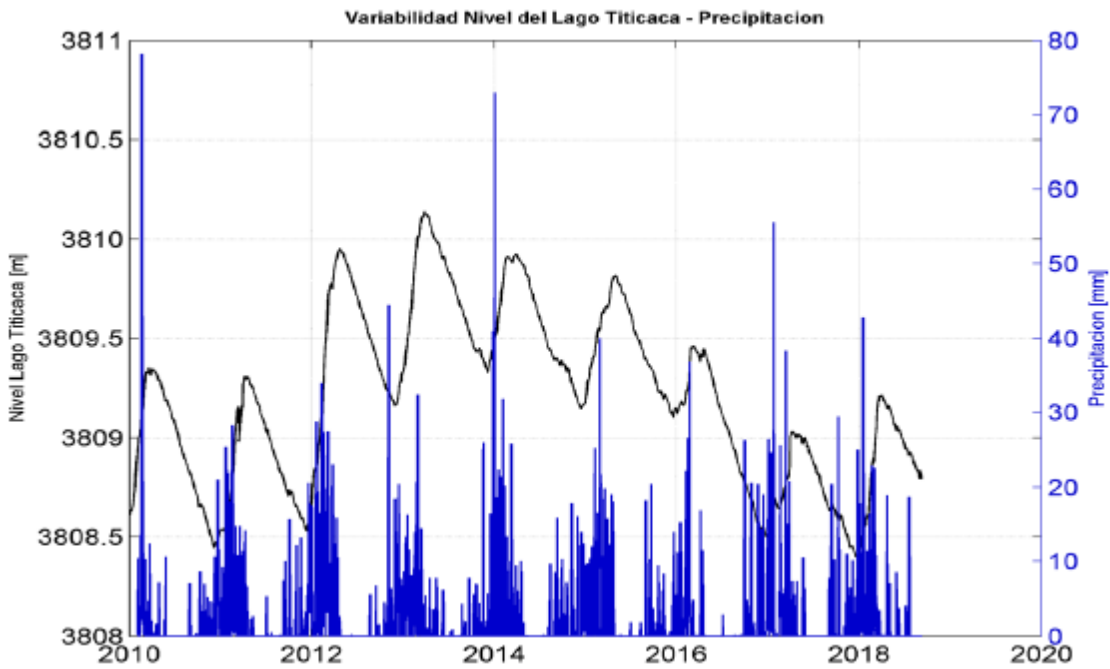


Figura 2. Variabilidad del nivel del Lago Titicaca 2010–2018 (IMARPE, 2018)

Según Urquidi-Barrau y España (2019), el lago Titicaca tiene problemas de eutrofización de algas en la bahía de Puno (Perú), causada por los vertimientos de aguas residuales no tratadas de esa ciudad. De igual modo, Forde et al., (2019) señalan que “la proliferación de algas se debe principalmente a la contaminación por nitrógeno y fósforo, su frecuencia, intensidad y duración han aumentado en los últimos años debido al mayor número de descargas de aguas residuales en los cuerpos de aguas superficiales y los efectos del cambio climático”.

Northcote (1991) señala que el ecosistema de la bahía interior de Puno está severamente contaminada por altos niveles de nutrientes en la columna de agua y materia orgánica en los sedimentos procedentes de los vertimientos de las aguas residuales de Puno. La Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental del Lago Titicaca y sus Afluentes (2014) declara que esta contaminación se incrementa por el escaso flujo de movimientos del agua que impiden un intercambio de la Bahía Interior con el Lago Mayor, donde el IMARPE reportó valores de 8.58 a 18.21 mg/L de DBO₅ que superan al ECA Categoría 4 (<5.0mg/L) y el PELT encontró valores de 10.00 mg/L de la DBO₅.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – Proyecto PNUMA Titicaca, (2011) declara que la contribución de carga generada TM DBO₅/año de Juliaca y Puno acumulan un 64,13%, desde Juliaca a Juli se genera alrededor del 86,77% de la carga contaminante en DBO₅; con valores de 3 322, 1 926, 340, 289, 246, 230, 220, 219, 183, 125 de TM DBO₅/año, para Juliaca, Puno, Ilave, Ayaviri Azángaro, Rinconada, Desaguadero, Putina, Yunguyo y Juli respectivamente.

La contaminación del lago Titicaca es real y el Estado Peruano declara que “es un compromiso del Gobierno Nacional consolidar la descontaminación del Lago Titicaca” (MVCS, 2017a). Aun se observa que está siendo afectado por los afluentes de la ciudad de Puno de la PTAR denominada Lagunas de Estabilización “El Espinar” (EMSAPUNO, 2011), estas fueron construidas en el año 1972 cuando la población era de 30000 habitantes, por tal motivo, el 2018 se declara de necesidad pública la ejecución del proyecto “Sistema de tratamiento de las aguas residuales de la cuenca del lago Titicaca” (Congreso de la República, 2018), del mismo modo, en las ciudades de Juliaca, Puno, Moho, Ayaviri, Ilave, Juli, Huancané, Azángaro, Lampa y Yunguyo, este proyecto tiene el objetivo de “desarrollar una solución para el tratamiento de las aguas residuales municipales de la cuenca del Lago Titicaca en Puno, en

el ámbito urbano de los principales distritos ubicados en el lado peruano de la cuenca del Lago Titicaca en Puno” (ProInversión, 2018).

En el contexto nacional e internacional sobre la necesidad del tratamiento de aguas residuales y los efectos adversos que causa en el ambiente, urge encontrar nuevas formas de depurarlas y se debe optimizar con las tecnologías existentes, con la finalidad de encontrar soluciones que sean eficientes, económicas, confiables, pertinentes y aplicables a la realidad del país, por su parte Henze (1997) señala que la tendencia de la depuración de aguas residuales es buscar tratamientos de baja o alta tecnología, donde la composición del agua residual será un recurso con énfasis en el desarrollo sostenible y la economía verde.

Villanueva (2016) enfatiza que los procesos que consuman más energía son negativos en el enfoque del cambio climático y que existe mucha información de comparación de procesos aerobios y anaerobios sin tener en cuenta calidad de salida del vertimiento, la eliminación de nutrientes o establecer comparaciones en contextos específicos no generalizables que son aplicables a climas tropicales y subtropicales. En este sentido, IANASCO (2019) menciona que “se necesita buscar tratamientos que solucionen problemas por contaminación de nitrógeno y fósforo para evitar la eutrofización de algas de la bahía de Puno (Perú)”.

Por lo que se requiere encontrar oportunidades del cambio climático como el aprovechamiento del incremento de la radiación solar que, según el Atlas de la Energía Solar del Perú, el departamento de Puno (1975-1990) tenía valores de 6.0 a 6.5 kWh/m²/día para los meses de octubre y noviembre (SENAMHI, 2017) y para el 2013 la radiación solar global medida en el Altiplano Peruano tenía un valor medio de 8.8 kWh/m²/día (MINAM, 2013). Otro factor que se debe de considerar es el tiempo de insolación aproximada de Puno que es de 3000 h/año, con valores mínimos de 167 y 180 h en enero y febrero en época de lluvias y valores máximos de 298 y 296 h a mediados del invierno (MINAM, 2013).

Por otro lado, la temperaturas que según el MINAM (2013) en el altiplano peruano en las zonas de altitud inferior a 4000 msnm, las medias anuales varían entre 7 y -10 °C lo que dificulta la depuración de las aguas, de acuerdo a Rossi (2010) para que la transformación biológica se haga efectiva y eficiente se debe tener condiciones adecuadas para el crecimiento bacteriano en el rango de temperatura de 30 a 40°C, bajo estas condiciones climáticas es imposible pensar en tratamientos anaerobios de depuración donde la temperatura recomendada por la norma técnica peruana OS 090 deben ser superiores a 15°C (MVCS, 2006a), sin embargo Noyola et al., (2013) recomiendan superiores a los 20 °C, en base a lo

anterior se debe buscar alternativas de solución para incrementar la temperatura aprovechando la irradiación solar de la zona, como los colectores solares planos basados en mangueras plásticas que tienen como ventaja la simplicidad, el bajo costo y la auto construcción, estos tipos de colectores pueden resistir las condiciones climáticas adversas como la granizada en comparación con los colectores de placa plana patentados (Juanicó y Di Lalla, 2013)

Además, los vertimientos de aguas residuales de la cuenca del Lago Titicaca en el ámbito peruano, el MINAM el año del 2013 identificó en la cuenca del Ramis 43 vertimientos de competencia municipal y no municipal, asimismo, en el ámbito de la Administración Local de Agua (ALA) Juliaca se identificó 12 puntos de vertimientos, entre estos la Municipalidad de Juliaca, Cabanillas Lampa, Palca, Vilavila, Cabana y otros, del mismo modo, en el Ámbito de la ALA -Ilave se identificó 62 vertimientos, entre ellos la municipalidad de Ilave, Puno, Acora, Chucuito, hoteles y otros, finalmente, en el ámbito de la ALA Huancané se identificó 4 vertimientos, entre ellos los Municipios de San Antonio de Putina, Taraco, Huancané, Moho y otros (MINAM, 2013), a esto se tiene que plantear solución de depuración aprovechando la oportunidad de la radiación solar.

Por otro lado, frente a esta problemática de las aguas residuales, los microorganismos eficaces (ME) es una alternativa de solución, porque es una tecnología económica que es aplicada en otros países y en diferentes campos de investigación, pero actualmente se están realizando diferentes investigaciones sobre la aplicación de ME para el tratamiento de aguas residuales en el Perú como:

- Uso de ME en el mejoramiento de la calidad de aguas residuales de la industria láctea (Lima – 2017), para reducir DQO, AyG, SST, $N-NH_4^+$ y pH; para el cumplimiento de los valores máximos admisibles (VMA) (Apaza, 2017).
- Uso de ME en el tratamiento de efluentes domésticos residuales del distrito de Pátapo, en el departamento de Lambayeque y se monitorearon los parámetros de: pH, DQO, DBO, dureza total, nitratos, cloruros, color, olor, coliformes totales y CTT, en el año 2016 (Canales y Sevilla, 2016).
- Uso de ME para para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad Nacional de Ucayali, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, Ucayali, los parámetros monitoreados fueron: pH, conductividad, temperatura, SST,

DBO₅, DQO, Coliformes totales y fecales, amoníaco, sulfato, nitrato, cobre, turbiedad y hierro (García y Robles, 2018).

- Evaluación de los índices microbiológicos y fisicoquímicos en aguas residuales de la ciudad de Puno, tratadas con Microorganismos Nativos, y los parámetros monitoreados fueron: pH, temperatura, STS, AyG, DQO, DBO y CTT (Luvi, 2014).
- Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016, en la ciudad de Huancayo (Huayllani, 2017).
- Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito en Puno, donde se monitoreó los parámetros de: pH, SST, OD, DBO; DQO y AyG. (Valdez, 2016).

1.2. Justificación de la investigación

El estudio sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas, permitió plantear alternativas de solución para el tratamiento de aguas residuales utilizando microorganismos eficaces en condiciones altoandinas (3850 msnm, presión atmosférica de 0.634 atmosferas y las temperaturas < a 20 °C), utilizando sistema de calentamiento solar con colectores planos de bajo costo que puede ser replicada a sistemas de depuración ya existentes con el propósito optimizar o de generar nuevos proyectos de tratamiento de aguas residuales para cumplir con el marco normativo peruano en tratamiento de aguas residuales.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de microorganismos eficaces (ME) en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas en condiciones altoandinas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar del agua residual de origen doméstica y determinar la carga orgánica (DBO_5 , DQO, SST), el nitrógeno (amoniaco, nitrito y nitrato) y fósforo total de aguas residual domésticas.
- Determinar el cumplimiento de resultados obtenidos con normas nacionales e internacionales.
- Determinar el aporte energético generado por los colectores solares planos de bajo costo sobre los tratamientos en el proceso de depuración.
- Modelar cinéticamente la evolución de la carga orgánica (DBO_5 y DQO) a partir de un modelo de reactor de mezcla completa.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

El tratamiento de aguas residuales es muy abordado, pero al mismo tiempo es complejo explicar los fenómenos de depuración de las aguas.

2.1. Aguas residuales

El Reglamento Nacional de Edificaciones en la normativa OS.90, las aguas residuales son aquellas aguas que han sido usadas por una comunidad o cualquier industria y que contiene material orgánico e inorgánico disuelto o en suspensión. Por su parte la OEFA (2014) señala que “Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado”. De igual manera, son “aguas de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana” (MVCS, 2006). Estas contienen un alto contenido de materia orgánica, compuesto químicos, compuestos clorados, y microorganismos patógenos y no patógenos (Mara y Cairncross, 1990).

2.1.1. Parámetros de calidad de agua residual

Los parámetros de calidad de aguas residuales se dividen los parámetros físicos, químicos y biológicos.

- **Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica que depende de la concentración total de las sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haya la determinación, el valor se utiliza para obtener un estimado rápido del contenido de sólidos disueltos y como su valor en aguas es bajo se expresa en $\mu\text{mho/cm}$ o en $\mu\text{siemens/cm}$ (Romero, 2005). Se determina mediante electrometría con un electrodo conductimétrico y es una medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos y es un “parámetro insitu” de preferencia (Aznar , 2000).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

Raffo y Ruiz (2014) mencionan que la demanda bioquímica de oxígeno, DBO, se define como la cantidad de oxígeno usado por los microorganismos no fotosintéticos a una temperatura de 20°C durante 5 días, con el fin de metabolizar los compuestos orgánicos degradables biológicamente.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Raffo y Ruiz (2014) señala que la determinación de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales, para este ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse.

- **Nitrato**

El nitrato se encuentra en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas, sin embargo, en el diluyente de las plantas de tratamiento biológico desnitrificante, el nitrato puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg por litro, el nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos y en algunos casos, ha sido identificado como el determinante del crecimiento masivo de algas causando eutroficación, aumento de la DBO y toxicidad en peces (CEA, 2013).

- **Nitrito**

El nitrito es el resultado de la descomposición biológica de materiales proteicos, también es el resultado de la acción de bacterias sobre el nitrógeno amoniacal (Marín y Osés, 2013). Se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados y se utiliza como indicador de contaminación fecal en aguas naturales (Molina et al., 2003).

- **Nitrógeno Amoniacal**

El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, puesto que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica, es el producto natural de descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados y los iones amonio tienen una escasa acción tóxica por sí solos, pero su existencia, aun en concentraciones bajas puede significar un alto contenido de bacterias fecales, patógenos (Marín y Osés, 2013).

- **Oxígeno disuelto (OD)**

Peña (2012) menciona que está disuelto en el agua y es esencial para la vida acuática, el nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminado está el agua, ya que un nivel más alto indica agua de mejor calidad, y el agua fría puede guardar más oxígeno que el agua más caliente.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Romero (2000) afirma que la concentración del pH depende del ion hidrógeno (H^+) en el agua y las aguas residuales en concentración adversas del H^+ resultan ser difíciles de tratar biológicamente, porque alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son adversos para los microorganismos.

- **Sólidos suspendidos totales (SST)**

Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido, los sólidos suspendidos totales (SST) están compuestos por los sólidos suspendidos (SS) y los sólidos disueltos (SD), que a su vez estos se subdividen en sólidos suspendidos

inorgánicos (SSF) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) en sólidos disueltos inorgánicos (SDF) y sólidos disueltos volátiles (SDV) (Valdez, 2016).

- **Temperatura (T)**

Es el potencial o grado calorífico, referido a un cierto cuerpo, la temperatura del agua residual es comúnmente mayor que las aguas de suministro local, debido a la adición de aguas calientes de los hogares y a las actividades industriales (Marín y Osés, 2013).

2.1.2. Composición de las aguas residuales domesticas

La tabla 1 muestra los valores típicos de la composición de las aguas residuales domesticas (Metcalf y Eddy, 1995).

Tabla 1
Composición típica del agua residual doméstica

Contaminante	Unidades	Concentración		
		Baja	Media	Alta
Sólidos Totales (ST)	mg/L	350	720	1200
Sólidos Disueltos (SDT)	mg/L	250	500	850
Fijos	mg/L	145	300	525
Volátiles	mg/L	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/L	100	220	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos Sedimentables	mL/L	5	10	20
DBO ₅	mg/L	110	220	400
COT	mg/L	80	160	290
DQO	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno total	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoníaco libre	mg/L	12	25	50
Nitratos	mg/L	0	0	0
Nitritos	mg/L	0	0	0
Fósforo total	mg/L	4	8	15
Alcalinidad total	mg/L	50	100	150
Grasas	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	NMP/100 mL	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

Fuente: Metcalf y Eddy (1995).

Metcalf y Eddy (1995) presentan la composición típica del agua residual doméstica y lo clasifica por concentración baja, media y alta.

La Tabla 2 muestra una serie de parámetros hidroquímicos para aguas residuales domésticas/municipales (Henze, 1992).

Tabla 2
Composición típica en aguas residuales municipales.

Contenido típico	Parámetros	Unidad	Bajo	Medio	Alto
Parámetros hidroquímicos en aguas residuales municipales (Henze, 1982)	Viscosidad abs.	kg/m.s	0.001	0.001	0.001
	Tensión sup.	Dyn/cm ²	60	55	50
	Conductividad	mS/m	70	100	120
	pH		7	7.5	8
	Alcalinidad	Eqv/m ³	1	4	7
Nutrientes en aguas residuales municipales crudas con aportes menores de efluentes industriales (Henze and Comeau, 2011)	N-NH ₄ ⁺	mg/L	20.00	45.00	75.00
	N-NO ₃ ⁻ + N-NO ₂ ⁻	mg/L	0.1	0.2	0.5
	P total	mg/L	6	15	25

Fuente: López et al., (2017)

López et al. (2017) muestran la composición típica en aguas residuales municipales de los parámetros hidroquímicos y de nutrientes y lo clasifica en bajo, media y alta.

En la tabla 3, se presentan los valores medios de los parámetros convencionales analizados de 22 depuradoras agua residual urbana de la Comunidad Valenciana, España (Sánchez-Ramírez et al., 2017)

Esta caracterización permite tener una idea del tipo de agua residual urbana, algunos valores difieren de los encontrados como Agua Residual Urbana (ARU) debido a diferencias en el punto de muestreo o la influencia de ARU de origen industrial, la tabla 3 muestra valores medios de parámetros analizados en 22 depuradoras.

Tabla 3
Valores medios parámetros analizados en 22 depuradoras

Depuradoras	Parámetros (mg/L)										
	DQO _{total}	DQO _{sol}	DBO ₅	DBO _{5 sol}	N _{Total}	N-NO ₃	N-NN ₄	P _{Total}	P- PO ₄	SST	SSV
D1	724.5	149.2	383.0	95.8	54.0	0.0	39.8	8.0	6.0	392.0	282.0
D2	1170.0	464.5	777.0	292.2	82.0	<0.8	61.0	13.2	8.6	476.0	362.0
D3	551.0	391.2	298.0	216.9	39.1	0.0	30.7	4.2	1.6	110.0	86.0
D4	1279.0	639.5	870.0	391.5	104.0	-	-	20.2	9.1	397.0	317.6
D5	681.0	539.4	445.0	347.1	8.5	0.0	1.0	3.5	0.3	179.0	112.0
D6	827.0	322.5	360.0	-	49.4	0.2	32.3	3.2	0.4	404.0	298.0
D7	1275.0	395.3	680.0	299.2	179.0	-	-	25.0	9.8	605.0	453.8
D8	290.0	95.7	151.0	58.9	49.5	0.0	32.4	6.9	4.5	115.0	97.0
D9	879.6	387.0	467.6	224.4	71.6	0.2	24,7	17.9	11.5	383.6	303.0
D10	625.5	356.5	448.0	246.4	77.6	0.2	61.9	7.1	5.1	129.0	111.0
D11	722.0	332.1	470.0	202.1	55.0	-	-	5.3	2.5	229.0	176.3
D12	539.0	226.4	380.0	163.4	50.0	-	-	5.8	-	200.0	158.0
D13	375.0	243.8	262.0	152.0	55.3	-	42,2	6.9	4.0	78.6	70.0
D14	759.5	181.5	297.5	75.3	34.2	3.3	19,4	5.7	3.2	309.5	262.5
D15	450.3	279.2	292.6	183.5	56.0	-	56,6	7.6	5.4	98.6	72.0
D16	257.8	59.0	231.0	97.0	38.7	<0.2	25,7	5.4	3.5	87.1	70.3
D17	694.0	388.6	436.0	292.1	83.0	0.0	68,4	27.5	18.7	171.0	152.0
D18	377.0	173.4	217.0	132.4	48.6	0.0	41,4	9.6	6.6	136.0	115.0
D19	738.0	273.1	500.0	260.0	97.0	0.0	-	14.1	9.2	198.0	158.0
D20	361.0	205.8	255.0	114.8	65.0	-	-	8.7	3.5	117.0	101.0
D21	422.0	198.3	259.0	121.2	56.0	0.0	40,8	9.9	5.9	143.0	117.0
D22	691.0	324.8	585.0	275.0	65.0	-	-	6.8	3.7	230.0	172.0

Fuente: Sánchez-Ramírez et al. (2017)

Sánchez-Ramírez et al. (2017) muestran valores medios obtenidos en los análisis realizados de 22 plantas de tratamiento de aguas residuales de las tres provincias de la Comunidad Valenciana y Murcia (España), donde se muestra valores medidos en cada punto de muestreo y caracteriza el tipo de agua residual urbana, donde los valores difieren por el punto de muestreo o la influencia de agua residual urbana de origen industrial. Si bien la mayor parte de la carga contaminante en las aguas residuales proviene de los hogares, instituciones y la industria, son sólo una parte del total de generado (Henze y Comeau, 2011).

2.1.3. Ratios de los contaminantes

La tabla 4 se muestra las relaciones comunes de los contaminantes en aguas residuales municipales.

Tabla 4
Relaciones típicas entre contaminantes en aguas residuales municipales

Relación	Alto	Medio	Bajo
DQO/DBO	2.5-3.5	2.0-2.5	1.5-2.0
DQO/TN	12-16	8-12	6-8
DQO/TP	45-60	35-45	20-35
DBO/TN	6-8	4-6	3-4
DBO/TP	20-30	15-20	10-15

Fuente: Henze y Comeau (2011)

La tabla 4 presenta la relación entre los diferentes contaminantes en las aguas residuales y tienen una importancia al momento de seleccionar y operar los procesos, especialmente el ratio DQO/DBO que si es alta indica que una porción de la materia orgánica será difícil de degradar biológicamente (Henze y Comeau, 2011).

Si la relación de la DBO total entre la DQO total es mayor a 0.6, se concluye que es agua que tiene influencia doméstica, y si es menor a 0.6 el agua presenta influencia industrial (CEA, 2013).

$$\frac{DBO_T}{DQO_T} \geq 0.6 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Se considera que la relación óptima entre los parámetros, para el desarrollo de un proceso biológico es 100:5:1 (Marín y Osés, 2013), la tabla 9 muestra los criterios de biodegradabilidad del ratio DBO_5/DQO .

Tabla 5
Criterios de biodegradabilidad del ratio demanda biológica de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅/DQO)

DBO ₅ /DQO	Carácter
> 0.8	Muy biodegradable
0.7 - 0.8	Biodegradable
0.3 - 0.7	Poco biodegradable
< 0.3	No biodegradable

Fuente: Ardila et al. (2012)

Ardila et al. (2012) determina ratios de biodegradabilidad de la demanda biológica de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, cuanto menor sea este ratio menor será la biodegradabilidad.

2.2. Tratamientos de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, biológicos y químicos que tiene como objetivo quitar del agua residual los elementos no deseados presentes en el efluente, hoy la concepción de tratamiento de aguas residuales tiene como propósito producir efluente reutilizable en el ambiente (Peirano, 2016).

2.2.1. Tipos de tratamientos

- **Tratamiento Primario**

La norma técnica OS.090 define al tratamiento primario como la “remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta” (MVCS, 2006b). De igual modo, Mihelcic y Zimmerman (2012) declaran que “La meta del tratamiento primario es la de remover los sólidos mediante el asentamiento de la gravedad inactiva”. Sin embargo, para Peirano (2016) este tratamiento es un simple tratamiento físico, que realiza una separación de elementos solidos que contiene el agua residual.

- **Tratamiento secundario**

La norma técnica OS.090 define el tratamiento secundario como el “nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión”. El tratamiento secundario que es una forma de tratamiento biológico utiliza microorganismos para descomponer estas moléculas de alta energía (Mihelcic y Zimmerman, 2012). No obstante, para Davis (2010), el propósito principal del tratamiento secundario convencional es oxidar la DBO fácilmente biodegradable que escapa al tratamiento primario y proporcionar una mayor eliminación de los sólidos en suspensión, este tratamiento a menudo incluye el tratamiento del nitrógeno y el fósforo.

- **Tratamiento terciario**

La necesidad de un tratamiento de aguas residuales más allá del que normalmente se puede lograr en el tratamiento secundario se basa en el reconocimiento del incremento de la población que da como resultado el aumento de la carga de materia orgánica y sólidos suspendidos en ríos, arroyos y lagos, de la necesidad de incrementar la remoción de sólidos en suspensión para brindar una desinfección más eficiente, de la necesidad de eliminar nutrientes para limitar la eutrofización de masas de agua sensibles y de la necesidad de eliminar los componentes que impiden o inhiben la recuperación de agua (Davis, 2010). La norma técnica OS.090 define el tratamiento terciario como tratamiento adicional al secundario y puede un tratamiento fisicoquímico o biológico para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario (MVCS, 2006b).

2.2.2. Tratamiento de agua por procesos biotecnológicos

La biotecnología es una ciencia biológica aplicada que emplea los procesos naturales y a su vez elimina la contaminación, se caracteriza por los cambios rápidos y nuevos avances técnicos en la industria, el costo que implica implementar esta tecnología en algunos casos es muy elevada, las aplicaciones de estos procesos biológicos se han convertido en una ventaja de lo biológico o natural sobre lo químico o artificial (Beltrán y Campos, 2016). Por su parte, para Arellano y Guzmán (2011), la biorremediación es un “proceso que utiliza microorganismos para transformar sustancias peligrosas en compuestos no tóxicos o menos peligrosos, y la biorremediación utiliza los organismos que existen en la naturaleza como bacterias o hongos, para degradar sustancias químicas peligrosas”.

2.2.2.1. Tecnología de los microorganismos eficaces en tratamiento de aguas residuales

La tecnología de los ME ha sido difundida por todo el mundo y ha sido utilizado para diferentes aplicaciones, incluyendo el tratamiento de aguas residuales y ha sido muy estable y capaz de mantener la calidad del agua en un alto nivel (Higa, 2002). La tecnología de ME consiste en una amplia variedad o multicultivo de microorganismos eficaces, beneficiosos y no patógenos que coexisten juntos (Rodríguez et al., 2015)

Estudios realizados por Silva y Silva (1995) demostraron que la aplicación de microorganismos eficientes en aguas residuales, utilizando el sistema de lodos activados, disminuyó el consumo de oxígeno al igual que la producción de lodos y malos olores. Por otra parte, Beltrán y Campos (2016) hicieron evaluaciones de pH, DBO, DQO, conductividad, sólidos suspendidos, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos antes y después de la aplicación del ME, donde demostraron que dichos parámetros disminuyeron considerablemente y también probaron la eficiencia en la reducción de olores y cantidad de lodos generados en aguas residuales.

El término de “microorganismos eficaces” fue desarrollado por el profesor Teuro Higa en los años 70 en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón. El cual, consiste en cultivos mixtos de microorganismos beneficiosos de origen natural. Compuestas por bacterias ácido lácticas, microorganismos fotosintéticos y levaduras y pueden coexistir en cultivos líquidos (Paredes, 2017).

“EM es un cultivo mixto microorganismos no modificados genéticamente, con diferentes tipos de metabolismo, que al encontrarse juntos presentan relaciones sinergistas, de cooperación y cometabolismo” (Beltrán y Campos, 2016) .

La tecnología de los Microorganismos Eficaces (ME) es una combinación de varios microorganismos beneficiosos, de origen natural que se usan principalmente para los alimentos o que se encuentran en los mismos. Contiene organismos beneficiosos de 3 géneros principales: bacterias fototróficas, bacterias de ácido láctico y levadura. Estos microorganismos efectivos, cuando entran en contacto con materia orgánica, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatos y antioxidantes.

Cambian la micro y macro flora de la tierra y mejora el equilibrio natural de manera que la tierra que causa enfermedades se convierte en tierra que suprime enfermedades y esta a su vez tiene la capacidad de transformarse en tierra azimogénica (Higa, 2002).

a) Bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas spp*)

Son microorganismos independientes y autosuficientes, los cuales sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y gases nocivos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Estas sustancias incluyen aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Canales y Sevilla, 2016).

Las bacterias fotosintéticas son conocidas se pueden considerar como el núcleo de la actividad del ME, porque estas bacterias refuerzan las actividades de otros microorganismos (ácido lácticas y levaduras), a este fenómeno se lo denomina la “coexistencia y coprosperidad”(Paredes, 2017).

Debido a la gran variedad de rutas metabólicas que puede llegar a tomar este microorganismo según sus necesidades y condiciones ambientales, su crecimiento óptimo de este microorganismo ocurre a una temperatura de 30 a 37°C y a un pH de 6.9 (5.5-8.5). Como parte del mismo, produce una serie de enzimas y coenzimas según sea el caso, dentro de las que se encuentran las amilasas, hidrolasas y proteasas, así como ubiquinonas y la coenzima, las cuales participan directamente en los procesos de remoción de sulfuro de hidrógeno, nitratos, sulfatos, sulfitos, hidrocarburos, halógenos y nitratos reduciendo de esta forma la demanda biológica de oxígeno (Beltrán y Campos, 2016).

b) Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp*)

Estas bacterias producen ácido láctico a partir de los azúcares y carbohidratos que desarrollan o producen las bacterias y levaduras. La función del ácido láctico es controlar los microorganismos nocivos e incrementa la descomposición de la materia orgánica (Lara y Santillán, 2018).

No se tiene información precisa acerca de la forma en la cual actúan las bacterias ácido lácticas en el tratamiento de las aguas contaminadas, pero teniendo en cuenta sus

características, se plantea que al disminuir el pH se genera una inhibición de patógenos (Cardona y García, 2008).

Su crecimiento depende directamente de la temperatura, porque es su periodo de incubación, requiere entre 3 a 5 días y una temperatura de 37°C, puesto que son microorganismos de crecimiento lento (Vásquez, 2017).

c) Levaduras (*saccharomyces spp*)

Las levaduras son sintetizadoras de sustancias antimicrobiales, como compuestos útiles para el crecimiento de las plantas partiendo de aminoácidos y azúcares así como de materia orgánica, también producen sustancias bioactivas como hormonas y enzimas que son sustancias empleadas por bacterias ácido lácticas presentes en el ME (Lara y Santillán, 2018).

Como parte de su metabolismo fermentativo, las levaduras producen etanol en relativamente altas concentraciones, que es también reconocida como sustancia antimicrobiana. Se asume que, al degradar los carbohidratos presentes en el agua residual se producirá etanol, el cual puede funcionar como sustancia antagónica frente a microorganismos patógenos (Cardona y García, 2008).

La temperatura óptima para las poblaciones de levadura es de 28.5°C, a mayores temperaturas es disminuye su rendimiento, probablemente debido al aumento de energía de mantenimiento (Higa, 2002).

2.2.3. Metabolismo microbiano

El metabolismo es la suma de todos los procesos químicos que tienen lugar en las células vivas (Figura 3). Se divide en dos categorías, el catabolismo y anabolismo. Las reacciones catabólicas son las de suministro de energía de la célula y es una reacción redox donde el donante al aceptor de electrones genera una fuerza motriz de protones que genera ATP. Las reacciones anabólicas utilizan esta energía para la síntesis de los componentes celulares a partir de fuentes de carbono y otros nutrientes. Si los compuestos orgánicos de carbono son el sustrato entonces funcionan tanto en la reacción catabólica como en las reacciones anabólicas. Los procesos anabólicos son más o menos los mismos en todas las bacterias, mientras que los procesos catabólicos pueden variar ampliamente entre diferentes grupos microbianos (Comeau, 2017a)

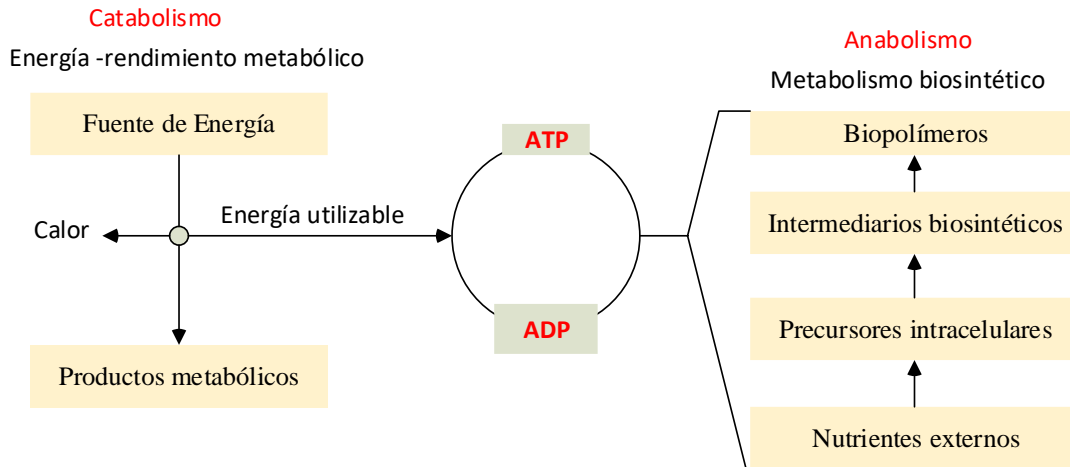


Figura 3. Metabolismo como una combinación de catabolismo y anabolismo (adaptado de Todar, 2007)

El metabolismo es la suma de las reacciones bioquímicas requeridas para la generación de energía (catabolismo) y la síntesis de material celular a partir de nutrientes (anabolismo), ATP (trifosfato de adenosina) es el portador de energía que se transforma en ADP (difosfato de adenosina) cuando su energía es transferida por la célula (Comeau, 2017b)

2.2.4. Nitrógeno en aguas residuales

A escala global, los humanos excretan alrededor de 23Tg (teragramo equivalente a 1 millón de toneladas métricas) de nitrógeno reactivo por año (Smill, 1999); las poblaciones humanas están creciendo rápidamente y muchas comunidades no están equipadas para implementar procesos efectivos de tratamiento de aguas residuales, lo que significa que las aguas residuales pueden ser la mayor fuente de liberación de nitrógeno reactivo en el medio ambiente en algunas localidades (Holmes et al., 2019).

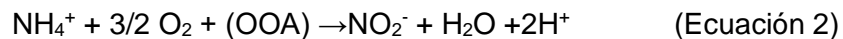
El proceso de nitrificación ocurre gracias a la actividad de dos grupos de bacterias autótrofas, los organismos oxidantes de amonio (OOA) y los organismos oxidantes del nitrato OON. Inicialmente se pensaba que sólo las bacterias nitrosomonas y nitrobacter actuaban en el proceso, pero recientes desarrollos en técnicas de identificación y clasificación molecular han mostrado que existen varios organismos nitrificantes, incluyendo bacterias del género *Nitrospirae* capaces de desarrollar tanto la oxidación de amonio a nitrito como de nitrito a nitrato (Daims et al., 2015), proceso conocido como oxidación completa de amonio (OCA) (van Kessel et al., 2015).

Se considera de forma general que la nitrificación ocurre a través de dos pasos secuenciales de oxidación: (i) de amonio a nitrito debido a la actividad de los OOA, y (ii) de nitrito a nitrato a través de la actividad de OON.

Los organismos nitrificantes utilizan amonio y nitrito principalmente para la generación de energía (catabolismo), pero una parte del amonio también se utiliza anabólicamente para la síntesis de nuevas células.

Sin embargo, la cantidad de amonio que se utiliza para la síntesis celular corresponde a una fracción prácticamente despreciable (1% como máximo) del total de amonio convertido a nitrato por los organismos nitrificantes. Consecuentemente, en los modelos en estado estacionario usualmente tienden a ignorarse los requerimientos de nitrógeno de los organismos nitrificantes y simplemente se consideran como catalizadores biológicos del proceso de nitrificación. El uso de este enfoque estequiométrico simplifica la descripción de la cinética del proceso.

Las ecuaciones (2 y 3) estequiométricas básicas, formuladas a partir de las reacciones de reducción oxidación (redox) involucradas en el proceso de nitrificación son:



2.2.4.1. Ciclo del Nitrógeno

El descubrimiento de nuevos organismos está incrementando la complejidad del ciclo del nitrógeno (Figura 4). Tradicionalmente este es descrito por procesos de nitrificación (el amonio es oxidado a nitrato vía nitrito), desnitrificación (conversión de nitrato o nitrito a nitrógeno molecular), y fijación de nitrógeno atmosférico. Recientemente se ha encontrado que microorganismos 'aerobios' convencionales que oxidan el amonio pueden también usar otras vías en sus procesos (Daims et al., 2015).

2.2.5.1. Velocidad de reacción

En la química medioambiental, el enfoque de la química cinética se basa en la proporción de las reacciones. Implica conceptos como el de velocidad de reacción, reacciones de orden cero y de primer orden, vida media y factores que afectan la velocidad de reacción.

Mihelcic et al. (2012) declara que “la velocidad de reacción se expresa en parámetros medioambientales mensurables de los que depende dicha velocidad de reacción, especial de las concentraciones de los reactantes, de los que depende la velocidad de reacción. Otros parámetros que también influyen en la velocidad de reacción son la temperatura y la presencia de catalizadores (como los microorganismos)”.

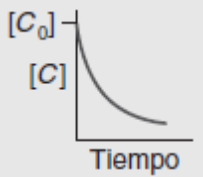
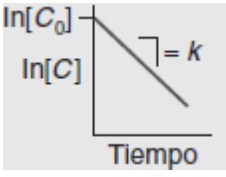
2.2.5.2. Ecuación de primer orden

El orden de la reacción debería determinarse de manera experimental, porque a menudo no corresponde a la reacción estequiometría, esto sucede porque en el mecanismo no siempre corresponden con lo que se muestra en la ecuación de reacción (Mihelcic et al., 2012). Muchas situaciones medioambientales se pueden describir como cinética de orden cero o de primer orden. La reacción química genérica en la que el componente “C” (Ecuación 4) se convierta en algunos productos desconocidos; la velocidad de reacción que describe el descenso de la concentración del componente “C” con respecto al tiempo es:

$$\frac{d[C]}{dt} = -k[C]^n \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde, [C] es la concentración de C (mg/L), t es el tiempo (días), k es la constante de velocidad de reacción que tiene unidades que dependen del orden de reacción y el orden de reacción, n, normalmente es un entero (0, 1, 2). La tabla 6 presenta las expresiones de velocidad de reacción de primer orden.

Tabla 6
Reacción de primer orden

Orden de reacción	Velocidad de la reacción	Forma integrada de la velocidad de la reacción	Gráfica: [C] vs tiempo	Gráfica lineal : [C] vs tiempo	Vida media	Unidades de la constante de velocidad (K)
Primer orden	$\frac{d[C]}{dt} = -k[C]$	$[C] = [C_0]e^{-kt}$			$\frac{0.693}{k}$	$s^{-1}, min^{-1}, h^{-1}, día^{-1}$

Fuente: Mihelcic y Zimmerman (2012)

2.2.6. Modelos matemáticos de cinética carbonácea y de nitrificación

Romero (2005) declara que “la formulación matemática de la DBO carbonácea fue hecha por Streeter y Phelps con base a la ley empírica de Theriault, de que la tasa de oxidación bioquímica de la materia orgánica es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica biodegradable presente; es decir, obedece a una ecuación de primer orden, como se muestra en la ecuación 5:

$$\frac{dL_t}{dt} = -KL_t \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde

- L_t : DBO remanente en el agua en el tiempo t, en mg/L
- t : Tiempo de oxidación, días (d)
- k : constante cinética que expresa la tasa de oxidación, en d^{-1}
- $\frac{dL_t}{dt}$: Tasa de oxidación de la materia orgánica carbonácea, en $mg/L \cdot d^{-1}$

Integrando la ecuación 5 se obtiene

$$\frac{L_t}{L_0} = e^{-Kt} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Desarrollando la ecuación 6 se obtiene

$$L_t = L_o e^{-kt} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde

L_t	:	DBO remanente para el tiempo t
L_o	:	DBO inicial
t	:	tiempo en días (d)
k	:	constante cinética (d^{-1})

En la tabla 7, se presentan algunos valores típicos de las constantes cinéticas (k en d^{-1}) de reacción y el DBO esperado (Romero, 2010).

Tabla 7
Valores típicos de la constante cinética (K) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) esperado (L)

Tipo de agua residual	k (d^{-1})	L_t (mg/L)
Doméstica débil	0.125	150
Doméstica fuerte	0.168	250
Efluente primario	0.152	75-150
Efluente secundario	0.05 -0.1	10 -75

Fuente: Romero (2010).

La relación entre la DBO_5 y la DQO indica la importancia de los vertidos dentro de las aguas residuales y su posibilidad de biodegradación (Raffo y Ruiz, 2014).

La ecuación 8 simula el proceso de nitrificación o sea la oxidación de las formas reducidas de nitrógeno es la reacción de primer orden:

$$\frac{d(L_N)}{dt} = -K_N * L_t \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde K_N es la tasa global de nitrificación en (d^{-1}); y el L_t es el nitrógeno oxidable total en (mg/L de la DBON).

Sierra (2011) enfatiza “que debido a la tasa de oxidación del nitrógeno amoniacal es típicamente más baja que la tasa de oxidación de nitritos a nitratos, por lo que se puede

considerar que la tasa de oxidación del nitrógeno amoniacal controla la tasa global de nitrificación”.

2.2.6.1. Cálculo de la constante cinética

Existen una variedad de métodos para determinar el valor de la constante cinética entre ellos se destaca: mínimos cuadrados, Thomas y Moore y los softwares estadísticos como el Excel, SPSS, MINITAB. Estos softwares utilizan para los cálculos el método de mínimos cuadrados, que hace uso de la ecuación diferencial ordinaria de primer orden de Streeter-Phelps (Raffo and Ruiz, 2014) y obtiene las constantes de la línea de regresión haciendo uso de la derivada numérica. Pero también se puede ajustar la ecuación diferencial de primer orden por los métodos numéricos utilizando el software Statistica.

2.2.6.2. Reactor de mezcla completa

Consiste en un reactor de la misma composición que el de tipo Bach, pero las partículas del afluente son dispersados instantáneamente a través de todo el volumen del reactor y que no existe gradiente de concentración dentro del sistema (Romero, 2005), este tipo de reactor responde a la ecuación 9.

$$C = \frac{C_0}{1+k \theta} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde: C_0 = Concentración de DBO o DQO en el afluente en mg/L

C = Concentración de DBO o DQO en el efluente en mg/L

K = Constante de reacción de primer orden para remoción de DBO, día⁻¹

θ = Tiempo de retención en el reactor, días

2.2.7. Consumo energía en el tratamiento de aguas residuales

Mihelcic y Zimmerman (2012) sostiene que “El uso de energía durante el tratamiento de agua potable y residuales representa un 3% de uso de energía en Estados Unidos y los costos pueden representar hasta 30% del costo total de mantenimiento y operación de una PTAR”.

La tabla 8 se muestra un proporción de uso de energía en una planta de tratamiento de 7.5 MGD (millón de galones de agua al día) de acuerdo a la Comisión de Energía de California.

Tabla 8
Proporción de uso de energía en una planta de tratamiento de aguas residuales de 7.5 millón de galones de agua al día (MGD)

Proceso/actividad de unidad	% de uso total de energía
Lodo activado	55
Clarificador primario	10
Calentamiento	7
Deshidratación de sólidos	7
Bombeo de agua residual cruda	5
Clarificador secundario(lodo activado)	4
Otros	12

Fuente: Mihelcic et al. (2012)

La tabla 8 hace una separación del uso de energía de una PTAR de capacidad de 7.5 MGD, y la unidad de los lodos activados cuenta con el mayor porcentaje de consumo de energía.

2.2.7.1. Energías Renovables

Seguí-Chilet y Gimeno-S (2016) definen que es una energía de la fuente primaria y es producida por la naturaleza sin ningún tratamiento previo realizado por el hombre, los tipos principales son: energía geotérmica, solar, eólica, biomasa, hidráulica y energía en el mar. El Plan Energético Nacional 2014-2025 (MINEM) (2014) revela que las energías renovables no convencionales se han desarrollado con subastas realizadas por tipo de tecnologías y estas han logrado alcanzar 746 MW, conforme al detalle en la tabla 9.

Tabla 9
Desarrollo de los Recursos Energéticos Renovables – Perú

Tecnología	Potencia (MW)
Hydroeléctricas < 20 MW	391
Eólicas	232
Solares	96
Otros	27
Total	746

Fuente : MINEM (2014)

En la tabla 9, se muestra la potencia de energía limpia producida y la energía solar ocupa el tercer lugar hasta el 2014 de acuerdo con el Ministerio de Energías y Minas del Perú.

La reducción del gasto y/o costos operativos se logra disminuyendo el consumo final de electricidad y diésel mediante el uso de tecnologías más eficientes como la sustitución de iluminación convencional por tecnologías eficientes (luminarias LEDs), colectores de agua eléctricos por termas solares, cocinas mejoradas a leña y el desarrollo de proyectos de cogeneración y la sustitución de calderos y motores eléctricos por otros de mayor eficiencia.

2.2.7.2. Colectores solares planos de bajo costo

Estos se utilizan para el calentamiento de las agua de las piscinas y su temperatura es hasta 40 °C (Seguí y Gimeno , 2016). En estos sistemas podemos distinguir 2 tipos de instalaciones: sistemas de circulación forzada y sistemas termosifón (Schallenberg et al., 2008).

Según Çomaklı et al.(2012), el método más popular para beneficiarse de la energía solar es utilizar sistemas solares de calentamiento de agua, ya que es una de las formas más económicas de beneficiarse de la energía solar; el costo de inversión y de mantenimiento son muy bajos. De acuerdo a Navntoft y Paz (2019), el rendimiento de los colectores depende de los siguientes factores: 1) radiación solar, 2) temperatura ambiente, 3) temperatura del agua de entrada, 4) velocidad del viento y 5) caudal de circulación.

De acuerdo con López-Cózar (2006), la eficiencia de los captadores solares está definida por su curva de rendimiento, que permite saber cuál es la cantidad de energía que se puede aprovechar en cada situación y responde a la ecuación lineal 10.

$$r = A - b * t \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

- r : rendimiento o eficiencia del captador.
- A : parámetro característico del captador (eficiencia óptica)
- b : parámetro característico del captador (pérdidas por radiación y convección) ($W/m^2\text{°C}$)
- t : parámetro variable que representa las condiciones ambientales y de trabajo del captador, y se define como proporcional a la diferencia entre la temperatura media del fluido y la temperatura ambiente, dividida entre la irradiancia ($m^2\text{°C} / W$)

La tabla 10 muestra rendimientos de 3 colectores solares tipo de plástico para la estimación de los rendimientos se tomo como referencia el rendimiento de Solarpool de España .

Tabla 10
Rendimiento colectores solares de plástico

Tipo	Marca	Rendimiento	Características
Plásticos	Solarpool (España)	0,92-18,7 ($\Delta T/l$)	Polipropileno sin cobertura
Plásticos	Fafco Inc. (USA)	0,86-18,86 ($\Delta T/l$)	Polipropileno sin cobertura
Plásticos	Heliocol (USA)	0,87-21,31 ($\Delta T/l$)	Polipropileno sin cobertura

Fuente: Navntoft y Paz (2019)

2.3. Legislación para el tratamiento de aguas residuales

2.3.1. Conceptos de legislación de aguas residuales

- **Estándar de calidad ambiental (ECA)**

El ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes agua, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente, y según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (MINAM, 2005).

- **Límite máximo permisible (LMP)**

Los LMP sirven para el control y fiscalización de los agentes producen efluentes y emisiones, a efectos de establecer si se encuentran dentro de los parámetros considerados inocuos para la salud, el bienestar humano y el ambiente (Peirano, 2016).

La Ley 28611, ley general del ambiente (MINAM, 2005) y el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM definen al Límite Máximo Permisible - LMP, como la “medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente”.

- **Valores Máximos Admisibles (VMA)**

Los VMA se define como el valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales (MVCS, 2019).

El artículo 9º del Decreto Legislativo N°1280 declara la prohibición de descargar en las redes de alcantarillado sanitario, sustancias o elementos extraños que contravengan las normas vigentes sobre la calidad de los efluentes; para ello, los usuarios del servicio de alcantarillado sanitario tienen prohibido descargar al sistema de alcantarillado sanitario, aguas residuales no domésticas que excedan los Valores Máximos Admisibles de los parámetros que establezca el ente rector, excepto aquellos parámetros en los que el usuario no doméstico efectúe el pago adicional por exceso de concentración, conforme lo determinen las normas sectoriales y las normas de la SUNASS (MVCS, 2017b).

Existe un marco normativo nacional e internacional sobre vertimientos de aguas residuales urbanas e industriales.

2.3.2. Normas nacionales

En el Perú, hay un marco legal relacionado al cuidado del medio ambiente y al tratamiento de las aguas residuales.

- Ley N° 28611. Ley General del Ambiente. El artículo 3 dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley.
- Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos. Las aguas residuales que han sido contaminadas por actividades antropogénicas requieren de un tratamiento previo antes de ser vertidas a un cuerpo receptor natural. Así mismo ve la captación, uso y devolución de aguas de acuerdo con la demanda de agua del proyecto que se realice.

- Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos. La Autoridad Nacional del Agua quien autoriza el vertimiento de aguas residuales únicamente cuando las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo, que permita el cumplimiento de los LMP.
- Ley N° 27446. Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). Su finalidad es la identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los Impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión.
- DL 1280 - Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento, que establece la reestructuración de la gestión y prestación de los servicios, contemplando lo siguiente en Inversiones: Otorgar rol concedente del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- D.L. 1285 establece que las PTAR se adecúen progresivamente a los instrumentos de gestión ambiental, con el fin de dar tratamiento progresivo y efectivo a las aguas residuales; para ello se dispone lo siguiente:
- DS. 013-2009-SA-TUPA MINSA. La disposición sanitaria de aguas residuales tratadas para el vertimiento es la caracterización de aguas residuales a verter y el cuerpo receptor, sustentada con análisis de laboratorio acreditado, que incluya los parámetros establecidos por el Ministerio del Ambiente, y el reúso que es la caracterización de las aguas residuales a reusar, sustentado con análisis de ensayo actualizados de un laboratorio acreditado.
- DS N° 003-2010-MINAM. LMP para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales a cuerpos receptores.
- El DS N° 007-2017-VIVIENDA aprueba la política nacional de saneamiento quien constituye una herramienta fundamental y estructurada de política pública dirigida a las entidades de la administración pública que intervienen en el desarrollo del sector saneamiento, además este instrumento da una señal clara hacia la sociedad, para responder a las expectativas sobre el papel del Estado en el sector.

2.3.2.1. Decreto Supremo N°003-2010-MINAM. LMP para efluentes de PTAR.

En la tabla 11 se presenta los LMP para efluentes de una PTAR, el decreto supremo menciona siete parámetros y aplica a efluentes de PTAR domésticas o municipales a cuerpos receptores.

Tabla 11
Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP de Efluentes para Vertidos a cuerpos de Aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5 - 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	° C	< 35

Fuente: DS. N°003-2010 MINAM.

2.3.2.2. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA).

Para la aplicación de los ECA para agua se debe considerar las categorías, en la tabla 12 se describe la categoría y el subcategoría de los estándares de calidad ambiental del agua.

Tabla 12
Categoría y subcategoría de los estándares de calidad ambiental del agua

Categoría	Subcategoría	
Categoría 1: Poblacional y recreacional	Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable	A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional. A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
	Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación	B1. Contacto primario. B2. Contacto secundario
Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales	Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras.	
	Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras.	
	Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras.	
	Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.	
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	Subcategoría D1: Riego de vegetales	Agua para riego no restringido. Agua para riego restringido
	Subcategoría D2: Bebida de animales	
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático	Subcategoría E1: Lagunas y lagos.	
	Subcategoría E2: Ríos	Ríos de la costa y sierra
	Subcategoría E3	Estuarios Marinos.

Fuente: DS. N°004-2017 - MINAM.

En la tabla 13 se muestra los parámetros de las categorías 3 y 4, que potencialmente en estos cuerpos receptores se podría ser utilizar las aguas tratadas de la investigación.

Tabla 13
Estándar de calidad de ambiental del agua

Parámetros	Unidad	Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales			Categoría 4: Conservación del ambiente acuático				
		D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales		Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Aceites y Grasas	mg/L	5		10	5	5	5	5	5
Conductividad	μS/cm	2500		5000	1000	1000	1000	**	**
DBO ₅	mg/L	15		15	5	10	10	15	10
DQO	mg/L	40		40	-	-	-	-	-
N-NO ₃	mg/L	-		-	13	13	13	200	200
N-NO ₃ + N-NO ₂	mg/L	100		100	-	-	-	-	-
N-NO ₂	mg/L	10		10	-	-	-	-	-
Nitrógeno Total		-		-	0,315	**	**	**	**
OD (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
pH		6.5 - 8.5		6.5 - 8.4	6.5 - 9	6.5 - 9	6.5 - 9	6.8 - 8.5	6.8 - 8.5
SST	mg/L	-		-	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Temperatura	°C	Δ3		Δ3	Δ3	Δ3	Δ3	Δ2	Δ2
Turbiedad	UNT	-		-	-	-	-	-	-
CTT	NMP/100 mL	1000	2000	1000	1000	2000	2000	1000	2000

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Fuente: DS. N°004-2017 - MINAM.

La ECA del agua (DS. N° 004-2017-MINAM), establece los estándares de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce mg/L de NH₃ como se indica en la Tabla 14.

Tabla 14

Estándar de calidad de amoniaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Fuente: DS. N° 004-2017-MINAM

Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH.

2.3.2.3. Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. Valores Máximos Admisibles (VMA).

Los VMA se aplican para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. En la tabla 15, se presenta algunos valores máximos admisibles del decreto supremo.

Tabla 15

Valores máximos admisibles para descargas industriales al alcantarillado

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA para descarga al Sistema de Alcantarillado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SST	500
Aceites y Grasas	mg/L	AyG	100
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	N-NH ₄	80
pH	Unidad	pH	6-9
Temperatura	° C	T	<35

Fuente: D.S. N°010-2019 –VIVIENDA

2.3.3. Normas internacionales

El marco normativo referente a los vertimientos de aguas residuales domesticas es muy amplio, los países latinos no son muy exigentes en los valores de las descargas del N y P y algunos no tienen normas concernientes a estos parámetros; pero las normas europeas si las contemplan, hay regiones como la de Andalucía que tienen normas propias de vertimientos de aguas residuales domésticas.

2.3.3.1. Normas españolas

En la tabla 16 y 17 se menciona las principales normas españolas sobre vertidos de aguas residuales urbanas.

Tabla 16
Límite máximo permisible de vertimientos de carga orgánica de aguas residuales urbanas.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)
DBO ₅	25 mg/L O ₂	70-90
		40 de conformidad con el apartado 3 del artículo 5 R.D-ley (2)
DQO	125 mg/L O ₂	75
	35 mg/L (3)	90 (3)
SST	35 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D-I (más de 10.000 h-e) (2)	90 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D-I (más de 10.000 h-e) (2).
	60 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D.I (de 2.000 a 10.000 h-e) (2)	70 de conformidad con el apartado 3 del art. 5 R.D-I (de 2.000 a 10.000 h-e) (2)

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.

(2) Se refiere a los supuestos en regiones consideradas de alta montaña contemplada en el apartado 3 del artículo 5 del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre.

(3) Este requisito es optativo.

Fuente: Real Decreto 509/1996. (España, 1996)

En la tabla 17, se presenta los LMP de los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas a zonas sensibles cuyas aguas sean eutróficas o tengan tendencia a serlo.

Tabla 17

Límite máximo permisible de los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas a zonas sensibles cuyas aguas sean eutróficas o tengan tendencia a serlo.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)
Fósforo total	2 mg/L P (de 10000 a 100000 h-e)	80
	1 mg/L P (más de 100000 h-e)	
Nitrógeno Total (2)	15 mg/L N (de 10000 a 100000 h-e) (3)	70 -80
	10 mg/L N (más de 100000 h-e) (3)	

Según la situación local, se podrá aplicar uno o los dos parámetros.

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada. (2) Nitrógeno total equivalente a la suma de nitrógeno Kjeldahl total (N orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito. (3) Estos valores de concentración constituyen medias anuales. En ese caso, la media diaria no deberá superar los 20 mg/l de nitrógeno total para todas las muestras, cuando la temperatura del efluente del reactor biológico sea superior o igual a 12 °C.

Fuente: Real Decreto 2116/1998 (España, 1998)

La tabla 18 muestra los valores límites de emisión de la comunidad autónoma española de Andalucía.

Tabla 18**Límites máximos permisibles de vertidos al dominio público hidráulico y marítimo-terrestre de Andalucía.**

Parámetro	Unidades	Aguas costeras de transición			Aguas superficiales		
		Valor mensual	Valor diario	Valor puntual	Valor mensual	Valor diario	Valor puntual
Aceites y grasas	mg/L	0.3	0.33	0.36	0.1	0.11	0.12
Amonio	mg/L	60	80	100	16.7	18.4	20
Carbono orgánico total	mg/L	150	200	250	41.7	45.9	50
Conductividad (25°C)	mS/cm	-	-	-	1.7	1.87	2
Conductividad (25°C)	µS/cm	-	-	-	1700	1870	2000
DBO ₅	mg/L de O ₂	200	220	240	67	74	80
DQO	mg/L de O ₂	375	413	450	125	138	150
Fósforo Total (1)	mg/L	50	55	60	17	18.7	20
Nitratos	mg/L	100	110	150	50	55	60
Nitritos	mg/L	30	33	36	16	18	20
Nitrógeno Total (1)	mg/L	80	110	150	27	29.7	32
Sólidos en Suspensión	mg/l	400	450	500	125	138	150
pH	mg/L	9.5-5.5					
Temperatura	°C	Incremento 3°C					
Turbidez	UNT	250	325	400	100	125	150

El valor diario se refiere al valor medido sobre una muestra compuesta de 24 horas tomada a intervalos regulares o en función del caudal.

El valor puntual se refiere al valor medido sobre una muestra simple o puntual.

(1) Si el vertido se realiza a una zona declarada sensible, los límites genéricos de aplicación son los establecidos en el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, y en el Real Decreto 2116/1998.

El incremento de temperatura se evaluará a 100 m del punto de vertido y a 1 m de profundidad

Fuente: Decreto 109/2015 (Andalucía, 2015)

2.3.3.2. Normas mexicanas

La tabla 19 se muestra los LMP de contaminantes básicos en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y la tabla 20 se muestra los LMP de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público de las normas de México.

Tabla 19

Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

Parámetros	Unidades	Ríos		Embalses Naturales y Artificiales						Aguas Costeras				Suelo							
		Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales Naturales (B)	
		PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
T° (1)	°C	NA	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	NA.	NA.	40	40
AyG (2)	mg/L	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
SST	mg/L	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	NA	NA	75	125
DBO ₅	mg/L	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	NA	NA	75	150
N-T	mg/L	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	NA.	NA.	NA.	NA.	15	25	NA	NA	NA	NA
P-T	mg/L	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA.	NA.	5	10	NA	NA	NA	NA

(1) Instantáneo

(2) Muestra simple promedio ponderado

PD= Promedio diario

PM= Promedio mensual

NA = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley federal de derechos.

Fuente: Nom-001-Ecol-1996 (México. 1997)

Tabla 20

Limites máximo permisible de contaminantes para las agua residuales urbanas que se reúsen en servicios al público

Tipo de Reúso	Promedio Mensual				
	Coliformes fecales NMP/100 mL	Huevos de helminto (h/L)	Grasas y aceites mg/L	DBO ₅ mg/L	SST mg/L
Servicios al público con contacto directo	240	≥ 1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocupacional	1,000	≤ 5	15	30	30

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1997 (México, 1998)

2.3.3.3. Normas colombianas

La tabla 21 muestra LMP en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público

Tabla 21

Límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Parámetro	Unidades	Valores límites de descarga para las ARD y prestadores del servicio público		Valores límites para vertimientos a cuerpos de agua superficial *		Valores límites para vertimientos de ARND a alcantarillado publico**	
		Soluciones individuales ARD	Servicio público	Ligero	Severo	Ligero	Severo
pH			6 a 9		6 a 9		5 a 9
DQO	mg/L O ₂	200	180	3000	100	4500	150
DBO ₅	mg/L O ₂		90	800	50	1200	75
SST	mg/L	100	90	800	50	1200	75
AyG	mg/L	20	20	60	10	90	15
P-T	mg/L	-	Análisis y reporte	25	2	37.5	3
N-T	mg/L	-	Análisis y reporte	12	12	18	18

*El valor límite depende del sector en el que se encuentre clasificada la industria generadora del vertimiento.

** El valor límite depende del sector en el que se encuentre clasificada la industria generadora del vertimiento y será multiplicado por un factor de 1.5

ARD: Agua Residual Doméstica

ARND: Agua Residual No domésticas

Fuente: Resolución 631 de 2015 (Colombia, 2015)

La tabla 22 muestra los parámetros y los límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas.

Tabla 22**Parámetros y Límites máximos permisibles de vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas.**

Parámetro	Unidades	ARD de soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares y de actividades industriales, comerciales o de servicios	ARD y ARND de los prestadores del servicio público de alcantarillado, Por medio de conducción de desagüe	ARD y ARND de los prestadores del servicio público de alcantarillado, por medio de emisario submarino
DBO ₅	mg/L de O ₂	200	180	450
DQO	mg/L de O ₂	100	90	250
Fósforo Total	mg/L	0.4	-	-
Nitratos	mg/L	0.1	-	-
Nitritos	mg/L	0.02	-	-
Nitrógeno amoniacal	mg/L	1	-	-
Sólidos en Suspensión	mg/l	100	90	250
pH	mg/L		6 - 9	

ARD: Agua Residual Doméstica

ARND: Agua Residual No domésticas

Fuente: Resolución 883 (Colombia, 2018)**2.4. Resultados anteriores de investigación****2.4.1. Antecedentes internacionales**

Toc (2012) desarrolló una investigación con el objetivo de evaluar el efecto de los ME en las aguas residuales provenientes de la Granja Porcina de Zamorano - Honduras, en los meses de junio a agosto del 2012 en la granja porcina de la Escuela Agrícola Panamericana a unos 800 msnm y a una temperatura promedio de 23 °C; el experimento fue un DCA, con 3 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento o unidad experimental de 113 L; el primer tratamiento aplicó ME patentados, el segundo ME autóctonos producidos en Zamorano y tercero fue la muestra control sin ME, los parámetros analizados fueron la DBO₅, DQO y ST en un periodo de 2 meses; presentando resultados de reducción para la DBO de 98, 96 y 77 %, para la DQO fue de 97, 96 y 86 % y para los sólidos totales 91, 92 y 78 % para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente.

Cardona y García (2008) elaboraron un estudio con el objetivo evaluar el efecto de ME sobre la calidad de un agua residual doméstica proveniente de un pozo séptico; instalaron 12 unidades experimentales (tanques de 110L), con 4 tratamientos y 3 repeticiones; aplicando dosis de EM 1/1000, 1/5000, 1/10000 V/V para los primeros tratamientos y el cuarto fue el tratamiento control; con dosis de choque de EM (1/1000 V/V) para los 3 primeros tratamientos en el día cero; los parámetros monitoreados fueron OD, pH, T, DQO, DBO₅, ST, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, PO₄⁻³ en 45 días. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre el control y los tratamientos para la mayoría de los parámetros y las metodologías empleadas de laboratorio para los parámetros fueron: DBO₅- método oximétrico, DQO - método colorimétrico, sólidos totales - método gravimétrico, nitrógeno (amonio, nitrito y nitrato) método fotométrico, OD y pH método potenciométrico.

Pontaza (2014) desarrolló una tesis con el objetivo de mejorar la eficiencia en remoción de materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal en Guatemala con una temperatura media de 27 °C a 1650 msnm, aplicando ME, la aplicación se realizó en la laguna facultativa que tiene un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 29 horas por 45 días, el porcentaje de remoción promedio fue de 48.6, 46.3, 84.74, 25.43 y 42.59 % DBO₅, DQO, SST, P total y turbiedad respectivamente.

Lara y Santillán (2018) desarrollaron una investigación con el objetivo conocer el comportamiento de los ME en la aceleración de los procesos de degradación de la materia orgánica en el proceso de compostaje. Los residuos orgánicos fueron producidos por los puestos comerciales de legumbres, frutas y verduras del Mercado Municipal "San Alfonso" de la ciudad de Riobamba, se construyó 12 composteras o pilas de 1 metro cúbico. Se utilizaron 3 dosis 60, 120 y 180, y se monitorearon la temperatura, humedad y potencial de hidrógeno. Presentando valores de C/N de 17.77, debido a la pérdida de carbono por los procesos oxidativos y la emisión de CO₂. Se obtuvo que los tratamientos más eficientes fueron de 120 y 180 ml.

Santillán y Paredes (2018), con el objetivo de remover el H₂S por lodos activados con ME sobre en aguas residuales de la industria alimenticia, realizaron un estudio, aplicando los ME en un biofiltro a escala de laboratorio, controlando el pH, temperatura, humedad, oxígeno, luz solar y tiempo de retención hidráulica (TRH), aumentando la carga microbiana de los microorganismos nativos en el lodo y mejorando el crecimiento de la biopelícula que favoreció

la reproducción de bacterias sulforreductores, alcanzando reducir el 70.35% de H₂S a la tercera semana.

Romero y Vargas (2017) realizaron una investigación con el objeto de evaluar la eficiencia del producto “Versaklin” del Instituto Carlos J. Finlay que esta constituido de Ácido Lácteo, Ácido Acético, Bacterias aerobias, hongos y Levaduras componente similares a los ME patentados, para tratar aguas contaminadas en 10 puntos de una zanja de la red plubial del municipio de Güines – Cuba, aplicando una concentración a 1/10 V/V a temperaturas de 25.5 a 28.2 °C obteniendo mejores resultados a las 24 horas de su aplicación.

2.4.2. Antecedentes nacionales

A nivel nacional se vienen realizando investigaciones en estos últimos años, en diferentes universidades peruanas se está realizando investigaciones aplicando ME para el tratamiento de aguas residuales.

Vásquez (2017) desarrolló una investigación con el objeto de determinar el efecto de los ME para la remoción del DBO en las aguas residuales domésticas de la laguna facultativa de la PTAR de la ciudad de Jepelacio, ubicada a 1025 msnm en la Región de San Martín donde determinó la DBO por el método de laboratorio de Electrodo de Membrana; el diseño experimental fue de 36 unidades experimentales de 20 L, aplicando 3 dosis de ME de 5, 10 y 15 ml, obteniendo resultados de remoción de 84.44, 93.33 y 89.73% respectivamente.

García y Robles (2018) desarrollaron una investigación con el objetivo de determinar la dosis de ME para tratar aguas residuales domésticas de la Universidad Nacional de Ucayali a 154 msnm en 21 días; empleándose 9 estanques experimentales de 1 m³ de capacidad, con tres tratamientos y tres repeticiones y dosis de aplicación de 4, 6, 8 mL de ME activado sobre litro de agua residual; los parámetros monitoreados fueron SST, DBO₅ y DQO con valores iniciales de 446, 145 y 239 mg/L y finales promedios 438.9, 42.0 y 69.9 mg/L obteniendo porcentajes de remoción de 1.6, 71.0 y 70.7 % respectivamente.

Canales y Sevilla (2016) desarrollo una investigación con el objetivo de evaluar el efecto de los ME en el tratamiento del Agua Residual Doméstica provenientes de las lagunas de oxidación del Distrito de Pátapo - Chiclayo a 78 msnm con una temperatura promedio de 24.2

°C; con 4 tratamientos 3 con ME y 1 control en unidades experimentales de 20 L en 42 días; los parámetros monitoreados fueron DBO₅, DQO y Nitratos con método de análisis de laboratorio de Winkler modificado, Dicromato Potásico y Método instrumental, con valores iniciales de 120, 162 y 36.78 mg/L y finales promedios de 41.0, 51.7 y 6.7 mg/L obteniendo porcentajes de remoción de 65.83, 68.11 y 81.97 % respectivamente.

Huayllani (2017) desarrollo una investigación con el objetivo de determinar la influencia de los EM - Compost en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Concepción – Región Junín; se ensayaron 5 dosis de: 0, 2, 4, 6 y 8% de EM, dispuestos en un DCA con tres repeticiones, utilizando una mezcla de 20 kg de lodos por unidad experimental. Los resultados muestran que los contenidos de materia orgánica, relación C/N, conductividad eléctrica (CE), humedad, pH, nitrógeno, fósforo, potasio y cromo total, se encuentran dentro de los parámetros de estándares de calidad, evidenciando la obtención de un compost que puede ser utilizado como abono orgánico para los suelos agrícolas. El rendimiento de peso final de compost fluctuó entre 70,6 y 76,3%.

Beltrán y Campos (2016) desarrollaron una investigación con el objetivo de la determinación del efecto de los ME en el tratamiento de agua y lodo residual de la PTAR Jauja a 3360 msnm a una temperatura promedio anual de 12°C en 90 días; se aplicó una dosis de choque de ME activado en las lagunas facultativas y de maduración a una concentración de 0.01 m³ por cada 100 m³ de agua residual al inicio del tratamiento, al día 20 y 26 se aplicó en la lagunas facultativas y de maduración una dosis de 0.01m³ por cada 500 m³ de agua residual, se determinó los parámetros de pH, T°, DBO, DQO, SST para el agua residual; los valores iniciales de DBO₅, DQO y SST son 105, 222 y 420 mg/L y finales de 95, 194 y 400 mg/L obteniendo porcentajes de remoción de 9.52, 12.61 y 4.76 % para la DBO₅, DQO y SST respectivamente.

Apaza (2017) desarrolló una investigación con el objetivo de mejorar la calidad de aguas residuales de la Industria Láctea mediante el uso de ME en 30 días para la reducción de los parámetros de DQO, SST, Nitrógeno Amoniacal y pH y cumplir con el Valor Máximo Admisible en Lima a 161 msnm entre 16 y 22 °C del desarrollo experimental, se aplicó el ME activado en 3 tratamientos con concentraciones al 1, 2 y 3% V/V con 3 repeticiones en unidades experimentales de 16 L; el tratamiento 2 presenta mejores resultados con valores iniciales del

DQO, SST y N-NH₄ de 5045, 1347 y 104 mg/L y finales de 884, 488 y 67 mg/L y porcentajes de remoción de 82, 64 y 33 % respectivamente.

Cardona y García (2008) desarrollaron una investigación con el objetivo evaluar del efecto de los Microorganismos Eficaces (EM®) sobre la calidad de un agua residual doméstica de un pozo séptico en Fundases (Bogotá), a 2600 msnm con una temperatura media de 14.5 °C en 45 días para la reducción de los parámetros de OD, pH, T, DQO, DBO₅, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, PO₄⁻³, se aplicó el ME activado en 3 tratamientos con concentraciones al 1/1000, 1/500 y 1/3000 V/V con 3 repeticiones en unidades experimentales de 110 L; se muestreo a 2 alturas de las unidades experimentales (20 y 40 cm) los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas entre las profundidades, pero se obtuvieron remociones de DBO₅ y DQO de 83 y 38% respectivamente de valores iniciales del DBO₅ y DQO de 293.3 y 663.3 mg/L y finales de 49.8 y 411.9 mg/L.

2.4.3. Antecedentes locales

La aplicación de los ME ya se está investigando en la ciudad de Puno, actualmente hay tres investigaciones publicadas, dos de la Universidad Nacional del Altiplano y una en la Universidad Peruana Unión–Campus Juliaca.

Valdez (2016) desarrollo una investigación con el objetivo de comparar y evaluar el efecto de los ME sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales domesticas de la PTAR de la ciudad de Chucuito a 3830 msnm en la Región Puno con temperaturas ambientales de – 5 a 17 °C en 90 días; con 4 tratamientos 3 con ME (1, 1.5 y 2 % V/V) y uno control, cada tratamiento con tres repeticiones haciendo un total de 12 unidades experimentales de 20 L; los parámetros monitoreados fueron pH, OD, DBO, DQO y SST, el tratamiento con dosis de 2% de ME activados presentó mejores resultados con valores iniciales para la DBO₅ y DQO de 163.6 y 409 mg/L y finales de 117.33 y 293.33 mg/L obteniendo una remoción de 28.28 y 28.28 % respectivamente.

Luvi (2014) desarrollo una investigación con el objetivo de determinar los índices microbiológicos y fisicoquímicos en aguas residuales post tratamiento con *Aspergillus spp*, *Lactobacillus*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Bacillus subtilis*, y evaluar el efecto de las dosis de 1:1000, 1:5000 y 1:10000 microorganismos a 0, 10, 30 y 45 días en aguas residuales; para los

cuales se empleó cubos de vidrio de 60 x 35 x 30 cm; de 5L de capacidad, los parámetros monitoreados fueron: pH, temperatura, STS, AyG, DQO y DBO y CT. El diseño fue un DBCA. Las variables estudiadas no mostraron diferencias significativas en la variabilidad por efecto del tratamiento con diferentes dosis de microorganismos nativos ni por periodo de evaluación en el agua residual de Puno; pero solamente aceites y grasas mostró diferencias significativas por efecto del periodo de evaluación donde a los 30 días y 45 días fue de 19.70 y 16.50 mg/L y a los 10 días 12.30 mg ($P \leq 0,05$).

Mamani y Chavez (2018) realizaron una investigación que evaluó la remoción de materia orgánica con ME activados en aguas residuales domésticas en la ciudad de Juliaca a 3850 msnm en 15 días, en un sistema de tratamiento piloto (tanque séptico, bandeja de aireación y canal de maduración) con tiempo de retención hidráulico de 36 horas y un caudal medio de 2.46 m³/día; con tres tratamientos 2 con ME (3 y 4 L) y la muestra control, los parámetros monitoreados fueron DBO₅, SST y CTT con métodos de laboratorio de prueba de incubación de 5 días y gravimétrico para los dos primeros parámetros; el tratamiento con dosis de 4 L con ME activados presentó mejores resultados, con valores iniciales para la DBO₅ y SST de 177 y 208 mg/L y finales de 39 y 56 mg/L obteniendo una remoción de 78 y 73 % respectivamente.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en Villa Chullunquiani, ubicada en la carretera Arequipa Km 6 en el distrito de Juliaca, provincia de San Román en la región Puno, a una altitud de 3850 msnm. Los tratamientos son reactores tipo bach de capacidad de 115 L de volumen, la presión atmosférica determinada promedio fue 0.63 atm y temperatura ambiente media diaria de 10.11 °C y la temperatura media diaria durante las horas de sol y noche fue de 13.36 y 6.57 °C respectivamente, los picos mínimo y máximo durante el periodo experimental (22 días) fue de 3.22 y 17.32 °C que se presentaron a las 5:00 y 13:30 horas en los meses de octubre y noviembre (datos obtenidos de la estación meteorológica UPeU, Juliaca).

3.2. Materiales, insumos, equipos.

Se utilizó diferentes tipos de materiales tanto para el monitoreo de los parámetros analizados como para la instalación del tratamiento de aguas residuales con calentamiento solar utilizando colectores planos de bajo costo.

3.2.1. Materiales de monitoreo

- Cooler (10 L)
- Cinta adhesiva
- Cronómetro
- Depósitos de plásticos de 120 L.
- Bolsas de Hielo
- Frascos de plástico (1 L)
- Frascos de vidrio (1L)
- Papel aluminio
- Papel secante
- Piseta (0.25 L)
- Plumón indeleble
- Vaso o probeta graduado de 1 L

3.2.2. Materiales del sistema de calentamiento solar

- 24 tubos de aluminio de ½ pulgada de 53 cm de longitud
- Bomba Sobo WP-4800 (aquarium power heads) AC 220-240 V /50-60Hz 45W H.Máx 2m. Caudal máximo 3000 L/h
- Bomba Sobo WP-1000F (aquarium filter) AC 220-240 V /50-60Hz 15W. Caudal máx. 650 L/h
- Manguera de HDPE de ¾", Φ int. 23.8 mm, Φ ext. 26.67mm. 100 metros de longitud.
- Mangueras de ½ pulgada
- Tubo corrugado flexible de ½ pulgada, HDPE (Polietileno, polímero termoplástico).
- 10 m de manguera negra corrugado flexible de 1" (Polietileno, polímero termoplástico) Φ int. min 26.4 mm, Φ int. Máx. 27.1 mm; Φ ext. Min 32.8 mm; Φ ext. Máx. 33.4 mm
- Cinta Teflón ½ pulgada
- Cinta Teflón ½ "
- Tubo PVC-U ½ " x 5 m C/R
- Accesorios de tubos

3.2.3. Insumos

- Agua destilada (reactivo tipo II)
- Ácido Sulfúrico (concentrado)
- Ftalato ácido de potasio
- Dicromato de Potasio (grado estándar primario)
- Sulfato de mercurio (polvo)
- Microorganismos eficaces (EM) AGUA® (Envase de 1 L)
- Solución amortiguadora de pH.

3.2.4. Equipos

- Cámara de celular iphone RX.
- Laptop DELL CORE i5
- Colorímetro portátil multiparámetro DR900 marca HACH para medir DQO, N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃ y P-total
- Medidor Portátil HQD marca: HACH para medir DBO₅, pH, CE, OD y °T
- Incubadora de DBO Marca: Shel Lab
- Turbidímetro VELP TB1
- Equipos de Seguridad (guantes, mascarillas, etc.)
- GPS (MONTANA 600)

3.3. Variables meteorológicas

La estación meteorológica de la UPeU, Campus Juliaca marca DAVIS modelo Vantage Pro2, presenta parámetros meteorológicos que se consideración en la investigación.

- **Energía solar**

Representa la cantidad de energía de la radiación solar acumulada sobre un periodo de tiempo y se expresa en Langley, que corresponde a 11.622 W/hora/m² o 41.84 kJ/m² (DAVIS, 2020).

- **Índice THSW (temperatura - humedad - sol - viento)**

Es una temperatura aparente que se expresa en °C y para el cálculo de su índice utiliza la humedad, la temperatura, los efectos de enfriamiento del viento y los efectos de calentamiento de la radiación solar (DAVIS, 2020).

- **Índice THW (temperatura - humedad - viento).**

Es una temperatura aparente que se expresa en °C, y relaciona la humedad, temperatura y los efectos de enfriamiento del viento sobre nuestra percepción de la temperatura (DAVIS, 2020).

- **Presión barométrica.**

Se expresa en mb (milibares), esta cambia con las condiciones meteorológicas locales, haciendo una importante y útil herramienta de previsión meteorológica, la presión en aumento indica una mejora en las condiciones meteorológicas, mientras que la presión en descenso indica un empeoramiento de las condiciones meteorológicas (DAVIS, 2020).

- **Radiación solar**

Es la cantidad de radiación solar que alcanza una superficie horizontal, se expresa en W/m^2 , esta irradiación incluye el componente directo del sol y el componente reflejado desde el resto del cielo, y las lecturas de radiación solar dan una medida de la cantidad de radiación solar que llega al sensor de radiación solar a cualquier hora (DAVIS, 2020).

3.4. Activación de los microorganismos eficaces patentados

Los microorganismos eficaces patentados presentes en el EM•1® están en estado de latencia, para activarlos se usó 0.25 L de EM•1® con 0.25L de melaza comercial (caña de azúcar) y 4.5 L de agua limpia (sin cloro), así se obtuvo 5 L de EM•1® activado para su aplicación, se usó un recipiente nuevo de plástico de 10 L de capacidad con tapa hermética para evitar la entrada del aire, siguiendo la indicaciones del fabricante EMRO (2020) activándolo a 20 °C en un periodo de 20 días para su respectiva fermentación a un pH de 3.9 con olor agrídulce y color café-oscuro inicial a café-anaranjado utilizándolo a los 30 días de su activación.

La figura 5 muestra el diagrama de activación y rendimiento en aguas residuales.

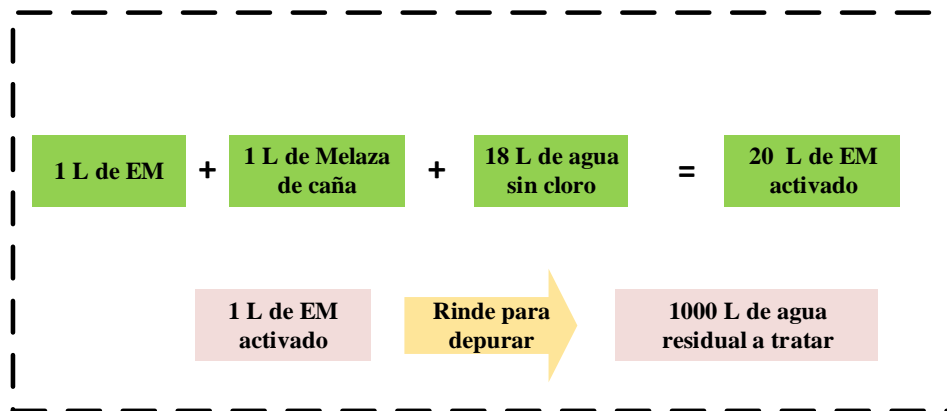


Figura 5. Activación de los Microorganismos Eficaces y proporción de rendimiento (EMRO, 2020)

3.5. Medición de parámetros

Se determinó los parámetros in situ (pH, CE, T° y OD) y los parámetros de laboratorio (DBO₅, DQO, SST, N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃, P-T y Turbiedad)

3.5.1. Parámetros *In situ*

Los parámetros monitoreados (pH, CE, OD y temperatura de los tratamientos) se determinaron en campo, en el anexo 1 se muestra la cadena de custodia de los parámetros diarios registrados manualmente a las 12:00 horas durante 22 días.

Se utilizó un multiparámetro portátil digital marca Hach modelo HQ40d con 2 puertos de salida (ver anexo 10), se empleó 3 electrodos para medición de los parámetros:

- Electrodo estándar de pH INTELLICAL con electrolito gel, rango de pH de 0 – 14; resolución de 0,1/0,01/0,001; precisión de ±0,002; rango de mV: ±1500 y resolución: 0.1mV.
- Electrodo estándar de Conductividad Eléctrica INTELLICAL de grafito, con un rango de conductividad de 0.01 uS/cm - 200 mS/cm y precisión: ± 0,5% de la lectura.
- Electrodo de Oxígeno Disuelto, modelo LDO10101, sensor estándar de LDO IntelliCAL, tecnología LDO basada en la luminiscencia, rango de medición de oxígeno disuelto: 0.00 a 20 mg/L, resolución: 0.01 mg/L.

Además todos los electrodos tienen sensores para la medición de temperatura con rango de -10 a 110 ° C y una resolución de 0.1 ° C.

Para medir las temperaturas de los tratamientos se usó un DATALOGGER de campo (ver anexo 10) de temperatura y humedad con plataforma arduino para medición en campo programado para medir 4 temperaturas en líquidos. Este equipo mide y graba parámetros físicos, ambientales como temperatura, humedad relativa. Estas temperaturas se midieron en tiempo real y se visualizaban en la pantalla táctil, además estos datos se graban en una memoria SD en archivo texto cada 2 minutos; el DATALOGGER cuenta con:

- Un sensor de Temperatura y Humedad DHT22, sensor de medición digital de Temperatura y Humedad utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, tiene una Precisión de humedad relativa de $\pm 2\%$ (típica), rango de 0 a 100 %HR; temperatura de precisión ± 0.5 ° C (típico), rango de -40 a 80 ° C, excelente estabilidad en alta humedad, resolución de Humedad 0.1%RH y temperatura 0.1 °C.
- Cuatro sensores de Temperatura NTC - termistor , con funda de acero inoxidable e impermeable, su rango de medición de -20 a 105 ° C, longitud de cable de 2 metros, tamaño de la sonda de 5 x 25 mm, salida de 2 cables, tipo de NTC 10k $\pm 1\%$ 3950 y la constante B: 3380 K - / + 1%.
- Fuente de alimentación de 5VDC/500mA a 100/240VAC - 50/60Hz
- Memoria SD de 4 GB.

3.5.2. Parámetros de laboratorio

Los análisis monitoreados de laboratorio fueron DBO₅, DQO, SST, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, P-Total y Turbidez, los análisis se realizaron en el laboratorio de ingeniería ambiental de la UPeU – campus Juliaca; los equipos utilizados

Para la medición de DBO₅ por el Método de diluciones se utilizó una incubadora (ver anexo 10) para DBO, marca Shel Lab, Modelo SRI3-2; rango de temperatura de 0 a 45 ° C con control de temperatura con una uniformidad de ± 0.5 °C, con pantalla digital LED controlada por microprocesador; la capacidad de 68 L para 62 botellas de DBO. Para medir el oxígeno se utilizó el multiparámetro portátil HQ40d y el electrodo con sensor estándar de LBO IntelliCAL

(Tecnología LDO basada en la luminiscencia) marca Hach con un agitador integrado para el uso en los usos de prueba BOD₅; con rango de 0 - 20 mg/L de Oxígeno Disuelto, rango de operación de 0 a 50 °C, no utiliza membrana ni necesita 30 minutos de polarización según recomendado por la EPA; se utilizó botellas para DBO con tapa esmerilada, de capacidad de 300 mL de material de vidrio borosilicato con dimensiones: 69 x 165 mm. Se utilizaron soluciones Buffer Nutriente Marca: Hach para la preparación de agua de dilución en 3 L de agua destilada; además se usó solución estándar de DBO marca Hach de concentración de 300 mg/L compuesto de glucosa y ácido glutámico; como inhibidor de Nitrificación marca Hach fórmula 2533 que contiene 2, cloro 6 y (triclorometil) piridina (N-Serve).

Para la medición de DQO, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, P-Total por el Método de Colorimetría se utilizó el colorímetro portátil marca: Hach Modelo: DR-900 con rango de longitud de onda de 420, 520, 560, 610 nm; detector fotodiodo de silicio; fuente de luz de diodo de emisor de luz (LED); modo de operación de concentración ABS, % T; programado para analizar 90 parámetros.

Los reactivos utilizados en el colorímetro todos fueron marca Hach 1) Reactivo Nitriver 5 para determinación de Nitratos con rango de 0.3 a 30.0 ó 0.1 - 10.0 mg/L N-NO₃; para determinación de nitritos en bajo rango el reactivo Nitriver 3 con rango: 0.002 - 0.300 mg/L, para Reactivo para Nitrógeno Amoniacal Marca Hach Co. (USA) de rango: 0.4-50.0 mg/L y para el Fósforo total el juego de reactivos marca Hach por el método Test N' Tube, de rango: 0.06 - 3.50 mg/L PO₄.

La turbidez fue determinado usando el método NTP 214.006 1999 - Método Nefelométrico, se utilizó el turbidímetro digital Marca VELD Modelo TB1, este equipo permite analizar la turbidez cumpliendo los requisitos del Método Nefelométrico ISO 7027 NTU (90°), con un rango de medición: desde 0 a 1000 NTU y exactitud: ± 2% (de 0 a 500 NTU). / ± 3% (de 501 a 1000 NTU); repetibilidad de ± 0.1 NTU ó 1% de la lectura, mayor con muestras en gel.

La tabla 23 muestra los parámetros analizados en laboratorio y el método de análisis.

Tabla 23
Métodos de análisis de laboratorio de los parámetros monitoreados

Parámetro	Método de análisis de laboratorio
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Método electrométrico. NTP 214.037:2015.
Determinación de la Demanda Química de Oxígeno	Método colorimétrico. NTP.360.501:2016.
Determinación de sólidos totales suspendidos.	Método gravimétrico. NTP. 214.039:2015.
Nitrógeno amoniacal	Método Colorimétrico
Nitrito	Método Colorimétrico
Nitrato	Método Colorimétrico
Fósforo total	Método Colorimétrico
Determinación de turbiedad	Método nefelométrico. NTP 214.006 1999.

3.6. Variables en estudio.

Las variables de estudio son:

Variable independiente : Tratamiento de aguas residuales

Variable dependiente : Parámetros monitoreados

- Temperatura de los tratamientos, pH, CE y OD.
- Carga orgánica (DBO₅, DQO, SST)
- Nitrógeno (Amoniacal, nitrito y nitrato)
- Fósforo total.
- Turbiedad

3.7. Tratamientos

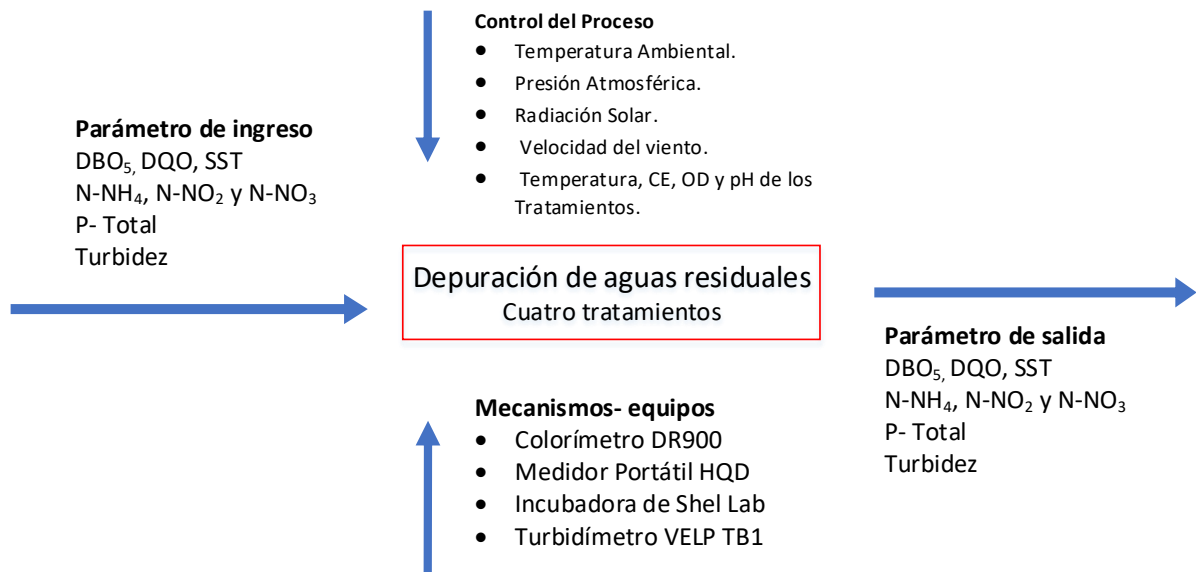
Se realizaron cuatro tratamientos con calentamiento solar con colectores planos de bajo costo.

- Tratamiento 1: Aerobio con ME + 220 mL ME para 110 L aplicado en esponja
- Tratamiento 2: Anaerobio con ME +220 mL ME para 110 L, aplicado en esponja
- Tratamiento 3: Anaerobio sin ME
- Tratamiento 4: Aerobio sin ME

3.8. Diseño metodológico

Según Hernández Sampieri et al. (2014) el diseño de la investigación es pre experimental de tipo descriptiva, se aplicó la t de student para muestras relacionadas.

I.



3.9. Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El tiempo retención hidráulica en cada tratamiento es de 22 días, con monitoreos diarios de los parámetros *in situ* y de laboratorio a los 0, 7, 14 y 22 días.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE INGENIERÍA

4.1. Instalación experimental

La figura 6 muestra la instalación que consta de 4 unidades experimentales de capacidad de 120L (2 con sistema de aireación) que actúan como reactores de mezcla completa tipo bach y están distribuidos de forma horaria como se muestra en la figura 6, a los cuales se denominan tratamientos, a su alrededor hay 4 colectores solares de plástico o denominados de “bajo costo”, el primer colector tiene una cubierta o domo de vidrio para protegerlo de los efectos de enfriamiento del viento y los tres restantes no.

El fluido caloportador es agua y la transferencia de energía solar captada por los colectores a los reactores se da por conducción a través de 6 tramos de tubería de aluminio (54 cm) colocada en la parte inferior de las bandejas, el diseño de circulación del fluido caloportador es un circuito cerrado con una bandeja concéntrica de 56L, con una bomba de 45W que lo distribuye uniformemente en una secuencia en serie (reactor más colector) retornando el fluido a la bandeja concéntrica. Los sistemas de aireación funcionan independientemente para cada uno de los tratamientos aerobios (1y 4) que consta de una bomba de 15W para el reactor 1 y 2, en el anexo 13 se presenta mayor detalle del diseño instalado.

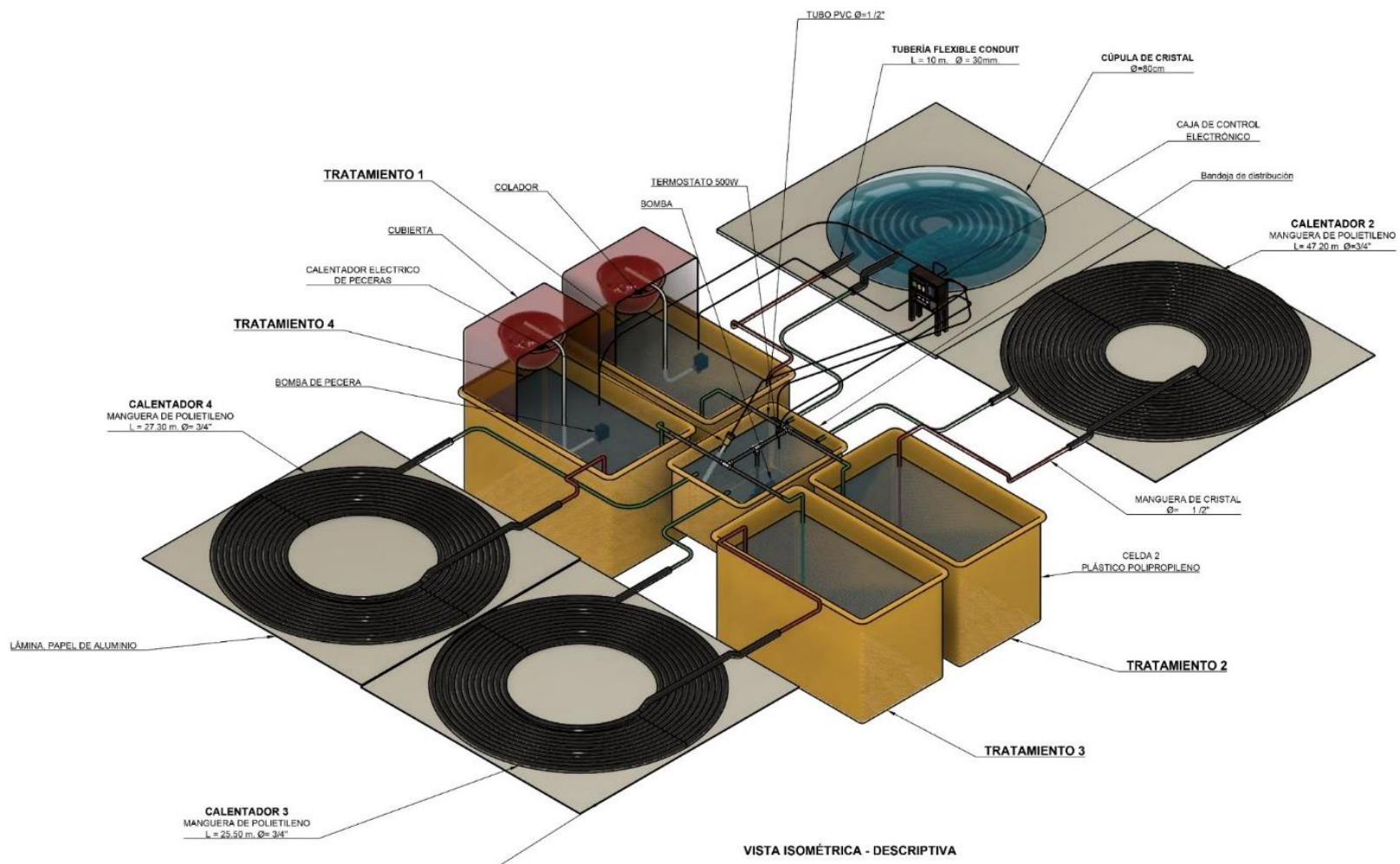


Figura 6. Vista isométrica de la instalación experimental

4.2. Criterios generales de diseño de calentamiento

Los datos de partida de las especificaciones técnicas de los diferentes materiales utilizados para desarrollar la investigación. Fueron:

- Fluido caloportador: Agua
- Tiempo de operación: 10 horas diarias desde las 7:00 a 17:00 horas.

Tabla 24
Especificaciones técnicas del reactor tipo bach y del distribuidor concéntrico

Reactores tipo Bach			Distribuidor concéntrico		
	Caja Rectangular		Caja Rectangular		
Material	Plástico		Material	Plástico	
Largo	81.3	cm	58	cm	
Ancho	49.7	cm	41.7	cm	
Alto	43.3	cm	30.6	mm	
Capacidad	120	L	56.05	L	

En la tabla 24 se muestra las dimensiones de los reactores de plásticos que fueron utilizadas para realizar el experimento. Los reactores tipo bach tienen una capacidad de 120 L pero el volumen utilizado fue de 110L, en el diseño hidráulico para la distribución uniforme del fluido caloportador se utilizó una caja concéntrica de capacidad de 56 L, pero el volumen utilizado fue de 45 L.

En la tabla 25 y 26 se muestran las especificaciones técnicas de los colectores solares, el colector solar 1 difiere de los demás porque fue construido con manguera corrugada negra de Φ 1" y con un domo protector y los demás fueron construidos con manguera de polietileno de alta densidad (HDPE) de Φ 3/4".

Tabla 25
Especificaciones técnicas del Colector solar 1

Colector Solar 1			
Especificación Técnica			
Diámetro de la cúpula	80	cm	
Altura de cúpula	15	cm	
Manguera corrugada negra de Φ 1"	10	m	
Diámetro externo exterior	30.04	mm	
Diámetro externo interior	26.97	mm	
Diámetro Interno exterior	0.028505	mm	
Dímetro interno interior	26.97	mm	
Espesor	3.07	mm	
Área de sección interna	0.000508	m ²	
Área de sección externa	0.000638	m ²	
Área efectiva solar	0.2851	m ²	
Volumen	0.00508	m ³	
Volumen	5.081	L	

La tabla 26 muestra las especificaciones técnicas de los colectores solares de plástico 2, 3 y 4.

Tabla 26
Especificaciones técnicas de los colectores solares 2, 3 y 4

	Colector 2		Colector 3		Colector 4	
	Especificación Técnica		Especificación Técnica		Especificación Técnica	
	Manguera de HDPE de Φ 3/4"					
Longitud	47.2	m	25.5	m	27.3	m
Diámetro externo	25.01	mm	25.01	mm	25.01	mm
Diámetro Interno	22.03	mm	22.03	mm	22.03	mm
Espesor	2.98	mm	2.98	mm	2.98	mm
Área de sección interna	0.00038	m ²	0.00038	m ²	0.00038	m ²
Área de sección externa	0.00049	m ²	0.00049	m ²	0.00049	m ²
Área efectiva solar	1.1805	m ²	0.6378	m ²	0.6828	m ²
Volumen	0.01799	m ³	0.00972	m ³	0.01041	m ³
Volumen	17.99	L	9.720	L	10.41	L

4.2.1. Diseño de los colectores solares planos

El colector 1 tiene un diseño diferente a los demás, está conformado con una manguera negra corrugada de diámetro nominal de 1" de 10 m de longitud cubierto con un domo de vidrio semiesférico de 15 cm de altura, el diámetro de la cúpula es de 80 cm como se muestra en la figura 7, este domo tiene la función de concentrar calor en cualquier dirección del sol y evitar las pérdidas de energía por acción del viento.

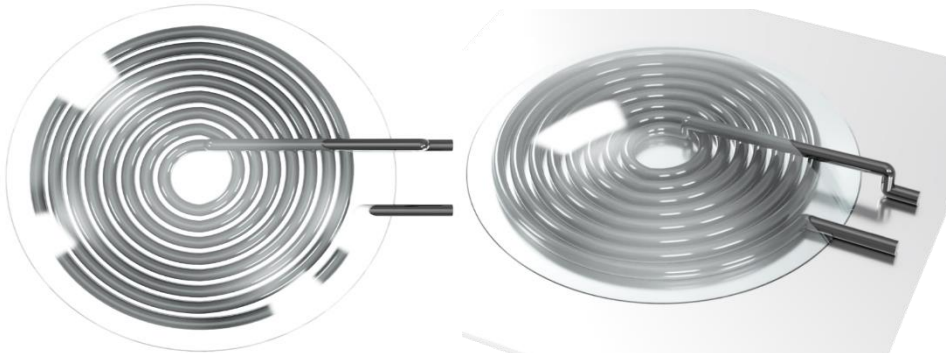


Figura 7. Vista de planta e isométrica del colector solar 1

En la figura 8, se muestra una vista de planta e isométrica del colector 2 de HDPE $\frac{3}{4}$ " de diámetro nominal de color negro sin cobertura, de longitud es de 47.2 m enrollado concéntricamente está colocado con una superficie de papel aluminio para la refracción de los rayos solares que concentre el calor.

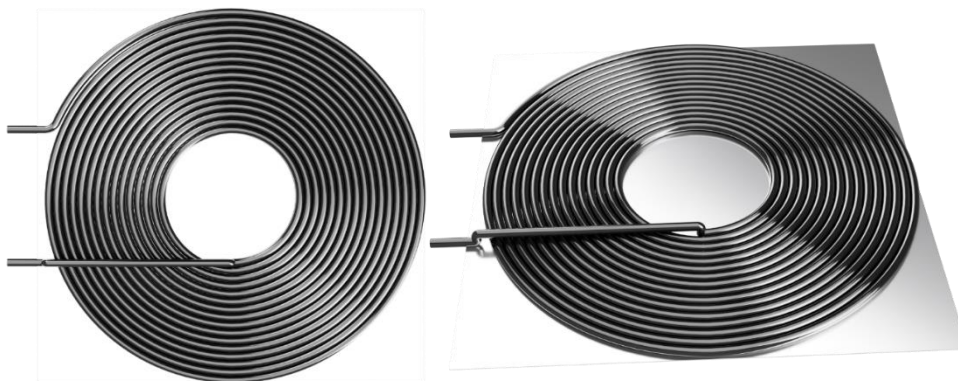


Figura 8. Colector 2 -Vista de Planta (izquierda) y vista isométrica (derecha)

En la figura 9, se presenta una vista de planta y vista isométrica del colector 3 de HDPE de $\frac{3}{4}$ " de color negro sin cobertura de 25.5 m de longitud de está constituido de manguera de HDPE de $\frac{3}{4}$ " de color negro, asentada en base de papel aluminio.

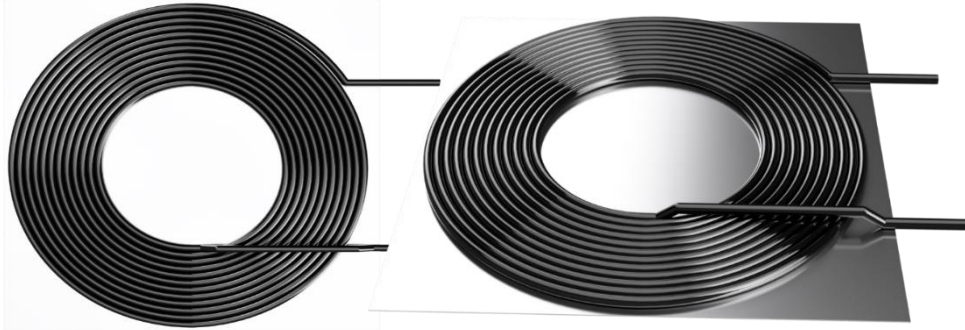


Figura 9. Colector 3 -Vista de Planta (izquierda) y vista isométrica (derecha)

En la figura 10, se presenta el colector 4 de manguera de HDPE de $\frac{3}{4}$ " de 27.3 m de longitud color negro enrollado concéntricamente asentada sobre una base de refracción de papel aluminio sin cobertura.

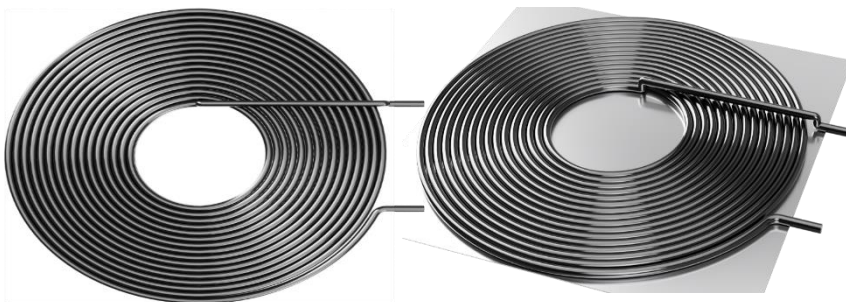


Figura 10. Colector 4 -Vista de Planta (izquierda) y vista isométrica (derecha)

4.3. Sistema de intercambio térmico

El efecto de las aguas residuales sobre sobre los materiales de la infraestructura de saneamiento se debe a fenómenos electroquímicos, procesos químicos y actividad microbiana de las aguas residuales que origina corrosión en los materiales (Marín, 2011). La investigación se ejecutó en condiciones altoandinas a los 3850 msnm, los colectores solares concentraron la energía solar e incrementaron la temperatura aumentando la actividad microbiana, el material empleado para la transferencia de energía por conducción fue aluminio de

conductividad eléctrica $37.7 \times 10^6 \text{ S/m}$, menor que el cobre de $58.108 \times 10^6 \text{ S/m}$ pero, con mejor propiedad de resistencia a la corrosión en aguas residuales y de muy bajo costo, además, de sus propiedades físicas como la su baja densidad, fortaleza, durabilidad, maleabilidad.

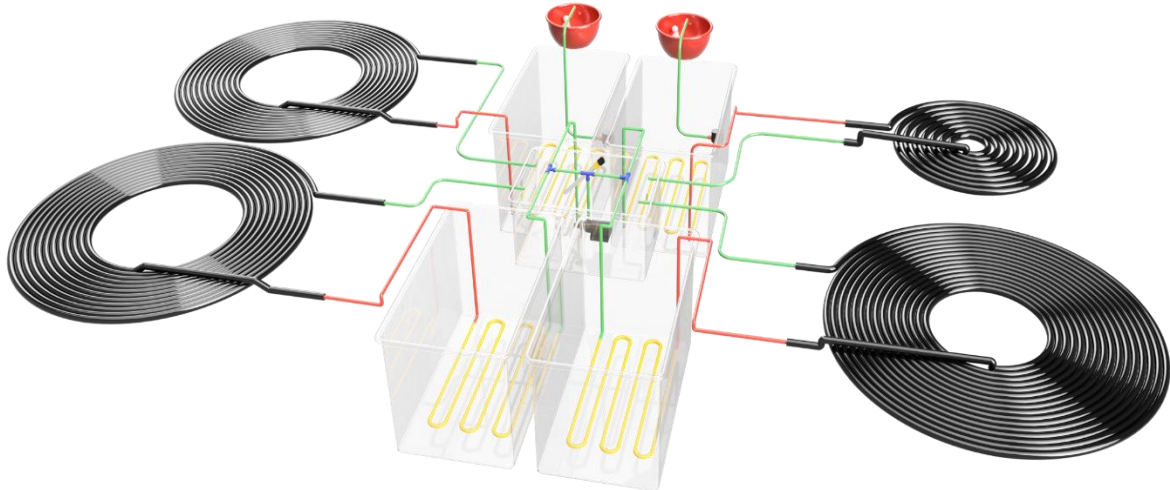
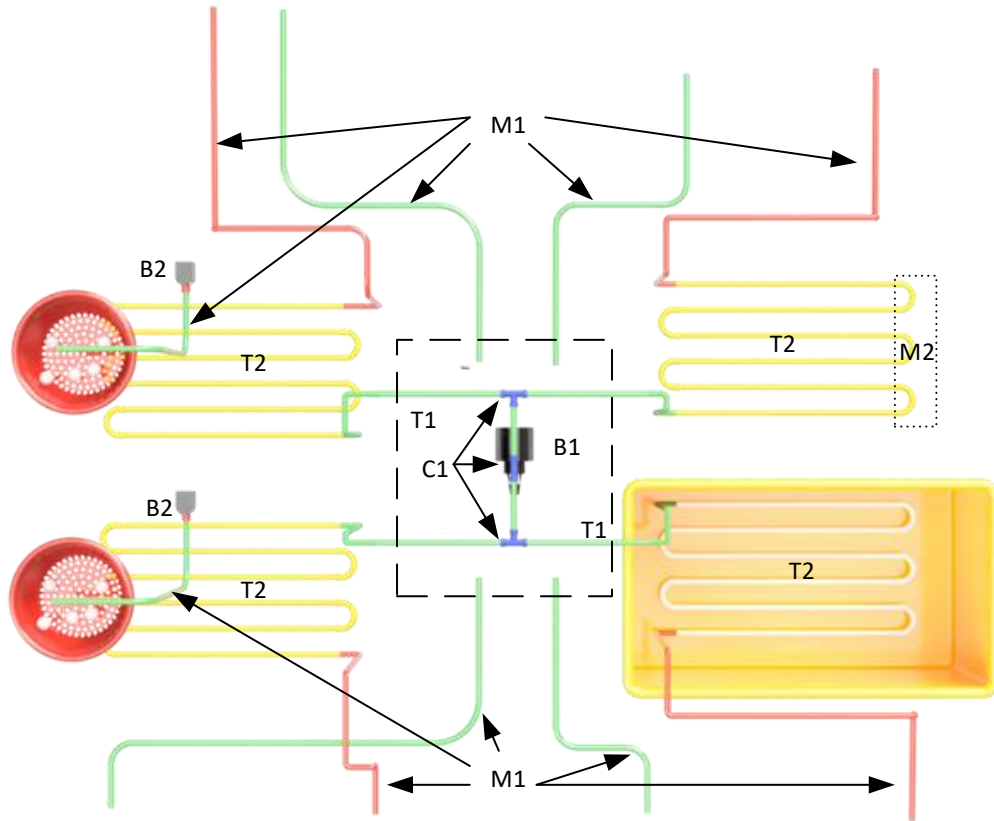


Figura 11. Sistema de intercambio de calor

En la figura 11 se muestra el sistema de intercambio de calor en cada reactor, la tubería amarilla representa la zona de transferencia de calor que se da por conducción a través de tubería de aluminio de $\Phi \frac{1}{2}$ " de diámetro nominal, constituida por 6 tramos de 53 cm de longitud en serie, unidos por manguera corrugada de $\Phi \frac{1}{2}$ " color gris, colocada en la parte inferior de la bandeja, como se muestra en la figura 11 y la transferencia de energía se hace por convección (fluido caloportador), conducción (tubo de aluminio) y convección (agua residual de las bandejas de los reactores bach), la tubería de aluminio esta tendida en la parte inferior de los recipientes con el objeto de que la distribución del calor al reactor sea uniforme, el agua de la bandeja de la parte inferior incrementa su temperatura pero disminuye su densidad lo que origina que suba a la superficie del reactor y el agua que está expuesto al ambiente con una temperatura menor desciende haciendo un ciclo en el reactor.

4.4. Circuito hidráulico

El circuito hidráulico está constituido por tuberías, mangueras y accesorios como codos y otros, en la figura 12 se muestra la distribución de bombas, tuberías y mangueras.



B1 : Bomba SOBO (WP 4880)

B2: Bomba SOBO (WP -1000F)

T1: Tubo PVC de agua de Φ 1/2"

T2: Tubo de aluminio de Φ 1/2"

C1: Codo de PVC de agua de Φ 1/2"

M1: Manguera transparente de plástico de Φ 1/2"

M2: Manguera corrugada flexible gris de Φ 1/2"

Figura 12. Distribución de bombas, tuberías y accesorios

En la figura 13, se muestra las bombas de agua utilizadas y en la tabla 27 se muestra las especificaciones técnicas.



Figura 13. Izquierda (Bomba WP – 4880) derecha (Bomba WP -1000F)

Tabla 27

Especificaciones técnicas de bombas

Bomba SOBO (Bomba WP - 4880)			Bomba SOBO (Bomba WP -1000F)		
Especificación técnica			Especificación técnica		
Marca	SOBO		Marca	SOBO	
Potencia	45	W	Potencia	15	W
Caudal máximo	3000	L/h	Caudal máximo	650	L/h
Altura máximo	2	m	Altura máximo	2	m
Diámetro	1/2	pulg.	Diámetro	1/2	pulg.
Voltaje	220 - 240	V	Voltaje	220 - 240	V
Frecuencia	50/60	Hz	Frecuencia	50/60	Hz

La bomba SOBO WP – 4880 (45 W de potencia) se utilizó para bombear todo el sistema del circuito hidráulico como se muestra en la figura 13, su caudal teórico es de 3000 L/h pero es caudal empírico se determinó en 632.85 L/h debido a las pérdidas de presión de todo el circuito.

La bomba Sobo WP-1000F (15 W de potencia) se empleó para los tratamientos aerobios, con un caudal máximo de diseño de 650 L/h, pero se determinó el caudal empírico en de 160 L/h (ver anexo 3)

En la figura 14, se muestra el estanque concéntrico de 56 L de capacidad con la bomba instalada y anclada en la base del recipiente.

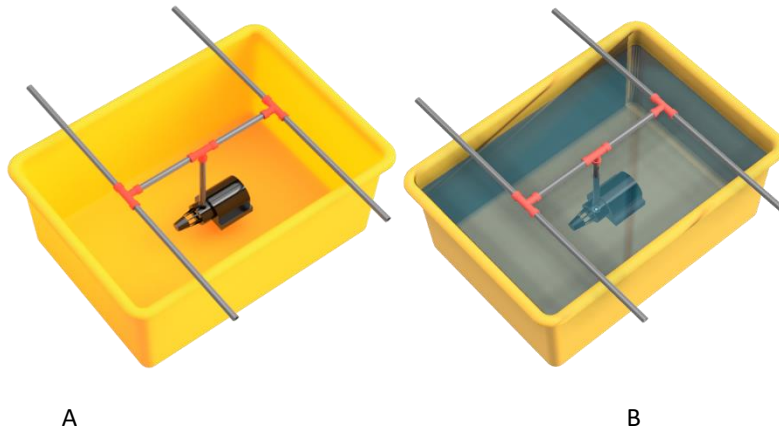


Figura 14. Estanque concéntrica de distribución del fluido caloportador. A sin agua y B con agua

En la figura 15, se presenta los sistemas de aireación empleado en los tratamientos 1 y 4, la bomba está anclada en la pared lateral izquierda del reactor, el tiempo de operación diaria fue de 10 horas de 7:00 a 17:00 horas durante el periodo experimental, con la finalidad de conservar energía en las bandejas, ya que en horas de la noche la temperatura disminuye considerablemente, el agua cae en la canastilla de plástico agujereada (ver anexo 13 - Lamina A-05).

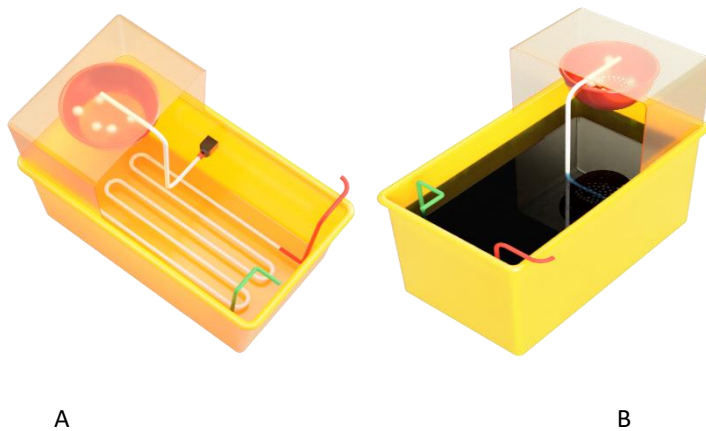


Figura 15. Sistema de aireación para los tratamientos aerobios. A sin agua y B con agua

En la figura 16, se muestra la operación del circuito hidráulico que da inicio en la bandeja concéntrica donde opera la bomba de agua SOBO WP – 4880 (45 W de potencia), la que bombea el fluido uniformemente a los 4 reactores tipo bach, en esta área el fluido tiene una sola temperatura (conductos rojos) que ingresa a los tratamientos; luego entra a la conductos

amarillos donde ocurre la transferencia de calor por conducción (tubería de aluminio – agua residual), en esta zona el fluido desciende su temperatura y sale a través de la conductos azules para luego ingresar a los colectores solares planos (conductos negros) donde incrementa su temperatura el mismo que desemboca a la bandeja concéntrica a través de los conductos rojos para luego iniciar otra vez el circuito.

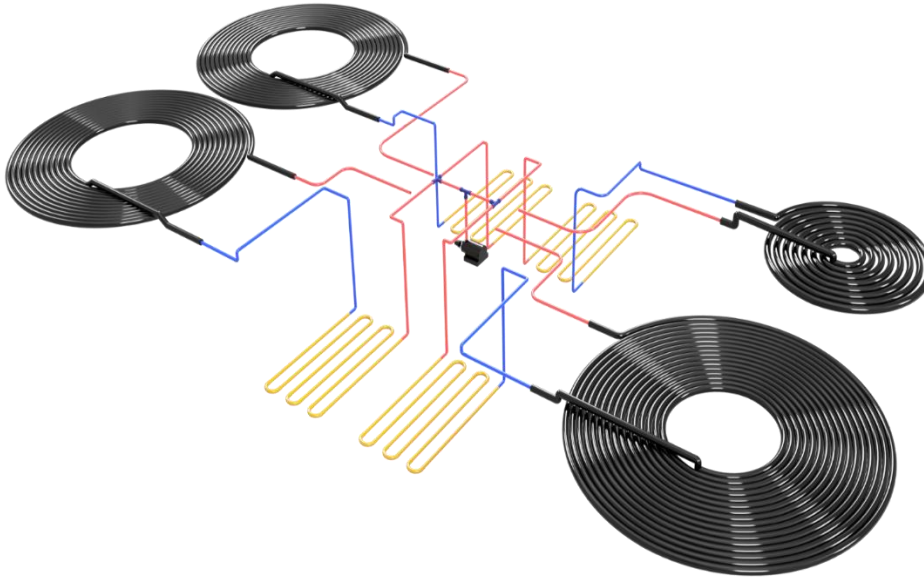


Figura 16. Operación del circuito hidráulico

La circulación hidráulica del fluido caloportador opera de adentro hacia afuera, los colectores solares están ubicados después de los reactores tipo bach porque cada colector difiere en área de captación solar, esto origina que cada colector vierta el fluido a diferentes temperaturas, por otra parte, la tubería de transferencia de calor es de aluminio la que está colocada en la parte inferior de las bandejas con el objeto de que el calor se distribuya uniformemente.

4.5. Determinación de las constantes cinéticas

Se utilizó el software Statistica para determinar las constantes cinéticas por métodos numéricos, los tratamientos son reactores bach que responden a la ecuación 10 (Sierra, 2011) de primer orden, es una ecuación exponencial cuyos ejes en función de “x” es el tiempo “y” en función de y son las concentraciones de los parámetros:

$$C = C_i * e^{-k*t} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde:

- ✓ C : Puede ser DBO_5 , DQO u otro parámetro (mg/L).
- ✓ C_i : Representa el intercepto con el tiempo (mg/L)
- ✓ k : Es la constante cinética o también denominada constante de tratabilidad ($día^{-1}$)
- ✓ t : tiempo en días

4.6. Determinación de eficiencia energética de los colectores solares planos

Se determinó la eficiencia o rendimiento de los colectores solares con la ecuación planteada por Navntoft y Paz (2019) (Ecuación 12) el rendimiento del colector se puede escribir como:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{(T_{mf} - T_{amb})}{I} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Donde:

- η : Eficiencia
- η_0 : Rendimiento óptico del captador
- a_1 : Coeficiente de pérdidas térmicas en $[W/m^2 \text{ } ^\circ C]$
- T_{mf} : Temperatura media del fluido caloportador ($^\circ C$)
- T_{amb} : Temperatura ambiental ($^\circ C$)
- I : Irradiancia sobre la superficie del captador (W/m^2)

4.6.1. Costo energético por KWh

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2020), el costo es de 6.8 centavos de USD por kilovatio-hora para energía renovables producida por la energía solar fotovoltaica, el costo del operador Hidrandina es de 0.6435 soles por KWh soles a diciembre del 2019 y el costo del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERMIN, 2020) es de 0.669 soles por KWh.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación se realizó en condiciones altoandinas a los 3830 msnm, con una presión atmosférica promedio de 642.51 mbar o 0.634 atm en 22 días del periodo experimental, a condiciones ambientales no controladas; en la tabla 28 muestra los promedios de caudales empíricos de los colectores (ver anexo 3).

Tabla 28
Promedios de caudales de los colectores

Colector	Caudales		
	L/s	L/min	L/h
Colector 1	0.0290	1.74	104.52
Colector 2	0.0383	2.30	138.02
Colector 3	0.0525	3.15	188.90
Colector 4	0.0559	3.36	201.41
Totales	0.1758	10.55	632.85

4.1. Caracterizar del agua residual de origen doméstico y determinar la carga orgánica (DBO₅, DQO y SST), el nitrógeno (amoniaco, nitrito y nitrato) y fósforo total.

La tabla 29 muestra los resultados de los parámetros del agua residual domestica a 22°C monitorea *in situ* a las 12 m aproximadamente.

Tabla 29
Resultados de los valores iniciales de los parámetros monitoreados del agua residual doméstica

Parámetros											
<i>In situ</i>					Laboratorio						
Temp.	pH	CE	OD	Turbiedad	DQO	DBO ₅	SST	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P -Total
°C	-	µS/cm	mg/L	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
22	7.15	1330	0.11	159	434.8	182	90	36	0.23	10.4	56.7

La tabla 29 muestra que el OD inicial fue de 0.11 mg/L; el valor de pH es de 7.15 (nivel medio) y la CE de 1340 µS/cm (nivel alto) que son valores típicos de aguas residuales urbanas de acuerdo a Henze (1992). La DBO₅ (182 mg/L) y DQO (434.8 mg/L) corresponde a una concentración media y los SST (90 mg/L) a una concentración baja de acuerdo a Metcalf y Eddy (1995); el N-NH₄ (36 mg/L) corresponden a valores medios de aguas residuales urbanas según Sánchez-Ramírez et al. (2017) y el N-NO₃⁻ (10.4 mg/L)+ N-NO₂⁻ (0.23 mg/L) y P-Total (56.7 mg/L) corresponden aguas residuales municipales con alto contenido de nutrientes según Henze y Comeau (2011). Además, la turbidez tiene un valor de 159 UNT como dato referencial de transparencia del agua.

La relación de DBO₅:N:P está en 100:26:31 que de acuerdo al Manual de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados (CEA, 2013) es una relación no óptima para el desarrollo de procesos biológicos.

Con los valores de los parámetros de la tabla 29 fueron determinados los ratios mostrados en la tabla 30.

Tabla 30
Ratios de parámetros

Relación	Valor
DBO ₅ /DQO	0.4
DQO/DBO	2.4
DQO/P-Total	7.67
DBO/P-Total	3.21

El ratio DBO₅/DQO presenta un valor de 0.4 que de acuerdo a la tabla 9 (Ardila et al., 2012) es poco biodegradable y de acuerdo a la Manual de operación y mantenimiento de plantas de

tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados (CEA, 2013) el agua presenta influencia industrial.

Según Henze y Comeau (2011) el ratio DQO/DBO corresponde a una relación media típica de aguas residuales municipales, las relaciones es DQO/P-Total y DBO/P-Total no corresponde relaciones de aguas residuales municipales.

La figura 17 muestra el comportamiento del potencial de Hidrógeno, la figura 18 se muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica durante el periodo experimental y en la figura 19 se muestra el comportamiento del oxígeno disuelto.

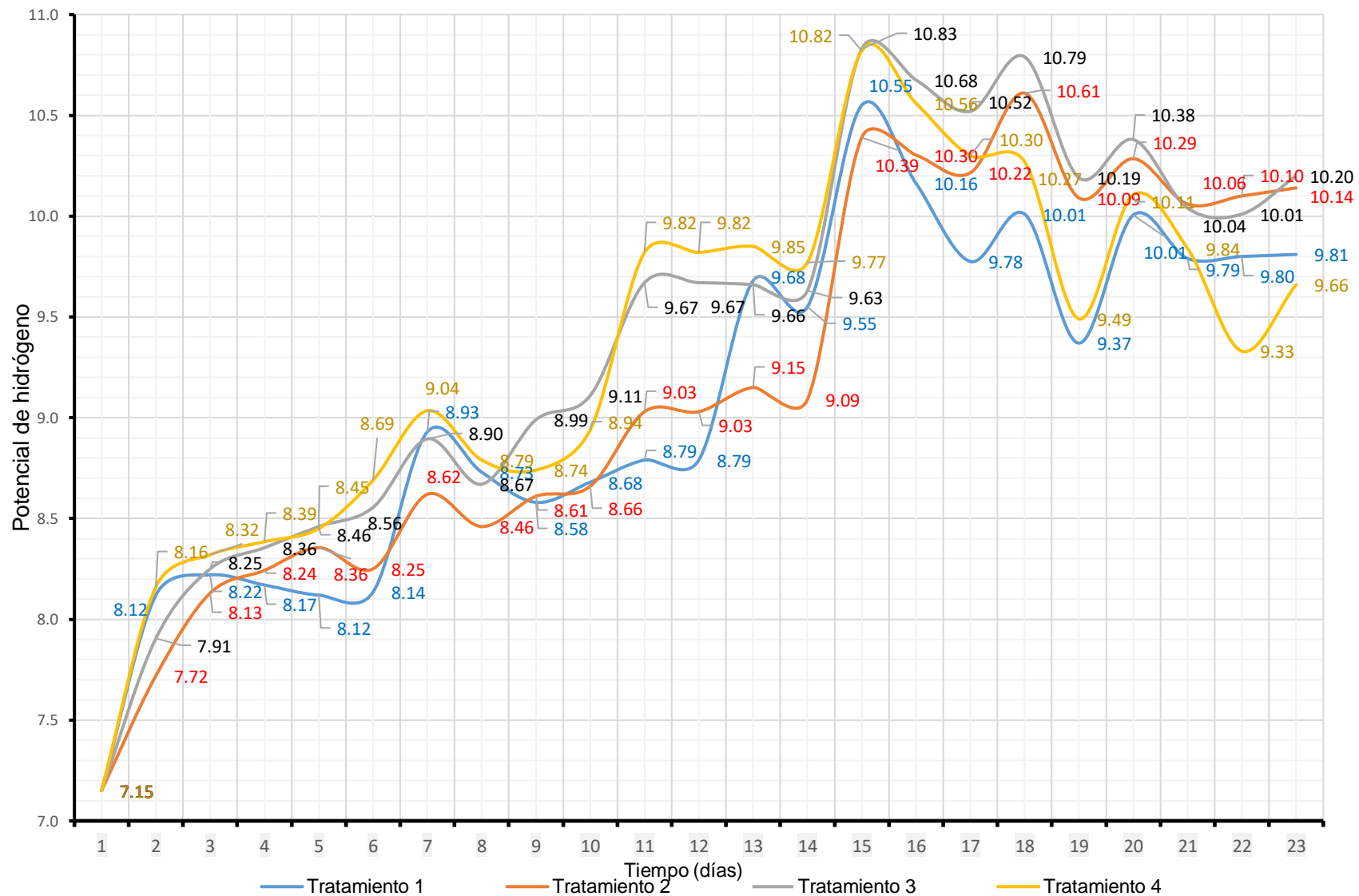


Figura 17. Comportamiento del potencial de hidrógeno

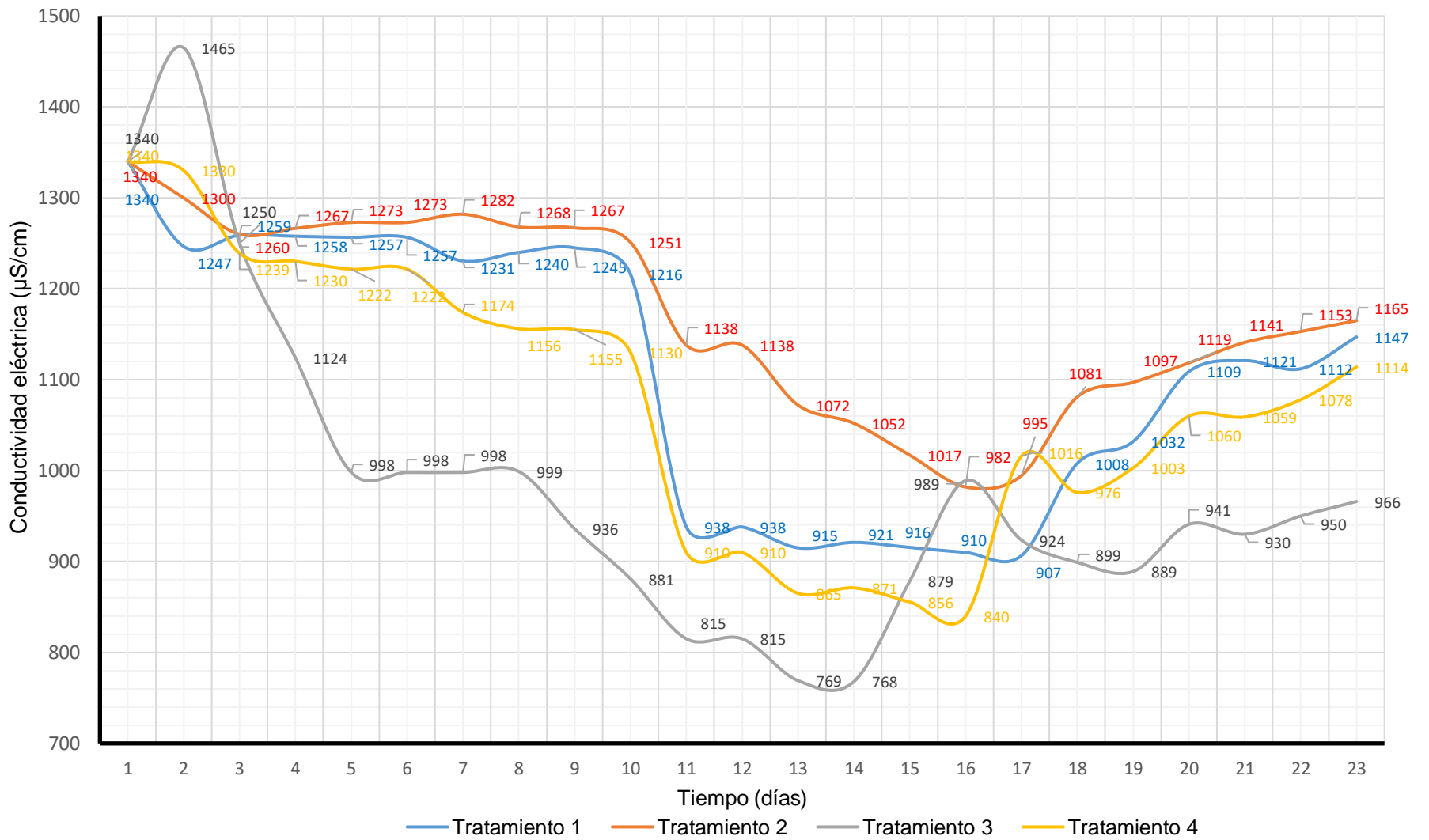


Figura 18. Comportamiento de conductividad eléctrica

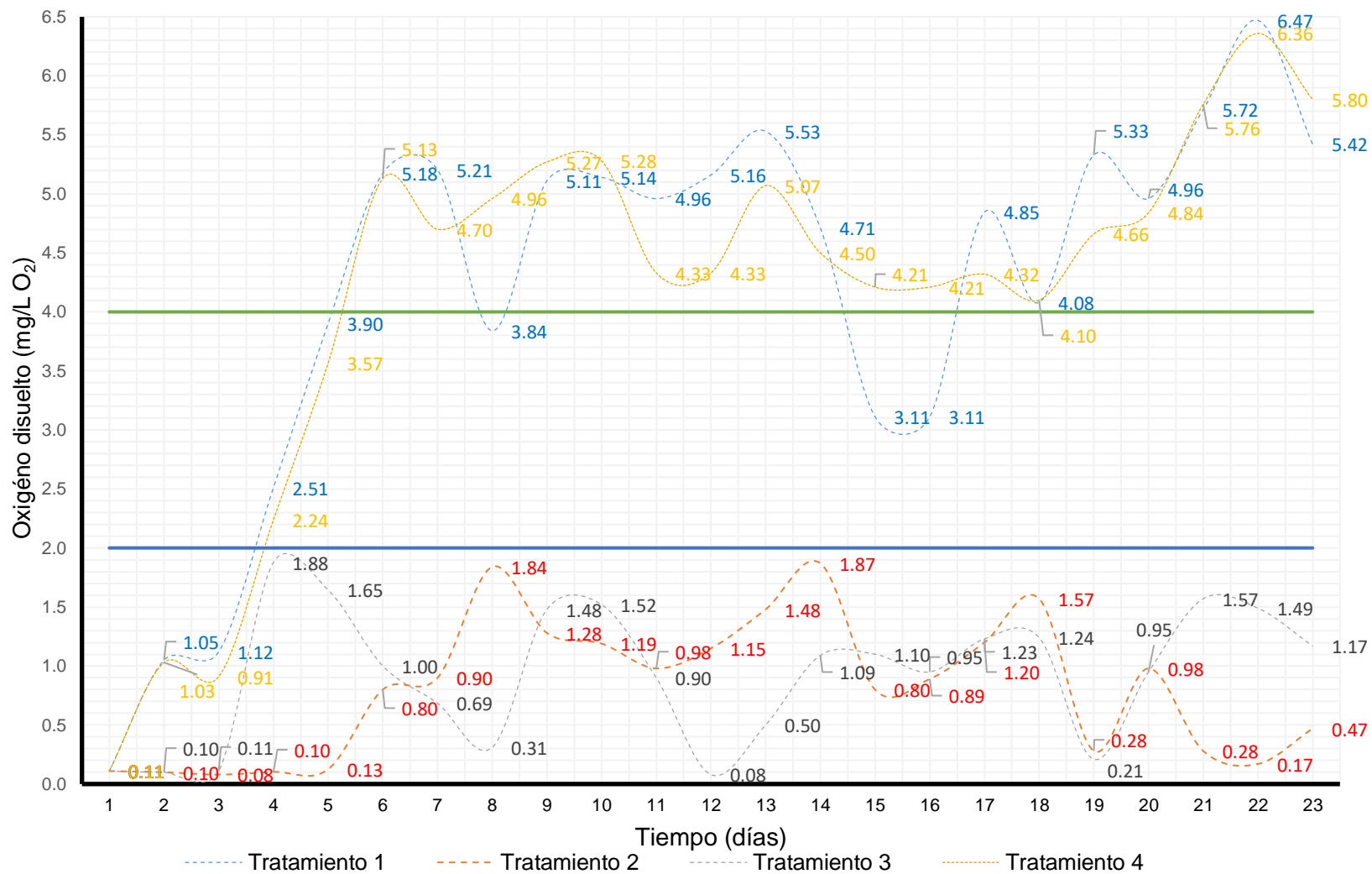


Figura 19. Comportamiento del oxígeno disuelto

Como se observa en la figura 17, los sistemas tienden a alcalinizarse durante el periodo experimental, los tratamientos anaerobios se alcalinizan más que los aerobios. De acuerdo con, Metcalf y Eddy (1995), las aguas residuales son alcalinas. Además, la concentración inicial de N-NH_4^+ y el N-NO_3^- son altas y el nitrógeno amoniacal en el proceso de nitrificación se oxida a nitrato, factor que influye en la alcalinidad alcanzando su valor máximo a los 15 días para los 4 tratamientos.

En la figura 18, se observa el comportamiento de la conductividad eléctrica de los tratamientos durante el periodo experimental, estos tienden a disminuir sus valores, el tratamiento 3 es el que obtiene valores menores en comparación con los otros, esta tendencia presenta una inflexión desde el día 14 hasta el 17 para los tratamientos, la conductividad depende de la temperatura (DIGESA, 2005). Los valores de los tratamientos de conductividad eléctrica están en el orden de 966 a 1165 $\mu\text{S/cm}$, Torres (2019) menciona que los valores normales de conductividad en ARU oscilan en el rango de 500 a 1500 $\mu\text{S/cm}$, mayores 3.000 $\mu\text{S/cm}$, afectan al proceso biológico de depuración que impide el desarrollo de una comunidad bacteriana estable.

En la figura 19, se presenta el comportamiento del oxígeno disuelto, en los sistemas aerobios (Tratamiento 1 y 4) el aporte de oxígeno es por el sistema de aireación, sin embargo en los sistemas anaerobios (Tratamiento 2 y 3), el aporte de oxígeno es debido al crecimiento de algas (Isla de Juana, 2005). Romero (2010) declara que en todo proceso aerobio la concentración de OD debe ser mayor de 0.5 mg/L y la cantidad de oxígeno transferido en un tanque de aireación debe ser suficiente para satisfacer la demanda de la masa microbial y para mantener un residual de OD de 2.0 mg O_2/L ”

Según Buitrón et al. (2018), la concentración mínima de OD en el tanque de aireación debe de estar entre 1.0 a 2.0 mg O_2/L , aunque en sistemas con nitrificación puede estar entre 2 a 4 mg O_2/L ; pero valores superiores a 4 mg O_2/L apenas mejoran la operación pero incrementan el consumo de energía que repercute en los costos de operación.

La figura 20 muestra el comportamiento de la temperatura media horaria diaria de los tratamientos y la ambiental, estas temperaturas de los tratamientos (reactores bach) fueron medidas con sensores arduino en el periodo de operación (22 días) y la temperatura ambiental fue obtenida de la estación meteorológica (ver anexo 4).

En la figura 21, se presenta el comportamiento de la temperatura promedio diaria de los tratamientos y la temperatura ambiental a lo largo de los 22 días del periodo experimental, valores promediados desde las 12:00 horas hasta las 11:30 horas del siguiente día.

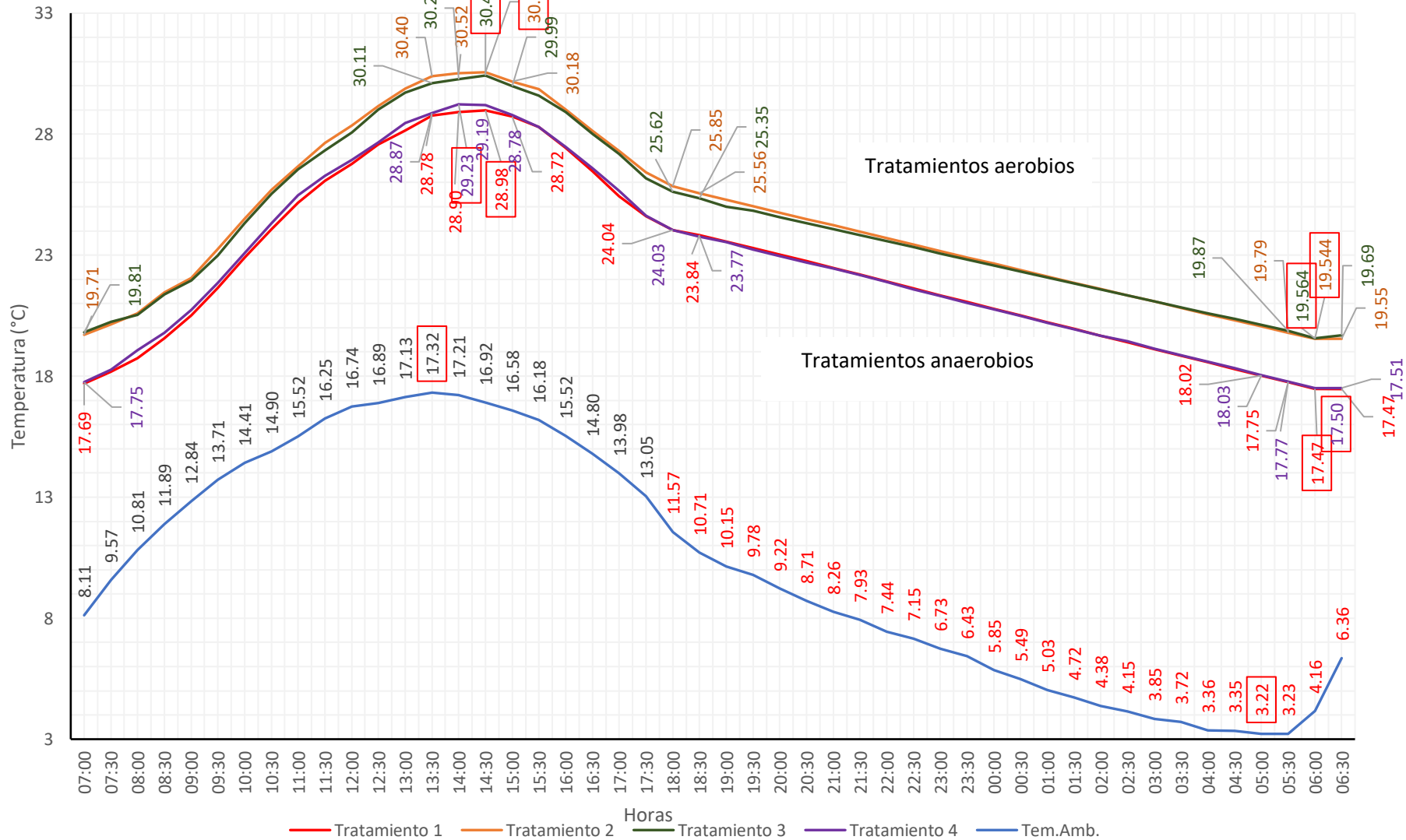


Figura 20. Comportamiento de la temperatura media horaria diaria de los tratamientos y la ambiental

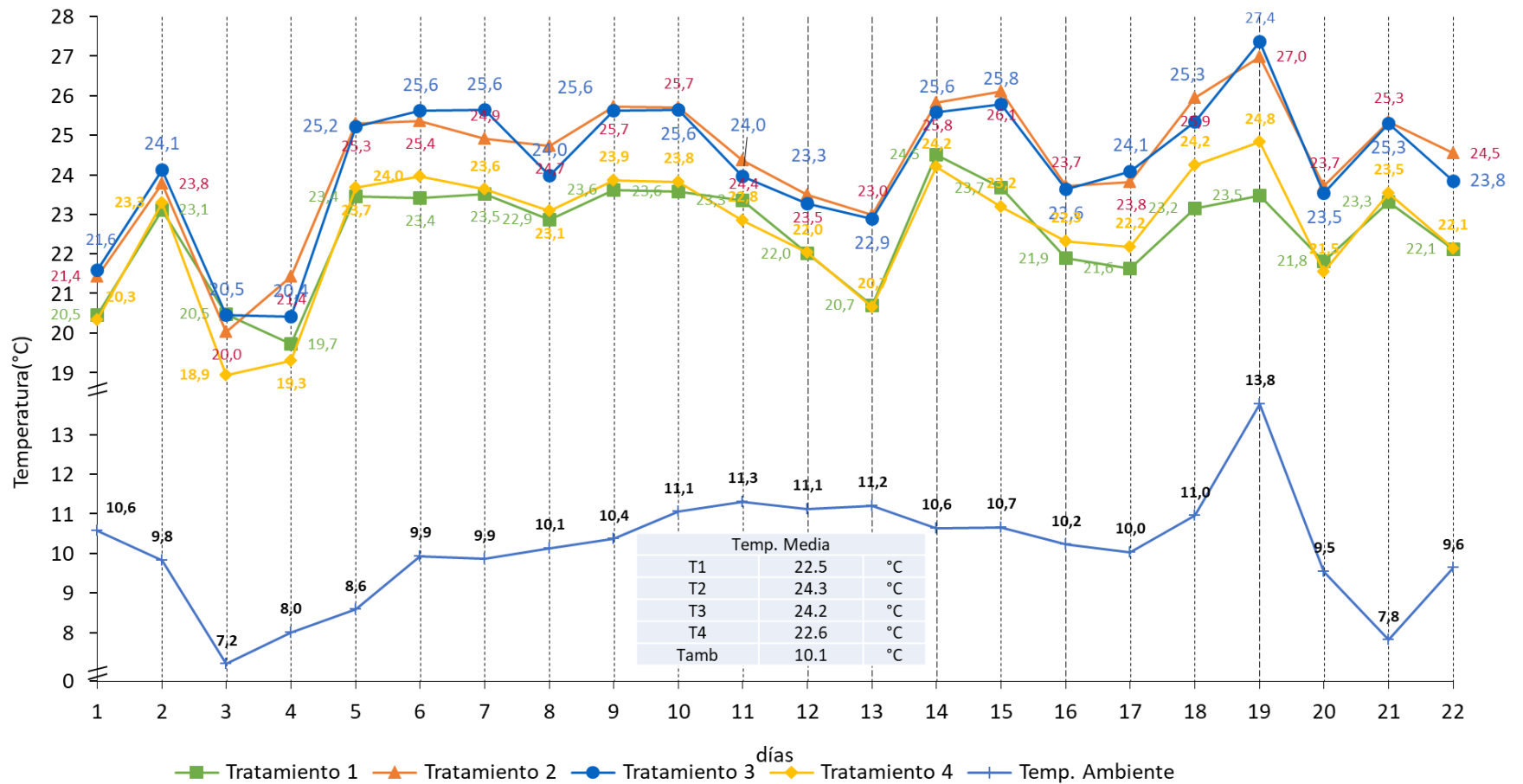


Figura 21. Comportamiento de la temperatura promedio diario de los tratamientos y la ambiental

La figura 20 muestra que la temperatura media ambiental obtiene su mayor valor a las 13:30 horas (17.32 °C), los tratamientos 1, 2 y 3, sin embargo, obtiene su mayor temperatura a las 14:30 horas con valores de 28.98, 30.56 y 30.42 °C respectivamente y el tratamiento 4 su valor máximo se da a las 14:00 horas (29.23 °C); por otro lado, la temperatura ambiental menores a 4 °C son entre las 3:00 a 5:30 horas y las temperaturas bajas de los tratamientos 1, 2, 3 y 4 se presenta a las 6:00 horas con valores de 17.47, 19.54, 19.56 y 17.50 °C respectivamente pero estos valores promedios son casi similares entre las 6:00 horas.

La figura 2, muestra el comportamiento de la temperatura de los tratamientos y ambiental, la temperatura ambiental presenta su pico máximo el día 19 (13.8 °C) y los picos más bajos se dan los días 3 y 21 (7.2 y 7.8 °C), sin embargo, el comportamiento de las temperaturas de los tratamientos es variable, los tratamientos anaerobios (T2 y T3) presentan valores mayores que los tratamientos aerobios (T1 y T4), producto del efecto de enfriamiento por aireación.

Según Trapote (2011), la temperatura condiciona los procesos de depuración biológica; y de acuerdo a la Alianza por el Agua (2008) las temperaturas de los tratamientos anaerobios están en rangos de 15 a 40 °C y para los tratamientos aerobios las bacterias aerobias se mantienen viables en el intervalo 10 a 40 °C; las temperaturas promedio de los tratamientos están por encima de los 22 °C y están dentro de los rangos, para Isla de Juana (2005) las lagunas anaerobias no trabajan por debajo de 15°C.

4.2. Determinar el cumplimiento de resultados obtenidos con normas nacionales e internacionales.

Los parámetros fisicoquímicos monitoreados de las aguas residuales están obligados al cumplimiento de un marco normativo de saneamiento, en esta investigación se compara los resultados de los tratamientos con las normas encontradas en las portales oficiales publicados por los estados, sobre vertimientos de aguas residuales domesticas o urbanas. Para el análisis se consideran normas nacionales e internacionales (España, Colombia, México y de la comunidad de Andalucía-España), las gráficas se realizan ordenando los LMP de mayor a menor exigencia de cumplimiento.

La tabla 31 muestra los resultados de los parámetros determinados en laboratorio (ver anexo 6).

Tabla 31
Resultados de los parámetros determinados en laboratorio

	Tiempo	DBO ₅	DQO	SST	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	P -Total	Turbiedad
	días	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UNT
1	0	182.00	434.80	90.1	36	0.230	10.4	56.7	159.00
	7	80.00	180.21	41.3	24	0.006	1.5	38.9	35.70
	14	43.60	102.00	21.4	0	0.013	1.1	14.1	19.23
	22	36.60	84.00	10.0	0	0.000	0.4	10.0	5.75
2	0	182.00	434.80	90.1	36	0.230	10.4	56.7	159.00
	7	102.00	329.00	64.1	26	0.021	3.3	54.9	133.40
	14	58.70	194.00	37.0	7	0.001	0.8	30.5	105.55
	22	44.60	140.25	30.0	0	0.000	0.2	16.7	97.80
3	0	182.00	434.80	90.1	36	0.230	10.4	56.7	159.00
	7	87.00	265.25	71.0	19	0.011	4.2	55.0	138.20
	14	57.10	179.00	47.0	3	0.010	2.9	31.8	110.50
	22	43.50	129.00	39.0	0	0.000	1.8	21.8	101.00
4	0	182.00	434.80	90.1	36	0.230	10.4	56.7	159.00
	7	83.50	236.50	51.3	28	0.002	1.8	41.4	59.10
	14	47.20	129.00	29.3	0	0.004	1.5	16.6	27.25
	22	38.20	116.50	19.0	0	0.000	0.6	12.9	20.10

La tabla 31 muestra los resultados de los parámetros determinados en laboratorio a los 0, 7, 14 y 22 días de los cuatro tratamientos. La tabla 32 muestra la prueba t de Student para medias de dos muestras emparejadas de los parámetros determinados en los tratamientos. No se observó evasión de supuestos de normalidad con la prueba Shapiro-Wilk ($p > 0.01$) excepto para nitrógeno en forma de amonio y nitrito ($p < 0.01$) (ver anexo 11), asimismo, no se observó evasión de los supuestos de homogeneidad de varianzas en todos los parámetros analizados ($p > 0.01$, Estadístico de Levene) (ver anexo 11).

Tabla 32
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

		Diferencias relacionadas							
	Tratamientos	Diferencia de la Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
Tratamiento 1	DBO	145.397**	1.446	0.8348	141.80	148.99	174.17	2	0.000
	DQO	350.797**	0.785	0.4532	348.85	352.75	774.00	2	0.000
	SST	80.144**	1.379	0.7959	76.72	83.57	100.69	2	0.000
	N-NH ₄ ⁺ (1)	36.000**	1.000	0.5774	33.52	38.48	62.35	2	0.000
	N-NO ₂ ⁻ (1)	0.230**	0.015	0.0089	0.19	0.27	25.88	2	0.001
	N-NO ₃ ⁻	10.000**	0.650	0.3753	8.39	11.61	26.65	2	0.001
	P _{Total}	46.697**	0.945	0.5455	44.35	49.04	85.61	2	0.000
	Turbiedad	153.257**	1.425	0.8228	149.72	156.80	186.26	2	0.000
Tratamiento 2	DBO	137.400**	2.150	1.2415	132.06	142.74	110.68	2	0.000
	DQO	294.547**	0.986	0.5693	292.10	297.00	517.40	2	0.000
	SST	60.144**	1.468	0.8478	56.50	63.79	70.94	2	0.000
	N-NH ₄ ⁺ (1)	36.000**	1.000	0.5774	33.52	38.48	62.35	2	0.000
	N-NO ₂ ⁻ (1)	0.230**	0.015	0.0089	0.19	0.27	25.88	2	0.001
	N-NO ₃ ⁻	10.197**	0.629	0.3629	8.64	11.76	28.10	2	0.001
	P _{Total}	39.997**	0.699	0.4038	38.26	41.73	99.04	2	0.000
	Turbiedad	61.207**	0.670	0.3869	59.54	62.87	158.20	2	0.000
Tratamiento 3	DBO	138.503**	2.059	1.1885	133.39	143.62	116.53	2	0.000
	DQO	305.797**	2.065	1.1922	300.67	310.93	256.49	2	0.000
	SST	51.144**	1.771	1.0224	46.75	55.54	50.02	2	0.000
	N-NH ₄ ⁺ (1)	36.000**	1.000	0.5774	33.52	38.48	62.35	2	0.000
	N-NO ₂ ⁻ (1)	0.230**	0.015	0.0089	0.19	0.27	25.88	2	0.001
	N-NO ₃ ⁻	8.603**	0.852	0.4917	6.49	10.72	17.50	2	0.003
	P _{Total}	34.903**	0.410	0.2368	33.88	35.92	147.39	2	0.000
	Turbiedad	58.007**	1.951	1.1261	53.16	62.85	51.51	2	0.000
Tratamiento 4	DBO	143.800**	1.782	1.0289	139.37	148.23	139.76	2	0.000
	DQO	318.297**	0.787	0.4544	316.34	320.25	700.48	2	0.000
	SST	71.138**	1.384	0.7988	67.70	74.57	89.06	2	0.000
	N-NH ₄ ⁺ (1)	36.000**	1.000	0.5774	33.52	38.48	62.35	2	0.000
	N-NO ₂ ⁻ (1)	0.230**	0.015	0.0089	0.19	0.27	25.88	2	0.001
	N-NO ₃ ⁻	9.803**	0.622	0.3589	8.26	11.35	27.31	2	0.001
	P _{Total}	43.800**	0.347	0.2003	42.94	44.66	218.64	2	0.000
	Turbiedad	138.907**	2.426	1.4007	132.88	144.93	99.17	2	0.000

** Diferencia altamente significativa (1 %)

(1) No cumple con la prueba de normalidad

Los resultados de la tabla 32 muestra que los tratamientos son efectivos, porque el valor de las probabilidades de los parámetros analizados son similares y significativos para un nivel de confianza del 95%; salvo el nitrógeno amoniacal y nitrógeno (nitrito) que no cumplen con el supuesto de la normalidad porque los valores finales son cero, debido a que el nitrógeno amoniacal se oxida a nitrito y luego a nitrato durante el tiempo experimental. Del análisis de la prueba t de los 4 tratamientos se demuestra que la depuración de agua residual fue efectivo

en los cuatro reactores que tuvieron calentamiento solar. La figura 22 presenta la comparación de la DBO₅ con los LMP de 6 normas.

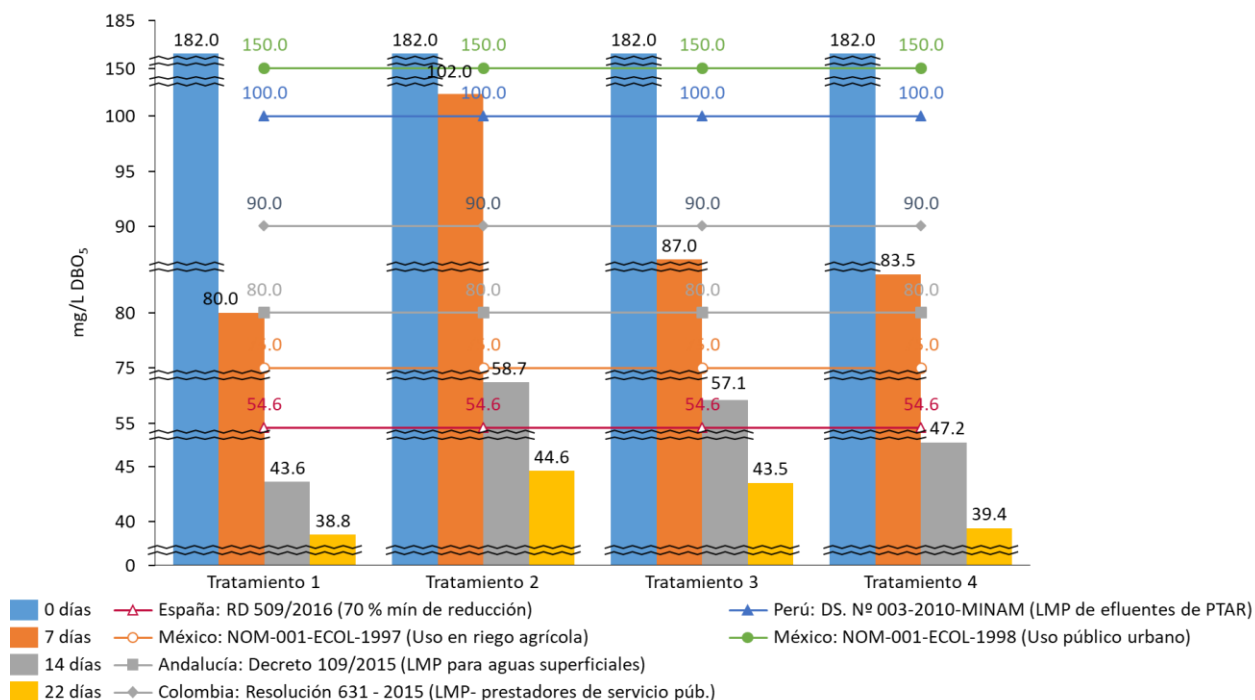


Figura 22. Demanda bioquímica de oxígeno versus los límites máximos permisibles de las normas nacionales y extranjeras

La DBO₅ es el parámetro más requerido por las normas, la de mayor exigencia es la norma española RD 509/2016 (70% mínimo de reducción), todos los tratamientos son efectivos, y muestran valores por debajo de las normas, incluso de las más exigentes, como la de la española.

El segundo parámetro más requerido por los marcos normativos de los países es la DQO, en la figura 23, se presenta DQO con los LMP de la norma nacional y normas internacionales, las normas mexicanas no consideran este parámetro para los vertimientos de aguas residuales.

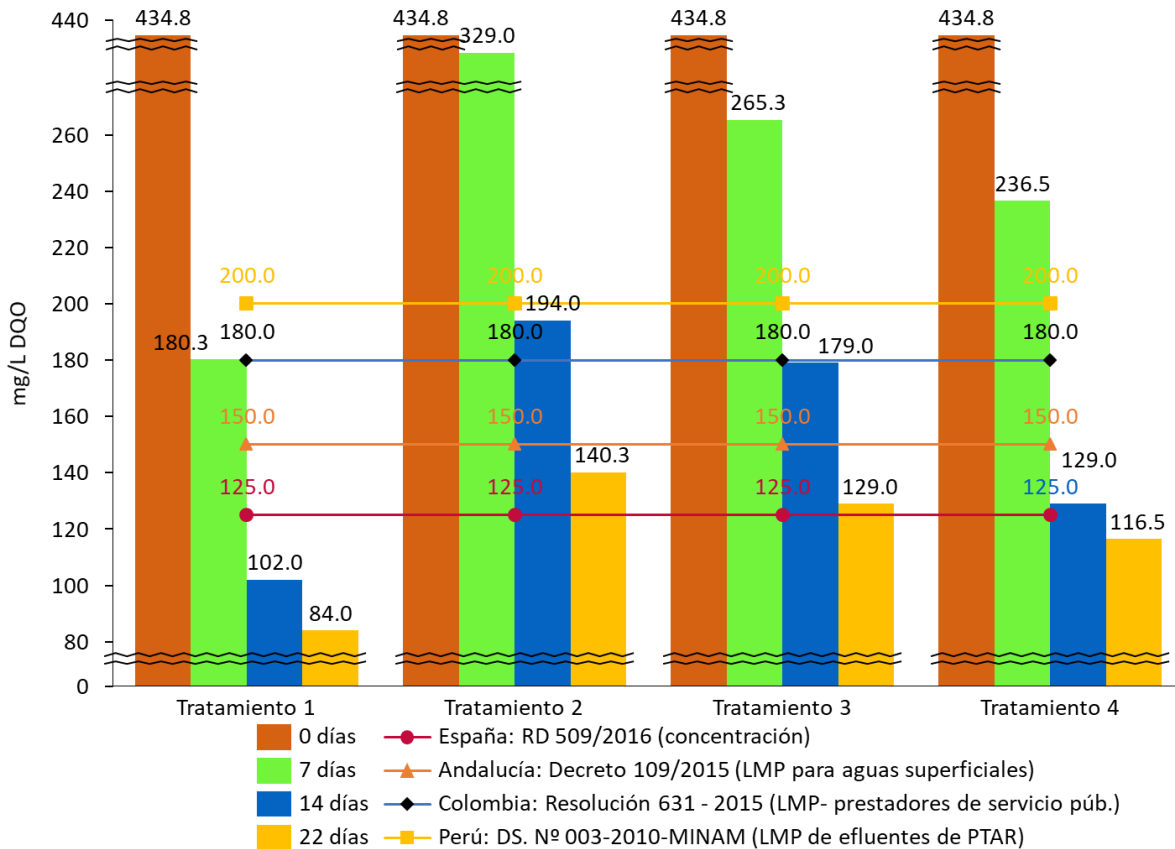


Figura 23. Demanda química de oxígeno versus los límites máximos permisibles de las normas nacionales e internacionales

Como se aprecia en la figura 23, el requerimiento menos exigente lo posee la norma peruana con 200 mg/L valor que todos llegan a cumplir a los 15 días, sin embargo, el de mayor exigencia corresponde a la norma española RD 509/2016 con una concentración de 115 mg/L que solamente los tratamientos aerobios lo llegan a cumplir, pero hay que notar que el tratamiento 1 a los 15 días su valor es inferior con 102 mg/L.

En la figura 24, se presenta los SST vs las exigencias de las normas internacionales, el DS. N° 003-2010-MINAM no se considerado por las unidades que presenta en mL/L, y el análisis esta hecho en mg/L.

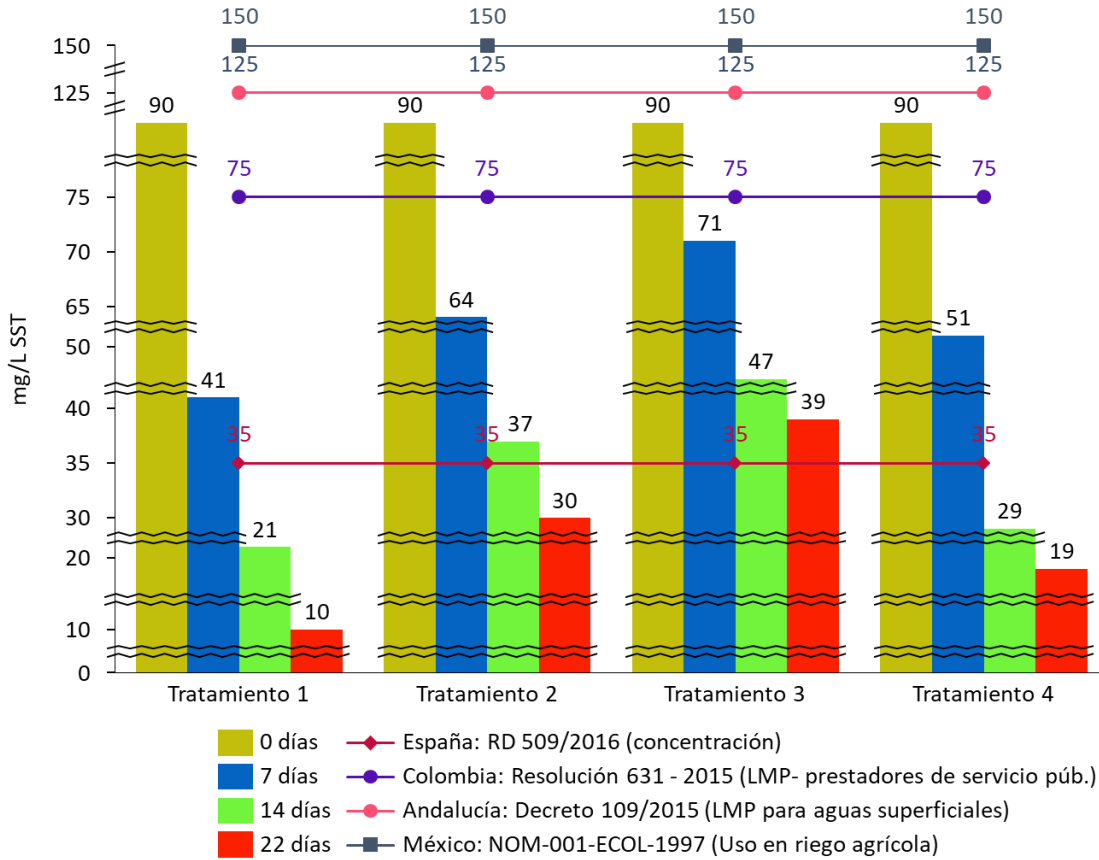


Figura 24. Sólidos suspendidos totales versus los límites máximos permisibles de las normas internacionales

La figura 24 muestra que los tratamientos 1, 2 y 4 cumplen con la norma de mayor exigencia RD 509/2016 excepción del tratamiento 3, pero los tratamientos anaerobios a los 15 días ya cumplirían, con estos valores en México estas aguas pueden ser uso de riego agrícola.

La figura 25 muestra al nitrógeno amoniacal versus los requerimientos de las normas, se han considerado 3 normas, el ECA del agua (DS. N° 004-2017-MINAM) del Perú en la categoría de Protección de la vida acuática en agua dulce, la norma colombiana para vertimientos a cuerpos marinos (Resolución 883 de 2018) y la norma de Andalucía para cuerpos superficiales.

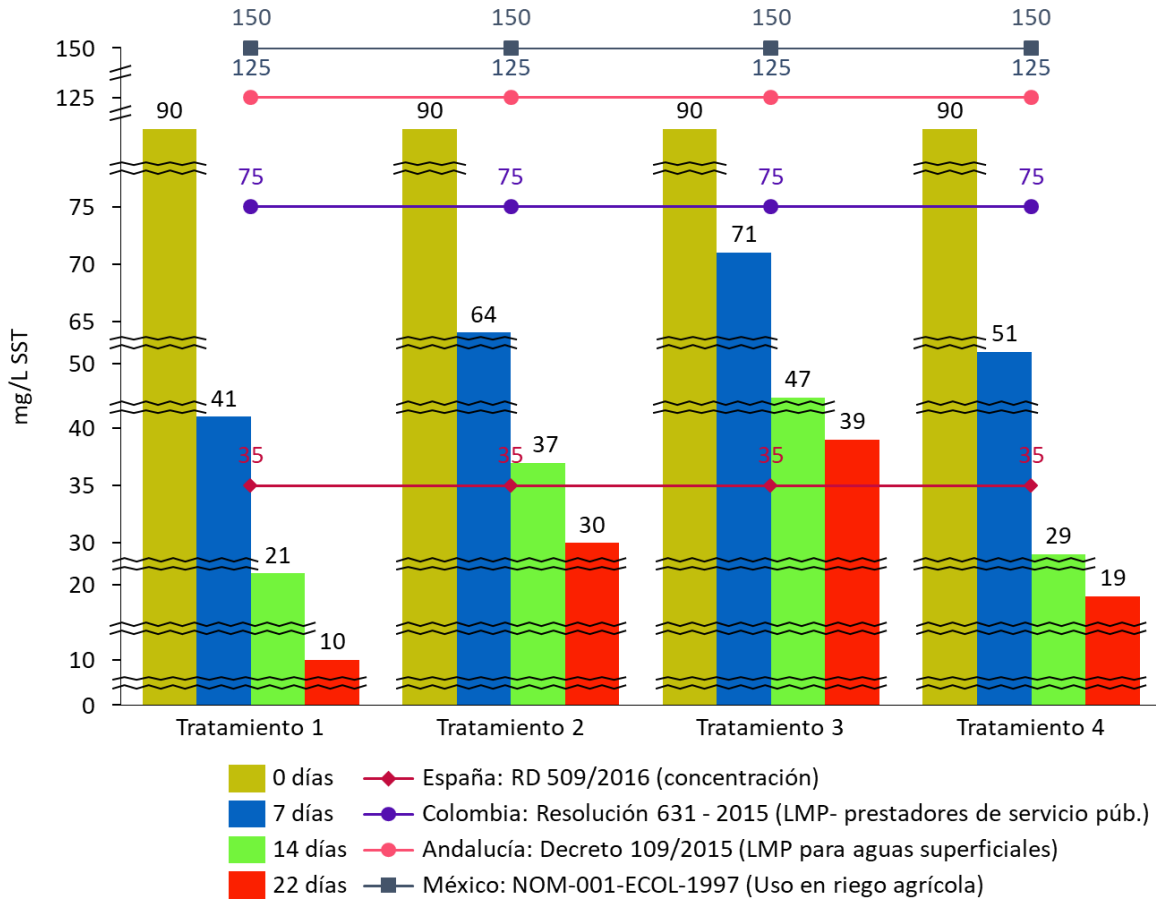


Figura 25. Nitrógeno Amoniacal versus límites máximos permisibles de las normas nacionales e internacionales

Como se observa en la figura 26, los tratamientos cumplen todas las normas, e inclusive se cumple con el DS. N° 004-2017-MINAM, ECA del agua para Protección de la vida acuática en agua dulce, cuyo valor es de 0.024 mg/L, pero los tratamiento aerobios lo cumplen a los 15 días.

La figura 26 presenta al nitrógeno en forma de nitrito versus los requerimientos de las normas, se han considerado 3 normas, el ECA del agua (DS. N° 004-2017-MINAM) del Perú en la categoría de uso agrícola, la norma colombiana para vertimientos a cuerpos marinos (Resolución 883 de 2018) y la norma de Andalucía para cuerpos superficiales.

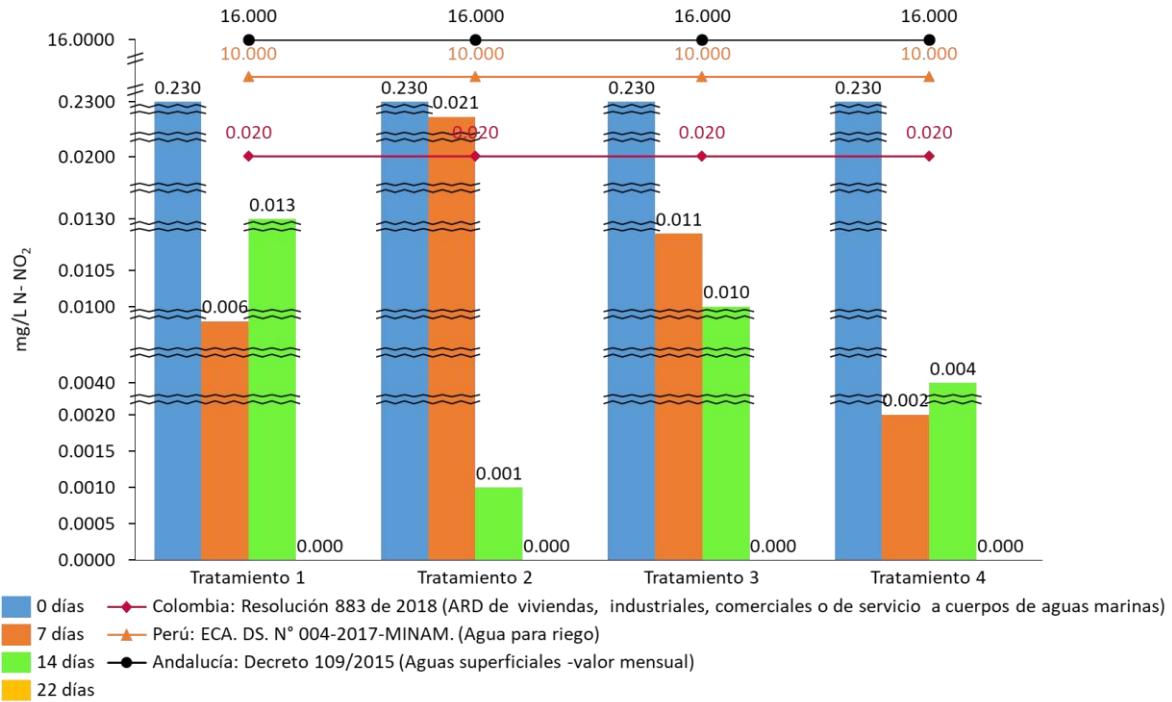


Figura 26. Nitrógeno en forma de Nitrito versus el Límite Máximo Permissible de las normas nacionales e internacionales

Como se observa en la figura 26, todos los tratamientos cumplen con las normas, el nitrógeno en forma nitrito, el nitrito es muy inestable y se oxida rápidamente a nitrato.

La figura 27 presenta al nitrógeno en forma de nitrato versus los requerimientos de las normas, se han considerado 3 normas, el ECA del agua (DS. N° 004-2017-MINAM) del Perú en la categoría conservación del medio acuático de ríos en costa, sierra y selva. La norma colombiana para vertimientos a cuerpos marinos (Resolución 883 de 2018) y la norma de Andalucía para cuerpos superficiales.

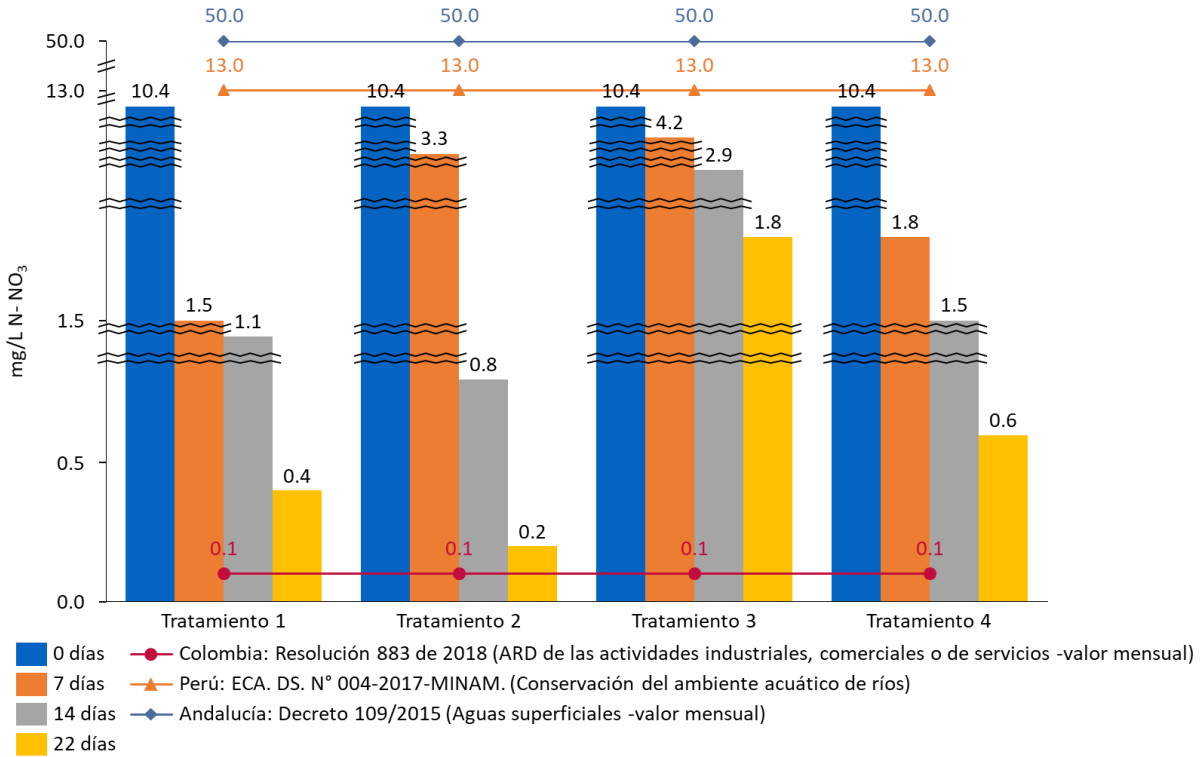


Figura 27. Nitrógeno en forma de nitrato versus el límite máximo permisible de las normas nacionales e internacionales

Las figura 27 muestra que todos los tratamientos cumplen con la norma peruana (ECA. Conservación del ambiente acuático de ríos) y la norma de Andalucía, España, pero ninguno cumple con la norma colombiana, el más cercano es el tratamiento 2 con 0.1 mg/L de diferencia.

La figura 28 presenta al fósforo total versus los requerimientos de las normas extranjeras, el Perú no cuenta con una norma de LMP vertimientos de fósforo total por eso se han considerado 3 normas extranjeras, la norma de España al 80 % de reducción, la norma de Andalucía, España y la norma de México para riego agrícola.

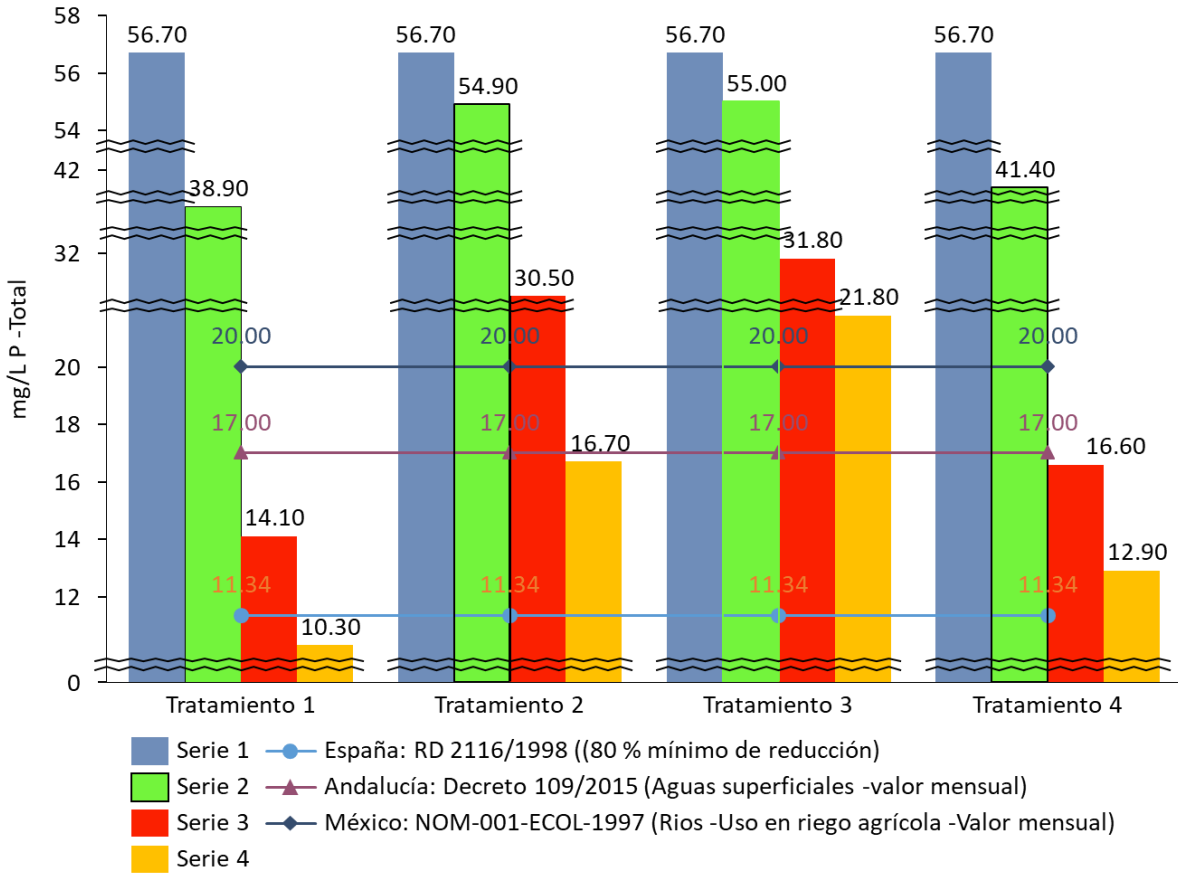


Figura 28. Fósforo total versus el límite máximo permisible de las normas internacionales

Como se observa en la figura 28, todos los tratamientos cumplen con la norma de Andalucía, España y México y solo el tratamiento 1 cumple con la norma de España, en la figura 32 se presenta los resultados del P-Total, solo el tratamiento 1 cumple la norma española RD 2116/1998 que requiere un mínimo de reducción del 80%.

En la figura 29, se presenta los porcentajes de remoción de los parámetros monitoreados de los tratamientos.

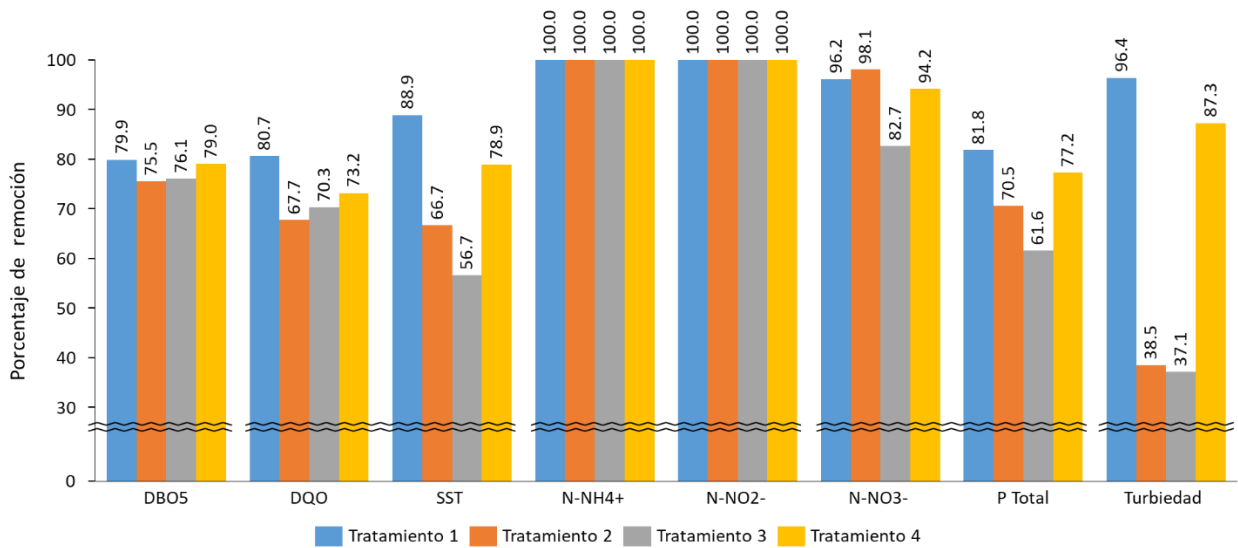


Figura 29. Porcentaje de remoción de los parámetros monitoreados de los tratamientos.

Como se observa en la figura 29, el tratamiento 1 presenta mejores resultados de remoción de la DBO₅, DQO, SST, P-Total y Turbiedad, y el tratamiento 2 presenta mejores resultados en la remoción de nitrógeno en forma de nitrato, pero todos los tratamientos al final de los 22 días remueven el 100 % de nitrógeno amoniacal y nitrógeno en forma de nitrito.

En la figura 30 se presenta el % de remoción de nitrógeno en forma de amoniaco, nitrito y nitrato a los 14 y 22 días.

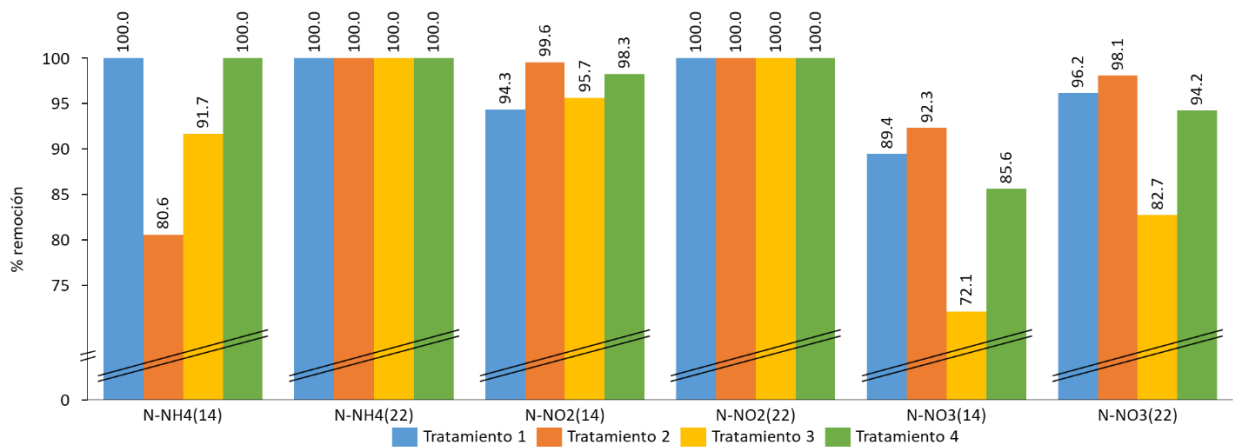


Figura 30. Porcentaje de remoción de nitrógeno a los 14 y 22 días

En la figura 30, se observa que el tratamiento 1 es el que presenta mayor % de remoción de N-NH_4^- seguido del tratamiento 4, 3 y 2 a los 14 días de monitoreo, pero a los 22 días se tiene el 100 % de N-NH_4^- removido en todos los tratamientos; para el análisis del N-NO_2 el tratamiento 2 es el que presenta mejores resultados seguido de los tratamientos 4, 3 y 1 pero al día 22 se alcanza el 100% de N-NO_2 removido para todos los tratamientos, y para el N-NO_3 la mejor remoción presenta el tratamiento 2 seguido del tratamiento 1, 4 y 3 a los 14 días, esto se mantiene hasta los 22 días habiendo presencia de nitrato en todos los tratamientos, esto se debe a que el nitrógeno amoniacal se transforma en nitrito y luego a nitrato como se muestra en la ecuación 1 y 2.

La figura 31 y 32 se muestran investigaciones de autores que han logrado porcentajes de remociones de DBO y DQO al aplicar la tecnología de ME a aguas residuales domésticas, las figuras muestra los porcentajes de remoción o eficiencias a condiciones altoandinas y no altoandinas, la figura 31 muestra la remoción de la DBO_5 según diferentes autores al aplicar microorganismos eficientes.

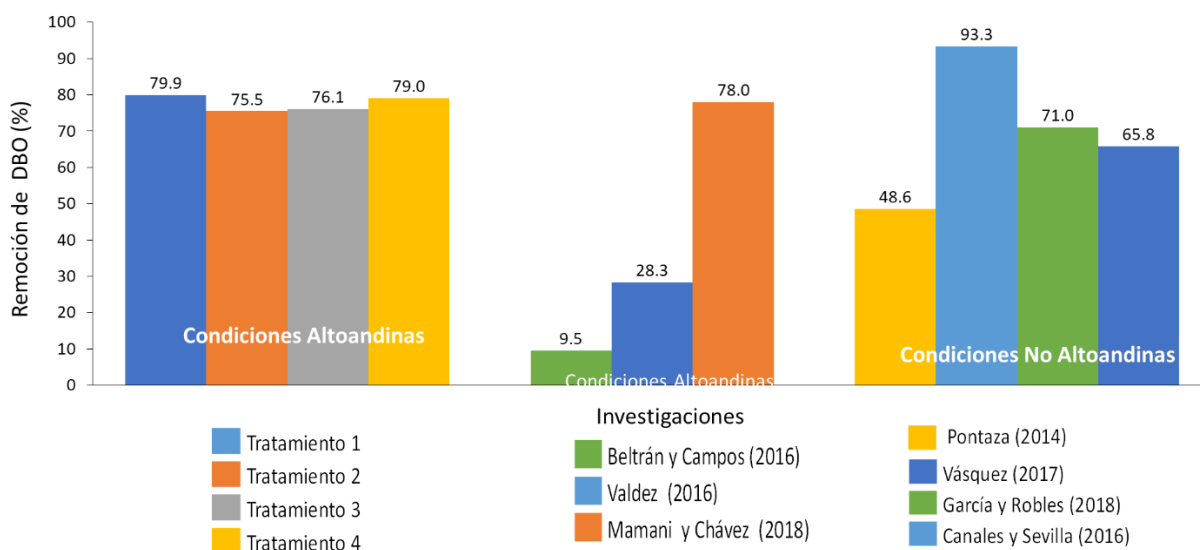


Figura 31. Remoción de demanda bioquímica de oxígeno según diferentes autores al aplicar microorganismos eficaces a las aguas residuales domésticas.

En la figura 31, muestra que los resultados de remoción de la DBO de varios autores que utilizaron tecnología de Microorganismos Eficaces para depurar aguas residuales de origen doméstico, la segunda columna agrupada representa a los autores que realizaron investigaciones en condiciones altoandinas superiores a 2500 msnm. Beltrán y Campos (2016) tuvieron remoción del 9.5 % de DBO₅ a 3360 msnm a temperatura ambiental media de 12°C en 90 días. Valdez (2016) tuvo una remoción de 28.3 % de DBO₅ a 3830 msnm a temperatura ambiental que de un rango de -5 a 17 °C en 90 días. Mamani y Chavez (2018) tuvieron una remoción del 78 % de DBO₅ a 3350 msnm a temperatura ambiental media de 12°C en 15 días, de la figura 31 se observa que el tratamiento 1 con ME (Temperatura media 22.5°C) presentan mejores resultados que las investigaciones antes mencionadas bajo condiciones altoandinas y el tratamiento 2 con ME (temperatura media de 24.3°C) presenta mejores resultados que la investigaciones de Beltrán y Valdez. Los tratamientos a pesar de estar en condiciones altoandinas tuvieron aportes energéticos de colectores solares de bajo costo que incrementaron la temperatura e hicieron la diferencia frente a las investigaciones de Beltrán, Valdez y Mamani realizadas en condiciones altoandinas.

De las investigaciones en condiciones no altoandinas Pontaza (2014) tuvo una remoción del 48.6 % de DBO₅ a 1659 msnm a temperatura ambiental media de 27°C en 45 días. Vásquez (2017) tuvo una remoción del 93.3 % de DBO₅ a 1025 msnm a temperatura ambiental media de 22°C en 10 días; García y Robles (2018) tuvieron una remoción del 71 % de DBO₅ a 154 msnm a temperatura ambiental media de 21°C en 21 días, y Canales y Sevilla (2016) tuvieron una remoción del 65.83 % de DBO₅ a 78 msnm a temperatura ambiental media de 24.2°C en 42 días, por lo que se observa de la figura 31 que el tratamiento 1 y 2 con ME, presentan mejores resultados que las investigaciones de Pontaza, García y Canales que tuvieron condiciones ambientales favorables para el tratamiento de aguas residuales. De las cuatro investigaciones con ME en condiciones no altoandinas en aguas residuales solo la investigación de Vásquez Tarrillo (2017) tuvo mayor remoción que los 4 tratamientos, los mismos que tuvieron temperatura superiores a 22 °C por el aporte energético de los colectores solares comparándose a las temperaturas en condiciones no altoandinas.

En la figura 32, se presenta el % de remoción de remoción del DQO según diferentes autores al aplicar ME a las aguas residuales domésticas.

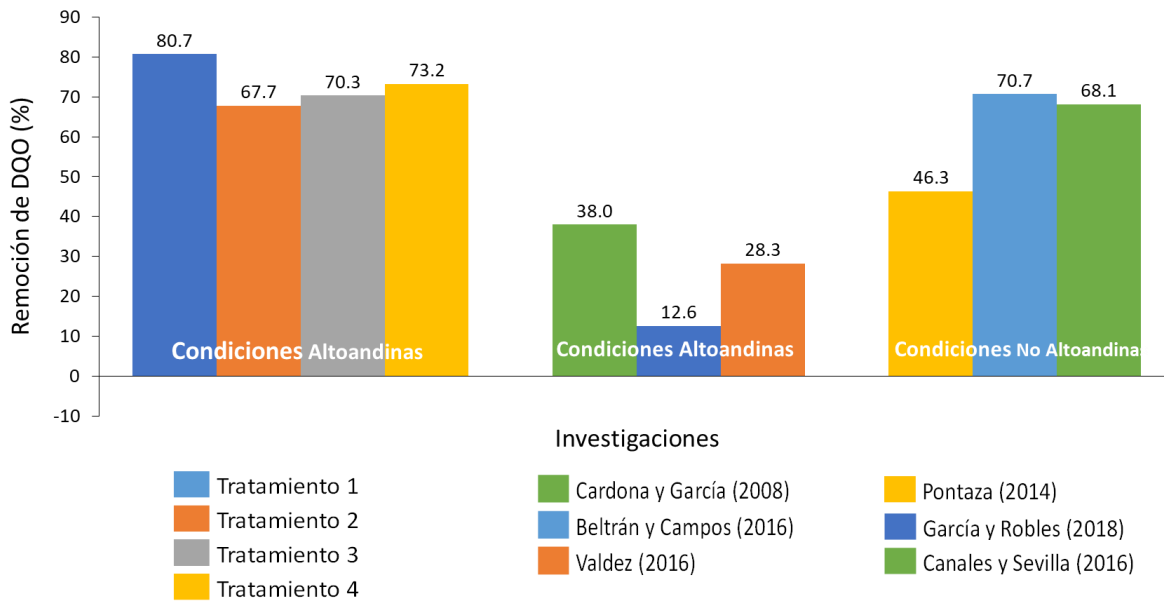


Figura 32. Remoción de demanda química de oxígeno según diferentes autores al aplicar microorganismo eficaces a las aguas residuales domésticas

En la figura 32, muestra que los resultados de varios autores que utilizaron tecnología de Microorganismos Eficaces para depurar aguas residuales de origen doméstico, la segunda columna agrupada representa a los autores que realizaron investigaciones en condiciones altoandinas superiores a 2500 msnm. Cardona y García (2008) tuvieron remociones de 38 % de DQO a 2600 msnm a una temperatura ambiental media de 14.5 °C en 45 días, Beltrán y Campos (2016) tuvo una remoción de 12.6 % de DBO₅ a 3360 msnm a temperatura ambiental media de 12°C en 90 días. Valdez (2016) tuvo una remoción de 28.3 % de DQO a 3830 msnm a temperatura de un rango de - 5 a 17 °C en 90 días, como se observa en la figura 32 los tratamientos tuvieron mejores resultados para la remoción de DQO a comparación de los otras investigaciones en condiciones altoandinas por el aporte energético de los colectores solares a los tratamientos que hicieron que las temperaturas medias superen los 22°C.

De la figura 32, las investigaciones en condiciones no altoandinas Pontaza (2014) tuvo una remoción del 46.3% de DQO a 1659 msnm a temperatura ambiental media de 27°C en 45 días, García y Robles (2018) tuvo una remoción del 70.7 % de DQO a 154 msnm a temperatura ambiental media de 21°C en 21 días y Canales y Sevilla (2016) tuvieron una remoción del 68.1 % de DQO a 78 msnm a temperatura ambiental media de 24.2°C en 42 días, como se muestra en la tabla 32 los tratamientos en condiciones altoandinas por el aporte energético de los

colectores solares tuvieron rendimientos similares o superiores de remoción a otras investigaciones no altoandinas que tuvieron condiciones favorables de temperatura ambiental.

Como se observa en la figura 32, el tratamiento 1 con ME presentan mejores resultados de remoción de DQO para las investigaciones en condiciones altoandinas y no altoandinas; y el tratamiento 2 presenta mejores resultados de remoción de DQO para las investigaciones en condiciones altoandinas.

4.3. Determinar el aporte energético generado por los colectores solares planos de bajo costo sobre los tratamientos en el proceso de depuración.

La tabla 33 muestra los valores promedios horario de la radiación solar y energía solar incidente determinadas por la estación meteorológica de la UPeU, Juliaca (ver anexo 2).

Tabla 33
Valores promedios horario de la radiación solar y energía solar incidente.

Tiempo Horas	Radiación Solar (W/m ²)	Energía solar incidente (Langley)	Energía solar incidente (W-h/m ²)
05:30	9.23	0.40	4.62
06:00	58.82	2.53	29.39
06:30	209.45	9.01	104.69
07:00	330.18	14.20	165.03
07:30	428.27	18.42	214.07
08:00	522.59	21.94	254.99
08:30	625.34	26.39	306.69
09:00	719.60	30.47	354.14
09:30	803.26	34.10	396.32
10:00	881.82	37.72	438.32
10:30	918.60	39.45	458.52
11:00	931.42	40.02	465.11
11:30	965.27	41.49	482.21
12:00	995.06	42.79	497.27
12:30	915.25	39.23	455.98
13:00	859.79	36.86	428.41
13:30	775.02	33.23	386.16
14:00	698.47	29.95	348.07
14:30	625.78	26.84	311.91
15:00	572.00	24.54	285.21
15:30	453.09	19.49	226.46
16:00	335.82	14.44	167.85
16:30	209.41	9.01	104.67
17:00	101.77	4.38	50.88
17:30	27.77	1.20	13.89
18:00	3.53	0.15	1.77
Promedio	537.56	23.01	267.41

Fuente: Datos de la Estación Meteorológica Dawis UPeU- Juliaca

Si multiplicamos, el valor promedio de la energía solar incidente (Wh/m²) por 24 y lo dividimos entre 1000, obtendremos la energía solar incidente por día de 6.42 KW-h/m²/día, valor similar con el atlas de Energía Solar del Perú el departamento de Puno (1975-1990) (SENAMHI, 2017), para los meses de octubre, noviembre y diciembre, periodo que fue ejecutado la parte experimental.

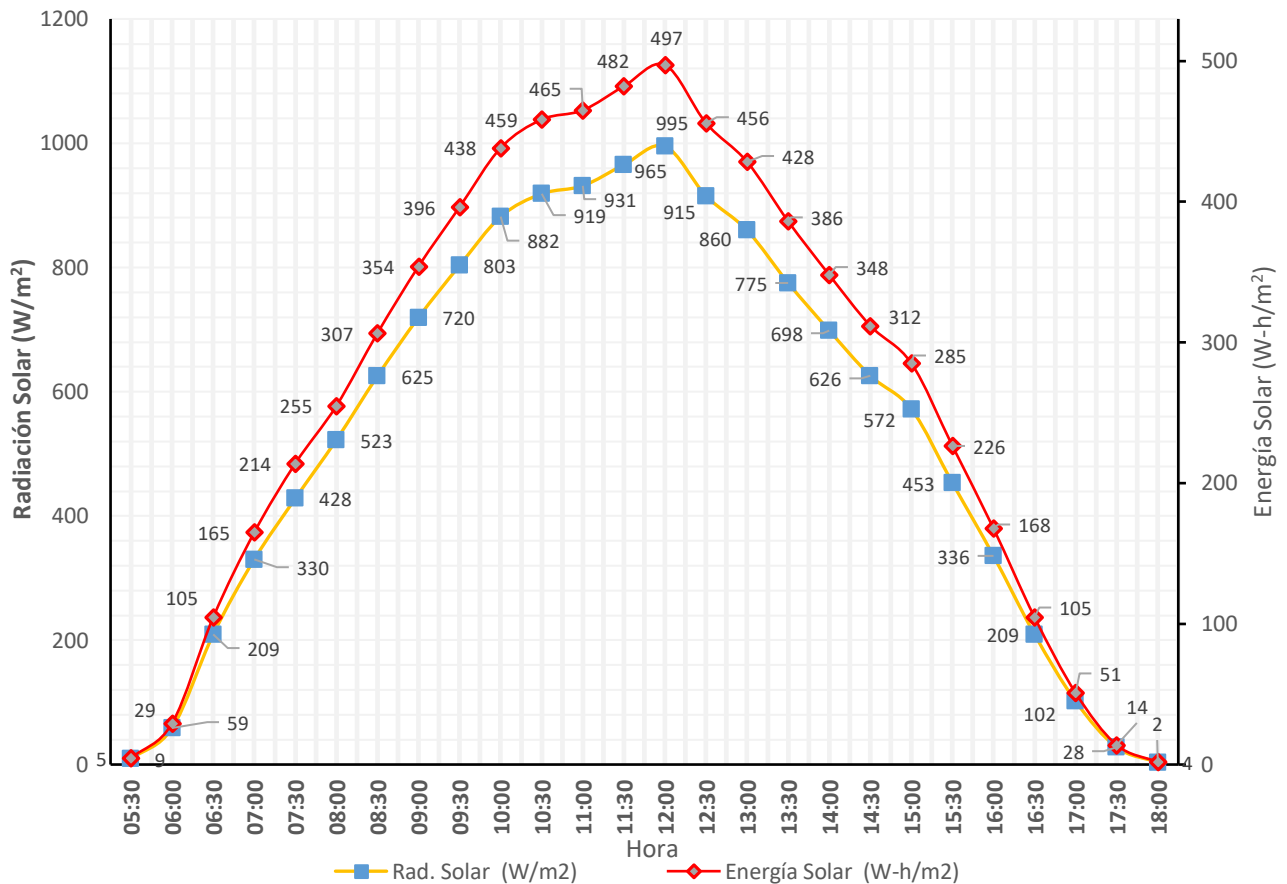


Figura 33. Comportamiento de la radiación y energía solar incidente horaria

En la figura 33, se observa que la máxima radiación y energía solar incidente se da a las 12:00 horas, con valores promedios de 995 W/m² para la radiación solar y energía solar, valores que están dentro del rango. Según Huanca Callata (2017), quién determino los valores promedios de irradiancia solar global horaria en W/m² para la ciudad de Juliaca del año 2013 y 2014 (Estación meteorológica de la SENAMHI-Puno), con valores de 1013.96 - 898.26 y 998.57 – 974.26 W/m² para los meses de noviembre y diciembre.

En la tabla 34, se muestran los valores promedio horaria de las temperaturas de los tratamientos, de los sistemas de calentamiento solar y variables meteorológicas, desde las 7:00 a 17:00 horas que es el tiempo de operación de los colectores.

Tabla 34
Valores promedio horaria de parámetros conexos con calentamiento solar

Tiempo	T1	C1	T2	C2	T3	C3	T4	C4	Temp. Amb.	THW	THSW	Radiación Solar	Presión Atrm.
Horas	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²	mb
07:00	17.57	16.00	19.47	16.59	19.81	16.57	17.75	16.30	7.10	6.70	9.53	353.00	644.00
07:30	17.87	15.71	19.62	16.21	20.01	15.90	18.00	15.79	8.50	7.51	11.20	409.00	552.16
08:00	17.99	20.57	19.64	21.86	19.85	22.00	18.65	21.29	10.06	9.06	13.64	512.00	644.20
08:30	18.62	23.07	20.56	24.07	20.70	23.79	18.93	23.27	11.29	10.13	15.60	652.29	644.13
09:00	19.51	24.29	20.49	24.71	20.58	24.93	19.81	24.43	12.31	10.91	16.36	706.57	644.04
09:30	20.97	25.93	22.27	27.07	21.84	26.29	21.14	25.86	13.49	11.94	17.80	869.29	643.91
10:00	22.61	28.07	24.03	30.00	23.86	29.21	22.77	29.11	14.11	12.22	17.51	930.00	643.70
10:30	24.31	29.86	25.68	31.21	25.65	30.61	24.68	30.73	14.49	12.18	17.81	966.00	643.53
11:00	25.81	30.64	26.86	32.29	27.06	31.86	26.31	31.23	14.84	12.40	18.89	983.29	643.26
11:30	27.00	32.07	28.14	33.00	27.60	32.71	27.24	32.19	15.51	13.50	21.09	976.43	642.87
12:00	27.58	32.09	28.82	32.48	28.43	32.09	27.57	31.69	16.05	13.99	23.76	1057.38	642.45
12:30	28.62	32.15	29.78	33.46	29.66	32.46	28.40	32.50	16.24	14.13	25.53	974.10	642.06
13:00	29.17	33.43	30.69	34.55	30.67	33.96	29.43	33.33	16.35	13.90	27.13	941.23	641.54
13:30	29.90	33.98	31.11	34.83	30.94	34.13	29.69	34.33	16.71	14.01	29.19	870.60	641.18
14:00	29.74	33.25	30.97	34.53	30.89	33.28	30.16	33.68	16.79	13.98	28.08	740.38	640.85
14:30	29.92	33.73	31.22	35.06	31.20	33.51	30.09	33.93	16.64	13.78	18.53	603.38	640.48
15:00	29.71	33.18	30.55	33.33	30.72	32.75	29.67	32.54	16.51	13.59	17.78	552.63	640.29
15:30	29.42	31.50	30.56	32.25	30.50	31.93	29.54	31.43	16.05	12.54	15.23	446.13	640.13
16:00	28.24	29.45	29.40	29.96	29.68	29.96	28.20	29.38	15.59	12.34	14.18	352.63	640.03
16:30	26.82	27.80	28.04	27.68	28.22	27.56	26.91	26.00	14.56	11.30	11.57	217.25	640.18
17:00	25.24	23.88	26.82	25.13	26.84	24.88	25.26	23.38	13.79	10.63	9.68	101.75	533.70

- T1, T2, T3, T4: Temperaturas promedio de los tratamientos.
- C1, C2, C3, C4: Temperaturas promedio de salida de los colectores solares
- THW (temperatura - humedad - viento): Temperatura aparente que incorpora los efectos de enfriamiento del viento sobre nuestra percepción de la temperatura.
- THSW (temperatura - humedad - sol - viento): Temperatura aparente que incorpora los efectos térmicos de la radiación solar directa, enfriamiento del viento sobre nuestra percepción de la temperatura.

Se determinó la correlación de Pearson para las variables relacionadas con el sistema de calentamiento solar de la tabla 33.

Tabla 35

Matriz de correlación de Pearson de las variables de calentamiento solar

Variable	Correlación	Temperatura Colector 1	Temperatura Colector 2	Temperatura Colector 3	Temperatura Colector 4	Temp. Amb.	THW	THSW	Energía Solar	Presión Atmosférica
Temperatura Tratamiento 1	Pearson	.915(**)	.898(**)	.898(**)	.888(**)	.936(*)	.871(*)	.600(*)	0.197	0.190
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.392	0.410
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Temperatura Tratamiento 2	Pearson	.906(**)	.890(**)	.889(**)	.879(**)	.927(*)	.861(*)	.599(*)	0.186	0.175
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.419	0.447
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Temperatura Tratamiento 3	Pearson	.892(**)	.875(**)	.874(**)	.864(**)	.914(*)	.841(*)	.577(*)	0.153	0.164
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.508	0.478
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Temperatura Tratamiento 4	Pearson	.921(**)	.905(**)	.905(**)	.895(**)	.939(*)	.874(*)	.604(*)	0.206	0.202
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.371	0.379
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Temp. Amb.	Pearson	.977(**)	.971(**)	.972(**)	.961(**)	1	.973(*)	.679(*)	0.392	0.293
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.001	0.079	0.198
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
THW	Pearson	.980(**)	.980(**)	.977(**)	.976(**)	.973(*)	1	.794(*)	.572(**)	0.394
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.007	0.077
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
THSW	Pearson	.750(**)	.760(**)	.749(**)	.776(**)	.679(*)	.794(*)	1	.760(**)	0.425
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000		0.000	0.055
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Energía Solar	Pearson	.509(*)	.540(*)	.532(*)	.562(**)	0.392	.572(*)	.760(*)	1	.519(*)
	Sig. (bilateral)	0.019	0.012	0.013	0.008	0.079	0.007	0.000		0.016
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Presión Atmosférica	Pearson	.437(*)	.433(*)	.443(*)	.459(*)	0.293	0.394	0.425	.519(*)	1
	Sig. (bilateral)	0.047	0.050	0.044	0.036	0.198	0.077	0.055	0.016	
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21

** La correlación es altamente significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

La correlación es no significativa

Con el propósito de evaluar la relación que existe entre los parámetros conexos con calentamiento solar mostrados en la tabla 34, se elaboró una matriz de correlación (Tabla 35) que muestra que hay relación altamente significativa entre la temperatura de los tratamientos

y la de los colectores solares y no hay una relación entre las temperaturas de los colectores con la Energías solar, demostrando que el calentamiento de los tratamiento se debe a los colectores solares.

Además, hay una relación significativa entre la temperatura de los colectores y la energía solar, pero hay una relación altamente significativa entre la temperatura de los colectores y el índice THSW, demostrando que la energía captada de los colectores solares está relacionada con las variables meteorológicas de la temperatura ambiental, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento.

Según la tabla 35, la temperatura ambiental ($p=0.000<0.01$) y los índices de THW ($p=0.000<0.01$) y THSW ($p<0.01$) son altamente significativas con las temperaturas de los tratamientos en comparación con la presión atmosférica ($p>0.05$) y la energía solar ($p>0.05$) que no son significativas con las temperaturas de los tratamientos.

La temperatura ambiental ($p=0.000<0.01$) y los índices de THW ($p=0.000<0.01$) y THSW ($p=0.000<0.01$) son altamente significativas en las temperaturas de salida de los colectores solares, la presión atmosférica ($p<0.05$) son significativas en la temperatura de salida de los colectores y la energía solar ($p<0.05$) es significativa en las temperaturas de salida de los colectores 1, 2 y 3 y altamente significativas ($p=0.008<0.01$) en la temperatura de salida del colector 4. Las temperaturas de salida de los colectores y las temperaturas de los tratamientos ($p=0.000<0.01$) son altamente significativas.

En la figura 34, se presenta el comportamiento de las temperaturas medias de los colectores solares, ambiental, THW y THSW con la radiación solar en el tiempo de operación 10 horas diarias (7:00 a 17:00 horas), estos valores corresponden a un tiempo de evaluación de 8 días (ver anexo 5).

De la figura 34, se desprende que la radiación promedio solar máxima se da a las 12:00 horas (1057 W/m^2) y la radiación media mínima a las 17:00 horas (102 W/m^2), las líneas de las temperaturas de salida de los colectores solares tienen el mismo comportamiento y la línea del colector solar 2 presenta mayores temperaturas que los otros colectores por tener mayor área de captación, además, se presenta los comportamientos de las líneas del índice THWS (incorpora los efectos de la radiación solar directa, temperatura ambiental, humedad y

velocidad del viento), la línea de la temperatura ambiental y al índice THW (incorpora los efectos de la temperatura, humedad y velocidad del viento).

En la figura 35, se presenta los gradientes promedio de temperatura de los colectores solares, el gradiente de temperatura $\Delta T^\circ = T^\circ \text{ salida} - T^\circ \text{ entrada}$ (ver anexo 8). De estos se determina los tiempos de operación de los colectores solares, el colector 1 puede operar 8.5 horas diarias (8:00 a 16:30 horas) sin generar pérdidas de energía esto se debe por su domo de vidrio que lo protege de los efectos de enfriamiento del viento, sin embargo, los colectores planos 2,3 y 4 que no tienen cubierta de protección su operación es de 7.5 horas diarias (8:00 a 16:30 horas) sin generar pérdidas energéticas por efecto del enfriamiento del viento.

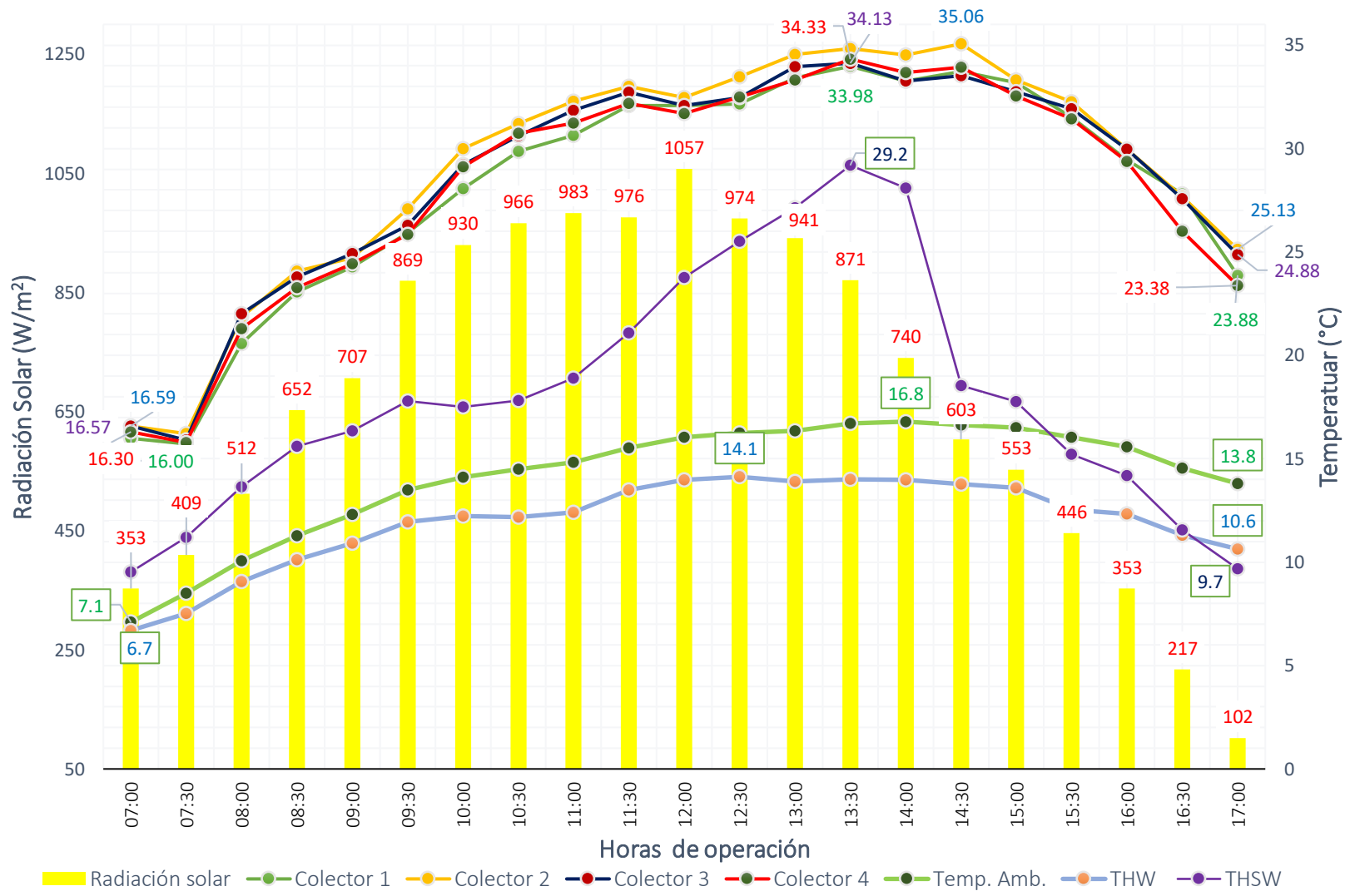


Figura 34. Comportamiento de las temperaturas medias (colectores solares, ambiental, THW y THSW) con la radiación solar

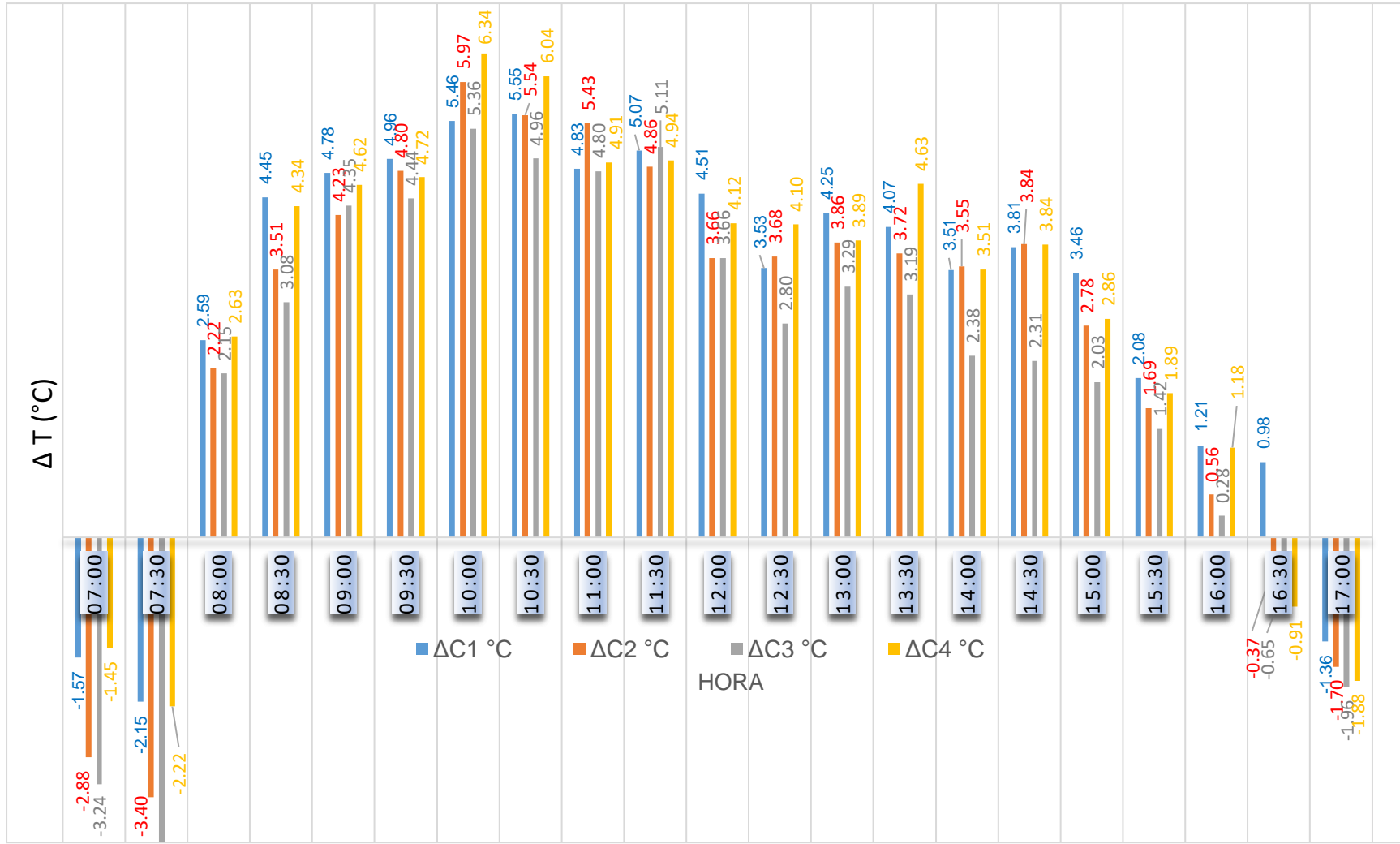


Figura 35. Gradientes promedio de temperatura de los colectores solares

Tabla 36
Eficiencias de los colectores solares de bajo costo

Tiempo	Radiación solar	Temp. Amb.	Colector 1		Colector 2		Colector 3		Colector 4		Colector1	Colector2	Colector3	Colector4
			T ₀	T _f	T ₀	T _f	T ₀	T _f	T ₀	T _f				
07:00	353	7.1	17.57	16.00	19.47	16.59	19.81	16.57	17.75	16.30	0.41	0.34	0.33	0.35
07:30	409	8.5	17.87	15.71	19.62	16.21	20.01	15.90	18.00	15.79	0.54	0.49	0.49	0.50
08:00	512	10.1	17.99	20.57	19.64	21.86	19.85	22.00	18.65	21.29	0.58	0.53	0.52	0.52
08:30	652	11.3	18.62	23.07	20.56	24.07	20.70	23.79	18.93	23.27	0.65	0.60	0.61	0.61
09:00	707	12.3	19.51	24.29	20.49	24.71	20.58	24.93	19.81	24.43	0.67	0.65	0.64	0.63
09:30	869	13.5	20.97	25.93	22.27	27.07	21.84	26.29	21.14	25.86	0.71	0.68	0.69	0.68
10:00	930	14.1	22.61	28.07	24.03	30.00	23.86	29.21	22.77	29.11	0.69	0.66	0.67	0.65
10:30	966	14.5	24.31	29.86	25.68	31.21	25.65	30.61	24.68	30.73	0.68	0.65	0.66	0.64
11:00	983	14.8	25.81	30.64	26.86	32.29	27.06	31.86	26.31	31.23	0.67	0.64	0.64	0.63
11:30	976	15.5	27.00	32.07	28.14	33.00	27.60	32.71	27.24	32.19	0.65	0.63	0.64	0.62
12:00	1057	16.1	27.58	32.09	28.82	32.48	28.43	32.09	27.57	31.69	0.68	0.66	0.67	0.65
12:30	974	16.2	28.62	32.15	29.78	33.46	29.66	32.46	28.40	32.50	0.65	0.62	0.64	0.62
13:00	941	16.3	29.17	33.43	30.69	34.55	30.67	33.96	29.43	33.33	0.62	0.60	0.60	0.59
13:30	871	16.7	29.90	33.98	31.11	34.83	30.94	34.13	29.69	34.33	0.59	0.57	0.58	0.56
14:00	740	16.8	29.74	33.25	30.97	34.53	30.89	33.28	30.16	33.68	0.55	0.52	0.53	0.50
14:30	603	16.6	29.92	33.73	31.22	35.06	31.20	33.51	30.09	33.93	0.45	0.41	0.43	0.39
15:00	553	16.5	29.71	33.18	30.55	33.33	30.72	32.75	29.67	32.54	0.41	0.40	0.40	0.37
15:30	446	16.1	29.42	31.50	30.56	32.25	30.50	31.93	29.54	31.43	0.32	0.28	0.28	0.25
16:00	353	15.6	28.24	29.45	29.40	29.96	29.68	29.96	28.20	29.38	0.22	0.17	0.17	0.14
16:30	217	14.6	26.82	27.80	28.04	27.68	28.22	27.56	26.91	26.00	-0.18	-0.22	-0.23	-0.22
17:00	102	13.8	25.24	23.88	26.82	25.13	26.84	24.88	25.26	23.38	-1.06	-1.32	-1.30	-1.25
Promedio											0.45	0.41	0.41	0.40

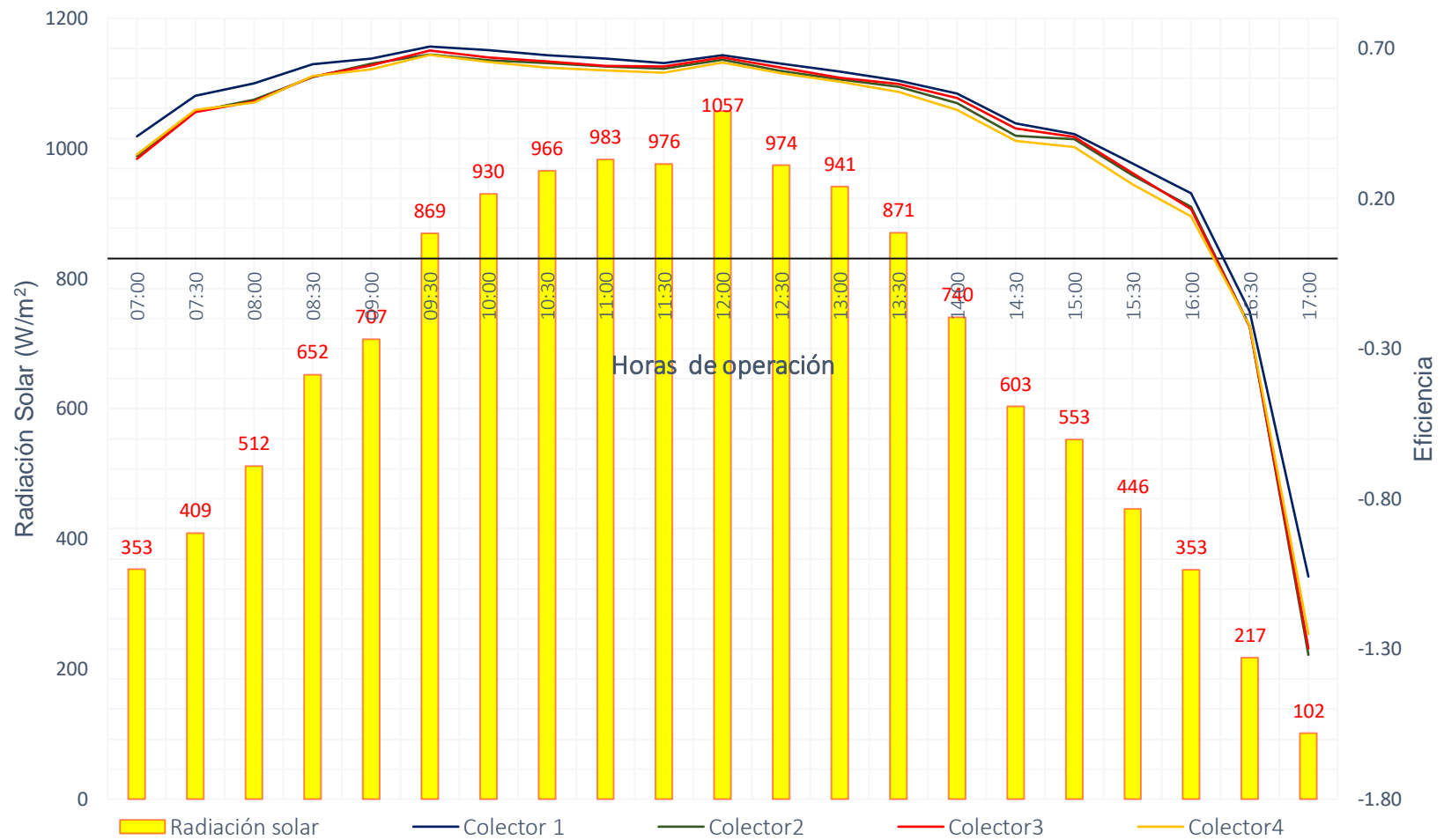


Figura 36. Comportamiento de la eficiencia de los colectores y la radiación solar

Para determinar la eficiencia de los colectores se utilizó la ecuación 12 y de acuerdo a la tabla 10 se utilizó el rendimiento para colectores tipo plástico de polipropileno sin cobertura marca Solarpool (España) cuya ecuación es $0,92-18,7 (\Delta T/l)$, obteniendo eficiencias medias de 45.2, 40.7, 41.3, 40.0 % para los colectores 1, 2, 3 y 4 respectivamente (Anexo 9), el colector 1 presenta mejor eficiencia media seguida del colector 2, 3 y 4 porque tiene más tiempo de operación por el domo de vidrio que lo protege de los efectos de enfriamiento del aire.

López-Cózar (2006) enfatiza que “en cuanto al rendimiento de los captadores solares, resulta difícil precisar qué cantidad de energía se podrá obtener en cada momento, puesto que este tipo de captadores de baja temperatura carecen de cualquier forma de seguimiento de la posición del sol a lo largo del día, y captan tanto la radiación directa como la difusa con resultados muy variables”.

En la figura 36, se puede observar el comportamiento de la eficiencia y la radiación solar, donde se observa que en horas de las 16:30 horas hacia adelante se obtiene eficiencias negativas por efecto de enfriamiento del aire.

De los valores de eficiencia empíricos y utilizando la ecuación de la marca Solarpool (España) estimamos los coeficientes de pérdida térmica a_1 de los colectores cuyos valores estimados son 25.44, 25.52, 25.68 y 25.17 W/m^2K para los colectores solares de plástico 1, 2, 3 y 4 respectivamente, estos valores empíricos están determinados bajo condiciones altoandinas y son superiores a los colectores comerciales de las empresas Bubblesun (España), Solarpool (España), Fafco Inc.(USA) y Heliocol (USA) que sus coeficientes promedio son 18.00, 18.7, 18,86 y 21.31 W/m^2k respectivamente (Anexo 9).

En el anexo 7, se presentan las temperaturas del estanque concéntrica de distribución del fluido caloportador que fueron medidos con un sensor arduino y en el anexo 9, se presenta los resultados estimaciones de energía acumulada promedio diaria en los tratamientos expresada en potencia (KW-h), en la tabla 37 se muestra los porcentajes de ahorro energético donde se toma como referencia el costo de energía solar fotovoltaica de junio de 2020. Por su parte la Agencia Internacional de Energías Renovables y se compara con el valor de OSINERMING (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería) y la Empresa de Servicio Público de Electricidad Electro Norte Medio S.A. (Hidrandina).

Tabla 37
Porcentaje de energía ahorrada

Institución	Costo (kw-h)	KWh (acumulado)	Costo Total	S/. ahorrados	Porcentaje	
Osinerming	S/.0.669	\$0.2009	502.65	S/.336.27	S/.222.45	66.2%
Hidrandina	S/.0.644	\$0.1932	502.65	S/.323.46	S/.209.64	64.8%
IRENA (solar fotovoltaica)	S/.0.226	\$0.0680	502.65	S/.113.82	-	

La tabla 37 muestra el porcentaje de ahorro energético, hay un 66.2 y 64.8 % del costo en soles por KWh, si se hubiera considerado las tarifas de Osinerming e Hidrandina, el costo referencia es de \$0.068 por KWh (IRENA, 2020) de energía solar fotovoltaica que es el tipo de energía renovable más cercana a la energía generada con colectores de bajo coste.

4.4. Modelar cinéticamente la evolución de la carga orgánica (DBO₅ y DQO) a partir de un modelo de reactor de mezcla completa.

En la tabla 38 y 39, se muestran las constantes cinéticas o constantes de tratabilidad de los tratamientos por métodos numéricos determinados con el software Statistica (ver anexo 11) que responden a una ecuación de primer orden para reactores tipo batch de modelo de mezcla completa, hay que notar que estas cinéticas determinadas tienen influencia de temperaturas por calentamiento solar de colectores planos de plástico.

Tabla 38 Cinéticas de los tratamientos en función a la DBO₅

Tratamientos	Coeficientes	Valores	unidades	R	t	Sig.
Tratamiento 1	Constante cinética	-0.0980	días ⁻¹	0.98632	-6.0097	0.0266
	Intercepto	178.4630	mg/L DBO ₅		13.3074	0.0056
Tratamiento 2	Constante cinética	-0.0745	días ⁻¹	0.99375	-10.0752	0.0097
	Intercepto	179.5583	mg/L DBO ₅		21.9996	0.0021
Tratamiento 3	Constante cinética	-0.0812	días ⁻¹	0.98308	-5.8295	0.0282
	Intercepto	176.9263	mg/L DBO ₅		12.8853	0.0060
Tratamiento 4	Constante cinética	-0.0924	días ⁻¹	0.98704	-6.3524	0.0239
	Intercepto	178.3012	mg/L DBO ₅		13.9721	0.0051

Estas constantes de tratabilidad presentan pendientes negativas que significa que el valor de la concentración de la DBO₅ disminuye con el tiempo, las constantes cinéticas

determinadas están en el orden de 0.05 a 0.3 día⁻¹ según Metcalf y Eddy (1995), para Romero (2005), la constantes cinéticas están en el orden de 0.05 a 0.1 día⁻¹ y el DBO esperado es de 10 a 75 mg/L para efluentes secundarios (ver tabla 7). Además, todas las constantes cinéticas tienen un R superior al 0.98 con una significancia del 95 %.

En tabla 39, se presenta las cinéticas de los tratamientos de la DQO, estas constantes cinéticas con similares a las constantes de la DBO₅, y tienen un R superior a 0.98 con significancia del 95 %.

Tabla 39

Cinéticas en función de la DQO

Tratamientos	Coeficientes	Valores	unidades	R	t	Sig.
Tratamiento 1	Constante cinética	-0.1026	días ⁻¹	0.98469	-5.5373	0.0311
	Intercepto	425.7715	mg/L DQO		12.3948	0.0064
Tratamiento 2	Constante cinética	-0.0526	días ⁻¹	0.99150	-9.5347	0.0108
	Intercepto	442.4890	mg/L DQO		22.4505	0.0020
Tratamiento 3	Constante cinética	-0.0605	días ⁻¹	0.99496	-11.9292	0.0070
	Intercepto	427.5671	mg/L DQO		27.2817	0.0013
Tratamiento 4	Constante cinética	-0.0758	días ⁻¹	0.98514	-6.4311	0.0233
	Intercepto	426.6693	mg/L DQO		14.1721	0.0049

Estas constantes de tratabilidad presentan pendientes negativas que significa que el valor de la concentración de la DQO disminuye con el tiempo. Ramalho (2014) menciona que el conocimiento de las cinéticas de reacciones tiene un especial valor para la corrección y tratamiento de aguas residuales. Los reactores utilizados para los tratamientos experimentales responde al modelo de un reactor de mezcla completa y una cinética de primer orden, en la figura 37 se modela la eficiencia de remoción de DBO y DQO y en el anexo 12 se presenta los resultados del modelamiento.

La cinéticas permiten plantear soluciones de diseño de reactores a gran escala considerando las condiciones de operación experimental, de la figura 38 se puede determinar que el tratamiento 1 (sistema aerobio + microorganismos eficientes) obtiene mejores resultados de simulación con eficiencias de remoción de 68.3 y 69.3 % para DBO₅ y DQO y el tratamiento 2 (sistema anaerobio + microorganismos eficientes) presenta los más bajos resultados de simulación de eficiencias de remoción de 62.1 y 53.7 % para DBO₅ y DQO; para

la remoción de carga orgánica (DBO_5 y DQO) los sistemas aerobios presentan mejores eficiencias que los anaerobios.

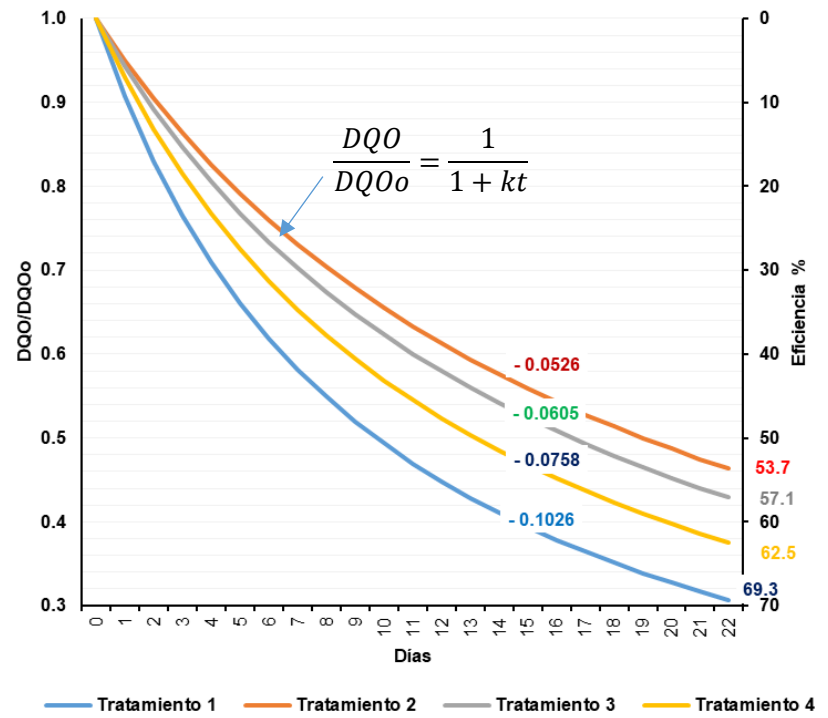
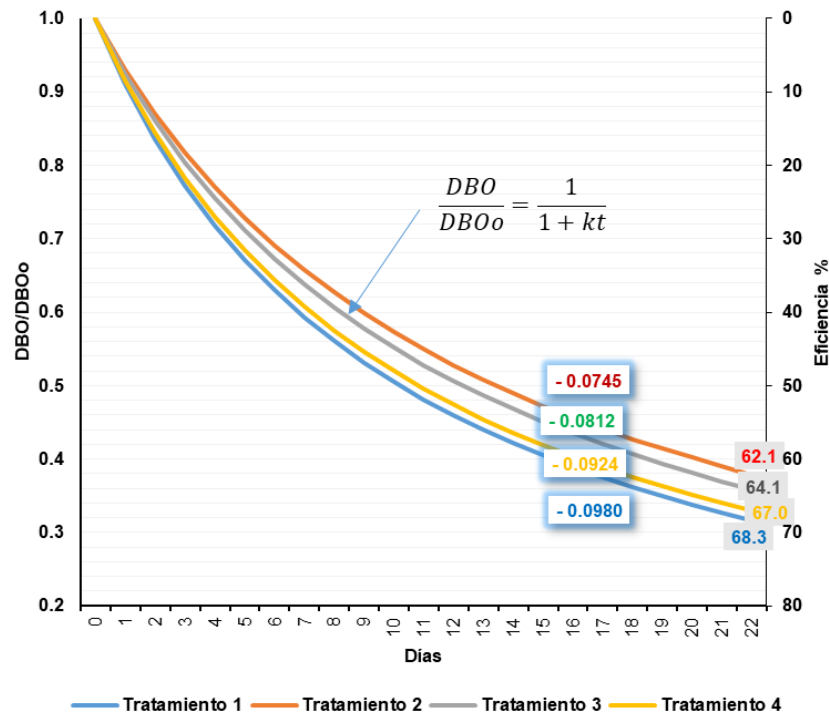


Figura 38. Modelamiento de la eficiencia de remoción de DBO y DQO según el modelo de mezcla completa

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los microorganismos eficaces tienen un efecto positivo en el proceso de depuración de las aguas residuales en condiciones altoandinas como se demuestra en los resultados de esta investigación, donde el tratamiento 1 (Aerobio con ME + 220 mL ME) presenta mejores resultados de remoción de DBO₅, DQO, SST, fósforo total y turbiedad en comparación de los demás tratamientos, pero el tratamiento 2 (Anaerobio con ME +220 mL ME) presenta mejores resultados para la remoción de nitrógeno (N-NH₄, N-NO₂ y N-NO₃).
- El agua residual tratada presenta características típicas de su origen doméstica con alto contenido de fósforo, con ratio DBO₅/DQO poco degradable y las ratios DQO/P-Total y DBO/P-Total no correspondientes a aguas municipales, la relación (DBO, N y P) no es óptima para el desarrollo de procesos biológicos.
- Los tratamientos aplicados cumplen con los requerimiento de las normas mencionadas tanto nacionales como internacionales para la DBO₅, SST, N-NH₄, N-NO₂; a excepción que para DQO el tratamiento 2 no llega a cumplir con la norma española (RD 509/2016), para N-NO₃ los tratamientos no cumplen con la norma colombiana (Res. 883) y para fósforo total los tratamientos 2, 3 y 4 no cumplen con la norma española (RD 2116/1998).
- Los colectores solares de plásticos tienen un aporte energético de 502.65 KWh, y presentan eficiencias medias de 45.2, 40.7, 41.3 y 40.0% de radiación solar captada por los colectores solares 1, 2, 3 y 4 respectivamente, generando porcentajes de energía ahorrada de 66.2 y 64.8 % de costo en S/.x KW-h si se

hubiera considerado las tarifas de costo de Osinerming e Hidrandina en relación a costo de energía solar fotovoltaica de IRENA.

- Las constantes cinéticas de tratabilidad para procesos biológicos para la DBO_5 pertenecen a efluentes secundarios, estas cinéticas de DBO_5 y DQO permiten el modelamiento de un reactor de mezcla completa con cinética de primer orden al 68.3 y 69.3 % de remoción para el Tratamiento 1; 67.0 y 62.5 % para el tratamiento 4; 64.1 y 57.1 % para el tratamiento 3; 62.1 y 53.7 % para el tratamiento 2, respectivamente.

5.2. Recomendaciones

- Realizar más investigación sobre la depuración de agua residual doméstica en condiciones de altura utilizando radiación solar para incrementar la temperatura del agua.
- Realizar monitoreo de los parámetros de DBO_5 , DQO y $N-NH_4$ con periodos menores para obtener mejores cinéticas de tratabilidad y determinar la constante de cinética del nitrógeno.
- Para el diseño de colectores solares colocar cubiertas de protección para evitar pérdidas energéticas por acción de enfriamiento viento.
- Hacer mayores investigaciones en las eficiencias de los sistemas económicos de captación solar en condiciones de altura.
- Utilizar tecnologías económicas que sean viables en la depuración de aguas residuales para países en vías de desarrollo.

Referencias

- Aguilar, E. J. (2014). *Análisis y descripción de la eutrofización en la bahía interior de Puno* [Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Privada San Carlos, Perú].
http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/4441/Edwin_Jhordy_AGUILAR_HUMPIRI.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alianza por el Agua. (2008). Manual De Depuración De Aguas Residuales Urbanas: Monográficos Agua en Centroamérica. In *Secretariado de Alianza por el agua, Ecología y Desarrollo* (Ideasamare).
<http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- Andalucía. (2015). Decreto 109/2015, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Vertidos al Dominio Público Hidráulico y al Dominio Público Marítimo-Terrestre de Andalucía. *Boletín Oficial de La Junta de Andalucía*, 89, 12 de mayo, 22--195.
<https://www.juntadeandalucia.es/boja/2015/89/3>
- Apaza, A. O. (2017). *Uso de Microorganismos Eficaces en el mejoramiento de la calidad de aguas residuales de la Industria Láctea, Lima - 2017* [Para obtener el título de ingeniero ambiental., Universidad César Vallejo, Perú.].
http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13034/Chávez_Hinostroza_Carlos_Alberto_-_Chegne_Chávez_Jesús_Andrés.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ardila, A. N., Reyes Calle, J., Arriola Villaseñor, E., and Alfredo Hernández, J. (2012). Remoción fotocatalítica de DQO, DBO5 y COT de efluentes de la industria farmacéutica. *Revista Politécnica*, 15, 9–17.
- Arellano, J., y Guzmán, J. E. (2011). *Ingeniería ambiental* (1st ed.). ALFAOMEGA.
- Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Revista Interdisciplinaria de Gestión Ambiental*, 2(23), 12–19.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2926089>
- Beltrán, T. R., y Campos, C. M. (2016). *Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Bertola, N., y Contreras, E. (2007). *Capítulo III.1. Cinética de Reacciones Biológicas* (pp. 217–242).
- Buitrón, G., Reino, C., y Carrera, J. (2018). Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales. In *Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*.
http://www.cytcd.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf
- Canales, H. O., y Sevilla, A. A. (2016). *Evaluación del uso de microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes domésticos residuales del Distrito de Pátapo* [Tesis presentada para optar el título de Ingeniero Químico]. Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", Perú.
- Cardona, J., y García, L. A. (2008). *Evaluación del Efecto de dos Microorganismos Eficaces (Em®) sobre la Calidad de un Agua Residual Doméstica*. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

- Cermal. (2014). *Perú Info*. Cermal - Editions. <https://www.peruinformation.org/titicaca-cw7n>
- Colombia. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenibles. (2015). Resolución 631 de 2015 del 17 de marzo se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial No. 49.486 de 18 de Abril de 2015*, 73.
https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf
- Colombia. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenibles. (2018). Resolución 883 de 18 de mayo se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial*, 50(603), 14.
<http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/18-res-883-de-2018.pdf>
- Çomaklı, K., Çakır, U., Kaya, M., y Bakirci, K. (2012). The relation of collector and storage tank size in solar heating systems. *Energy Conversion and Management*, 63, 112–117.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.031>
- Comeau, Y. (2017a). Metabolismo Microbiano. In *Tratamiento biológico de aguas residuales. Principios, modelación y diseño* (p. 32). IWA Publishing.
https://watermark.silverchair.com/wio9781780409146.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAgwggIEBgkqhkiG9w0BBwagggH1MIIB8QIBADCCAeoGCSqGSlb3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQM26VvYg4rC6ev8JOBAgEQgIBu3tO8JRrXJ_x0tSClzHvvWNTKlyjXKgrdbKj1O
- Comeau, Y. (2017b). *Microbial metabolism*. <http://mediaserver.ihe.nl/p2go/BiologicalWastewaterTreatment/Ch02-Microbialmetabolism-Lecture1/ihehtml5.html>
- Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental del Lago Titicaca y sus Afluentes - DS. N° 075-2013-PCM. (2014). *Estado de la Calidad Ambiental de la Cuenca del Lago Titicaca. Ámbito Peruano*. <http://www.minam.gob.pe/puno/wp-content/uploads/sites/55/2014/02/ESTUDIO-DEL-ESTADO-DE-LA-CALIDAD-AMBIENTAL-CUENCA-DEL-TITICACA..pdf>
- Ley N° 30834. Ley que declara de necesidad pública la ejecución del proyecto “Sistema de tratamiento de las aguas residuales de la cuenca del Lago Titicaca” y autoriza la expropiación de inmuebles, (2018). <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/ley-que-declara-de-necesidad-publica-la-ejecucion-del-proyec-ley-n-30834-1675526-1>
- Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D., Savelli, H. (2010). The Role of Wastewater Management in Sustainable Development. *Programa de Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente/Programa de Las Naciones Unidas Para Los Asentamientos/GRID - Arendal (PNUMA/ONU-Habitad)*.
www.unep.org/pdf/SickWater_screen.pdf
- Daims, H., Lebedeva, E. V., Pjevac, P., Han, P., Herbold, C., Albertsen, M., Jehmlich, N., Palatinszky, M., Vierheilig, J., Bulaev, A., Kirkegaard, R. H., von Bergen, M., Rattei, T., Bendinger, B., Nielsen, P. H., and Wagner, M. (2015). Complete nitrification by *Nitrospira* bacteria. *Nature*, 528(7583), 504–509. <https://doi.org/10.1038/nature16461>

- DAVIS. (2020). "Sitio web oficial." <https://www.davisinstruments.com/product/vantage-pro2-consolereceiver/>
- Davis, M. L. (2010). *Water and Wastewater Engineering*. McGraw-Hill Professional Publishing.
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. (2010, March 17). Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *Ministerio Del Medio Ambiente*.
- DIGESA. (2005). *Parámetros organolépticos*. Dirección General de Salud Ambiental. Perú. http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO DE USO 1.pdf
- EMRO. (2020). *Portal oficial de Tecnología EM™ en América Latina*. EM Research Organization. <https://www.em-la.com/aplicacoes-e-uso/medio-ambiente/>
- EMSAPUNO. (2011). Resumen descriptivo del sistema de tratamiento de agua residual en la ciudad de Puno - Perú. In *EMSAPUNO S.A.*
- España. (1996). Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Boletín Oficial Del Estado*, 77, de 29 de marzo de 1996. <https://www.boe.es/buscar/pdf/1996/BOE-A-1996-7159-consolidado.pdf>
- España. (1998). Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales. *Boletín Oficial Del Estado*, 251, de 20 de octubre, 34635 a 34636. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1998-24166>
- Forde, M., Izurieta, R., Órmeci, B., Arellano, M., y Mitchell, K. (2019). Agua y salud. In IANAS/UNESCO (Ed.), *Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades* (pp. 29–38).
- García, Y. C., y Robles, D. E. (2018). *Determinación de la dosis de microorganismos eficientes para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la universidad nacional de Ucayali, distrito de Callería, provincia de coronel portillo, Ucayali* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental]. Universidad Nacional de Ucayali, Perú.
- Henze, M. (1992). Characterization of wastewater for modelling of activated sludge processes. *Water Science and Technology*, 25(6), 1–15. <https://doi.org/10.2166/wst.1992.0110>
- Henze, M. (1997). Trends in advanced wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 35(10), 1–4. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00223-0](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00223-0)
- Henze, M., y Comeau, Y. (2011). Wastewater Characterization. In *Biological wastewater treatment: principles, modelling and design* (pp. 33–52). IWA Pub. <https://doi.org/10.2166/9781780409146>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., and Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edic). McGraw-Hill Education.
- Higa, T. (2002). An Earth Saving Revolution. *Sunmark Publishing*, 367.

- Holmes, D. E., Dang, Y., y Smith, J. A. (2019). Nitrogen cycling during wastewater treatment. *Advances in Applied Microbiology*, 106, 113–192.
<https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.10.003>
- Huanca, E. (2017). *Caracterización de los recursos eólico y solar de la ciudad de Juliaca*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Huayllani, K. O. (2017). *Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Continental, Perú].
http://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/continental/3823/1/INV_FIN_107_TE_Huayllani_Hilario_2017.pdf
- IANAS/UNESCO. (2019). Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades. In IANAS/UNESCO (Ed.), *IANAS La Red Interamericana de Academias de Ciencias* (1st ed., Issue February).
https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Benjumea_Hoyos/publication/331940115_La_calidad_del_agua_en_Colombia/links/5c93f9e5299bf111693e2ec6/La-calidad-del-agua-en-Colombia.pdf#page=285
- IMARPE. (2018). *Boletín Diario Limnológico del Lago Titicaca* (Vol. 253, Issue Año 3, 10 de setiembre).
- IRENA International Renewable Energy Agency. (2020). *Renewables Increasingly Beat Even Cheapest Coal Competitors on Cost*.
<https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2020/Jun/Renewables-Increasingly-Beat-Even-Cheapest-Coal-Competitors-on-Cost>
- Isla de Juana, R. (2005). *Proyectos de plantas de tratamiento de aguas. Aguas de proceso, residuales y de refrigeración* (Editorial).
- Juanicó, L. E., y Di Lalla, N. (2013). *Colector solar térmico de muy bajo costo y autoconstrucción universal*.
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/49/101/49101661.pdf
- Lara, K. L., y Santillán, L. M. (2018). *Evaluación del comportamiento de los microorganismos eficientes para acelerar la transformación de los desechos sólidos orgánicos originados en el mercado San Alfonso-Riobamba*. Escuela Superior Politécnica de Chimboraz, Ecuador.
- Larios-Meño, F., González, C., y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2(1991), 9–25.
- López-Cózar, J. M. (2006). *Energía Solar térmica. Manuales de energía renovables*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.
- López, C. M., Buitrón, G., García, H. A., y Cervantes, F. J. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. In 9781780409146. Intelligence Online, 16 (Ed.), *IWA Publishing* (2017th ed.). IWA Publishing.
<https://doi.org/10.2166/9781780409146>
- Luvi, U. (2014). *Evaluación de los índices microbiológicos y fisicoquímicos en aguas*

residuales de la ciudad de Puno – tratadas con microorganismos nativos [Tesis para optar el título de Médico Veterinario y Zootecnista]. Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Perú.

Mamani, N. T., y Chavez, R. D. (2018). *Evaluación de la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas - Puno, 2018* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Ambiental, Universidad Peruana Unión].
https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1665/Nancy_Tesis_Licenciatura_2018..pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mara, D., y Cairncross, S. (1990). Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. In *Organización Mundial de la Salud*.
http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39350/9243542486_es_part1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marín, R. (2011). Corrosión y agresividad en aguas residuales. Mecanismos, ejemplos y costes. *Tecno Ambiente: Revista Profesional de Tecnología y Equipamiento de Ingeniería Ambiental*, 219, 15–24.
http://www.emacsa.es/download/idi/Corrosion_TecnoAmbiente_11.pdf

Marín, A., y Osés, M. (2013). Manual de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados. Tomo I y II. In *CEA Jalisco: Vol. I*. CEA Jalisco Dirección de operación de plantas de Tratamiento de aguas residuales. www.ceajalisco.gob.mx/publicaciones/pdf/plantas_tratam_tomo1.pdf

MEF. (2010). Decreto Supremo N° 051-2010-EF, Reglamento de la Ley de Promoción para el Desarrollo de Actividades Productivas en Zonas Altoandinas. *Diario Oficial El Peruano*, 30 de enero, 4. Reglamento de la Ley de Promoción para el Desarrollo de Actividades Productivas en Zonas Altoandinas

Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización* (3ª Edición). McGraw-Hill.

México. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. (1997). Nom-001-Ecol-1996. Norma Oficial Mexicana, que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales. *Diario Oficial de La Federación*, 1–2.
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4863829&fecha=06/01/1997

México. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. (1998). Nom-003-ECOL-1997. Norma Oficial Mexicana, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. *Diario Oficial de La Federación*, 85, 201–204.
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69207.pdf%0Ahttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:NORMA+Oficial+Mexicana+NOM-003-ECOL-1997#0%5Cnhttp://>

Mihelcic, J. R., Hand, D. W., y Auer, M. T. (2012). Tratamiento de aguas residuales. In *Ingeniería Ambiental. Fundamentos. Sustentabilidad* (2nd ed., pp. 460–517).

Mihelcic, J. R., Urban, N. R., y Perlinger, J. A. (2012). Química. In *Ingeniería Ambiental*.

Fundamentos. Sustentabilidad (pp. 52–104).

- Mihelcic, J. R., y Zimmerman, J. B. (2012). *Ingeniería Ambiental. Fundamentos. Sustentabilidad*. Alfayomega.
- MINAM. (2005). Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. *Diario Oficial El Peruano*, 1, 13 octubre. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-marco-de-la-gestion-y-decreto-legislativo-n-1280-1468461-1/>
- MINAM. (2013). *Línea Base Ambiental de la Cuenca del lago Titicaca* (Viceministerio de Gestión Ambiental - Dirección General de Calidad Ambiental (ed.)). <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/linea-base-ambiental-cuenca-lago-titicaca>
- MINEM. (2014). Plan Energético Nacional 2014-2015. Resumen Ejecutivo. In *Ministro de Energía y Minas*.
- Molina, E. C., Garciadiego, L. H., Ruíz, H. G., y Cañizares, P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de La Sociedad Química de México*, 47(001), 88–92.
- MVCS. (2006a). Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA. Aprueban 66 Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones-RNE. Norma OS:090 Plantas de tratamiento de aguas residuales. *Diario Oficial El Peruano*, 8 de mayo, 318333–318335. http://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/CPARNE/01_DS_N°011-2006-VIVIENDA.pdf
- MVCS. (2006b). Norma OS.090. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Diario Oficial El Peruano*, 320555–320775.
- MVCS. (2017a). *Construcción de 10 plantas de tratamiento de aguas residuales en Puno se ejecutará este año*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/7361-construccion-de-10-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-puno-se-ejecutara-este-ano>
- MVCS. (2017b). *Decreto Legislativo N° 1280, que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento*. 24 de abril, 50.
- MVCS. (2017c). Decreto Supremo N° 018-2017-Vivienda, aprueba el Plan Nacional de Sanamiento 2017 - 2021. *Diario Oficial El Peruano*, 25 de Junio, 1–67. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-supremo-que-aprueba-el-plan-nacional-de-saneamiento-decreto-supremo-n-018-2017-vivienda-1537154-9>
- MVCS. (2019). Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. *Diario Oficial El Peruano*, 9 de marzo, 16. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010-2019-vivienda>
- Navntoft, C., y Paz Cristóbal, M. (2019). Introducción a la energía solar térmica. In <https://www.argentina.gob.ar>. Secretaría de Gobierno de Energía. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_introduccion_a_la_energia_solar_termica_final.pdf
- Northcote, T. G. (1991). Eutrofización y problemas de polución. In C. Dejoux and A. Ittis (Eds.), *El Lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual* (1st ed., pp. 563–572). http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36651.pdf

- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M., and Güereca, L. P. (2013). Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. In *Universidad Nacional Autónoma de México*. <http://es.slideshare.net/EdwinMamaniVilcapaza/seleccion-de-tecnologias-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-municipales>
- OEFA (Organismo Nacional de Fiscalización Ambiental). (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Ministerio Del Medio Ambiente.
- Orozco, A. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y Diseño* (Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Acodal (ed.); Segunda).
- OSINERMIN Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2020). *Osinermin*. <https://www.osinergmin.gob.pe/calcula-tu-consumo-de-luz>
- Paredes, L. (2017). *Evaluación de Microorganismos Eficientes para la Remoción de Ácido Sulfhídrico sobre Lodos Activados en Aguas Residuales de La Industria Procesadora de Alimentos La Ibérica* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/6120/1/108T0175.pdf>
- Peirano, J. (2016). *Gestión y Tratamiento del Agua Potable, Industrial y Residual* (J. Peirano (ed.); 1° Edición). Colegio de Ingenieros del Perú.
- Peña, E. (2012). *Calidad de Agua Trabajo de Investigacion Oxigeno Disuelto (OD)*.
- PNUD-Perú. (2019). *Un observatorio contra la contaminación del lago Titicaca*. <https://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/presscenter/articles/2019/un-observatorio-contra-la-contaminacion-del-lago-titicaca.html>
- Pontaza Pivaral, J. M. (2014). *Eficiencia de microorganismos efectivos (ME) aplicados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (Colonia Panorama), Mixco, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – Proyecto PNUMA Titicaca. (2011). *Encuesta de los Sistemas de Tratamiento y Disposición Final de Residuales Líquidos en la Cuenca del Titicaca (TDPS – PERU)*.
- ProInversión. (2018). *Inversiones Estratégicas*. <https://www.proyectosapp.pe/modulos/JER/PlantillaProyecto.aspx?ARE=0&PFL=2&JER=7981&SEC=22>
- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Redalyc*, 106(22), 71–80. <https://doi.org/10.1021/ja00334a047>
- Ramalho, R. S. (2014). Tratamiento de Aguas Residuales. In *Editorial Reverté, S. A* (Revisada.,). http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Rodríguez, J. P., García, C. A., y Pardo, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Tecnura*, 19(46), 149. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12>
- Romero, J. (2000). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño* (2° Edición). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Romero, T. de J., y Vargas, D. (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), 88–100.
<http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha08317.pdf>
- Romero, A. J. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales* (1st ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. NUEvas Ediciones Ltda
- Romero, A. J. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de Diseño*. (3a ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. A. (2005). *Calidad del Agua* (2nd ed.). ALFAOMEGA.
- Rossi, M. G. (2010). Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú. In *Fondo Nacional del Ambiente - Perú*.
www.fonamperu.org/.../agua/.../Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf
- Sánchez-Ramírez, J., Ribes, J., Ferrer, J., yGarcía-Usach, M. F. (2017). Obtención de los principales parámetros del agua residual urbana empleados en los modelos matemáticos de fangos activados a partir de una caracterización analítica simple. *Ingeniería y Región*, 17, 33–48.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6662298>
- Santillán, L. M., y Paredes, L. P. (2018). Remoción de ácido sulfhídrico por microorganismos sobre lodos activados en aguas residuales de la industria alimenticia. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 27(1, March-August), 112–123.
<https://revistas.ups.edu.ec/index.php/granja/issue/view/143>
- Satge, F. (2013). Desarrollo de un modelo de hidrología espacial para la cuenca del TDPS. // *Simposio Internacional Del Lago Titicaca - TDPS ... Una Responsabilidad Compartida*, 7,8 y 9 de marzo, 5.
- Schallenberg, J. C., Gonzalo, R., Izquierdo, P., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga, P., Ramón, F., Déniz, G., Díaz, M., Delia, T., Pérez, C., Martel Rodríguez, G., Pardilla, J., Vicente, F., y Ortin, S. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética* (1st ed.).
- Seguí Chilet, S., y Gimeno -S, O. (2016). *Introducción a las energías renovable. Energía Solar Fotovoltaica (on-line)*. <https://www.cursosfotovoltaica.com/energia-solar-online/elementos-sistemas-solares-fotovoltaicos/>
- SENAMHI. (2017). *Atlas de la Energía Solar del Perú, Enería solar incidente diaria, Departamento de Puno (1975-1990)*.
- Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico* (1st ed.). Universidad de Medellín.
- Silva, A., y Silva, R. (1995). *Utilización de microorganismos eficaces, para el tratamiento de aguas negras domesticas por el método de lodos activados* (2° edición). Mokishi Okada.
- Smill, V. (1999). Nitrogen in crop production: An account of global flows. *Global Biogeochemical Cycles*, 13, 647–662.
- SUNASS. (2006). *Resolución de Consejo Directivo N° 10 -2006-SUNASS-CD. 11 de marzo*, 64. https://www.sunass.gob.pe/doc/normas legales/2006/re10_06cd.pdf
- SUNASS y GIZ. (2016). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en

- el Ámbito de Operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento. In *SUNASS*.
- Toc, R. M. (2012). *Efecto de los microorganismos eficientes (ME) en las aguas residuales de la granja porcina de Zamorano, Honduras*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Torres, A. (2019). *Análisis de Aguas Residuales*. 59. http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf
- Trapote, A. (2011). *Depuración de aguas residuales urbanas* (1st ed.). Universidad de Alicante.
- UNESCO. (2020a). *The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*.
- UNESCO, O.-A. (2020b). Agua y cambio climático. In *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611.locale=es>
- UNICEF-WHO. (2015). *Updates Report of the WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation*. <http://www.unwater.org/publications/%0Ajmp/en/>
- Urquidi-Barrau, F., y España Vásquez, C. D. (2019). Calidad del agua potable en Bolivia. In IANAS/UNESCO (Ed.), *Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades* (pp. 79–106).
- Valdez, A. (2016). Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito [• Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano, Perú]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4085>
- Vammen, K., y Vaux, H. (2019). Una visión general de la calidad del agua en las Américas. In IANAS/UNESCO (Ed.), *Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades*.
- van Kessel, M. A. H. J., Speth, D. R., Albertsen, M., Nielsen, P. H., Op den Camp, H. J. M., Kartal, B., Jetten, M. S. M., and Lücker, S. (2015). Complete nitrification by a single microorganism. *Nature*, 528(7583), 555–559. <https://doi.org/10.1038/nature16459>
- van Loosdrecht, M. C. M. (2017). Remoción Innovadora de Nitrógeno. In *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. IWA Publishing.
- Vásquez, A. (2017). *Determinación del efecto de los microorganismos eficientes para la remoción del valor de la DBO en las aguas residuales domésticas de la localidad de Japelacio – 2016*. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.
- Villanueva, C. (2016). Tecnologías de Tratamientos de Efluentes Industriales y Domésticos (MBBR-MBR). In J. E. Peirano Serrano and CIP-CDLL (Eds.), *Gestión y Tratamiento del Agua Potables, Industrial y Residual* (Primera, p. 266). Imprenta Editorial Gráfica Real S.A.C.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2017). Aguas Residuales, El Recurso Desaprovechado. In *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017*. http://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/wastewater/es/

Anexo 1. Cadena de custodia de los parámetros diarios

CADENA DE CUSTODIA									
PROYECTO: " EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN CONDICIONES ALTOANDINAS"									
Direccion		Salida Arequipa	Distrito	Juliaca	Región			Puno	
PARAMETROS INSITU									
Fecha de monitoreo	Tratamientos	Hora de monitoreo	Temperatura (°C)	pH	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Responsable del monitoreo	Firma	Observaciones
16/10/2019	1	12:01 pm	22.08	7.15	1340	0.11	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	El equipo utilizado para realizar el monitoreo, presenta los resultados del parámetro de conductividad eléctrica con la unidad de medida $\mu S/cm$.
	2	12:07 pm	22.08	7.15	1340	0.11	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:12 pm	22.08	7.15	1340	0.11	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:18 pm	22.08	7.15	1340	0.11	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
17/10/2019	1	12:00 md	23.70	8.12	1247	1.05	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:06 pm	24.55	7.72	1300	0.10	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:11 pm	24.20	7.91	1465	0.10	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:18 pm	23.80	8.16	1330	1.03	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
19/10/2019	1	12:02 pm	18.30	8.22	1259	1.12	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:07 pm	19.80	8.13	1260	0.08	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:13 pm	20.00	8.25	1250	0.11	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:19 pm	18.20	8.32	1239	0.91	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
19/10/2019	1	11:58 am	19.53	8.17	1258	2.51	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:06 pm	21.20	8.24	1267	0.10	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:12 pm	20.90	8.36	1124	1.88	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:19 pm	19.48	8.39	1230	2.24	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
20/10/2019	1	12:00 md	20.75	8.12	1257	3.90	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:06 pm	22.60	8.36	1273	0.13	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:13 pm	21.80	8.46	998	1.65	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:18 pm	20.75	8.45	1222	3.57	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
21/10/2019	1	11:55 am	20.35	8.14	1257	5.18	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:02 pm	22.75	8.25	1273	0.80	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:08 pm	22.95	8.56	998	1.00	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:14 pm	20.90	8.69	1222	5.13	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
		Nombres y Apellidos		Laboratorio de Monitoreo Ambiental		Firma	Fecha	Hora	
Entregado por:		Loayza Abigail Candori T.		UPeU - FJ		<i>[Firma]</i>	21/10/2019	3:00 pm	
Recibido por:		Glen Bryan Madrigal		UPeU - FJ		<i>[Firma]</i>	21/10/2019	3:00 pm	



CADENA DE CUSTODIA									
PROYECTO: " EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN CONDICIONES ALTOANDINAS"									
Direccion		Salida Arequipa	Distrito	Juliana	Región			Puno	
PARAMETROS INSITU									
Fecha de monitoreo	Tratamientos	Hora de monitoreo	Temperatura (°C)	pH	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Responsable del monitoreo	Firma	Observaciones
22/10/2019	1	12:00 md	24.10	8.93	1231	5.21	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	El equipo utilizado para realizar el monitoreo, presenta los resultados del parámetro de conductividad eléctrica con la unidad de medida $\mu S/cm$.
	2	12:06 pm	26.15	8.62	1282	0.90	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:13 pm	26.40	8.90	998	0.69	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:19 pm	24.90	9.04	1174	4.70	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
23/10/2019	1	11:59 am	19.00	8.73	1240	3.84	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:06 pm	21.50	8.46	1268	1.34	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:13 pm	23.00	8.67	999	0.31	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:19 pm	20.90	8.79	1156	4.96	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
24/10/2019	1	12:01 pm	18.00	8.58	1245	5.11	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:07 pm	20.10	8.61	1267	1.28	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:13 pm	19.80	8.99	936	1.48	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:18 pm	18.80	8.74	1155	5.27	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
25/10/2019	1	12:00 md	20.60	8.68	1216	5.14	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:06 pm	22.50	8.66	1251	1.19	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:12 pm	22.30	9.11	881	1.52	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:19 pm	20.50	8.94	1130	5.28	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
26/10/2019	1	12:00 md	24.30	8.79	938	4.96	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:06 pm	25.90	7.03	1138	0.98	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:13 pm	25.00	9.67	815	0.90	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:19 pm	25.60	9.82	910	4.33	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
27/10/2019	1	12:01 pm	24.80	8.79	938	5.16	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	2	12:07 pm	25.90	9.03	1138	1.15	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	3	12:16 pm	25.50	9.67	815	0.08	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
	4	12:21 pm	24.40	9.82	910	4.33	Loayza Carol.	<i>[Firma]</i>	
Entregado por:	Nombres y Apellidos		Laboratorio de Monitoreo Ambiental		Firma	Fecha	Hora		
Recibido por:	Loayza Abigail Gordon T.		UPeU-FJ		<i>[Firma]</i>	27/11/2019	3:00 pm		
	Glen Bryan Rodriguez		UPeU-FJ		<i>[Firma]</i>	27/11/2019	3:00 pm		



CADENA DE CUSTODIA									
PROYECTO: " EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN CONDICIONES ALTOANDINAS"									
Dirección	Salida Arequipa	Distrito	Juliaca	Región			Puno		
PARAMETROS INSITU									
Fecha de monitoreo	Tratamientos	Hora de monitoreo	Temperatura (°C)	pH	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Responsable del monitoreo	Firma	Observaciones
28/10/2019	1	12:01 pm	18.60	9.68	915	5.53	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	El equipo utilizado para realizar el monitoreo, presenta los resultados del parámetro de conductividad eléctrica con la unidad de medida $\mu S/cm$.
	2	12:07 pm	20.10	9.15	1072	1.48	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	3	12:12 pm	20.80	9.66	769	0.50	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	4	12:19 pm	19.80	9.85	865	5.07	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
29/10/2019	1	12:00 md	16.20	9.55	921	4.71	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	2	12:06 pm	17.30	9.09	1052	1.87	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	3	12:13 pm	17.30	9.63	768	1.09	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	4	12:19 pm	16.50	9.77	871	4.50	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
30/10/2019	1	12:03 pm	24.00	10.55	916	3.11	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	2	12:08 pm	26.20	10.39	1017	0.30	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	3	12:14 pm	25.90	10.83	879	1.10	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	4	12:20 pm	25.10	10.82	856	4.21	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
31/10/2019	1	12:00 md	23.56	10.16	910	3.11	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	2	12:07 pm	26.20	10.30	982	0.39	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	3	12:13 pm	25.90	10.68	989	0.95	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	4	12:21 pm	25.10	10.56	840	4.21	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
01/11/2019	1	11:58 am	23.12	9.78	907	4.85	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	2	12:05 pm	24.80	10.22	995	1.20	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	3	12:13 pm	25.13	10.52	924	1.23	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	4	12:19 pm	23.78	10.30	1016	4.32	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
02/11/2019	1	12:00 md	31.37	10.01	1008	4.08	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	2	12:07 pm	33.10	10.61	1081	1.57	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	3	12:13 pm	33.83	10.79	899	1.24	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
	4	12:20 pm	32.73	10.27	976	4.10	Lacayda Carol.	<i>Lacayda</i>	
Entregado por:	Nombres y Apellidos		Laboratorio de Monitoreo Ambiental		Firma	Fecha	Hora		
Recibido por:	Lacayda Abigail Carolina T.		UPeU-FJ		<i>Lacayda</i>	02/11/2019	4:00 pm		
	Gkn Bryan Madrigal		UPeU-FJ		<i>[Firma]</i>	02/11/2019	4:00 pm		



CADENA DE CUSTODIA									
PROYECTO: " EFECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN CONDICIONES ALTOANDINAS"									
Direccion		Salida Arequipa	Distrito	Juliaca		Región		Puno	
PARAMETROS INSITU									
Fecha de monitoreo	Tratamientos	Hora de monitoreo	Temperatura (°C)	pH	Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Responsable del monitoreo	Firma	Observaciones
03/11/2019	1	12:00 md	17.37	9.37	1032	5.33	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	El equipo utilizado para realizar el monitoreo, presenta los resultados del parámetro de conductividad eléctrica con la unidad de medida $\mu\text{S/cm}$.
	2	12:06 pm	20.80	10.09	1097	0.28	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	3	12:12 pm	20.23	10.19	889	0.21	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	4	12:18 pm	18.97	9.49	1003	4.66	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
04/11/2019	1	12:01 pm	19.65	10.01	1109	4.96	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	2	12:07 pm	22.42	10.29	1119	0.98	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	3	12:14 pm	22.32	10.38	941	0.95	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	4	12:20 pm	19.99	10.11	1060	4.84	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
05/11/2019	1	12:02 pm	16.90	9.79	1121	5.72	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	2	12:08 pm	18.80	10.06	1141	0.28	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	3	12:16 pm	18.77	10.04	930	1.57	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	4	12:21 pm	16.70	9.84	1059	5.76	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
06/11/2019	1	12:01 pm	12.13	9.80	1112	6.47	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	2	12:07 pm	14.23	10.10	1153	0.17	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	3	12:13 pm	12.77	10.01	950	1.49	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	4	12:20 pm	12.13	9.33	1078	6.36	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
07/11/2019	1	11:59 am	16.93	9.81	1147	5.42	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	2	12:06 pm	19.37	10.14	1165	0.47	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	3	12:13 pm	13.14	10.20	966	1.17	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	4	12:18 pm	16.87	9.66	1114	5.80	Lacayo Candel	<i>Lacayo</i>	
	1								
	2								
	3								
	4								
Entregado por:	Nombres y Apellidos		Laboratorio de Monitoreo Ambiental		Firma	Fecha	Hora		
Recibido por:	Lacayo Abigail Carolina T.		UPeU-FJ		<i>Lacayo</i>	08/11/2019	10:00 am		
	Glen Bryan Madrigal		UPeU-FJ		<i>Glen Bryan</i>	08/11/2019	10:00 am		



	03:00	4.7	4.6	2.6	642.6	0	0.0	5.6	4.1	2.1	642.2	0	0.0	4.6	2.6	0.6	643.2	0	0.0	4.9	4.7	2.7	643.8	0	0.0
	03:30	5.1	4.9	3.8	642.7	0	0.0	5.5	4.6	3.4	642.3	0	0.0	4.4	4.3	3.2	643.3	0	0.0	4.7	3.8	2.7	643.7	0	0.0
	04:00	5.4	5.4	4.3	642.9	0	0.0	5.6	5.4	4.3	642.3	0	0.0	4.4	4.3	3.2	643.5	0	0.0	4.8	3.8	2.7	643.7	0	0.0
	04:30	5.6	5.6	4.4	642.9	0	0.0	5.3	5.2	4.0	642.6	0	0.0	4.4	4.3	3.2	643.7	0	0.0	4.7	4.6	3.4	643.6	0	0.0
	05:00	5.8	5.8	4.7	643.1	0	0.0	5.1	4.9	3.7	642.8	0	0.0	4.4	4.4	3.2	643.6	0	0.0	4.3	4.2	3.1	643.8	0	0.0
	05:30	5.8	5.7	4.8	643.1	10	0.4	4.8	4.7	3.6	642.9	2	0.1	4.4	4.4	3.3	643.9	4	0.2	4.1	3.9	2.9	643.9	11	0.5
	06:00	5.8	5.8	5.7	643.4	70	3.0	5.4	5.3	4.8	642.9	43	1.9	4.6	4.5	3.9	644.1	36	1.6	4.3	4.3	4.1	644.1	64	2.8
	06:30	7.4	7.3	8.7	643.7	175	7.5	7.6	7.4	8.9	643	184	7.9	6.4	6.3	7.7	644.3	174	7.5	5.6	5.5	6.4	644.4	146	6.3
	07:00	8.6	8.3	11.4	643.9	320	13.8	8.8	8.6	10.9	643.2	260	11.2	7.4	7.3	9.6	644.6	259	11.1	6.7	6.6	8.9	644.7	261	11.2
	07:30	9.6	9.3	11.3	644.1	228	9.8	10.4	10.0	14.4	643.6	458	19.7	8.6	8.4	12.5	644.7	421	18.1	6.7	6.5	7.9	644.8	185	8.0
	08:00	11.0	10.5	14.9	644.1	460	19.8	11.2	10.8	15.3	643.7	468	20.1	8.4	8.3	11.8	644.8	366	15.7	7.2	7.0	8.8	644.9	215	9.3
	08:30	12.1	11.0	16.9	643.8	724	31.1	11.4	10.8	16.4	643.6	619	26.6	9.4	9.2	15.1	644.7	680	29.2	8.0	7.7	11.1	644.9	350	15.1
	09:00	12.6	10.8	16.9	643.6	797	34.3	11.7	11.1	14.1	643.6	310	13.3	10.8	10.5	16.8	644.7	829	35.7	9.0	8.6	13.7	644.9	549	23.6
	09:30	13.4	12.0	17.8	643.7	898	38.6	13.4	12.1	18.2	643.4	741	31.9	10.4	10.1	14.7	644.5	481	20.7	10.5	10.0	16.2	644.8	838	36.0
	10:00	14.6	13.0	18.1	643.6	973	41.8	13.7	12.3	18.0	643.1	903	38.8	12.3	11.6	16.9	644.2	995	42.8	11.3	10.1	16.1	644.7	775	33.3
	10:30	15.0	13.7	---	643.4	1057	45.5	13.5	11.7	16.2	643	475	20.4	12.9	11.7	18.9	643.9	1173	50.5	11.8	10.8	16.9	644.4	1046	45.0
	11:00	15.7	14.3	22.2	643.2	1141	49.1	11.8	8.5	11.2	643	329	14.2	12.4	11.1	15.8	643.6	485	20.9	13.3	12.0	19.4	644.2	1105	47.5
	11:30	15.9	14.2	23.4	642.8	1142	49.1	12.6	11.9	15.2	642.5	322	13.9	14.1	13.1	22.4	643.2	1140	49.0	13.6	12.1	20.0	643.8	1030	44.3
	12:00	14.4	12.7	23.1	643.3	1107	47.6	16.1	13.9	24.2	642.5	1103	47.4	16.6	14.1	23.9	641.9	1083	46.6	17.0	14.3	24.3	642.2	1104	47.5
	12:30	15.2	13.1	25.4	642.9	1080	46.5	16.6	14.3	26.7	642	1090	46.9	17.6	15.1	26.8	641.4	1048	45.1	17.4	---	---	641.8	1052	45.2
	13:00	15.6	13.0	27.4	642.4	1038	44.6	17.4	14.8	29.9	641.6	1066	45.8	17.6	14.9	28.7	640.9	991	42.6	17.9	---	---	641.4	1052	45.2
	13:30	16.0	13.4	29.8	642.0	965	41.5	17.7	15.1	34.1	641.2	1058	45.5	18.4	15.7	32.4	640.3	951	40.9	18.3	13.6	---	641.1	947	40.7
	14:00	16.1	12.8	30.8	641.6	914	39.3	17.4	14.8	33.6	640.9	871	37.5	18.7	15.8	34.1	639.9	872	37.5	18.3	---	---	640.6	895	38.5
	14:30	16.3	13.1	19.8	641.1	804	34.6	17.8	15.1	20.7	640.5	656	28.2	19.2	16.4	23.9	639.5	817	35.1	18.2	15.1	22.2	640.3	809	34.8
	15:00	16.4	13.4	19.2	640.9	707	30.4	17.8	15.0	---	640.4	591	25.4	19.1	16.5	22.8	639.2	708	30.5	18.2	15.0	20.7	640.2	684	29.4
	15:30	15.8	11.9	15.6	640.7	549	23.6	17.7	14.9	18.8	640.2	526	22.6	17.6	13.2	17.2	638.9	583	25.1	17.7	13.6	17.7	640.1	592	25.5
	16:00	15.9	11.9	14.5	640.6	441	19.0	18.5	15.7	19.1	640	469	20.2	16.5	12.7	14.0	638.8	313	13.5	17.8	14.7	17.7	640.1	472	20.3
	16:30	15.6	12.4	13.8	640.8	314	13.5	17.1	14.4	16.0	640.1	330	14.2	15.7	12.6	11.8	639.0	116	5.0	17.0	---	---	640.1	387	16.6
20/10/2019	17:00	14.1	10.5	9.5	641.0	126	5.4	15.7	11.3	10.9	640	153	6.6	15.3	13.1	11.9	639.2	87	3.7	16.1	13.1	12.6	640.3	165	7.1
	17:30	13.7	10.9	8.9	641.2	31	1.3	13.8	9.6	7.9	640.2	34	1.5	14.8	10.9	9.3	639.5	43	1.9	14.3	11.6	9.5	640.4	23	1.0
	18:00	13.5	10.7	8.2	641.7	3	0.1	12.5	8.9	7.1	640.5	2	0.1	13.3	9.6	7.6	640.1	3	0.1	12.7	9.8	7.3	640.7	4	0.2
	18:30	11.1	7.6	5.6	642.1	0	0.0	11.3	10.3	8.1	641.2	0	0.0	12.7	9.7	7.6	640.8	0	0.0	11.7	9.4	7.0	641.2	0	0.0
	19:00	10.2	7.7	5.7	642.5	0	0.0	10.7	9.9	7.7	641.6	0	0.0	11.8	9.9	7.7	641.1	0	0.0	11.3	10.2	8.1	641.5	0	0.0
	19:30	9.1	7.8	5.7	642.8	0	0.0	10.8	9.9	7.7	642	0	0.0	10.4	9.1	6.9	641.4	0	0.0	11.3	-	-	641.6	0	0.0
	20:00	8.5	7.6	5.4	643.1	0	0.0	9.8	9.2	7.1	642.3	0	0.0	9.1	6.4	4.1	641.7	0	0.0	10.6	-	-	641.9	0	0.0
	20:30	8.1	5.9	3.8	643.4	0	0.0	8.1	7.2	5.0	642.5	0	0.0	8.7	5.1	2.8	641.8	0	0.0	10.0	-	-	642.3	0	0.0
	21:00	6.9	5.7	3.6	643.8	0	0.0	7.6	6.6	4.5	642.8	0	0.0	8.1	4.1	1.9	642.2	0	0.0	9.3	-	-	642.6	0	0.0
	21:30	6.1	4.9	2.8	643.8	0	0.0	7.2	6.8	4.7	642.9	0	0.0	7.4	4.3	1.9	642.5	0	0.0	8.6	-	-	642.7	0	0.0
	22:00	5.1	3.8	1.7	643.8	0	0.0	6.7	6.3	4.2	642.9	0	0.0	6.9	4.1	1.6	642.7	0	0.0	7.9	-	-	642.8	0	0.0
	22:30	4.2	1.8	-0.4	643.7	0	0.0	6.1	5.7	3.6	643	0	0.0	6.4	3.2	0.8	642.6	0	0.0	7.3	-	-	642.7	0	0.0
	23:00	3.9	1.0	-1.3	643.4	0	0.0	5.5	5.2	3.1	642.9	0	0.0	5.9	2.0	-0.3	642.5	0	0.0	6.6	-	-	642.6	0	0.0
	23:30	3.4	-0.3	-2.5	643.3	0	0.0	5.4	5.0	2.8	642.7	0	0.0	5.7	2.1	-0.2	642.5	0	0.0	5.9	-	-	642.6	0	0.0
	00:00	2.8	-1.0	-3.2	643.3	0	0.0	5.8	3.5	1.3	642.4	0	0.0	4.7	1.1	-1.3	642.4	0	0.0	5.3	-	-	642.4	0	0.0
	00:30	3.6	-0.7	-2.7	643.2	0	0.0	4.0	1.6	-0.7	642.4	0	0.0	4.6	0.8	-1.6	642.2	0	0.0	4.6	-	-	642.4	0	0.0
	01:00	2.9	-0.6	-2.9	643.1	0	0.0	3.9	1.8	-0.5	642.3	0	0.0	3.7	0.8	-1.6	642.4	0	0.0	3.9	-	-	642.3	0	0.0
21/10/2019	01:30	1.9	-1.7	-4.0	642.8	0	0.0	3.5	0.8	-1.5	642.1	0	0.0	2.3	-0.1	-2.6	642.2	0	0.0	3.2	-	-	642.1	0	0.0
	02:00	1.9	-1.4	-3.7	642.8	0	0.0	3.2	0.5	-1.8	642.1	0	0.0	2.3	-0.2	-2.7	642.2	0	0.0	2.6	-	-	641.9	0	0.0
	02:30	2.4	-0.4	-2.7	642.8	0	0.0	2.2	-0.2	-2.5	642.1	0	0.0	1.9	-0.6	-3.0	641.9	0	0.0	1.9	-0.8	-3.1	641.8	0	0.0
	03:00	0.8	-1.6	-3.9	642.7	0	0.0	2.6	0.8	-1.6	642.2	0	0.0	0.6	-2.6	-5.0	642.0	0	0.0	1.4	-2.6	-4.8	642.1	0	0.0
	03:30	0.2	-2.8	-4.1	642.6	0	0.0	2.5	0.2	-1.2	642.5	0	0.0	1.2	-1.8	-3.2	642.2	0	0.0	1.1	0.3	-0.9	642.1	0	0.0
	04:00	0.4	-3.4	-4.7	642.8	0	0.0	1.8	-1.2	-2.5	642.5	0	0.0	0.4	-3.2	-4.6	642.2	0	0.0	0.8	0.6	-0.7	642.2	0	0.0
	04:30	0.7	-3.1	-4.4	643.0	0	0.0	1.6	-1.8	-3.1	642.9	0	0.0	1.2	-2.7	-4.1	642.6	0	0.0	0.7	-0.1	-1.4	642.5	0	0.0
	05:00	0.8	-3.0	-4.3	643.2	0	0.0	1.3	-0.5	-1.9	643	0	0.0	0.3	-2.9	-4.3	642.9	0	0.0	-0.2	-1.1	-2.4	642.7	0	0.0

	05:30	0.6	-1.2	-2.3	643.4	13	0.6	1.6	-0.1	-1.3	643.3	7	0.3	0.6	-3.1	-4.3	643.2	7	0.3	0.4	0.2	-0.9	642.9	8	0.3
	06:00	0.7	0.4	-0.2	643.8	46	2.0	2.1	-0.8	-1.3	643.5	54	2.3	2.6	0.1	-0.4	643.4	56	2.4	0.8	---	---	643.1	33	1.4
	06:30	1.3	-0.9	-0.1	644.0	149	6.4	5.4	2.8	4.6	643.8	224	9.6	4.6	3.7	5.5	643.7	230	9.9	6.0	---	---	643.5	367	15.8
	07:00	4.8	2.3	5.7	644.2	368	15.8	7.2	4.9	8.2	644	361	15.5	6.6	5.7	8.9	643.9	367	15.8	7.0	---	---	643.8	534	23.0
	07:30	6.7	4.8	9.1	644.3	474	20.4	9.0	7.8	12.2	644.2	485	20.9	8.4	6.3	10.7	644.0	499	21.5	8.7	7.9	12.8	644.1	534	23.0
	08:00	8.9	6.9	12.2	644.3	612	26.3	10.4	8.9	14.3	644.2	610	26.2	10.4	8.9	14.2	644.0	620	26.7	11.3	10.4	15.8	644.2	599	25.8
	08:30	10.8	9.0	14.8	644.3	724	31.1	11.4	10.4	16.4	644.2	712	30.6	12.6	10.6	16.3	644.0	732	31.5	12.7	11.4	17.3	644.1	705	30.3
	09:00	12.6	10.7	16.6	644.3	833	35.8	12.9	11.6	17.7	644	820	35.3	13.8	11.5	17.3	643.9	836	36.0	13.6	12.1	18.2	644.0	801	34.5
	09:30	13.9	12.2	17.9	644.0	913	39.3	14.4	12.7	18.4	643.8	917	39.4	14.4	11.9	17.4	643.8	911	39.2	14.4	12.7	18.7	643.9	867	37.3
	10:00	13.8	11.9	16.8	643.8	978	42.1	15.4	13.4	18.3	643.4	978	42.1	14.8	11.5	---	643.6	966	41.5	15.2	13.4	18.5	643.7	937	40.3
	10:30	14.1	10.9	16.5	643.7	1043	44.9	16.1	13.9	19.9	643.1	1064	45.8	15.2	11.0	16.2	643.4	1075	46.2	15.7	13.3	18.8	643.7	1002	43.1
	11:00	14.6	11.9	19.1	643.3	1089	46.8	16.2	14.1	21.1	642.8	1078	46.4	16.0	12.4	---	643.0	1090	46.9	16.3	13.6	20.2	643.3	1051	45.2
	11:30	15.7	13.4	21.9	643.0	1103	47.4	16.6	14.3	22.3	642.3	1058	45.5	16.7	13.8	21.9	642.7	1105	47.5	17.5	14.8	22.9	643.0	1075	46.2
	12:00	17.4	14.7	24.5	642.7	1108	47.7	17.5	15.0	20.6	643.3	705	30.3	16.9	15.1	20.4	643.1	645	27.7	19.5	16.3	25.8	642.5	1128	48.5
	12:30	18.2	15.3	27.6	642.2	1102	47.4	18.2	15.3	24.7	642.9	893	38.4	18.3	16.3	26.6	642.7	942	40.5	19.7	16.3	27.4	642.2	1089	46.8
	13:00	18.7	15.7	31.5	641.8	1130	48.6	18.6	15.7	29.8	642.5	1052	45.2	17.8	15.6	23.8	642.3	655	28.2	19.4	16.1	29.2	641.7	1035	44.5
	13:30	18.2	15.2	32.0	641.4	967	41.6	18.9	15.9	32.8	642.2	978	42.1	18.2	15.6	26.7	641.9	682	29.3	19.7	15.6	30.4	641.4	987	42.5
	14:00	18.7	14.5	29.8	641.3	841	36.2	18.7	15.4	33.2	641.8	894	38.5	18.4	15.7	29.4	641.5	678	29.2	19.7	15.2	32.2	641.1	955	41.1
	14:30	18.6	14.7	21.1	641.0	789	33.9	18.8	15.1	21.6	641.6	799	34.4	19.1	15.2	21.7	641.3	803	34.5	19.7	14.9	21.6	641.1	877	37.7
	15:00	18.1	14.3	19.6	640.9	683	29.4	18.6	14.4	19.5	641.4	689	29.6	18.8	15.4	20.8	641.1	686	29.5	18.4	13.8	18.4	640.8	648	27.9
	15:30	17.9	13.1	16.7	640.7	579	24.9	18.7	15.6	20.1	641	573	24.6	18.4	14.6	18.5	641.0	566	24.3	18.6	13.5	16.9	640.9	553	23.8
	16:00	17.4	12.9	15.6	640.5	451	19.4	17.7	13.3	15.9	641	445	19.1	17.9	15.2	17.9	640.9	426	18.3	17.3	12.4	14.8	640.9	450	19.4
	16:30	16.5	12.3	13.7	640.6	332	14.3	16.9	12.6	13.8	641.1	317	13.6	17.1	14.6	15.9	641.1	302	13.0	16.5	12.4	12.7	640.9	211	9.1
24/10/2019	17:00	15.4	11.2	10.9	640.8	163	7.0	15.8	11.8	11.4	641.4	154	6.6	15.0	11.8	10.6	641.4	76	3.3	15.8	12.1	11.2	641.0	96	4.1
	17:30	13.9	10.8	9.3	641.1	41	1.8	14.0	10.4	9.0	641.7	39	1.7	14.0	10.6	8.9	641.6	22	1.0	15.3	11.1	9.9	641.3	58	2.5
	18:00	12.7	10.8	8.7	641.5	3	0.1	13.1	10.3	8.5	642.1	3	0.1	12.8	10.1	8.2	642.0	2	0.1	14.6	11.4	9.5	641.5	3	0.1
	18:30	12.0	10.6	8.4	641.9	0	0.0	12.2	10.3	8.3	642.5	0	0.0	12.0	8.9	7.2	642.2	0	0.0	14.2	10.9	9.1	641.7	0	0.0
	19:00	11.5	9.8	7.7	642.2	0	0.0	11.8	10.2	8.2	642.8	0	0.0	11.2	8.5	6.7	642.6	0	0.0	12.7	8.6	6.9	642.0	0	0.0
	19:30	11.1	8.9	6.9	642.5	0	0.0	11.3	8.9	7.1	643.1	0	0.0	10.9	9.5	7.5	642.7	0	0.0	11.8	8.9	7.1	642.3	0	0.0
	20:00	10.2	8.4	6.3	642.9	0	0.0	10.4	9.9	7.8	643.6	0	0.0	9.9	9.6	7.6	643.1	0	0.0	9.9	8.3	6.2	642.6	0	0.0
	20:30	8.3	6.6	4.5	643.2	0	0.0	8.9	7.4	5.4	643.9	0	0.0	10.0	9.4	7.4	643.3	0	0.0	9.9	9.3	7.2	642.8	0	0.0
	21:00	7.6	6.2	4.1	643.5	0	0.0	8.3	7.2	5.3	644.4	0	0.0	9.3	7.8	5.8	643.9	0	0.0	10.6	8.7	6.6	643.2	0	0.0
	21:30	7.2	6.2	4.2	643.7	0	0.0	8.4	8.3	6.4	644.5	0	0.0	9.0	8.3	6.2	644.2	0	0.0	9.8	8.9	6.8	643.4	0	0.0
	22:00	7.1	6.2	4.2	643.8	0	0.0	9.1	8.6	6.7	644.4	0	0.0	9.8	9.5	7.6	644.1	0	0.0	8.3	7.8	5.6	643.4	0	0.0
	22:30	7.2	6.3	4.3	643.7	0	0.0	8.4	7.4	5.4	644.3	0	0.0	9.9	9.7	7.8	644.2	0	0.0	7.8	7.3	5.2	643.2	0	0.0
	23:00	6.0	5.7	3.6	643.7	0	0.0	7.5	6.4	4.4	644.2	0	0.0	8.6	8.4	6.4	643.8	0	0.0	6.5	6.1	3.9	643.2	0	0.0
	23:30	5.9	5.6	3.6	643.6	0	0.0	7.3	6.2	4.2	644	0	0.0	7.7	7.5	5.5	643.7	0	0.0	5.9	5.6	3.4	643.1	0	0.0
	00:00	5.8	5.5	3.4	643.6	0	0.0	6.3	6.2	4.2	643.9	0	0.0	6.2	5.4	3.3	643.5	0	0.0	5.7	5.3	3.2	642.8	0	0.0
	00:30	5.2	4.9	2.7	643.2	0	0.0	5.3	5.2	3.2	644	0	0.0	6.4	5.0	3.0	643.5	0	0.0	5.8	5.4	3.3	642.8	0	0.0
	01:00	3.6	3.4	1.2	643.2	0	0.0	4.3	4.2	2.2	644.1	0	0.0	5.6	4.7	2.6	643.2	0	0.0	4.6	4.2	2.1	642.5	0	0.0
	01:30	3.7	3.4	1.2	643.0	0	0.0	4.4	4.3	2.3	643.9	0	0.0	5.6	4.7	2.6	643.1	0	0.0	3.7	3.4	1.2	642.5	0	0.0
	02:00	2.7	0.2	-1.9	643.0	0	0.0	3.7	3.7	1.6	643.6	0	0.0	5.0	3.4	1.3	642.9	0	0.0	3.5	3.3	1.1	642.3	0	0.0
	02:30	3.1	2.8	0.7	643.1	0	0.0	4.2	4.1	2.1	643.6	0	0.0	4.7	2.9	0.8	642.8	0	0.0	3.4	3.2	1.0	642.2	0	0.0
	03:00	3.0	2.8	0.6	643.1	0	0.0	4.4	4.3	2.3	643.5	0	0.0	4.4	3.2	1.1	642.9	0	0.0	3.6	1.2	-0.9	642.2	0	0.0
	03:30	2.8	1.4	0.2	643.2	0	0.0	3.8	3.6	2.4	643.6	0	0.0	4.1	2.7	1.5	642.9	0	0.0	3.1	2.5	1.3	642.3	0	0.0
	04:00	2.6	0.1	-1.2	643.5	0	0.0	3.9	3.9	2.7	643.7	0	0.0	2.9	1.4	0.2	643.1	0	0.0	1.5	1.3	0.1	642.6	0	0.0
	04:30	2.6	1.2	-0.1	643.6	0	0.0	3.9	3.8	2.7	643.9	0	0.0	3.4	1.9	0.7	643.2	0	0.0	1.4	1.2	-0.1	643.1	0	0.0
	05:00	2.4	0.9	-0.3	643.9	0	0.0	3.8	3.8	2.6	644	0	0.0	3.1	1.6	0.3	643.4	0	0.0	1.4	1.2	-0.1	643.2	0	0.0
	05:30	1.8	-0.3	-1.3	644.3	12	0.5	4.1	4.0	3.0	644.3	9	0.4	4.2	3.7	2.7	643.6	15	0.7	1.1	0.8	-0.3	643.4	10	0.4
	06:00	3.3	3.0	2.7	644.6	65	2.8	4.7	4.6	4.4	644.5	70	3.0	5.2	3.4	3.6	643.9	87	3.7	2.6	2.1	1.8	643.8	66	2.8
	06:30	5.9	5.5	7.4	644.8	228	9.8	6.8	6.8	8.7	644.7	219	9.4	6.3	3.8	5.6	644.0	215	9.3	6.2	5.8	7.8	644.0	228	9.8
	07:00	7.8	6.7	9.8	645.1	332	14.3	9.4	9.2	12.6	645.1	343	14.8	8.0	5.9	9.2	644.4	349	15.0	8.9	8.3	11.7	644.1	356	15.3
	07:30	10.1	9.4	13.8	645.3	478	20.6	10.3	10.1	13.7	645.3	376	16.2	10.4	9.3	13.7	644.7	480	20.6	10.4	8.7	13.2	644.3	478	20.6

	08:00	11.1	10.2	15.2	645.2	546	23.5		10.9	10.5	14.5	645.3	407	17.5	12.3	11.2	16.4	644.7	570	24.5	12.3	11.1	16.4	644.3	585	25.2
	08:30	12.3	11.3	17.1	645.2	658	28.3		13.0	12.2	18.3	645.2	701	30.2	12.8	11.6	16.9	644.6	574	24.7	13.9	12.6	18.6	644.3	700	30.1
	09:00	13.8	12.5		645.0	803	34.5		13.4	12.3	18.4	645.1	908	39.1	14.6	13.0	19.1	644.5	742	31.9	14.6	13.0	19.1	644.2	818	35.2
	09:30	15.2	13.6	19.1	644.8	948	40.8		14.7	13.5	19.3	644.9	927	39.9	16.1	14.0	19.8	644.3	900	38.7	15.4	13.7	19.6	644.1	898	38.6
	10:00	14.7	12.3	17.0	644.7	969	41.7		15.6	14.0	18.9	644.5	985	42.4	16.7	14.8	19.6	644.1	977	42.0	16.2	14.3	19.1	643.8	965	41.5
	10:30	15.1	13.4	19.0	644.4	991	42.6		15.9	14.3	20.3	644.4	804	34.6	17.3	15.3	21.2	643.8	1038	44.6	16.7	14.7	20.5	643.5	1033	44.4
	11:00	16.2	14.3	21.1	644.2	1055	45.4		17.2	15.2	22.6	644	1123	48.3	17.7	15.6	22.8	643.4	1096	47.1	17.7	15.4	22.0	643.2	1058	45.5
	11:30	17.1	15.0	22.7	643.7	1031	44.3		17.5	15.6	23.8	643.7	1080	46.5	18.4	15.8	24.4	642.9	1121	48.2	18.7	15.9	23.8	643.0	1087	46.8
	12:00	19.4	16.5	25.7	642.7	1070	46.0		18.7	15.6	25.8	642.2	1181	50.8	18.3	15.7	25.1	642.2	1069	46.0	16.7	13.7	23.2	643.4	1141	49.1
	12:30	19.3	16.0	26.7	642.2	1060	45.6		19.9	17.1	29.3	641.7	1151	49.5	19.8	15.3	24.9	641.8	1041	44.8	16.1	13.9	23.7	642.8	936	40.3
	13:00	20.0	16.5	28.8	642.0	1009	43.4		20.4	17.4	31.4	641.2	1094	47.1	19.9	14.9	24.7	641.5	943	40.6	17.7	14.9	28.8	642.5	1090	46.9
	13:30	18.9	15.8	28.1	641.6	783	33.7		19.9	15.7	29.2	640.8	949	40.8	19.8	16.0	30.7	641.0	967	41.6	16.3	13.3	17.1	642.3	333	14.3
	14:00	19.8	16.4	32.7	641.2	860	37.0		19.1	14.8	25.2	640.7	622	26.8	19.8	14.8	29.2	640.9	882	37.9	17.6	14.8	27.7	641.9	703	30.2
	14:30	19.3	15.2	20.1	641.0	663	28.5		18.5	13.8	17.1	640.6	545	23.4	19.4	14.9	20.8	640.8	794	34.2	17.4	13.4	18.6	641.6	711	30.6
	15:00	18.9	14.4	19.0	640.9	671	28.9		18.4	13.5	17.7	640.4	644	27.7	19.3	15.1	19.9	640.7	673	28.9	17.1	13.1	17.9	641.4	678	29.2
	15:30	18.2	13.7	17.2	640.8	564	24.3		17.4	12.8	14.0	640.2	311	13.4	18.7	13.6	16.8	640.6	546	23.5	16.8	13.4	17.4	641.1	562	24.2
	16:00	17.6	13.4	15.9	640.7	442	19.0		17.6	13.6	15.3	640.2	346	14.9	17.7	12.6	14.7	640.6	430	18.5	16.3	12.6	15.2	641.1	441	19.0
	16:30	16.8	12.3	13.4	640.8	311	13.4		16.3	12.5	12.1	640.3	132	5.7	16.8	11.9	13.3	640.7	328	14.1	16.0	13.8	15.5	641.1	318	13.7
28/10/2019	17:00	15.9	12.1	11.9	640.9	159	6.8		16.3	12.1	11.9	640.5	159	6.8	15.4	11.1	11.0	640.9	166	7.1	14.8	11.4	11.2	641.3	159	6.8
	17:30	14.6	11.2	9.7	641.2	30	1.3		14.9	11.1	9.8	640.7	52	2.2	14.7	10.1	8.8	641.4	40	1.7	13.3	10.4	8.9	641.6	43	1.9
	18:00	13.6	11.1	9.2	641.2	4	0.2		14.1	10.1	8.2	640.8	4	0.2	13.6	9.7	8.0	641.7	7	0.3	12.4	9.9	7.9	641.7	4	0.2
	18:30	13.2	11.4	9.4	641.5	0	0.0		13.4	10.4	8.2	641	0	0.0	12.9	10.1	8.2	641.9	0	0.0	11.7	9.7	7.6	641.9	0	0.0
	19:00	12.4	11.3	9.3	641.8	0			12.4	10.5	8.3	641.3	0	0.0	12.4	9.2	7.4	642.0	0	0.0	10.9	10.1	8.0	642.2	0	0.0
	19:30	11.3	10.6	8.5	642.2	0	0.0		11.6	10.2	8.1	641.5	0	0.0	11.8	9.3	7.4	642.4	0	0.0	10.9	10.2	8.2	642.4	0	0.0
	20:00	10.6	9.9	7.8	642.6	0	0.0		11.0	9.5	7.4	641.8	0	0.0	11.2	8.8	6.9	642.7	0	0.0	10.0	9.4	7.4	642.6	0	0.0
	20:30	9.8	9.1	7.0	643.0	0	0.0		10.2	9.4	7.4	642	0	0.0	9.8	8.7	6.6	643.0	0	0.0	9.7	9.2	7.2	642.7	0	0.0
	21:00	9.4	8.7	6.7	643.3	0	0.0		9.6	9.2	7.1	642.1	0	0.0	8.3	7.9	5.9	643.3	0	0.0	7.4	6.0	3.9	642.8	0	0.0
	21:30	9.2	8.8	6.8	643.5	0	0.0		8.7	8.3	6.2	642.4	0	0.0	7.6	6.2	4.2	643.4	0	0.0	7.7	7.3	5.3	642.8	0	0.0
	22:00	8.6	8.2	6.1	643.4	0	0.0		7.2	5.7	3.6	642.7	0	0.0	6.8	6.5	4.4	643.4	0	0.0	7.3	6.9	4.9	643.3	0	0.0
	22:30	7.6	7.3	5.2	643.3	0	0.0		6.5	5.5	3.4	642.7	0	0.0	7.2	6.4	4.3	643.3	0	0.0	6.8	5.9	3.8	643.4	0	0.0
	23:00	7.4	7.1	5.0	643.2	0	0.0		6.3	5.9	3.8	642.6	0	0.0	7.6	6.7	4.7	643.2	0	0.0	7.1	6.3	4.2	643.6	0	0.0
	23:30	6.6	6.3	4.2	643.0	0	0.0		5.4	3.8	1.7	642.3	0	0.0	6.2	5.3	3.2	643.0	0	0.0	7.3	7.0	4.9	643.7	0	0.0
	00:00	6.2	5.8	3.7	642.7	0	0.0		4.7	3.0	0.9	642.3	0	0.0	4.8	3.1	1.0	643.0	0	0.0	5.3	5.1	3.1	643.5	0	0.0
	00:30	5.2	4.8	2.7	642.7	0	0.0		4.4	4.1	2.0	642.1	0	0.0	4.5	2.3	0.2	642.9	0	0.0	5.6	5.3	3.3	643.4	0	0.0
	01:00	5.2	4.9	2.7	642.6	0	0.0		4.6	4.3	2.2	642	0	0.0	4.4	2.7	0.6	642.8	0	0.0	5.3	5.1	3.1	643.2	0	0.0
	01:30	4.3	4.0	1.8	642.3	0	0.0		3.6	3.4	1.3	642	0	0.0	4.7	4.4	2.3	642.7	0	0.0	4.8	4.7	2.6	643.2	0	0.0
	02:00	3.6	3.4	1.2	642.1	0	0.0		3.1	2.9	0.8	642	0	0.0	3.3	2.1	0.0	642.6	0	0.0	4.5	4.3	2.3	643.1	0	0.0
	02:30	3.8	3.4	1.3	642.2	0	0.0		2.7	2.5	0.3	641.9	0	0.0	3.2	1.4	-0.8	642.8	0	0.0	4.0	3.9	1.8	643.2	0	0.0
	03:00	3.1	2.9	0.7	642.1	0	0.0		2.8	2.7	0.6	642	0	0.0	2.6	2.4	0.3	643.0	0	0.0	4.4	4.3	2.2	643.6	0	0.0
	03:30	3.0	2.5	1.3	642.1	0	0.0		1.9	1.4	0.2	642.1	0	0.0	2.8	2.4	1.2	643.2	0	0.0	4.5	4.4	3.2	643.5	0	0.0
	04:00	1.8	-0.7	-1.9	642.3	0	0.0		0.4	-1.8	-3.1	642.3	0	0.0	2.6	2.4	1.2	643.5	0	0.0	4.3	4.2	3.0	643.6	0	0.0
	04:30	2.8	-0.4	-1.7	642.4	0	0.0		0.5	-2.8	-4.1	642.5	0	0.0	1.7	1.6	0.3	643.6	0	0.0	4.8	4.7	3.6	644.0	0	0.0
	05:00	3.6	1.7	0.5	642.5	0	0.0		1.2	-2.3	-3.6	642.6	0	0.0	2.0	1.5	0.3	643.8	0	0.0	5.1	4.9	3.8	644.2	0	0.0
	05:30	2.0	1.8	0.7	642.6	11	0.5		1.6	-1.1	-2.2	643	10	0.4	1.3	1.1	-0.1	644.1	9	0.4	6.1	6.0	4.9	644.6	3	0.1
29/10/2019	06:00	3.4	3.2	2.8	642.8	56	2.4		3.1	0.2	-0.1	643.3	62	2.7	2.5	2.4	2.2	644.4	67	2.9	6.7	6.6	6.2	644.8	47	2.0
	06:30	6.4	6.1	8.1	643.2	231	9.9		5.1	3.3	5.3	643.8	232	10.0	6.3	6.1	8.1	644.5	235	10.1	7.3	7.1	7.6	645.1	112	4.8
	07:00	9.6	9.0	12.3	643.4	357	15.4		7.7	7.3	10.6	643.8	344	14.8	8.4	8.1	11.6	644.7	366	15.7	7.5	7.4	7.7	645.2	105	4.5
	07:30	11.4	10.4	14.9	643.6	485	20.9		10.5	9.9	14.6	643.9	489	21.0	10.4	9.9	14.3	644.9	475	20.4	8.7	8.3	12.1	645.1	395	17.0
	08:00	12.9	11.7	17.2	643.6	606	26.1		12.2	11.3	16.9	644	615	26.5	10.8	9.3	14.7	645.1	592	25.5	10.2	8.4	13.8	645.2	594	25.6
	08:30	13.7	12.4	18.4	643.7	696	29.9		13.2	12.1	18.1	644	709	30.5	12.0	10.1	16.0	645.1	707	30.4	10.1	7.9	11.5	645.5	379	16.3
	09:00	14.7	13.3	19.6	643.4	824	35.4		13.8	12.7	18.9	644	800	34.4	12.4	10.8	17.1	645.1	814	35.0	10.2	7.3	10.6	645.6	380	16.3
	09:30	15.8	14.2	20.0	643.1	929	40.0		14.3	12.8	18.8	643.8	902	38.8	14.0	12.4	18.3	645.0	909	39.1	10.2	7.6	9.8	645.5	264	11.4
	10:00	16.6	14.4	19.4	643.0	1018	43.8		15.2	13.3	18.1	643.5	978	42.1	14.7	12.9	17.7	644.7	979	42.1	12.2	10.9	17.2	645.2	800	34.4

	10:30	15.7	14.0	19.9	642.8	788	33.9	16.1	13.7	19.4	643.3	1046	45.0	15.1	13.3	19.3	644.5	1071	46.1	13.7	12.4	18.2	645.0	671	28.9
	11:00	17.1	15.1	20.8	642.8	749	32.2	16.6	14.1	20.8	643	1072	46.1	15.7	13.6	19.1	644.3	806	34.7	14.6	13.5	19.3	644.5	695	29.9
	11:30	17.8	15.0	20.8	642.5	873	37.5	17.6	15.3	23.3	642.7	1070	46.0	16.2	14.2	21.9	644.0	1054	45.3	15.3	13.9	19.4	644.0	790	34.0
	12:00	16.4	14.8	23.2	643.6	982	42.2	17.9	14.8	23.7	642.1	1094	47.1	17.5	15.4	22.8	640.4	1137	48.9	14.8	13.0	16.4	640.0	342	11.5
	12:30	16.4	14.8	25.6	643.1	1020	43.9	18.1	14.5	24.7	641.7	1067	45.9	17.3	15.3	21.0	640.0	715	30.8	15.1	13.1	16.3	639.7	310	10.4
	13:00	16.8	14.9	26.9	642.8	927	39.9	18.3	15.7	29.2	641.2	1019	43.8	18.5	16.2	26.3	639.4	1134	48.8	15.3	13.3	16.3	639.3	278	9.3
	13:30	17.1	14.9	30.4	642.5	966	41.5	18.6	15.8	31.4	640.8	957	41.2	19.3	17.1	27.3	638.8	963	41.4	15.6	13.5	16.2	638.9	246	8.3
	14:00	17.1	13.8	29.5	642.2	868	37.3	18.7	16.0	33.7	640.4	882	37.9	18.8	16.4	25.8	638.4	790	34.0	15.8	13.7	16.1	638.6	213	7.2
	14:30	16.4	13.1	19.5	641.9	793	34.1	18.2	14.8	21.0	640.1	759	32.6	19.3	16.9	29.9	638.2	798	34.3	16.1	13.8	16.1	638.2	181	6.2
	15:00	16.6	13.3	18.7	641.9	690	29.7	18.6	14.8	20.1	639.7	688	29.6	19.2	16.8	28.8	637.9	614	26.4	16.3	14.0	16.0	638.0	149	5.1
	15:30	16.3	12.6	16.6	641.8	575	24.7	17.9	14.2	18.2	639.6	570	24.5	18.1	16.1	18.7	637.9	406	17.5	15.3	12.2	11.6	638.0	94	4.0
	16:00	15.8	12.1	14.7	641.8	438	18.8	17.4	12.8	15.4	639.4	449	19.3	16.4	12.3	12.4	638.1	181	7.8	14.7	11.9	11.1	638.1	79	3.4
	16:30	14.7	11.3	12.1	642.1	255	11.0	17.1	12.8	14.2	639.4	322	13.9	15.4	11.7	10.6	638.4	63	2.7	14.7	11.8	11.2	638.4	105	4.5
1/11/2019	17:00	13.9	10.9	10.2	642.2	106	4.6	16.3	12.7	12.4	639.6	165	7.1	14.2	10.2	10.4	639.0	20	0.9	14.3	11.4	8.8	638.7	66	2.8
	17:30	12.9	9.3	7.9	642.5	29	1.3	14.6	11.8	10.2	639.7	44	1.9	13.7	9.6	10.1	640.0	3	0.1	13.7	11.7	7.9	639.7	15	0.7
	18:00	12.1	9.6	7.7	642.7	3	0.1	13.2	10.2	8.2	639.9	3	0.1	13.6	9.7	10.3	640.0	3	0.1	9.9	4.9	3.8	640.5	0	0.0
	18:30	11.7	9.2	7.2	643.0	0	0.0	12.3	9.6	7.6	640.1	0	0.0	13.5	9.7	10.6	640.0	0	0.0	8.0	2.7	1.6	641.1	0	0.0
	19:00	10.9	10.2	8.2	643.3	0	0.0	11.7	10.1	7.9	640.4	0	0.0	13.4	9.8	10.8	640.0	0	0.0	6.3	0.9	-0.2	641.8	0	0.0
	19:30	10.3	9.7	7.7	643.7	0	0.0	11.5	9.6	7.6	640.8	0	0.0	13.3	9.9	11.0	640.0	0	0.0	6.4	---	0.5	642.3	0	0.0
	20:00	9.5	9.0	6.9	643.9	0	0.0	10.6	8.8	6.8	641.1	0	0.0	13.2	9.9	11.3	640.0	0	0.0	6.5	---	1.0	642.6	0	0.0
	20:30	9.1	8.6	6.6	644.0	0	0.0	9.1	7.9	5.8	641.5	0	0.0	13.1	10.0	11.5	640.0	0	0.0	6.6	---	2.0	643.2	0	0.0
	21:00	8.6	8.2	6.1	644.1	0	0.0	9.3	8.0	6.1	641.8	0	0.0	13.0	10.1	11.7	640.0	0	0.0	6.7	---	3.0	643.5	0	0.0
	21:30	7.9	7.5	5.4	644.1	0	0.0	9.1	6.4	4.6	641.9	0	0.0	12.9	10.2	12.0	640.0	0	0.0	6.8	6.1	4.3	643.1	0	0.0
	22:00	6.6	5.1	3.0	644.1	0	0.0	8.8	5.7	3.9	642	0	0.0	12.8	10.2	12.2	640.0	0	0.0	6.4	3.8	2.1	642.9	0	0.0
	22:30	6.5	5.6	3.4	643.8	0	0.0	8.4	7.8	5.8	642.1	0	0.0	12.7	10.3	12.4	640.0	0	0.0	7.1	5.1	3.3	642.4	0	0.0
	23:00	6.6	6.2	4.1	643.6	0	0.0	7.5	6.3	4.3	642.2	0	0.0	12.6	10.4	12.7	640.0	0	0.0	6.4	4.1	4.0	642.1	0	0.0
	23:30	5.8	5.4	3.3	643.4	0	0.0	7.2	6.9	4.8	642.1	0	0.0	12.5	10.4	12.9	640.0	0	0.0	6.1	1.2	4.7	641.4	0	0.0
	00:00	5.4	5.0	2.8	643.2	0	0.0	5.9	5.7	3.7	642	0	0.0	12.5	10.5	13.1	640.0	0	0.0	6.0	1.8	5.4	641.2	0	0.0
	00:30	5.3	5.0	2.9	643.0	0	0.0	4.8	4.6	2.4	641.9	0	0.0	12.4	10.6	13.4	640.0	0	0.0	5.7	2.4	6.1	641.5	0	0.0
	01:00	4.9	4.6	2.4	642.9	0	0.0	4.3	4.1	1.9	641.6	0	0.0	12.3	10.6	13.6	640.0	0	0.0	5.3	3.0	6.8	641.4	0	0.0
	01:30	4.2	3.8	1.6	642.8	0	0.0	4.5	3.4	1.4	641.5	0	0.0	12.2	10.7	13.9	640.0	0	0.0	4.9	3.6	7.6	641.4	0	0.0
	02:00	4.2	3.8	1.6	642.6	0	0.0	4.8	4.6	2.6	641.3	0	0.0	12.1	10.8	14.1	640.0	0	0.0	4.6	4.2	8.3	641.5	0	0.0
	02:30	3.8	3.6	1.4	642.5	0	0.0	4.6	3.4	1.3	641.3	0	0.0	12.0	10.8	14.3	640.0	0	0.0	4.2	4.8	9.0	641.4	0	0.0
	03:00	3.3	3.1	0.9	642.5	0	0.0	3.7	2.4	0.3	641.5	0	0.0	11.9	10.9	14.6	640.0	0	0.0	3.9	5.4	9.7	641.5	0	0.0
	03:30	3.2	2.7	1.5	642.6	0	0.0	3.2	2.7	0.6	641.5	0	0.0	11.8	11.0	14.8	640.0	0	0.0	3.5	6.0	10.4	641.5	0	0.0
	04:00	2.8	2.3	1.1	642.7	0	0.0	3.4	3.0	0.8	641.6	0	0.0	11.7	11.0	15.0	640.0	0	0.0	3.2	6.6	11.1	641.6	0	0.0
	04:30	1.4	1.2	-0.1	642.8	0	0.0	3.1	2.8	1.6	641.9	0	0.0	11.6	11.1	15.3	640.0	0	0.0	2.8	7.2	11.8	641.7	0	0.0
2/11/2019	05:00	0.2	0.1	-1.2	643.0	0	0.0	2.9	2.8	1.6	642	0	0.0	11.5	11.2	15.5	640.0	0	0.0	2.5	7.8	12.5	642.0	0	0.0
	05:30	1.6	1.1	0.1	643.3	10	0.4	2.1	1.5	0.5	642.4	12	0.5	11.4	11.3	15.7	640.0	12	0.5	2.1	8.4	13.2	642.0	12	0.5
	06:00	2.7	0.2	0.1	643.6	71	3.1	4.2	3.1	3.1	642.3	68	2.9	11.3	11.3	16.0	640.0	68	2.9	4.2	9.0	13.9	642.2	68	2.9
	06:30	5.4	4.4	6.6	643.9	239	10.3	7.4	6.6	9.1	642.5	231	9.9	11.2	11.4	16.2	640.0	231	9.9	7.4	9.6	14.6	642.7	231	9.9
	07:00	9.4	8.9	12.3	644.1	365	15.7	8.7	7.4	11.3	642.6	368	15.8	11.1	11.5	16.4	640.0	368	15.8	8.7	10.2	15.4	642.9	368	15.8
	07:30	11.1	10.2	14.8	644.1	491	21.1	10.3	9.3	14.0	642.8	488	21.0	11.0	11.5	16.7	642.0	488	21.0	10.3	10.8	16.1	643.0	488	21.0
	08:00	12.4	11.2	16.6	644.1	606	26.1	11.3	10.6	16.0	642.5	602	25.9	12.8	11.6	16.9	642.2	600	19.9	11.3	11.4	16.8	643.2	600	19.9
	08:30	12.6	10.9	16.8	644.2	710	30.5	13.1	11.9	17.8	642.6	709	30.5	13.1	11.8	16.8	640.0	568	18.9	13.1	12.0	17.5	643.3	568	18.9
	09:00	13.6	11.6	17.7	644.1	808	34.8	13.7	12.4	18.6	642.5	806	34.7	13.3	11.9	16.8	640.0	536	17.8	13.7	12.6	18.2	643.2	536	17.8
	09:30	13.9	11.8	17.8	643.8	896	38.5	14.2	12.5	18.5	642.3	891	38.3	13.6	12.1	16.7	640.0	503	16.8	14.2	13.2	18.9	643.1	503	16.8
	10:00	14.9	13.2	17.9	643.4	971	41.8	15.1	13.4	18.8	642	971	41.8	13.8	12.3	16.6	640.0	471	15.7	14.5	13.6	19.4	642.7	996	42.8
	10:30	15.4	13.6	18.8	643.1	973	41.8	15.9	14.1	18.9	641.7	1063	45.7	14.1	12.5	16.6	640.0	439	14.6	15.0	14.0	19.8	642.4	924	0.8
	11:00	16.8	14.8	21.6	642.7	1073	46.2	16.4	14.5	20.2	641.3	1125	48.4	14.3	12.6	16.5	640.0	407	13.6	15.8	14.6	20.3	642.1	852	0.7
	11:30	17.2	14.9	23.1	642.4	1113	47.9	17.8	15.9	22.7	640.8	1177	50.6	14.6	12.8	16.4	640.0	374	12.5	16.3	14.8	20.7	641.6	779	0.6
5/11	12:00	16.8	15.0	21.2	641.2	707	0.5	14.9	13.7	21.4	642.7	1182	50.8												

12:30	17.4	15.9	21.6	640.7	635	27.3	16.5	15.1	23.2	642.1	1088	46.8
13:00	17.3	15.6	19.9	640.3	441	18.9	16.6	14.9	19.4	641.5	425	18.3
13:30	17.1	15.3	18.2	639.9	246	10.6	16.0	14.0	18.0	640.9	355	15.3
14:00	12.6	11.6	12.8	640.4	134	5.7	15.0	14.0	20.0	640.7	425	18.3
14:30	8.1	7.9	7.3	640.7	21	0.9	14.9	13.9	21.3	640.4	494	21.2
15:00	8.9	8.7	8.3	641.1	24	1.0	13.7	12.9	25.1	640.3	620	26.7
15:30	9.3	9.1	8.2	641.2	45	1.9	14.3	13.3	18.3	640.3	574	24.7
16:00	8.7	8.5	7.9	641.0	65	2.8	12.8	12.1	11.5	640.5	117	5.0
16:30	8.3	8.1	7.6	641.5	64	2.8	13.0	12.2	11.0	640.8	68	2.9
17:00	7.2	7.0	6.2	641.5	46	2.0	12.7	11.9	10.2	641.1	27	1.2
17:30	6.6	6.4	5.1	642.0	9	0.4	12.7	8.2	6.3	642.0	0	0.0
18:00	6.8	6.6	5.2	642.3	7	0.3	5.3	4.4	2.4	642.7	0	0.0
18:30	6.9	6.8	5.3	642.7	0	0.0	5.9	5.9	3.9	642.9	0	0.0
19:00	6.8	6.6	5.1	643.1	0	0.0	6.1	6.1	4.1	643.5	0	0.0
19:30	6.7	6.5	4.8	643.6	0	0.0	5.9	5.9	3.9	643.5	0	0.0
20:00	6.6	6.3	4.6	643.6	0	0.0	6.4	6.3	4.3	643.6	0	0.0
20:30	6.5	6.1	4.4	643.8	0	0.0	6.3	6.3	4.3	644.1	0	0.0
21:00	6.4	6.0	4.2	643.9	0	0.0	6.9	6.8	4.8	644.1	0	0.0
21:30	6.0	5.8	3.9	643.9	0	0.0	7.0	6.9	4.9	644.1	0	0.0
22:00	5.3	5.2	3.7	644.1	0	0.0	6.6	6.5	4.6	644.1	0	0.0
22:30	5.3	5.1	3.0	643.8	0	0.0	6.7	6.6	4.6	643.9	0	0.0
23:00	5.2	5.0	2.2	643.6	0	0.0	6.7	6.6	4.7	643.6	0	0.0
23:30	5.0	4.9	-0.1	643.0	0	0.0	6.7	6.7	4.7	643.4	0	0.0
00:00	4.9	4.8	3.3	642.8	0	0.0	6.6	6.6	4.6	643.3	0	0.0
00:30	4.3	4.2	2.7	642.6	0	0.0	6.1	6.1	4.1	643.1	0	0.0
01:00	3.5	3.4	1.9	642.5	0	0.0	6.4	6.4	4.4	643	0	0.0
01:30	3.9	3.8	2.3	642.4	0	0.0	6.5	6.4	4.5	642.7	0	0.0
02:00	3.9	3.9	2.4	642.4	0	0.0	6.3	6.3	4.3	642.7	0	0.0
02:30	3.0	2.9	1.4	642.4	0	0.0	5.8	5.8	3.8	642.4	0	0.0
03:00	3.1	3.0	1.5	642.5	0	0.0	5.3	5.3	3.3	642.4	0	0.0
03:30	3.8	3.8	2.3	642.5	0	0.0	5.6	5.6	3.7	642.2	0	0.0
04:00	3.9	3.8	2.3	642.5	0	0.0	5.4	5.3	3.3	642	0	0.0
04:30	4.1	4.0	2.8	642.7	0	0.0	5.4	5.4	4.3	642.1	0	0.0
05:00	4.1	4.0	2.8	642.8	0	0.0	5.3	5.3	4.2	642.1	0	0.0
05:30	4.1	4.1	3.1	643.2	6	0.3	5.2	5.1	4.1	642.5	10	0.4
06:00	4.3	4.2	3.4	643.7	18	0.8	7.1	6.9	7.3	642.7	79	3.4
06:30	5.2	5.2	5.3	643.9	79	3.4	8.7	8.5	11.2	643	248	10.7
07:00	6.5	6.4	7.4	644.2	139	6.0	9.7	9.4	13.3	643.1	374	16.1
07:30	7.4	7.3	8.2	644.5	147	6.3	10.2	9.9	13.7	643.1	380	16.3
08:00	8.1	7.9	9.2	644.5	176	7.6	10.4	10.1	14.4	642.9	448	19.3
08:30	8.8	8.6	10.8	644.7	247	10.6	11.6	11.1	16.4	643.2	586	25.2
09:00	10.6	10.2	15.0	644.6	499	21.5	13.1	12.3	18.5	643.1	783	33.7
09:30	12.4	11.7	17.9	644.4	724	31.1	12.9	12.2	18.2	642.9	911	39.2
10:00	12.4	12.0	17.9	644.2	473	20.3	13.3	12.5	15.9	642.7	342	14.7
10:30	12.9	12.3	18.0	644.0	768	33.0	14.7	13.8	19.7	642.6	666	28.6
11:00	13.3	12.6	18.0	643.6	1062	45.7	15.8	14.8	20.3	642.3	951	40.9
11:30	14.9	13.6	19.1	643.3	1002	43.1	15.4	14.3	20.3	642.1	709	30.5
12:00							16.6	15.2	23.5	641.8	1244	53.5
12:30							16.6	15.2	24.6	641.4	1223	52.6
13:00							16.6	15.2	23.6	640.9	972	41.8

Anexo 3. Caudales hidráulicos

Datos empíricos de los colectores

Colector 1				
Volumen mL	Tiempo s	mL/s	Caudal L/s	L/h
900	30.9	29.1262	0.0291	104.85
965	32.94	29.2957	0.0293	105.46
960	33.19	28.9244	0.0289	104.13
995	34.4	28.9244	0.0289	104.13
980	33.92	28.8915	0.0289	104.01
Promedios		29.0324	0.0290	104.52
Colector 2				
Volumen mL	Tiempo s	mL/s	Caudal L/s	L/h
960	24.96	38.4615	0.04	138.46
960	24.86	38.6163	0.04	139.02
970	25.16	38.5533	0.04	138.79
970	25.32	38.3096	0.04	137.91
955	25.3	37.7470	0.04	135.89
Promedios		38.3375	0.0383	138.02
Colector 3				
Volumen mL	Tiempo s	mL/s	Caudal L/s	L/h
980	18.58	52.7449	0.05	189.88
1020	19.57	52.1206	0.05	187.63
930	17.87	52.0425	0.05	187.35
860	16.28	52.8256	0.05	190.17
910	17.29	52.6316	0.05	189.47
Promedios		52.4730	0.0525	188.90
Colector 4				
Volumen mL	Tiempo s	mL/s	Caudal L/s	L/h
950	16.74	56.7503	0.06	204.30
970	17.4	55.7471	0.06	200.69
960	17.47	54.9513	0.05	197.82
975	17.48	55.7780	0.06	200.80
985	17.43	56.5118	0.06	203.44
Promedios		55.9477	0.0559	201.41

Datos empíricos de los colectores de los sistemas de aireación

Volumen mL	Tiempo s	mL/s	Caudal L/s	L/h
980	23	42.6087	0.0426	153.39
950	21.97	43.2408	0.0432	155.67
960	21.18	45.3258	0.0453	163.17
970	20.87	46.4782	0.0465	167.32
900	20.17	44.6207	0.0446	160.63
Promedios		44.4548	0.0445	160.04

Anexo 4. Datos de temperaturas (Tratamientos y ambiental)

Temperaturas de los tratamientos: Determinados con sensores arduino

Temperatura ambiental: Datos de la estación meteorológica de la UPeU – Filial Juliaca

Horas	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
12:00		22.00	22.00	22.00	22.00	16.70		30.20	31.30	31.00	30.70	16.70		24.00	26.00	25.00	24.00	13.50
12:30		23.68	24.34	23.33	23.25	17.30		30.80	31.90	32.10	31.00	17.20		24.00	25.00	25.00	24.00	10.40
13:00		24.63	25.31	24.67	24.50	18.30		31.34	32.84	32.46	31.69	18.20		23.71	24.63	24.61	23.62	7.10
13:30		25.57	26.29	26.00	25.75	17.90		31.74	32.79	32.99	31.31	18.30		23.42	24.27	24.22	23.24	8.90
14:00		26.52	27.26	27.33	27.00	17.30		31.89	32.94	32.72	31.58	18.40		23.13	23.90	23.83	22.86	9.50
14:30		27.47	28.23	28.67	28.25	16.90		32.04	33.00	33.80	31.42	16.40		22.83	23.53	23.44	22.49	9.70
15:00		29.00	30.30	30.00	29.50	16.60		30.83	31.92	32.38	30.84	16.20		22.54	23.17	23.05	22.11	9.70
15:30		28.50	29.50	29.50	28.50	16.40		30.23	31.07	32.82	30.15	16.10		22.25	22.80	22.66	21.73	9.20
16:00		28.20	28.50	30.00	28.00	16.10		28.80	29.76	31.18	28.73	15.60		21.96	22.44	22.27	21.35	6.90
16:30		27.00	27.80	28.00	27.00	14.60		27.37	28.45	29.55	27.31	14.10		21.67	22.07	21.88	20.97	5.90
17:00		26.00	27.60	26.60	26.00	14.00		25.93	27.14	27.92	25.88	13.60		21.38	21.70	21.49	20.59	6.10
17:30	16/10/19	24.30	25.30	25.60	23.80	13.30	17/10/19	24.50	25.83	26.29	24.46	12.80	18/10/19	21.09	21.34	21.10	20.21	6.30
18:00		20.59	21.21	21.73	19.09	10.70		23.07	24.52	24.66	23.04	9.00		20.80	20.97	20.71	19.83	6.30
18:30		20.40	21.08	21.55	18.97	6.20		23.87	24.18	24.34	23.97	8.00		20.83	20.77	20.81	19.65	5.90
19:00		20.22	20.95	21.37	18.86	7.50		23.60	23.94	23.13	23.74	7.20		20.87	20.53	20.84	19.45	5.80
19:30		20.03	20.82	21.19	18.74	8.20		23.31	23.67	23.99	23.49	6.60		20.92	20.32	20.87	19.24	5.90
20:00		19.85	20.68	21.02	18.63	8.60		23.01	23.42	22.84	23.31	6.30		20.96	20.10	20.91	19.04	5.90
20:30		19.66	20.55	20.84	18.51	9.80		22.80	23.21	22.66	23.10	6.40		20.85	19.91	20.84	18.85	6.10
21:00		19.48	20.42	20.66	18.40	8.70		22.54	22.96	22.51	22.92	6.70		20.70	19.75	20.68	18.63	5.90
21:30		19.29	20.29	20.48	18.28	8.30		22.32	22.71	22.39	22.71	6.30		20.58	19.54	20.56	18.41	5.80
22:00		19.11	20.16	20.30	18.17	8.30		22.09	22.43	22.19	22.53	5.90		20.46	19.33	20.44	18.19	5.80
22:30		18.92	20.03	20.12	18.05	8.20		21.77	22.20	22.01	21.29	5.60		20.26	19.17	20.25	18.00	5.40
23:00		18.74	19.90	19.94	17.94	7.80		21.50	21.96	21.82	21.09	4.90		20.08	18.96	20.03	17.83	5.40
23:30	18.55	19.76	19.77	17.82	7.80	21.25	21.69	21.61	20.91	5.90	19.90	18.76	19.90	17.64	5.60			
00:00	18.36	19.63	19.59	17.70	7.00	21.06	21.51	21.48	20.76	5.70	19.77	18.61	19.73	17.43	5.30			
00:30	18.18	19.50	19.41	17.59	6.90	20.76	21.22	21.28	20.54	5.80	19.55	18.37	19.53	17.11	4.90			
01:00	17.99	19.37	19.23	17.47	6.50	20.57	21.00	21.11	20.36	6.10	19.40	18.08	19.34	16.72	4.50			
01:30	17.81	19.24	19.05	17.36	6.30	20.38	20.79	20.98	20.22	5.90	19.19	17.86	19.17	16.48	4.70			
02:00	17.62	19.11	18.87	17.24	5.70	20.21	20.61	20.82	20.07	6.10	19.01	17.66	18.97	16.33	4.60			
02:30	17.44	18.98	18.70	17.13	5.10	20.00	20.43	20.91	20.70	6.10	18.86	17.52	18.81	16.18	4.50			
03:00	17.25	18.84	18.52	17.01	4.70	19.80	20.23	20.77	20.54	5.60	18.65	17.36	18.65	16.04	4.60			
03:30	17.07	18.71	18.34	16.90	5.10	19.63	20.04	20.65	20.44	5.50	18.48	17.21	18.47	15.87	4.40			
04:00	16.88	18.58	18.16	16.78	5.40	19.51	19.87	20.54	20.28	5.60	18.27	17.02	18.27	15.78	4.40			
04:30	16.70	18.45	17.98	16.67	5.60	19.40	19.73	20.45	20.15	5.30	18.15	16.90	18.16	15.68	4.40			
05:00	16.51	18.32	17.80	16.55	5.80	19.19	19.59	20.32	19.94	5.10	17.93	16.86	18.01	15.68	4.40			
05:30	16.33	18.19	17.62	16.44	5.80	18.98	19.42	20.17	19.75	4.80	17.82	16.46	17.87	15.57	4.40			
06:00	16.14	18.05	17.45	16.32	5.80	18.84	19.24	20.08	19.62	5.40	17.64	16.61	17.66	15.42	4.60			
06:30	15.95	17.92	17.27	16.20	7.40	18.68	19.16	20.88	19.55	7.60	17.66	16.48	17.41	15.10	6.40			
07:00	15.77	17.79	17.09	16.09	8.60	18.58	19.05	20.92	19.37	8.80	18.15	17.12	17.82	15.84	7.40			
07:30	16.20	19.00	20.00	18.00	9.60	18.70	19.10	19.15	19.00	10.40	18.64	17.75	18.22	16.59	8.60			
08:00	17.20	19.50	20.50	18.50	11.00	18.84	19.19	19.02	18.84	11.20	19.14	18.39	18.63	17.33	8.40			
08:30	18.00	20.50	20.60	19.00	12.10	18.30	19.80	20.00	18.20	11.40	19.63	19.03	19.04	18.07	9.40			
09:00	18.50	15.57	17.00	17.15	12.60	19.00	20.00	20.50	20.00	11.70	20.12	19.67	19.44	18.82	10.80			
09:30	19.30	18.89	18.41	19.73	13.40	20.00	21.50	21.50	21.00	13.40	20.61	20.31	19.85	19.56	10.40			
10:00	20.80	22.20	22.00	21.31	14.60	21.50	22.00	23.50	22.00	13.70	21.10	20.95	20.26	20.31	12.30			
10:30	21.12	22.44	22.77	23.49	15.00	22.50	22.00	23.50	22.00	13.50	21.59	21.59	20.66	21.05	12.90			
11:00	23.00	23.50	23.70	25.00	15.70	23.00	23.50	25.00	23.50	11.80	22.08	22.22	21.07	21.80	12.40			
11:30	24.00	25.00	26.00	25.00	15.90	25.00	26.00	25.00	24.00	12.60	22.57	22.86	21.47	22.54	14.10			
Horas	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
12:00	19/10/19	23.06	23.50	21.88	23.28	14.50	20/10/19	27.00	28.20	27.90	27.00	14.40	21/10/19	28.00	29.00	28.50	28.00	16.10
12:30		23.55	24.14	22.29	24.03	9.60		28.00	29.50	29.00	28.00	15.20		30.00	31.00	32.00	31.00	16.60
13:00		24.04	24.78	22.69	24.77	9.40		29.00	30.00	30.00	29.00	15.60		29.72	32.72	33.65	32.35	17.40
13:30		24.01	24.56	22.72	24.60	12.00		30.00	31.50	31.00	30.00	16.00		30.00	31.50	31.80	31.00	17.70
14:00		23.90	24.37	22.62	24.46	13.20		30.00	32.00	31.50	31.00	16.10		29.00	31.00	31.00	31.00	17.40
14:30		23.79	24.10	22.56	24.34	14.00		30.00	32.00	31.90	31.00	16.30		30.00	31.50	31.40	31.00	17.80
15:00		23.12	23.80	22.32	23.33	10.00		30.00	31.00	31.00	30.00	16.40		30.83	31.00	32.30	31.95	17.75
15:30		22.44	23.50	22.09	22.32	9.60		30.00	31.00	30.50	29.00	15.80		30.34	32.58	32.05	31.93	17.70
16:00		21.77	23.20	21.85	21.31	8.90		29.00	30.50	30.00	29.00	15.90		29.00	31.00	31.00	30.00	18.50
16:30		21.09	22.90	21.62	20.29	9.50		28.00	29.50	29.30	28.00	15.60		28.00	28.50	29.00	29.00	17.10
17:00		20.42	22.60	21.38	19.28	9.70		25.98	27.50	27.40	27.00	14.10		26.12	28.24	29.29	28.87	15.70

17:30	20.29	22.46	21.27	19.18	9.20	24.90	26.80	26.40	25.40	13.70	24.90	26.20	25.70	24.50	13.80
18:00	20.16	22.33	21.16	19.08	8.70	24.67	26.57	26.20	25.14	13.50	24.61	25.97	25.53	24.26	12.50
18:30	20.03	22.19	21.05	18.98	8.80	24.43	26.33	26.00	24.88	11.10	24.32	25.74	25.35	24.02	11.30
19:00	19.90	22.06	20.94	18.88	8.20	24.20	26.10	25.80	24.62	10.20	24.02	25.51	25.18	23.78	10.70
19:30	19.77	21.92	20.83	18.78	8.10	23.97	25.87	25.60	24.36	9.10	23.73	25.28	25.00	23.54	10.80
20:00	19.64	21.78	20.72	18.68	8.10	23.73	25.63	25.40	24.10	8.50	23.44	25.05	24.83	23.30	9.80
20:30	19.51	21.65	20.61	18.58	7.20	23.50	25.40	25.20	23.84	8.10	23.14	24.82	24.66	23.06	8.10
21:00	19.38	21.51	20.50	18.48	7.20	23.27	25.17	25.00	23.58	6.90	22.85	24.59	24.48	22.82	7.60
21:30	19.25	21.38	20.39	18.39	7.50	23.03	24.93	24.80	23.33	6.10	22.56	24.36	24.31	22.57	7.20
22:00	19.12	21.24	20.27	18.29	6.30	22.80	24.70	24.60	23.07	5.10	22.27	24.13	24.13	22.33	6.70
22:30	18.99	21.10	20.16	18.19	6.10	22.57	24.47	24.40	22.81	4.20	21.97	23.90	23.96	22.09	6.10
23:00	18.85	20.97	20.05	18.09	6.10	22.33	24.23	24.20	22.55	3.90	21.68	23.67	23.78	21.85	5.50
23:30	18.72	20.83	19.94	17.99	6.10	22.10	24.00	24.00	22.29	3.40	21.39	23.45	23.61	21.61	5.40
00:00	18.59	20.70	19.83	17.89	5.90	21.87	23.77	23.80	22.03	2.80	21.10	23.22	23.44	21.37	5.80
00:30	18.46	20.56	19.72	17.79	5.40	21.63	23.53	23.60	21.77	3.60	20.80	22.99	23.26	21.13	4.00
01:00	18.33	20.42	19.61	17.69	5.00	21.40	23.30	23.40	21.51	2.90	20.51	22.76	23.09	20.89	3.90
01:30	18.20	20.29	19.50	17.59	4.90	21.17	23.07	23.20	21.25	1.90	20.22	22.53	22.91	20.65	3.50
02:00	18.07	20.15	19.39	17.49	4.80	20.93	22.83	23.00	20.99	1.90	19.93	22.30	22.74	20.41	3.20
02:30	17.94	20.02	19.28	17.39	4.80	20.70	22.60	22.80	20.73	2.40	19.63	22.07	22.57	20.17	2.20
03:00	17.81	19.88	19.17	17.29	4.90	20.47	22.37	22.60	20.47	0.80	19.34	21.84	22.39	19.93	2.60
03:30	17.68	19.74	19.06	17.19	4.70	20.23	22.13	22.40	20.21	0.20	19.05	21.61	22.22	19.69	2.50
04:00	17.55	19.61	18.95	17.09	4.80	20.00	21.90	22.20	19.95	0.40	18.76	21.38	22.04	19.45	1.80
04:30	17.42	19.47	18.84	16.99	4.70	19.77	21.67	22.00	19.70	0.70	18.46	21.15	21.87	19.20	1.60
05:00	17.29	19.34	18.73	16.89	4.30	19.53	21.43	21.80	19.44	0.80	18.17	20.92	21.70	18.96	1.30
05:30	17.16	19.20	18.62	16.79	4.10	19.30	21.20	21.60	19.18	0.60	17.88	20.69	21.52	18.72	1.60
06:00	17.03	19.06	18.50	16.69	4.30	19.07	20.97	21.40	18.92	0.70	17.59	20.46	21.35	18.48	2.10
06:30	16.90	18.93	18.39	16.59	5.60	18.83	20.73	21.20	18.66	1.30	17.29	20.23	21.17	18.24	5.40
07:00	16.77	18.79	18.28	16.49	6.70	18.60	20.50	21.00	18.40	4.80	17.00	20.00	21.00	18.00	7.20
07:30	16.60	18.40	18.00	16.10	6.70	17.40	20.00	20.70	18.00	6.70	19.00	21.00	22.00	19.00	9.00
08:00	17.00	18.27	17.00	16.00	7.20	15.80	19.30	20.20	17.30	8.90	19.70	21.90	22.30	23.60	10.40
08:30	17.02	18.05	17.03	16.11	8.00	19.00	22.00	22.00	19.50	10.80	20.00	22.00	22.00	20.00	11.40
09:00	17.06	18.05	17.05	17.00	9.00	20.00	22.80	22.50	21.00	12.60	21.00	23.00	23.00	21.00	12.90
09:30	18.00	19.00	18.00	17.72	10.50	22.00	24.00	23.00	22.50	13.90	24.00	25.50	26.00	23.00	14.40
10:00	19.00	20.00	19.00	18.09	11.30	24.00	26.00	25.00	24.00	13.80	26.00	28.00	28.50	27.00	15.40
10:30	22.00	24.50	24.00	22.00	11.80	25.00	27.00	26.50	26.00	14.10	28.52	29.81	29.78	28.30	16.10
11:00	24.00	26.00	26.70	25.50	13.30	28.00	29.00	29.00	28.00	14.60	28.70	30.00	30.00	28.20	16.20
11:30	26.00	27.00	25.50	26.70	13.60	28.00	29.00	28.50	28.00	15.70	29.00	31.00	30.20	29.00	16.60

Horas	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
12:00		30.00	32.00	32.00	29.50	16.60		30.45	32.02	32.00	30.85	17.00		29.00	30.00	29.00	28.50	17.40
12:30		31.00	33.00	33.00	30.00	17.60		31.50	32.50	32.86	31.00	17.50		30.00	31.00	30.00	29.00	18.20
13:00		31.00	34.00	34.00	31.00	17.60		32.00	33.00	33.00	32.00	18.00		32.00	33.00	33.00	31.50	18.70
13:30		33.00	35.00	35.00	32.00	18.40		32.50	33.50	33.50	32.50	18.30		33.00	34.00	33.00	32.00	18.20
14:00		33.11	34.17	34.67	33.67	18.70		32.80	34.00	33.80	33.00	18.25		31.50	32.50	32.30	31.50	18.70
14:30		33.00	34.00	34.00	33.00	19.20		33.00	34.50	34.40	33.00	18.20		31.00	33.00	32.00	31.00	18.60
15:00		33.00	34.00	34.00	32.00	19.10		31.50	32.00	32.00	31.50	18.20		30.00	31.00	31.00	30.00	18.10
15:30		32.00	34.00	34.00	32.00	17.60		31.00	32.00	32.00	31.50	17.70		31.00	31.50	30.50	30.00	17.90
16:00		30.00	32.00	32.00	30.00	16.50		30.00	31.00	31.50	30.50	17.80		29.00	30.00	29.50	29.00	17.40
16:30		28.00	30.00	30.00	28.00	15.70		27.50	30.00	30.00	29.00	16.95		27.00	28.00	28.00	27.00	16.50
17:00		26.50	27.40	28.50	26.20	15.30		25.00	28.00	27.00	26.00	16.10		25.00	27.00	26.50	25.50	15.40
17:30	22/10/19	22.00	23.00	23.00	22.00	14.80		24.00	27.00	26.50	25.00	14.30		24.79	26.83	26.37	25.29	13.90
18:00	22/10/19	21.89	22.92	22.99	21.91	13.30		23.00	26.00	26.00	24.00	12.70		24.59	26.65	26.23	25.09	12.70
18:30	22/10/19	21.78	22.83	22.99	21.81	12.70		23.22	25.20	25.15	23.03	11.70		24.38	26.48	26.10	24.88	12.00
19:00	22/10/19	21.68	22.75	22.98	21.72	11.80		23.00	24.89	23.49	23.79	11.30		24.17	26.31	25.97	24.67	11.50
19:30	22/10/19	21.57	22.67	22.97	21.63	10.40		22.75	24.55	23.80	22.48	11.30		23.97	26.14	25.83	24.47	11.10
20:00	22/10/19	21.46	22.58	22.97	21.54	9.10		22.51	24.25	23.76	22.45	10.63		23.76	25.97	25.70	24.26	10.20
20:30	22/10/19	21.35	22.50	22.96	21.45	8.70		22.20	23.99	23.49	22.20	9.96		23.55	25.79	25.57	24.05	8.30
21:00	22/10/19	21.25	22.42	22.95	21.35	8.10		21.94	23.78	23.22	22.67	9.29		23.34	25.62	25.43	23.85	7.60
21:30	22/10/19	21.14	22.33	22.94	21.26	7.40		21.70	23.56	22.84	22.41	8.61		23.14	25.45	25.30	23.64	7.20
22:00	22/10/19	21.03	22.25	22.94	21.17	6.90		21.40	23.28	22.55	22.11	7.94		22.93	25.28	25.17	23.43	7.10
22:30	22/10/19	20.92	22.16	22.93	21.08	6.40		21.08	23.06	22.20	21.86	7.27		22.72	25.10	25.03	23.23	7.20
23:00	22/10/19	20.82	22.08	22.92	20.98	5.90		20.81	22.83	21.91	21.59	6.60		22.52	24.93	24.90	23.02	6.00
23:30	22/10/19	20.71	22.00	22.92	20.89	5.70		20.51	22.57	21.61	21.33	5.93		22.31	24.76	24.77	22.81	5.90
00:00	23/10/19	20.60	21.91	22.91	20.80	4.70		20.28	22.36	21.32	21.11	5.26		22.10	24.59	24.63	22.61	5.80
00:30	23/10/19	20.49	21.83	22.90	20.71	4.60		20.03	22.13	21.02	20.87	4.59		21.90	24.41	24.50	22.40	5.20
01:00	23/10/19	20.38	21.75	22.90	20.61	3.70		19.77	21.91	20.76	20.63	3.91		21.69	24.24	24.37	22.19	3.60
01:30	23/10/19	20.28	21.66	22.89	20.52	2.30		19.49	21.68	20.47	20.40	3.24		21.48	24.07	24.23	21.99	3.70
02:00	23/10/19	20.17	21.58	22.88	20.43	2.30		19.19	21.46	20.18	20.18	2.57		21.28	23.90	24.10	21.78	2.70
02:30	23/10/19	20.06	21.50	22.88	20.34	1.90		18.98	21.24	19.91	19.95	1.90		21.07	23.72	23.97	21.57	3.10
03:00	23/10/19	19.95	21.41	22.87	20.24	0.60		18.75	21.01	19.63	18.73	1.40		20.86	23.55	23.83	21.37	3.00
03:30	23/10/19	19.85	21.33	22.86	20.15	1.20		18.50	20.79	19.37	18.54	1.10		20.66	23.38	23.70	21.16	2.80
04:00	23/10/19	19.74	21.24	22.86	20.06	0.40		18.28	20.58	19.13	18.34	0.80		20.45	23.21	23.56	20.95	2.60
04:30	23/10/1																	

05:30	19.42	20.99	22.83	19.78	0.60	17.59	19.93	18.33	16.69	0.40	19.83	22.69	23.16	20.33	1.80
06:00	19.31	20.91	22.83	19.69	2.60	17.28	19.68	18.15	16.54	0.80	19.62	22.52	23.03	20.13	3.30
06:30	19.20	20.83	22.82	19.60	4.60	17.27	19.59	17.94	16.45	6.00	19.41	22.34	22.90	19.92	5.90
07:00	19.08	20.68	22.63	19.51	6.60	17.21	19.48	17.74	16.41	7.00	19.21	22.17	22.76	19.71	7.80
07:30	19.99	20.47	22.45	19.50	8.40	17.19	19.35	17.77	16.42	8.70	19.00	22.00	22.63	19.51	10.10
08:00	19.86	20.33	21.95	19.33	10.40	17.50	19.00	18.00	17.00	11.30	19.40	22.13	22.55	19.76	11.10
08:30	20.00	21.50	23.50	20.90	12.60	18.00	20.10	19.80	18.80	12.70	19.80	22.25	22.46	20.00	12.30
09:00	22.00	23.00	24.00	23.00	13.80	19.00	21.00	20.00	19.50	13.60	20.20	22.38	22.38	20.25	13.75
09:30	22.50	24.00	24.00	23.00	14.40	21.00	23.00	22.00	21.00	14.40	20.60	22.50	22.30	20.50	15.20
10:00	25.00	27.00	26.00	25.00	14.80	22.00	23.00	23.00	22.00	15.20	21.37	23.14	22.90	21.29	14.70
10:30	26.00	28.00	28.00	27.00	15.20	25.00	26.00	25.00	24.00	15.70	22.14	23.79	23.50	22.07	15.10
11:00	28.00	29.00	28.50	28.00	15.95	26.00	27.00	26.50	26.00	16.30	22.91	24.43	24.10	22.86	16.20
11:30	29.00	30.00	29.50	30.00	16.70	28.00	29.00	28.50	28.00	17.50	23.69	25.07	24.70	23.64	17.10

Horas	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
12:00	25/10/19	24.46	25.71	25.30	24.43	17.50	26/10/19	20.32	22.25	22.12	20.26	16.90	27/10/19	26.70	28.45	27.65	26.55	19.50
12:30		25.23	26.36	25.90	25.21	18.20		20.60	22.50	22.30	20.50	18.30		27.65	29.73	28.73	27.63	19.70
13:00		26.00	27.00	26.50	26.00	18.60		22.33	24.00	23.67	22.08	17.80		28.60	31.00	29.80	28.70	19.40
13:30		28.00	30.00	28.00	27.00	18.90		24.07	25.50	25.03	23.67	18.20		28.08	30.32	29.16	28.16	19.70
14:00		30.00	32.00	31.00	30.00	18.70		25.80	27.00	26.40	25.25	18.40		27.56	29.64	28.52	27.62	19.70
14:30		32.00	34.00	33.00	32.00	18.80		27.53	28.50	27.77	26.83	19.10		27.04	28.96	27.88	27.08	19.70
15:00		31.54	33.55	32.61	31.56	18.60		29.27	30.00	29.13	28.42	18.80		26.52	28.28	27.24	26.54	18.40
15:30		31.08	33.10	32.22	31.11	18.70		31.00	31.50	30.50	30.00	18.40		26.00	27.60	26.60	26.00	18.60
16:00		30.63	32.64	31.83	30.67	17.70		30.50	31.03	30.07	29.53	17.90		25.00	26.00	25.90	25.00	17.30
16:30		30.17	32.19	31.44	30.22	16.90		30.01	30.55	29.63	29.06	17.10		24.30	25.40	24.80	24.20	16.50
17:00		29.71	31.74	31.05	29.78	15.80		29.51	30.08	29.20	28.59	15.00		24.04	25.16	24.58	23.94	15.80
17:30		29.25	31.29	30.66	29.34	14.00		29.01	29.61	28.76	28.12	14.00		23.79	24.91	24.36	23.68	15.30
18:00		28.80	30.84	30.27	28.89	13.10		28.52	29.14	28.33	27.66	12.80		23.53	24.67	24.15	23.42	14.60
18:30		28.34	30.38	29.88	28.45	12.20		28.02	28.67	27.89	27.19	12.00		23.28	24.43	23.93	23.16	14.20
19:00		27.88	29.93	29.49	28.00	11.80		27.52	28.19	27.46	26.72	11.20		23.02	24.18	23.71	22.90	12.70
19:30		27.42	29.48	29.09	27.56	11.30		27.03	27.72	27.02	26.25	10.90		22.76	23.94	23.49	22.64	11.80
20:00		26.96	29.03	28.70	27.11	10.40		26.53	27.25	26.59	25.78	9.90		22.51	23.69	23.27	22.38	9.90
20:30		26.51	28.58	28.31	26.67	8.90		26.03	26.78	26.15	25.31	10.00		22.25	23.45	23.05	22.12	9.90
21:00		26.05	28.13	27.92	26.23	8.30		25.54	26.30	25.72	24.84	9.30		22.00	23.20	22.83	21.86	10.60
21:30		25.59	27.67	27.53	25.78	8.40		25.04	25.83	25.29	24.37	9.00		21.74	22.96	22.62	21.60	9.80
22:00		25.13	27.22	27.14	25.34	9.10		24.54	25.36	24.85	23.90	9.80		21.49	22.71	22.40	21.35	8.30
22:30		24.68	26.77	26.75	24.89	8.40		24.05	24.89	24.42	23.43	9.90		21.23	22.47	22.18	21.09	7.80
23:00		24.22	26.32	26.36	24.45	7.50		23.55	24.41	23.98	22.97	8.60		20.97	22.23	21.96	20.83	6.50
23:30		23.76	25.87	25.97	24.01	7.30		23.05	23.94	23.55	22.50	7.70		20.72	21.98	21.74	20.57	5.90
00:00	23.30	25.41	25.58	23.56	6.30	22.56	23.47	23.11	22.03	6.20	20.46	21.74	21.52	20.31	5.70			
00:30	22.84	24.96	25.19	23.12	5.30	22.06	23.00	22.68	21.56	6.40	20.21	21.49	21.30	20.05	5.80			
01:00	22.39	24.51	24.80	22.67	4.30	21.57	22.52	22.24	21.09	5.60	19.95	21.25	21.09	19.79	4.60			
01:30	21.93	24.06	24.41	22.23	4.40	21.07	22.05	21.81	20.62	5.60	19.70	21.00	20.87	19.53	3.70			
02:00	21.47	23.61	24.02	21.79	3.70	20.57	21.58	21.38	20.15	5.00	19.44	20.76	20.65	19.27	3.50			
02:30	21.01	23.15	23.63	21.34	4.20	20.08	21.11	20.94	19.68	4.70	19.19	20.51	20.43	19.01	3.40			
03:00	20.56	22.70	23.24	20.90	4.40	19.58	20.63	20.51	19.21	4.40	18.93	20.27	20.21	18.75	3.60			
03:30	20.10	22.25	22.84	20.45	3.80	19.08	20.16	20.07	18.74	4.10	18.67	20.03	19.99	18.49	3.10			
04:00	19.64	21.80	22.45	20.01	3.90	18.59	19.69	19.64	18.28	2.90	18.42	19.78	19.78	18.23	1.50			
04:30	19.18	21.35	22.06	19.57	3.90	18.09	19.22	19.20	17.81	3.40	18.16	19.54	19.56	17.97	1.40			
05:00	18.72	20.90	21.67	19.12	3.80	17.59	18.74	18.77	17.34	3.10	17.91	19.29	19.34	17.72	1.40			
05:30	18.27	20.44	21.28	18.68	4.10	17.10	18.27	18.33	16.87	4.20	17.65	19.05	19.12	17.46	1.10			
06:00	17.81	19.99	20.89	18.23	4.70	16.60	17.80	17.90	16.40	5.20	17.40	18.80	18.90	17.20	2.60			
06:30	17.35	19.54	20.50	17.79	6.80	17.42	18.61	18.66	17.20	6.30	17.64	19.06	19.28	17.72	6.20			
07:00	17.53	19.76	20.29	17.84	9.40	18.24	19.42	19.42	18.00	8.00	17.88	19.32	19.66	18.24	8.90			
07:30	17.81	20.01	20.47	18.08	10.30	19.06	20.23	20.18	18.80	10.40	18.12	19.58	20.04	18.76	10.40			
08:00	18.09	20.26	20.65	18.32	10.90	19.88	21.04	20.94	19.60	12.30	18.36	19.84	20.42	19.28	12.30			
08:30	18.37	20.51	20.83	18.56	13.00	20.70	21.85	21.70	20.40	12.80	18.60	20.10	20.80	19.80	13.90			
09:00	18.65	20.76	21.02	18.80	13.40	21.52	22.66	22.46	21.20	14.60	20.07	21.76	22.33	21.02	14.60			
09:30	18.93	21.01	21.20	19.05	14.70	22.34	23.47	23.22	22.00	16.10	21.55	23.43	23.86	22.23	15.40			
10:00	19.20	21.25	21.38	19.29	15.60	23.16	24.28	23.98	22.80	16.70	23.02	25.09	25.40	23.45	16.20			
10:30	19.48	21.50	21.57	19.53	15.90	23.98	25.09	24.74	23.60	17.30	24.50	26.76	26.93	24.67	16.70			
11:00	19.76	21.75	21.75	19.77	17.20	24.80	25.90	25.50	24.40	17.70	24.76	26.83	26.88	24.49	17.70			
11:30	20.04	22.00	21.93	20.02	17.50	25.75	27.18	26.58	25.48	18.40	24.90	27.38	27.85	24.68	18.70			

Horas	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
12:00	28/10/19	24.87	27.86	27.90	24.86	19.40	29/10/19	28.06	29.82	29.54	28.98	18.70	30/10/19	30.84	32.16	31.79	30.87	18.30
12:30		25.01	28.30	29.19	25.98	19.30		28.15	30.23	30.77	28.21	19.90		30.46	31.99	31.64	30.46	19.80
13:00		24.92	28.82	29.28	25.92	20.00		29.12	31.39	31.67	29.28	20.40		30.07	31.81	31.48	30.05	19.90
13:30		25.12	28.87	28.51	25.89	18.90		30.09	32.56	32.57	30.34	19.90		29.69	31.64	31.33	29.64	19.80
14:00		25.31	28.96	28.40	25.55	19.80		31.06	33.73	33.47	31.40	19.10		29.31	31.47	31.17	29.22	19.80
14:30		25.17	27.99	28.40	25.13	19.30		30.37	32.69	32.57	30.56	18.50		28.92	31.30	31.02	28.81	19.40
15:00		24.79	27.56	28.32	24.81	18.90		29.69	31.65	31.67	29.73	18.40		28.54	31.12	30.86	28.40	19.30
15:30		24.84	27.00	27.35	24.45	18.20		29.01	30.61	30.76	28.89	17.40		28.16	30.95	30.71	27.98	18.70

16:00	24.38	26.39	26.28	24.00	17.60	28.60	30.16	30.29	28.45	17.60	27.77	30.78	30.55	27.57	17.70
16:30	23.43	25.63	25.81	23.65	16.80	28.18	29.72	29.82	28.00	16.30	27.38	30.60	30.40	27.16	16.80
17:00	22.08	25.07	25.41	22.34	15.90	27.76	29.28	29.36	27.56	16.30	27.00	30.18	29.97	26.75	15.40
17:30	21.56	23.67	23.07	21.09	14.60	27.35	28.84	28.89	27.12	14.90	26.62	29.76	29.54	26.34	14.70
18:00	21.34	23.48	22.91	20.89	13.60	26.93	28.40	28.42	26.68	14.10	26.24	29.34	29.11	25.94	13.60
18:30	21.13	23.29	22.74	20.68	13.20	26.51	27.95	27.95	26.24	13.40	25.86	28.92	28.69	25.53	12.90
19:00	20.92	23.09	22.58	20.48	12.40	26.09	27.51	27.48	25.80	12.40	25.48	28.50	28.26	25.12	12.40
19:30	20.72	22.90	22.42	20.27	11.30	25.68	27.07	27.02	25.36	11.60	25.10	28.08	27.83	24.71	11.80
20:00	20.51	22.71	22.25	20.07	10.60	25.26	26.63	26.55	24.91	11.00	24.72	27.66	27.41	24.30	11.20
20:30	20.30	22.52	22.09	19.86	9.80	24.84	26.18	26.08	24.47	10.20	24.34	27.24	26.98	23.90	9.80
21:00	20.09	22.32	21.92	19.66	9.40	24.42	25.74	25.61	24.03	9.60	23.96	26.82	26.55	23.49	8.30
21:30	19.88	22.13	21.76	19.45	9.20	24.01	25.30	25.14	23.59	8.70	23.57	26.40	26.13	23.08	7.60
22:00	19.67	21.94	21.60	19.25	8.60	23.59	24.86	24.68	23.15	7.20	23.19	25.98	25.70	22.67	6.80
22:30	19.46	21.75	21.43	19.05	7.60	23.17	24.42	24.21	22.71	6.50	22.81	25.56	25.27	22.26	7.20
23:00	19.25	21.56	21.27	18.84	7.40	22.75	23.97	23.74	22.27	6.30	22.43	25.15	24.85	21.85	7.60
23:30	19.05	21.36	21.10	18.64	6.60	22.33	23.53	23.27	21.82	5.40	22.05	24.73	24.42	21.45	6.20
00:00	18.84	21.17	20.94	18.43	6.20	21.92	23.09	22.80	21.38	4.70	21.67	24.31	24.00	21.04	4.80
00:30	18.63	20.98	20.77	18.23	5.20	21.50	22.65	22.34	20.94	4.40	21.29	23.89	23.57	20.63	4.50
01:00	18.42	20.79	20.61	18.02	5.20	21.08	22.21	21.87	20.50	4.60	20.91	23.47	23.14	20.22	4.40
01:30	18.21	20.59	20.45	17.82	4.30	20.66	21.76	21.40	20.06	3.60	20.53	23.05	22.72	19.81	4.70
02:00	18.00	20.40	20.28	17.61	3.60	20.25	21.32	20.93	19.62	3.10	20.14	22.63	22.29	19.40	3.30
02:30	17.79	20.21	20.12	17.41	3.80	19.83	20.88	20.46	19.18	2.70	19.76	22.21	21.86	19.00	3.20
03:00	17.59	20.02	19.95	17.20	3.10	19.41	20.44	20.00	18.73	2.80	19.38	21.79	21.44	18.59	2.60
03:30	17.38	19.82	19.79	17.00	3.00	18.99	20.00	19.53	18.29	1.90	19.00	21.37	21.01	18.18	2.80
04:00	17.17	19.63	19.62	16.79	1.80	18.58	19.55	19.06	17.85	0.40	18.62	20.95	20.58	17.77	2.60
04:30	16.96	19.44	19.46	16.59	2.80	18.16	19.11	18.59	17.41	0.50	18.24	20.53	20.16	17.36	1.70
05:00	16.75	19.25	19.30	16.39	3.60	17.74	18.67	18.12	16.97	1.20	17.86	20.11	19.73	16.95	2.00
05:30	16.54	19.06	19.13	16.18	2.00	17.32	18.23	17.66	16.53	1.60	17.48	19.69	19.30	16.55	1.30
06:00	16.33	18.86	18.97	15.98	3.40	16.90	17.79	17.19	16.09	3.10	17.09	19.28	18.88	16.13	2.50
06:30	16.12	18.67	18.80	15.77	6.40	18.37	19.27	18.69	17.66	5.10	18.02	20.18	19.78	17.14	6.30
07:00	16.20	17.30	17.30	16.50	9.60	19.84	20.74	20.18	19.22	7.70	18.95	21.07	20.68	18.15	8.40
07:30	17.39	18.55	18.53	17.75	11.40	21.31	22.21	21.67	20.78	10.50	19.89	21.97	21.58	19.16	10.40
08:00	18.58	19.81	19.76	19.00	12.90	22.78	23.68	23.16	22.34	12.20	20.82	22.87	22.48	20.17	10.80
08:30	19.76	21.06	20.98	20.25	13.70	24.25	25.15	24.65	23.90	13.20	21.75	23.76	23.38	21.18	12.00
09:00	20.95	22.31	22.20	21.50	14.70	25.72	26.62	26.14	25.46	13.80	22.68	24.66	24.28	22.19	12.40
09:30	22.13	23.56	23.43	22.74	15.80	27.19	28.09	27.63	27.02	14.30	23.62	25.55	25.18	23.20	14.00
10:00	23.32	24.81	24.65	23.99	16.60	28.66	29.56	29.12	28.58	15.20	24.55	26.45	26.08	24.21	14.70
10:30	24.51	26.07	25.88	25.24	15.70	30.13	31.03	30.61	30.14	16.10	25.48	27.35	26.98	25.22	15.10
11:00	25.69	27.32	27.10	26.49	17.10	31.60	32.50	32.10	31.70	16.60	26.42	28.24	27.87	26.23	15.70
11:30	26.88	28.57	28.33	27.73	17.80	31.22	32.33	31.95	31.29	17.60	27.35	29.14	28.77	27.24	16.20

	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
12:00	31/10/19	28.28	30.03	29.67	28.25	16.70	1/11/19	23.35	24.89	25.14	23.79	16.40	2/11/19	26.46	29.04	28.71	27.79	17.90
12:30	31/10/19	29.22	30.93	30.57	29.26	16.10	1/11/19	24.42	25.94	26.23	24.81	16.40	2/11/19	27.69	30.20	29.99	29.02	18.10
13:00	31/10/19	30.15	31.83	31.47	30.27	17.70	1/11/19	25.49	27.00	27.31	25.82	16.80	2/11/19	28.91	31.36	31.28	30.26	18.30
13:30	31/10/19	31.09	32.72	32.37	31.28	16.30	1/11/19	26.56	28.06	28.40	26.84	17.10	2/11/19	30.14	32.52	32.56	31.49	18.60
14:00	31/10/19	30.18	31.80	31.45	30.40	17.60	1/11/19	27.63	29.12	29.49	27.86	17.10	2/11/19	31.37	33.68	33.83	32.73	18.70
14:30	31/10/19	29.28	30.87	30.53	29.52	17.40	1/11/19	28.70	30.18	30.57	28.87	16.40	2/11/19	30.47	32.78	32.85	31.76	18.20
15:00	31/10/19	28.38	29.93	29.60	28.64	17.10	1/11/19	28.88	30.08	30.05	28.96	16.60	2/11/19	29.58	31.89	31.86	30.79	18.60
15:30	31/10/19	27.49	29.00	28.68	27.75	16.80	1/11/19	28.05	29.17	29.19	28.06	16.30	2/11/19	28.70	30.99	30.87	29.81	17.90
16:00	31/10/19	26.59	28.07	27.76	26.87	16.30	1/11/19	27.21	28.26	28.33	27.17	15.80	2/11/19	27.82	30.10	29.87	28.83	17.40
16:30	31/10/19	25.69	27.14	26.83	25.99	16.00	1/11/19	26.37	27.35	27.47	26.28	14.70	2/11/19	26.93	29.20	28.88	27.85	17.10
17:00	31/10/19	24.80	26.20	25.90	25.10	14.80	1/11/19	25.54	26.44	26.61	25.38	13.90	2/11/19	26.05	28.31	27.89	26.88	16.30
17:30	31/10/19	24.51	25.94	25.65	24.80	13.30	1/11/19	24.70	25.54	25.74	24.49	12.90	2/11/19	25.19	27.42	26.88	25.89	14.60
18:00	31/10/19	24.20	25.67	25.40	24.51	12.40	1/11/19	23.01	24.15	24.79	23.62	12.10	2/11/19	25.37	27.61	26.62	25.80	13.20
18:30	31/10/19	23.90	25.41	25.15	24.22	11.70	1/11/19	22.77	24.02	24.64	23.37	11.70	2/11/19	25.04	27.34	26.35	25.54	12.30
19:00	31/10/19	23.60	25.14	24.90	23.93	10.90	1/11/19	22.53	23.87	24.49	23.12	10.90	2/11/19	24.72	27.06	26.10	25.26	11.70
19:30	31/10/19	23.29	24.88	24.65	23.64	10.90	1/11/19	22.29	23.72	24.34	22.88	10.30	2/11/19	24.40	26.79	25.84	24.99	11.50
20:00	31/10/19	22.99	24.61	24.40	23.35	10.00	1/11/19	22.05	23.57	24.19	22.63	9.50	2/11/19	24.08	26.52	25.59	24.72	10.60
20:30	31/10/19	22.69	24.35	24.15	23.06	9.70	1/11/19	21.81	23.42	24.04	22.39	9.10	2/11/19	23.76	26.25	25.33	24.44	9.10
21:00	31/10/19	22.38	24.08	23.90	22.77	7.40	1/11/19	21.57	23.28	23.90	22.14	8.60	2/11/19	23.44	25.97	25.08	24.17	9.30
21:30	31/10/19	22.08	23.81	23.65	22.48	7.70	1/11/19	21.33	23.13	23.75	21.90	7.90	2/11/19	23.12	25.70	24.82	23.90	9.10
22:00	31/10/19	21.78	23.55	23.40	22.19	7.30	1/11/19	21.10	22.98	23.60	21.65	6.60	2/11/19	22.80	25.43	24.57	23.63	8.80
22:30	31/10/19	21.47	23.28	23.15	21.90	6.80	1/11/19	20.86	22.83	23.45	21.41	6.50	2/11/19	22.48	25.16	24.31	23.35	8.40
23:00	31/10/19	21.17	23.02	22.90	21.61	7.10	1/11/19	20.62	22.68	23.31	21.16	6.60	2/11/19	22.16	24.89	24.05	23.08	7.50
23:30	31/10/19	20.87	22.75	22.65	21.32	7.30	1/11/19	20.38	22.54	23.16	20.92	5.80	2/11/19	21.84	24.61	23.80	22.81	7.20
00:00	1/11/19	20.56	22.49	22.40	21.03	5.30	1/11/19	20.14	22.39	23.01	20.67	5.40	2/11/19	21.52	24.34	23.54	22.53	5.90
00:30	1/11/19	20.26	22.22	22.15	20.74	5.60	1/11/19	19.90	22.24	22.86	20.43	5.30	2/11/19	21.20	24.07	23.29	22.26	4.80
01:00	1/11/19	19.96	21.96	21.90	20.45	5.30	1/11/19	19.66	22.09	22.71	20.18	4.90	2/11/19	20.88	23.80	23.03	21.99	4.30
01:30	1/11/19	19.65	21.69	21.65	20.16	4.80	1/11/19											

04:00	18.14	20.36	20.40	18.72	4.30	18.23	21.20	21.83	18.71	2.80	18.96	22.16	21.50	20.35	3.40
04:30	17.83	20.10	20.15	18.43	4.80	17.99	21.05	21.68	18.47	1.40	18.64	21.89	21.24	20.07	3.10
05:00	17.53	19.83	19.90	18.14	5.10	17.75	20.91	21.53	18.22	0.20	18.32	21.62	20.99	19.80	2.90
05:30	17.23	19.57	19.65	17.85	6.10	17.51	20.76	21.38	17.98	1.60	18.00	21.34	20.73	19.53	2.10
06:00	16.92	19.30	19.40	17.56	6.70	17.27	20.61	21.24	17.73	2.70	17.68	21.07	20.48	19.25	4.20
06:30	16.62	19.04	19.15	17.27	7.30	17.03	20.46	21.09	17.49	5.40	17.37	20.80	20.23	18.97	7.40
07:00	16.32	18.77	18.90	16.98	7.50	16.80	20.31	20.94	17.24	9.40	17.09	21.47	20.07	18.49	8.70
07:30	16.00	18.50	18.65	16.70	8.70	16.56	20.15	20.80	17.00	11.10	18.11	22.22	20.99	19.46	10.30
08:00	16.50	18.78	18.91	17.20	10.20	16.65	19.76	18.45	17.93	12.40	19.12	22.96	21.91	20.42	11.30
08:30	17.00	19.05	19.17	17.70	10.10	17.88	20.92	19.74	19.15	12.60	20.13	23.70	22.83	21.38	13.10
09:00	17.50	19.33	19.44	18.20	10.20	19.10	22.08	21.02	20.39	13.60	21.15	24.44	23.75	22.34	13.70
09:30	18.00	19.60	19.70	18.70	10.20	20.33	23.24	22.30	21.62	13.90	22.16	25.18	24.68	23.30	14.20
10:00	19.07	20.65	20.79	19.72	12.20	21.56	24.40	23.58	22.85	14.90	23.18	25.91	25.60	24.26	15.10
10:30	20.14	21.71	21.88	20.74	13.70	22.78	25.56	24.86	24.09	15.40	24.19	26.65	26.52	25.22	15.90
11:00	21.21	22.77	22.97	21.76	14.60	24.01	26.72	26.15	25.32	16.80	25.20	27.39	27.44	26.18	16.40
11:30	22.28	23.83	24.05	22.77	15.30	25.24	27.88	27.43	26.56	17.20	26.22	28.13	28.36	27.14	17.80

Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)			T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
12:00	27.23	28.87	29.29	28.10	17.50	26.53	29.11	29.42	26.78	14.80	27.49	29.20	29.03	27.35	16.80		
12:30	28.25	29.61	30.21	29.07	17.30	26.81	29.29	29.59	26.30	15.05	28.45	30.06	29.91	28.37	17.40		
13:00	29.26	30.35	31.13	30.03	18.50	26.61	28.86	28.22	26.55	15.30	29.40	30.91	30.78	29.38	17.25		
13:30	30.27	31.08	32.05	30.99	19.30	26.10	28.14	28.59	26.75	15.55	30.36	31.77	31.65	30.39	17.10		
14:00	31.29	31.82	32.97	31.95	18.80	25.80	27.78	27.32	25.59	15.80	29.43	31.01	30.83	30.08	12.60		
14:30	32.30	32.55	33.90	32.90	19.30	25.30	27.45	27.90	25.31	16.05	28.98	30.62	30.48	29.58	8.10		
15:00	33.01	34.76	34.37	33.11	19.20	24.86	26.95	26.46	24.40	16.30	28.55	30.25	30.12	29.10	8.90		
15:30	31.37	33.78	33.86	32.01	18.10	24.59	26.53	26.10	24.18	15.30	28.12	29.88	29.76	28.62	9.30		
16:00	29.72	32.80	33.36	30.91	16.40	24.32	26.12	25.76	23.96	14.70	27.68	29.50	29.40	28.13	8.70		
16:30	28.08	31.81	32.85	29.80	15.40	24.06	25.70	25.43	23.73	14.70	27.25	29.13	29.03	27.65	8.30		
17:00	26.43	30.83	32.34	28.70	14.20	23.80	25.30	25.10	23.50	14.30	26.82	28.76	28.67	27.17	7.20		
17:30	26.07	30.49	31.90	28.29	13.70	23.52	25.07	24.85	23.23	13.70	26.40	28.40	28.30	26.70	6.60		
18:00	25.73	30.14	31.49	27.90	13.60	23.27	24.83	24.62	22.98	9.90	25.98	27.99	27.90	26.31	6.75		
18:30	25.38	29.78	31.07	27.50	13.51	23.01	24.59	24.38	22.73	8.00	25.58	27.60	27.52	25.90	6.90		
19:00	25.04	29.42	30.65	27.11	13.41	22.76	24.35	24.15	22.47	6.30	25.18	27.21	27.14	25.50	6.80		
19:30	24.69	29.07	30.23	26.71	13.31	22.50	24.11	23.91	22.22	6.40	24.78	26.83	26.76	25.09	6.70		
20:00	24.34	28.71	29.81	26.31	13.22	22.24	23.87	23.68	21.97	6.50	24.39	26.44	26.38	24.69	6.60		
20:30	24.00	28.35	29.39	25.92	13.12	21.99	23.63	23.44	21.72	6.60	23.99	26.06	26.00	24.28	6.50		
21:00	23.65	28.00	28.97	25.52	13.02	21.73	23.39	23.21	21.47	6.70	23.59	25.67	25.62	23.87	6.40		
21:30	23.31	27.64	28.56	25.13	12.93	21.48	23.15	22.97	21.21	6.80	23.19	25.28	25.24	23.47	6.00		
22:00	22.96	27.28	28.14	24.73	12.83	21.22	22.91	22.74	20.96	6.40	22.79	24.90	24.85	23.06	5.30		
22:30	22.62	26.93	27.72	24.34	12.74	20.97	22.67	22.50	20.71	7.10	22.39	24.51	24.47	22.65	5.30		
23:00	22.27	26.57	27.30	23.94	12.64	20.71	22.43	22.27	20.46	6.40	21.99	24.12	24.09	22.25	5.20		
23:30	21.92	26.21	26.88	23.54	12.54	20.46	22.19	22.03	20.21	6.10	21.60	23.74	23.71	21.84	5.00		
00:00	21.58	25.86	26.46	23.15	12.45	20.20	21.95	21.80	19.96	6.00	21.20	23.35	23.33	21.43	4.90		
00:30	21.23	25.50	26.04	22.75	12.35	19.94	21.70	21.57	19.70	5.65	20.80	22.97	22.95	21.03	4.30		
01:00	20.89	25.14	25.63	22.36	12.25	19.69	21.46	21.33	19.45	5.29	20.40	22.58	22.57	20.62	3.50		
01:30	20.54	24.79	25.21	21.96	12.16	19.43	21.22	21.10	19.20	4.94	20.00	22.19	22.19	20.21	3.90		
02:00	20.20	24.43	24.79	21.57	12.06	19.18	20.98	20.86	18.95	4.58	19.60	21.81	21.81	19.81	3.90		
02:30	19.85	24.07	24.37	21.17	11.96	18.92	20.74	20.63	18.70	4.23	19.20	21.42	21.43	19.40	3.00		
03:00	19.50	23.72	23.95	20.77	11.87	18.67	20.50	20.39	18.44	3.87	18.81	21.04	21.05	18.99	3.10		
03:30	19.16	23.36	23.53	20.38	11.77	18.41	20.26	20.16	18.19	3.52	18.41	20.65	20.67	18.59	3.80		
04:00	18.81	23.01	23.12	19.98	11.68	18.16	20.02	19.92	17.94	3.16	18.01	20.26	20.29	18.18	3.90		
04:30	18.47	22.65	22.70	19.59	11.58	17.90	19.78	19.69	17.69	2.81	17.61	19.88	19.90	17.77	4.10		
05:00	18.12	22.29	22.28	19.19	11.48	17.64	19.54	19.45	17.44	2.45	17.21	19.49	19.52	17.37	4.10		
05:30	17.77	21.94	21.86	18.79	11.39	17.39	19.30	19.22	17.18	2.10	16.81	19.10	19.14	16.96	4.10		
06:00	17.44	21.56	21.46	18.41	11.29	17.13	19.06	18.98	16.93	4.20	16.42	18.72	18.76	16.56	4.30		
06:30	17.70	21.70	21.60	18.55	11.19	16.90	18.80	18.77	16.70	7.40	16.04	18.36	18.40	16.13	5.20		
07:00	17.50	21.10	21.20	18.01	11.10	17.91	20.00	19.86	17.53	8.70	17.38	19.66	19.71	17.49	6.50		
07:30	17.35	20.33	20.15	18.23	11.00	18.91	21.20	20.94	18.36	10.30	18.72	20.95	21.00	18.83	7.40		
08:00	17.88	20.53	20.15	19.07	12.80	19.89	22.40	22.00	19.19	11.30	20.06	22.23	22.29	20.17	8.10		
08:30	19.54	21.94	21.68	20.56	13.05	20.83	23.24	22.89	20.22	13.10	21.41	23.52	23.59	21.51	8.80		
09:00	21.21	23.35	23.20	22.03	13.30	21.78	24.09	23.77	21.24	13.70	22.75	24.81	24.88	22.85	10.60		
09:30	22.88	24.76	24.72	23.51	13.55	22.73	24.94	24.64	22.26	14.20	24.09	26.09	26.17	24.19	12.40		
10:00	24.56	26.17	26.24	24.96	13.80	23.69	25.80	25.52	23.27	14.50	25.43	27.38	27.46	25.53	12.40		
10:30	24.65	26.70	26.55	24.63	14.05	24.64	26.65	26.40	24.29	15.00	26.78	28.67	28.75	26.86	12.85		
11:00	25.01	27.41	27.13	25.97	14.30	25.59	27.50	27.28	25.31	15.80	28.12	29.95	30.04	28.20	13.30		
11:30	25.39	28.19	28.79	25.42	14.55	26.54	28.35	28.15	26.33	16.30	29.46	31.24	31.34	29.54	14.90		

Fecha	Tratamientos				Temp. Amb. °C	Fecha	Hora	Tratamientos				Temp. Amb. °C
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)				T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	
12:00	30.80	32.53	32.63	30.88	14.90		00:00	19.70	22.49	21.44	19.69	6.60
12:30	32.15	33.80	33.90	32.20	16.50		00:30	19.47	22.25	21.19	19.45	6.10
13:00	31.21	32.98	32.99	31.26	16.60		01:00	19.23	22.01	20.93	19.21	6.40
13:30	30.28	32.16	32.08	30.32	16.00		01:30	19.00	21.77	20.68	18.97	6.50
14:00	29.34	31.34	31.17	29.37	15.00		02:00	18.76	21.53	20.42	18.73	6.30

14:30	28.40	30.52	30.26	28.43	14.90	02:30	18.52	21.29	20.16	18.49	5.80
15:00	27.46	29.70	29.35	27.49	13.70	03:00	18.29	21.05	19.91	18.25	5.30
15:30	26.53	28.88	28.44	26.54	14.30	03:30	18.05	20.81	19.65	18.01	5.60
16:00	25.59	28.06	27.53	25.60	12.80	04:00	17.82	20.57	19.40	17.77	5.40
16:30	24.65	27.24	26.62	24.66	13.00	04:30	17.58	20.33	19.14	17.54	5.40
17:00	23.72	26.42	25.71	23.71	12.70	05:00	17.35	20.09	18.88	17.30	5.30
17:30	22.78	25.60	24.80	22.77	12.70	05:30	17.11	19.85	18.63	17.06	5.20
18:00	22.53	25.36	24.52	22.55	5.30	06:00	16.87	19.61	18.37	16.82	7.10
18:30	22.30	25.12	24.26	22.31	5.90	06:30	16.65	19.37	18.14	16.56	8.70
19:00	22.06	24.88	24.01	22.07	6.10	07:00	17.09	19.10	18.40	16.92	9.70
19:30	21.83	24.64	23.75	21.83	5.90	07:30	18.16	20.07	19.51	18.08	10.20
20:00	21.59	24.41	23.49	21.60	6.40	08:00	19.23	21.03	20.61	19.23	10.40
20:30	21.35	24.17	23.24	21.36	6.30	08:30	20.30	22.00	21.72	20.39	11.60
21:00	21.12	23.93	22.98	21.12	6.90	09:00	21.37	22.96	22.82	21.54	13.10
21:30	20.88	23.69	22.73	20.88	7.00	09:30	22.44	23.93	23.93	22.70	12.90
22:00	20.65	23.45	22.47	20.64	6.60	10:00	23.54	25.14	25.09	23.78	13.30
22:30	20.41	23.21	22.21	20.40	6.70	10:30	24.64	26.35	26.23	24.86	14.70
23:00	20.17	22.97	21.96	20.16	6.70	11:00	25.73	27.56	27.36	25.95	15.80
23:30	19.94	22.73	21.70	19.92	6.70	11:30	26.83	28.77	28.50	27.03	15.40
						12:00	27.92	29.98	29.64	28.12	16.60
						12:30	29.02	31.19	30.78	29.20	16.60
						13:00	30.10	32.40	31.90	30.30	16.60

Anexo 5. Temperaturas de salida de los colectores solares de bajo costo.

Datos obtenidos manualmente con termómetro de mercurio

Horas	Fecha	Calentadores				Fecha	Calentadores				Fecha	Calentadores				Fecha	Calentadores			
		C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4
07:00							15.0	14.0	15.0	17.0		15.0	16.0	15.0	17.0		17.0	16.5	15.5	16.0
07:30							15.0	16.0	15.8	16.5		17.0	18.0	18.0	18.0		16.0	16.0	16.0	16.0
08:00							21.0	24.0	24.5	23.0		21.0	24.0	24.5	23.0		17.0	16.0	16.0	16.0
08:30							24.0	25.0	24.0	23.5		24.0	25.0	24.0	23.5		18.0	19.0	19.0	19.0
09:00							23.0	22.5	22.0	23.0		23.0	22.5	22.0	23.0		20.0	19.0	20.0	20.0
09:30							23.0	24.0	22.0	22.5		23.0	24.0	22.0	22.5		23.0	23.0	23.0	22.5
10:00							27.0	29.0	27.5	28.0		27.0	29.0	27.5	28.0		25.0	26.0	27.0	27.0
10:30							28.0	30.0	29.0	29.0		28.0	30.0	29.0	29.0		28.0	29.5	28.8	28.5
11:00							27.0	29.0	28.0	28.0		26.0	27.0	28.0	27.0		29.5	31.7	31.0	30.6
11:30						17/10/2019	26.0	27.0	28.0	27.0		29.0	31.0	29.0	28.0		31.0	31.0	31.5	31.0
12:00		22.0	22.0	22.0	22.0	17/10/2019	21.5	31.0	29.0	28.0	18/10/2019	28.5	30.8	28.0	28.0	20/10/2019	37.0	35.0	33.0	34.0
12:30		22.2	21.7	23.2	23.0	17/10/2019	27.5	30.0	28.0	28.0	18/10/2019	28.5	30.0	27.5	27.0	20/10/2019	35.0	35.0	34.0	34.0
13:00		25.3	23.3	24.3	24.0		27.0	30.0	29.0	28.0		30.0	32.0	30.0	29.5		35.0	37.0	35.0	34.5
13:30		26.9	25.0	25.5	25.0		29.8	32.5	32.0	31.0		31.0	32.1	32.5	32.0		35.0	38.0	36.0	35.0
14:00	16/10/2019	28.7	26.7	26.7	26.0		30.0	35.5	34.0	33.0		30.0	33.5	32.5	32.0		35.0	36.0	35.0	35.0
14:30	16/10/2019	30.3	28.3	27.8	27.0		34.5	36.0	33.0	34.5		33.0	34.2	31.0	33.0		34.0	35.0	34.8	34.4
15:00	16/10/2019	32.0	32.5	29.0	28.0		34.0	34.5	34.0	34.0		32.4	33.6	33.0	32.8		33.0	32.5	32.5	31.0
15:30		30.0	30.0	30.0	30.0		32.0	33.0	33.0	31.4		31.0	32.0	32.0	31.5		30.0	31.5	31.0	31.0
16:00		23.0	26.0	27.0	26.0		29.0	29.5	31.0	29.2		29.6	31.0	31.0	29.5		29.0	30.0	30.0	30.0
16:30		24.0	25.0	26.0	22.0		27.4	27.5	27.0	25.0		28.0	28.4	28.0	27.0		29.0	29.0	29.0	26.0
17:00		23.0	23.0	22.0	22.0		24.0	25.0	25.0	24.0		25.0	26.0	26.0	23.0		25.0	25.0	24.0	23.0
Horas	Fecha	Calentadores				Fecha	Calentadores				Fecha	Calentadores				Fecha	Calentadores			
		C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4
07:00		17.0	17.0	18.0	16.5		16.0	17.0	18.0	15.6		16.0	18.0	17.0	16.0		16.0	17.6	17.5	16.0
07:30		15.6	15.5	15.0	15.0		15.8	16.0	15.5	15.0		15.0	16.0	15.5	15.0		15.6	16.0	15.5	15.0
08:00		21.0	22.0	22.5	21.0		23.0	24.0	24.5	24.0		21.0	22.0	21.0	22.0		20.0	21.0	21.0	20.0
08:30	21/10/2019	24.0	25.0	25.5	24.0	22/10/2019	24.5	25.0	25.0	25.0	23/10/2019	25.0	26.0	26.0	25.0	24/10/2019	22.0	23.5	23.0	22.9
09:00		26.0	27.0	27.5	26.0		26.0	28.0	28.0	27.0		27.0	28.0	28.0	27.0		25.0	26.0	27.0	25.0
09:30	21/10/2019	29.0	30.0	29.0	28.0	22/10/2019	29.0	31.0	30.0	29.0	23/10/2019	28.0	29.0	30.0	29.0	24/10/2019	26.5	28.5	28.0	27.5
10:00		29.5	32.0	31.0	29.8		30.0	32.0	31.0	30.0		30.5	32.0	31.5	32.0		27.5	30.0	29.0	29.0
10:30		31.0	32.0	31.0	30.8		32.0	34.0	33.0	33.0		31.0	31.0	32.0	33.8		31.0	32.0	31.5	31.0
11:00		33.0	34.0	34.0	33.0		34.0	36.0	35.0	34.0		33.0	34.8	34.0	33.5		32.0	33.5	33.0	32.5

11:30	35.0	36.0	36.0	35.0	35.0	36.0	35.0	34.8	35.0	35.0	35.5	35.0	33.5	35.0	34.0	34.5
12:00	37.5	32.0	35.0	35.0	36.5	37.0	37.0	35.0	35.7	35.5	37.0	36.5	38.0	36.5	35.7	35.0
12:30	36.0	37.0	38.0	37.0	36.0	38.0	35.0	38.0	36.0	38.0	37.0	36.5	36.0	38.0	37.0	36.5
13:00	37.0	39.0	39.0	38.0	38.0	39.0	38.0	37.5	38.1	38.0	38.0	37.5	37.0	38.1	38.4	37.6
13:30	35.0	34.0	33.0	35.0	39.0	39.0	39.0	38.0	37.0	39.0	37.0	39.6	38.1	39.0	38.0	39.0
14:00	32.8	31.0	31.0	33.0	38.0	39.0	35.0	38.4	36.0	38.5	37.0	36.5	35.5	36.0	35.0	35.5
14:30	31.0	35.0	33.0	34.0	37.0	39.0	38.0	38.0	35.0	37.0	35.5	35.5	35.0	36.0	35.0	35.0
15:00	30.5	31.0	31.0	32.0	36.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.5	35.0	35.0	32.5	32.0	32.5	32.5
15:30	30.0	32.0	32.0	31.0	34.0	34.0	33.4	33.0	34.0	34.0	33.0	32.5	31.0	31.5	31.0	31.0
16:00	32.0	32.0	31.5	31.0	32.0	31.0	29.5	29.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.0	29.2	28.7	29.3
16:30	29.0	29.0	28.0	27.0	28.0	26.0	26.0	26.0	29.0	28.5	28.5	28.0	28.0	28.0	28.0	27.0
17:00	23.0	25.0	25.0	23.5	26.0	25.0	25.0	23.0	20.0	26.0	26.0	24.0	25.0	26.0	26.0	24.5



Una Institución Adventista

UNIVERSIDAD PERUANA UNION
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE LA E.P. DE INGENIERIA AMBIENTAL

Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquiani, Autopista Héroes de la Guerra del Pacifico

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES

Solicitante: Juan Eduardo Vigo Rivera
Domicilio: Slda. Arequipa Km 6, Chullunquiani
Análisis de: Agua residual
Fecha de extracción: 16/10/2019
Fecha de recepción: 16/10/2019
Fecha de Inicio del ensayo: 16/10/2019
Fecha de término del ensayo: 21/10/2019
Condiciones de llegada: Buenas
Extraídas por: El laboratorio
Coordenadas UTM: N 8284146, E 373164
Muestra conservada: Si
Método: Refrigeración

Table with 8 columns: PARAMETRO, UNIDADES, METODO ANALÍTICO, VALORES (por triplicado) (R1, R2, R3), PROM., DESV. ESTANDAR (%). Rows include Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de oxígeno (DBO5), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrogeno Amoniaco (N-NH3), Nitrito (N-NO2), Nitrito (N-NO3), Fosforo Total (PO4), and Turbiedad.

REFERENCIAS:

R = Repetición

ADVERTENCIA:

Este laboratorio no asume ninguna responsabilidad sobre aspectos relacionados con el uso final de la información suministrada.

FECHA: 25/10/2019

Nota: La firma institucional avala que el informe técnico pertenece a la institución.

Handwritten signature and circular stamp of the laboratory head.

Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPeU FJ



Una Institución Adventista

UNIVERSIDAD PERUANA UNION
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE LA E. PDE INGENIERIA AMBIENTAL

Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquiari, Autopista Héroes de la Guerra del Pacifico

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES

Solicitante: Juan Eduardo Vigo Rivera
 Domicilio: Slda. Arequipa Km 6, Chullunquiari
 Análisis de: Agua residual
 Fecha de extracción: 23/10/2019 Fecha de recepción: 23/10/2019
 Fecha de Inicio del ensayo: 23/10/2019 Fecha de término del ensayo: 28/10/2019
 Condiciones de llegada: Buenas Extraídas por: El laboratorio
 Muestra conservada: Si Método: Refrigeración

Tipo de muestra	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Coordenadas UTM	N 8284146	N 8284147	N 8284145	N 8284146
	E 373162	E 373163	E 373163	E 373164

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	TRATAMIENTOS	VALORES (por triplicado)			PROM.	DESV. ESTANDA R (%)
				R1	R2	R3		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	NTP 360.501:2016. Método Espectrofotométrico	T1	179.22	181.01	180.40	180.21	0.91
			T2	327.69	330.1	329.21	329.00	1.22
			T3	264.92	265.37	265.47	265.25	0.29
			T4	237.56	235.71	236.23	236.50	0.95
Demanda Biológica de oxígeno (BBO ₅)	mg/L	NTP 214.037:2015. Método Electrométrico	T1	81.05	78.61	80.34	80.00	1.26
			T2	100.96	100.94	104.1	102.00	1.82
			T3	86.75	86.23	88.01	87.00	0.92
			T4	83.00	84.40	83.10	83.50	0.78
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	NTP 214.039:2015. Método Gravimétrico	T1	41.1672	40.7672	41.8745	41.2696	0.56
			T2	64.1674	64.6897	63.5271	64.1281	0.58
			T3	69.7672	71.4592	71.7846	71.0037	1.08
			T4	50.7872	51.0782	51.9826	51.2827	0.62
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Colorimétrico	T1	25	23	24	24	1.00
			T2	28	25	25	26.00	1.73
			T3	21	16	20	19.00	2.65
			T4	28	27	29	28.00	1.00
Nitrito (N-NO ₂)	mg/L	Colorimétrico	T1	0.007	0.007	0.005	0.006	0.00
			T2	0.018	0.025	0.020	0.021	0.00
			T3	0.013	0.009	0.010	0.011	0.00
			T4	0.003	0.001	0.002	0.002	0.00
Nitrato (N-NO ₃)	mg/L	Colorimétrico	T1	1.7	1.4	1.4	1.5	0.17
			T2	3.3	3.2	3.3	3.3	0.06
			T3	4	4.5	4.1	4.2	0.26
			T4	1.4	1.9	2.1	1.8	0.36
Fosforo Total (PO ₄)	mg/L	Colorimétrico	T1	37.83	39.65	39.23	38.90	0.95
			T2	55.60	54.32	54.78	54.90	0.65
			T3	55.23	54.78	55	55.00	0.23
			T4	40.45	42.11	41.63	41.40	0.85
Turbiedad	UNT	NTP 214.006:1999. Método Nefelométrico	T1	34.68	35.94	36.48	35.70	0.92
			T2	134.24	132.87	133.08	133.40	0.74
			T3	137.1	140.75	137.03	138.29	2.13
			T4	58.1	61.2	58	59.10	1.82

REFERENCIAS:

T = Tratamiento. R = Repetición

ADVERTENCIA:

Este laboratorio no asume ninguna responsabilidad sobre aspectos relacionados con el uso final de la información suministrada.

FECHA: 31/10/2019

Nota: La firma institucional avala que el informe técnico pertenece a la institución.





UNIVERSIDAD PERUANA UNION

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE LA E.P. DE INGENIERIA AMBIENTAL

Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquiani, Autopista Héroes de la Guerra del Pacifico

Una Institución Adventista

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES

Solicitante:	Juan Eduardo Vigo Rivera	Fecha de recepción:	30/10/2019
Domicilio:	Slda. Arequipa Km 6, Chullunquiani	Fecha de término del ensayo:	04/11/2019
Análisis de:	Agua residual	Extraídas por:	El laboratorio
Fecha de extracción:	30/10/2019	Método:	Refrigeración
Fecha de inicio del ensayo:	30/10/2019		
Condiciones de llegada:	Buenas		
Muestra conservada:	Si		

Tipo de muestra	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Coordenadas UTM	N 8284146	N 8284147	N 8284145	N 8284146
	E 373162	E 373163	E 373163	E 373164

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	TRATAMIENTOS	VALORES (por triplicado)			PROM.	DESV. ESTANDAR (%)
				R1	R2	R3		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	NTP 360.501:2016. Método Espectrofotométrico	T1	102.7	100.87	102.43	102.00	0.99
			T2	191.94	196.06	193.99	194.00	2.06
			T3	181.16	177.82	178.01	179.00	1.88
			T4	129.82	128.56	128.63	129.00	0.71
Demanda Biológica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	NTP 214.037:2015. Método Electrométrico	T1	43.64	43.28	43.89	43.60	0.31
			T2	58.85	57.78	59.46	58.70	0.85
			T3	58.45	57.69	55.15	57.10	1.73
			T4	46.23	48.45	46.91	47.20	1.14
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	NTP 214.039:2015. Método Gravimétrico	T1	21.1581	22.1129	21.0271	21.4327	0.59
			T2	37.2781	37.0672	36.6719	37.0057	0.31
			T3	49.1216	45	47	47.0405	2.06
			T4	30.6873	28.4232	28.7821	29.2975	1.22
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Colorimétrico	T1	0	0	0	0	0.00
			T2	7	7	7	7.00	0.00
			T3	4	2	4	3	1.15
			T4	0	0	0	0.00	0.00
Nitrito (N-NO ₂)	mg/L	Colorimétrico	T1	0.010	0.021	0.009	0.013	0.01
			T2	0.002	0	0.001	0.001	0.00
			T3	0.006	0.016	0.009	0.010	0.01
			T4	0.004	0.005	0.004	0.004	0.00
Nitrateo (N-NO ₃)	mg/L	Colorimétrico	T1	0.8	1.1	1.4	1.1	0.30
			T2	1	0.7	0.6	0.8	0.21
			T3	2.9	2	3.7	2.9	0.85
			T4	1.5	1.6	1.4	1.5	0.10
Fosforo Total (PO ₄)	mg/L	Colorimétrico	T1	12.9	14.4	15	14.10	1.08
			T2	29.40	30.7	31.4	30.50	1.01
			T3	30	32.4	32.9	31.77	1.55
			T4	16.8	16.4	16.5	16.57	0.21
Turbiedad	UNT	NTP 214.006:1999. Método Nefelométrico	T1	18.58	20.1	19.01	19.23	0.78
			T2	106.98	104.33	105.35	105.55	1.34
			T3	110.62	110.2	110.67	110.50	0.26
			T4	28.02	25.72	28.01	27.25	1.33

REFERENCIAS:

T = Tratamiento. R = Repetición

ADVERTENCIA:

Este laboratorio no asume ninguna responsabilidad sobre aspectos relacionados con el uso final de la información suministrada.

FECHA: 08/11/2019

Nota: La firma institucional avala que el informe técnico pertenece a la institución.



Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPEU FJ



Una Institución Adventista

UNIVERSIDAD PERUANA UNION
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE LA E.P. DE INGENIERIA AMBIENTAL

Carretera Salida a Arequipa Km. 6 Chullunquiani, Autopista Héroes de la Guerra del Pacifico

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES

Solicitante: Juan Eduardo Vigo Rivera
 Domicilio: Slda. Arequipa Km 6, Chullunquiani
 Análisis de: Agua residual
 Fecha de extracción: 07/11/2019 Fecha de recepción: 07/11/2019
 Fecha de Inicio del ensayo: 07/11/2019 Fecha de término del ensayo: 12/11/2019
 Condiciones de llegada: Buenas Extraídas por: El laboratorio
 Muestra conservada: Si Método: Refrigeración

Tipo de muestra	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Coordenadas UTM	N 8284146	N 8284147	N 8284145	N 8284146
	E 373162	E 373163	E 373163	E 373164

PARAMETRO	UNIDADES	METODO ANALÍTICO	TRATAMIENTOS	VALORES (por triplicado)			PROM.	DESV. ESTANDAR (%)
				R1	R2	R3		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	NTP 360.501:2016. Método Espectrofotométrico	T1	83.7	83.89	84.41	84.00	0.37
			T2	140.26	139.86	140.63	140.25	0.39
			T3	129.82	129.18	128	129.00	0.92
			T4	115.67	117.02	116.81	116.50	0.73
Demanda Biológica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	NTP 214.037:2015. Método Electrométrico	T1	37.31	35.56	36.94	36.60	0.92
			T2	44.56	44.77	44.47	44.60	0.15
			T3	44.01	43.25	43.23	43.50	0.44
			T4	37.96	38.09	38.55	38.20	0.31
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	NTP 214.039:2015. Método Gravimétrico	T1	9.59	10.28	10.12	10.00	0.36
			T2	29.55	29.69	30.75	30.00	0.66
			T3	39.04	38.94	39.01	39.00	0.05
			T4	18.56	18.97	19.48	19.00	0.46
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Colorimétrico	T1	0	0	0	0.00	0.00
			T2	0	0	0	0.00	0.00
			T3	0	0	0	0.00	0.00
			T4	0	0	0	0.00	0.00
Nitrito (N-NO ₂)	mg/L	Colorimétrico	T1	0	0	0	0.00	0.00
			T2	0	0	0	0.00	0.00
			T3	0	0	0	0.00	0.00
			T4	0	0	0	0.00	0.00
Nitrato (N-NO ₃)	mg/L	Colorimétrico	T1	0.45	0.45	0.3	0.40	0.09
			T2	0.24	0.19	0.18	0.20	0.03
			T3	1.59	1.98	1.82	1.80	0.20
			T4	0.65	0.59	0.55	0.60	0.05
Fosforo Total (PO ₄)	mg/L	Colorimétrico	T1	10.47	10.02	9.52	10.00	0.48
			T2	15.51	16.85	17.75	16.70	1.13
			T3	20.89	21.96	22.54	21.80	0.84
			T4	12.61	13.29	12.8	12.90	0.35
Turbiedad	UNT	NTP 214.006:1999. Método Nefelométrico	T1	6.21	5.82	5.21	5.75	0.50
			T2	98.7	96.95	97.74	97.80	0.88
			T3	100.17	101.58	101.24	101.00	0.74
			T4	18.63	21.04	20.62	20.10	1.29

REFERENCIAS:

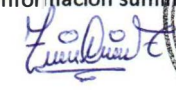
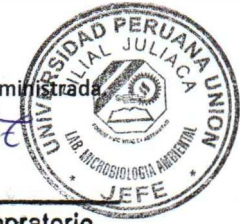
T = Tratamiento. R = Repetición

ADVERTENCIA:

Este laboratorio no asume ninguna responsabilidad sobre aspectos relacionados con el uso final de la información suministrada.

FECHA: 18/11/2019

Nota: La firma institucional avala que el informe técnico pertenece a la institución.



Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPeU FJ

Anexo 7. Temperatura del estanque concéntrica de distribución del fluido caloportador

Hora	Octubre											Noviembre							Prom.	
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6		7
Temperaturas (°C)																				
07:00	16.29	16.20	18.56	18.62	14.56	13.00	13.75	15.24	16.00	14.75	14.11	18.62	19.19	18.25	18.80	17.72	19.06	14.06	18.81	16.61
07:30	17.59	17.69	16.62	18.44	13.63	13.25	14.11	17.72	18.69	17.27	17.27	20.37	19.12	18.25	19.40	19.37	19.62	16.31	19.44	17.59
08:00	19.48	19.57	20.50	18.94	18.56	15.19	17.27	20.10	21.37	20.15	20.15	22.06	18.69	19.00	20.60	22.37	21.56	17.25	20.75	19.66
08:30	21.68	21.69	23.00	22.62	20.94	19.94	20.15	22.35	24.25	22.74	22.74	23.94	19.81	22.31	24.50	24.94	22.31	18.69	24.50	22.27
09:00	23.98	23.90	25.31	25.06	24.12	24.37	22.74	24.46	26.19	25.04	25.04	26.00	20.31	24.69	26.75	27.00	25.94	20.44	26.75	24.64
09:30	26.24	26.10	27.50	27.62	26.37	26.12	26.04	26.39	27.87	27.06	27.06	28.25	19.94	26.87	27.62	29.00	28.62	20.50	27.62	26.46
10:00	28.37	28.18	29.44	29.37	28.50	27.44	27.06	28.14	29.87	28.79	28.79	30.06	24.50	29.00	27.69	29.62	31.31	20.19	27.69	28.11
10:30	30.34	30.08	31.19	30.56	29.81	29.25	28.79	29.68	31.50	30.23	30.23	31.94	25.75	30.69	29.75	30.62	33.50	20.81	29.75	29.71
11:00	32.12	31.73	32.88	32.44	31.25	31.25	30.23	30.99	31.00	31.39	31.39	33.13	27.06	32.56	31.94	30.87	35.44	24.12	31.94	31.25
11:30	30.12	33.10	33.88	33.44	33.25	33.13	31.39	32.05	30.56	32.26	32.26	33.31	28.87	34.38	31.40	31.00	34.69	28.06	31.50	32.03
12:00	31.75	34.17	35.25	34.81	34.56	33.13	32.26	32.85	30.31	34.06	32.84	35.63	32.19	34.81	34.10	32.62	36.94	31.00	34.13	33.55
12:30	33.13	34.93	36.06	35.56	36.31	33.13	33.84	33.36	31.25	37.25	33.13	34.75	32.44	35.31	34.80	30.75	37.06	33.25	34.88	34.27
13:00	33.38	36.31	36.56	35.81	37.56	34.63	33.13	33.57	30.81	36.75	33.14	34.81	32.19	36.00	35.50	30.94	34.13	30.94	35.50	34.30
13:30	33.69	35.00	36.63	36.13	36.63	35.44	33.14	33.45	30.19	36.19	32.85	34.69	32.38	35.94	33.45	29.19	31.62	29.31		33.66
14:00	34.06	33.44	36.50	35.75	33.63	34.94	32.85	32.98	28.69	33.44	32.29	33.45	32.56	36.06	32.98	28.44	27.00	29.81		32.72
14:30	33.25	33.63	36.63	35.06	33.94	34.38	32.29	32.15	27.50	31.19	31.43	32.98	32.00	34.38	32.15	27.69	15.94	29.37		31.44
15:00	32.25	33.69	35.56	34.13	32.25	33.19	31.43	30.93	26.50	31.00	30.29	32.15	31.19	33.75	30.93	29.06	15.81	28.19		30.68
15:30	30.19	32.56	32.75	32.69	30.31	32.19	30.29	29.31	25.37	28.44	28.86	30.93	30.06	32.31	29.31	24.06	16.12	27.37		29.06
16:00	29.12	31.37	29.25	30.50	25.12	29.69	28.86	27.26	23.81	27.25	27.14	28.00	28.50	30.50	27.26	22.00	16.00	24.37		27.00
16:30	27.69	29.50	26.44	28.00	23.50	27.31	27.14	24.76	16.94	24.56	26.44	25.56	25.75	28.50	24.76	21.00	15.69	22.75		24.79
17:00	24.31	26.06	24.12	25.62	19.94	24.75	25.14	21.81	15.06	23.81	23.94	24.19	23.00	26.06	21.81	20.81	15.19	21.69		22.63

Medición de temperaturas con sensor arduino

Anexo 8. Estimaciones de los gradientes promedio de temperatura de los colectores solares

Hora de operación	Calentador 1			Calentador 2			Calentador 3			Calentador 4		
	C1	C1	$\Delta C1$	C2	C2	$\Delta C2$	C3	C3	$\Delta C3$	C4	C4	$\Delta C4$
	$T_0(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	$^{\circ}C$	$T_0(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	$^{\circ}C$	$T_0(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	$^{\circ}C$	$T_0(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	$^{\circ}C$
07:00	17.57	16.00	-1.57	19.47	16.59	-2.88	19.81	16.57	-3.24	17.75	16.30	-1.45
07:30	17.87	15.71	-2.15	19.62	16.21	-3.40	20.01	15.90	-4.11	18.00	15.79	-2.22
08:00	17.99	20.57	2.59	19.64	21.86	2.22	19.85	22.00	2.15	18.65	21.29	2.63
08:30	18.62	23.07	4.45	20.56	24.07	3.51	20.70	23.79	3.08	18.93	23.27	4.34
09:00	19.51	24.29	4.78	20.49	24.71	4.23	20.58	24.93	4.35	19.81	24.43	4.62
09:30	20.97	25.93	4.96	22.27	27.07	4.80	21.84	26.29	4.44	21.14	25.86	4.72
10:00	22.61	28.07	5.46	24.03	30.00	5.97	23.86	29.21	5.36	22.77	29.11	6.34
10:30	24.31	29.86	5.55	25.68	31.21	5.54	25.65	30.61	4.96	24.68	30.73	6.04
11:00	25.81	30.64	4.83	26.86	32.29	5.43	27.06	31.86	4.80	26.31	31.23	4.91
11:30	27.00	32.07	5.07	28.14	33.00	4.86	27.60	32.71	5.11	27.24	32.19	4.94
12:00	27.58	32.09	4.51	28.82	32.48	3.66	28.43	32.09	3.66	27.57	31.69	4.12
12:30	28.62	32.15	3.53	29.78	33.46	3.68	29.66	32.46	2.80	28.40	32.50	4.10
13:00	29.17	33.43	4.25	30.69	34.55	3.86	30.67	33.96	3.29	29.43	33.33	3.89
13:30	29.90	33.98	4.07	31.11	34.83	3.72	30.94	34.13	3.19	29.69	34.33	4.63
14:00	29.74	33.25	3.51	30.97	34.53	3.55	30.89	33.28	2.38	30.16	33.68	3.51
14:30	29.92	33.73	3.81	31.22	35.06	3.84	31.20	33.51	2.31	30.09	33.93	3.84
15:00	29.71	33.18	3.46	30.55	33.33	2.78	30.72	32.75	2.03	29.67	32.54	2.86
15:30	29.42	31.50	2.08	30.56	32.25	1.69	30.50	31.93	1.42	29.54	31.43	1.89
16:00	28.24	29.45	1.21	29.40	29.96	0.56	29.68	29.96	0.28	28.20	29.38	1.18
16:30	26.82	27.80	0.98	28.04	27.68	-0.37	28.22	27.56	-0.65	26.91	26.00	-0.91
17:00	25.24	23.88	-1.36	26.82	25.13	-1.70	26.84	24.88	-1.96	25.26	23.38	-1.88

Anexo 9. Estimaciones de la energía acumulada media diaria

Hora	Temp. Bandeja Central °C	Tem. Amb. °C	T 1 °C	T 2 °C	T 3 °C	T 4 °C	P1 KW-h	P2 KW-h	P3 KW-h	P4 KW-h
07:00	16.61	8.11	17.69	19.71	19.81	17.75	-0.14	-0.40	-0.41	-0.15
07:30	17.59	9.57	18.19	20.14	20.25	18.28	-0.08	-0.33	-0.34	-0.09
08:00	19.66	10.81	18.74	20.60	20.54	19.07	0.12	-0.12	-0.11	0.08
08:30	22.27	11.89	19.56	21.46	21.38	19.80	0.35	0.10	0.11	0.32
09:00	24.64	12.84	20.51	22.06	21.96	20.75	0.53	0.33	0.34	0.50
09:30	26.46	13.71	21.65	23.25	22.99	21.84	0.61	0.41	0.44	0.59
10:00	28.11	14.41	22.90	24.51	24.32	23.08	0.67	0.46	0.48	0.64
10:30	29.71	14.90	24.08	25.69	25.53	24.32	0.72	0.51	0.53	0.69
11:00	31.25	15.52	25.16	26.66	26.55	25.48	0.78	0.59	0.60	0.74
11:30	32.03	16.25	26.06	27.63	27.34	26.28	0.76	0.56	0.60	0.74
12:00	33.55	16.74	26.78	28.36	28.07	26.94	0.87	0.66	0.70	0.84
12:30	34.27	16.89	27.57	29.15	29.02	27.65	0.86	0.65	0.67	0.85
13:00	34.30	17.13	28.16	29.89	29.71	28.46	0.78	0.56	0.59	0.75
13:30	33.66	17.32	28.78	30.40	30.11	28.87	0.62	0.42	0.45	0.61
14:00	32.72	17.21	28.90	30.52	30.26	29.23	0.49	0.28	0.31	0.45
14:30	31.44	16.92	28.98	30.56	30.42	29.19	0.31	0.11	0.13	0.29
15:00	30.68	16.58	28.72	30.18	29.99	28.78	0.25	0.06	0.09	0.24
15:30	29.06	16.18	28.30	29.86	29.60	28.30	0.10	-0.10	-0.07	0.10
16:00	27.00	15.52	27.43	29.01	28.92	27.48	-0.06	-0.26	-0.25	-0.06
16:30	24.79	14.80	26.46	28.13	28.02	26.58	-0.21	-0.43	-0.41	-0.23
17:00	22.63	13.98	25.44	27.32	27.18	25.67	-0.36	-0.60	-0.58	-0.39
Suma de la potencia							7.97	3.49	3.89	7.49
Total			22.85	x	22	días	502.65		KW-h	

Formulas aplicadas:

Calor = masa x Calor especifico del agua (Temp. final – Temp. inicial)

1 KJ = 3600 KW –h

Masa del agua: 110 Kg de agua

Calor especifico del agua: 4.182 KJ/Kg °C

Temp. Final: Temperatura de los tratamientos

Temp. Inicial: Temperatura de la bandeja central de distribución

Anexo 10. Descripción de los materiales y equipos

Bomba SOBO WP -1000F



Especificaciones técnicas

Marca	: Sobo
Número de modelo	: WP-1000F
Potencia	: 15 W
Caudal Máximo	: 650L/h
Voltaje	: 220v ~ 240v
Frecuencia	: 50/60 Hz
Material	: Cuerpo de plástico, motor de cobre

Bomba para acuario (Pump WP - 4880)



Especificaciones técnicas

Marca	: Sobo
Número de modelo	: WP - 4880
Potencia	: 45 W
Caudal máximo	: 3000 L/h
Altura máxima	: 2m
Voltaje	: 220v ~ 240v
Frecuencia	: 50/60 Hz
Material	: Cuerpo de plástico, motor de cobre

INCUBADORA PARA DBO



Marca: Shel Lab

Especificaciones APHA para el análisis de la demanda de oxígeno bioquímica (DBO).

Intervalo de temperaturas:

Mín.: 0 °C (32 °F)

Máx.: 45 °C (113 °F)

Capacidad:

68 Litros (18 gal)

Dimensiones internas:

40.6 x 30.4 x 54.6 cm.

✓ Dimensiones externas:

61 x 53.4 x 85.8 cm

MEDIDOR PORTÁTIL HQD



Marca: HACH

Los parámetros que mide el equipo son:

- ✓ Potencial de reducción de pH
- ✓ Conductividad / Sólido disuelto total (TDS)
- ✓ Salinidad
- ✓ Resistividad
- ✓ Conductividad
- ✓ Oxígeno disuelto (DO)
- ✓ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- ✓ Electrodo selectivo de iones (ISE): amoníaco, amonio, cloruro, fluoruro, nitrato, sodio

COLORÍMETRO PORTÁTIL MULTIPARÁMETRO



Marca: HACH Co. (USA)

Modelo: DR – 900

Detector : Fotodiodo de silicio

Programado para analizar 90 parámetros

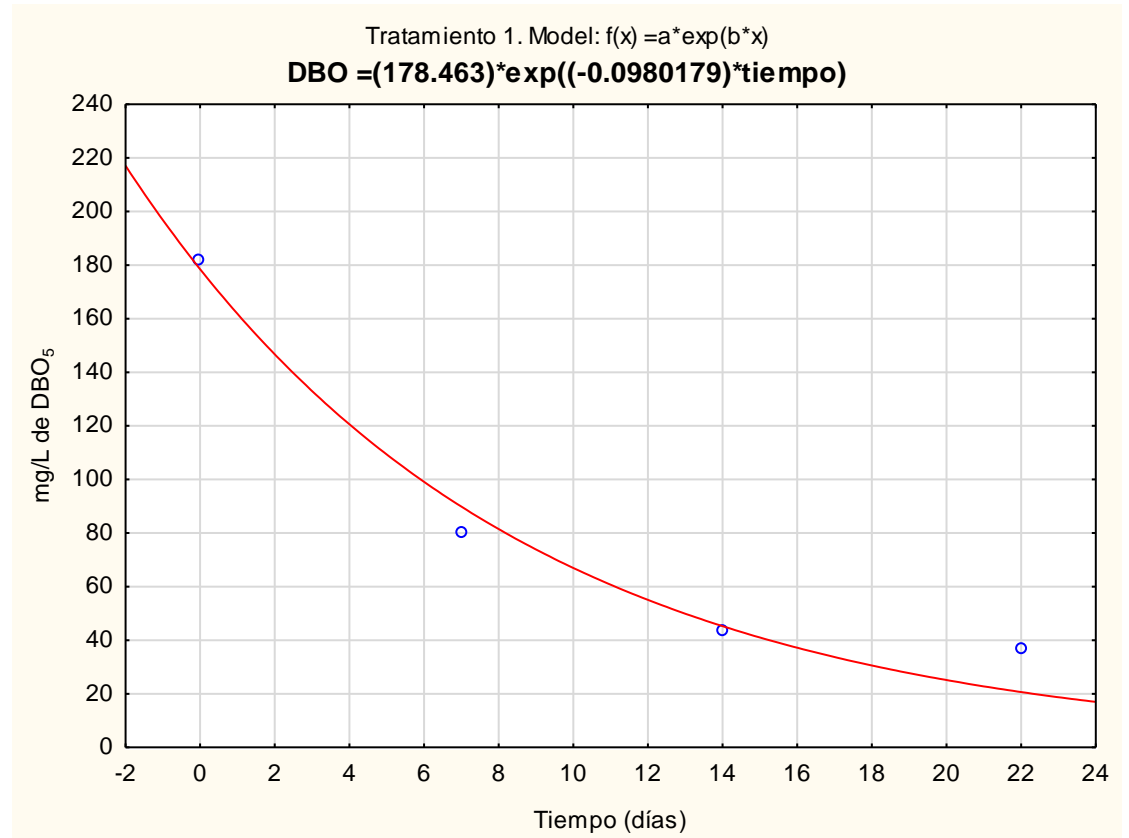
Los parámetros que mide el equipo son:

- ✓ Nitrato
- ✓ Nitrito
- ✓ Nitrógeno, total
- ✓ pH
- ✓ Fósforo
- ✓ Sulfato
- ✓ Sólidos suspendidos

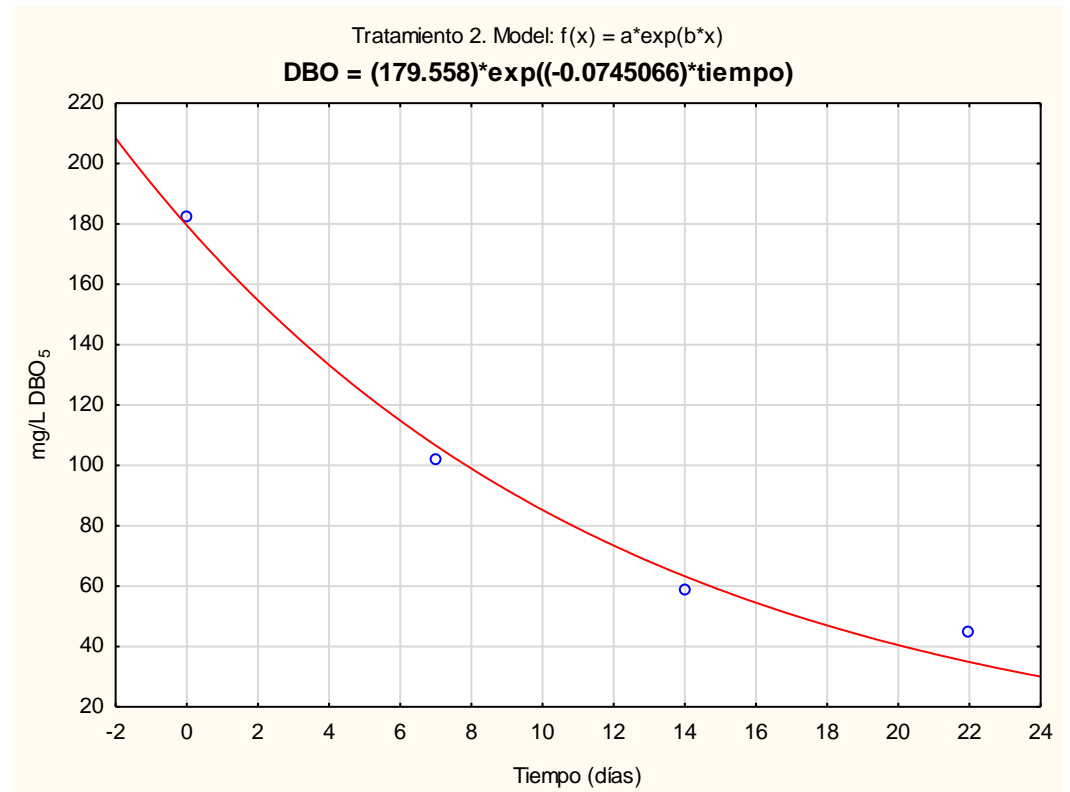
Anexo 11. Resultados Estadísticos

Por métodos numéricos con Statistica se determinó las ecuaciones de primer orden

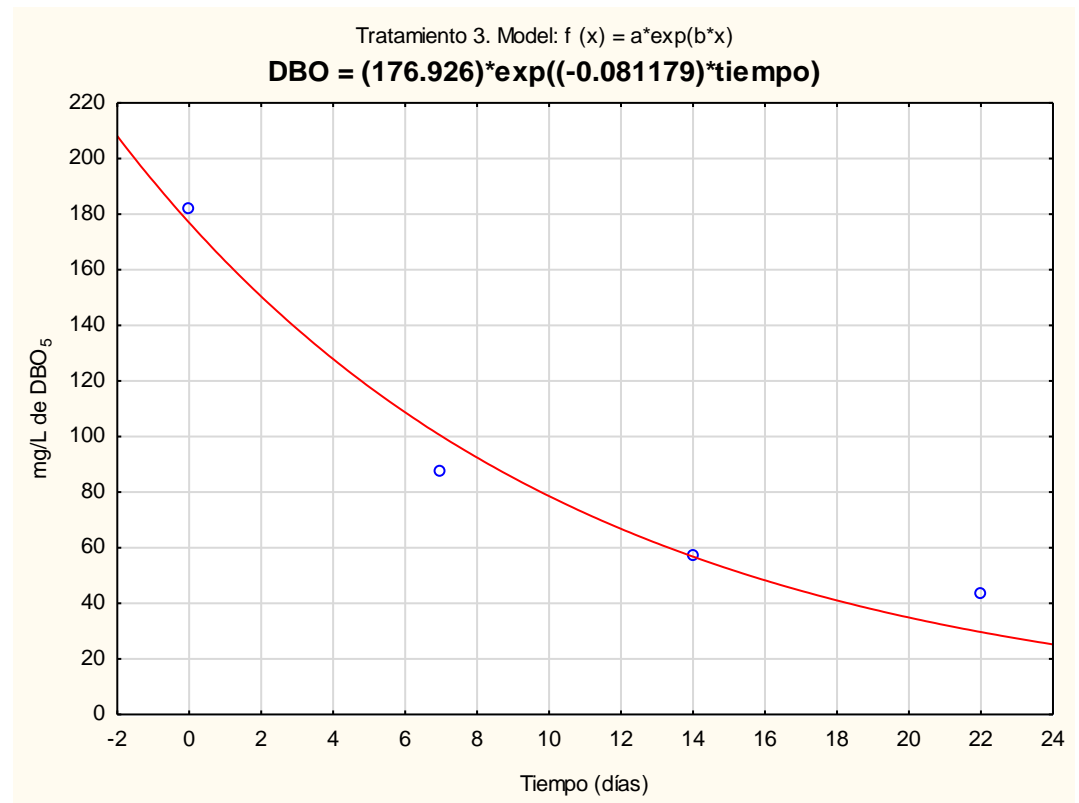
Tratamiento 1			
Dep. var: f(x) - DBO			
Model:	f(x) = a*exp(b*x)		
Final loss:	366.6704		
R= .98632			
Variance explained: 97.282%			
N=4	Observado	Predicho	Residuo
1	182.0000	178.4630	3.53697
2	80.0000	89.8603	-9.86030
3	43.6000	45.2468	-1.64676
4	36.6000	20.6556	15.94437
Constantes		a	b
1	Estimate	178.4630	-0.09802
2	Std.Err.	13.4108	0.01631
3	t(2)	13.3074	-6.00975
4	-95%CL	120.7610	-0.16819
5	+95%CL	236.1650	-0.02784
6	p-value	0.0056	0.02659



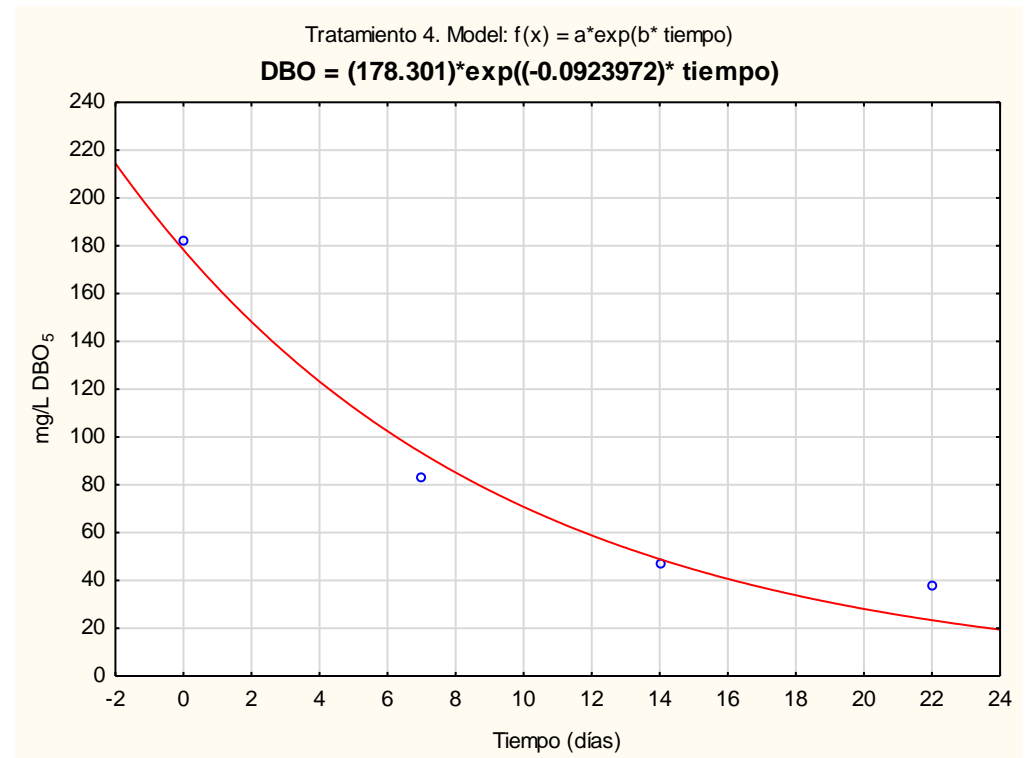
Tratamiento 2			
Dep. var: f(x) - DBO			
Model:	f(x) = a*exp(b*x)		
Final loss: 142.73518759			
R= .99375			
Variance explained: 98.755%			
N=4	Observado	Predicho	Residuo
1	182.0000	179.5583	2.44167
2	102.0000	106.5862	-4.58616
3	58.7000	63.2697	-4.56974
4	44.6000	34.8605	9.73951
Constantes		a	b
1	Estimate	179.5583	-0.0745
2	Std.Err.	8.1619	0.0074
3	t(2)	21.9996	-10.0752
4	-95%CL	144.4406	-0.1063
5	+95%CL	214.6761	-0.0427
6	p-value	0.0021	0.0097



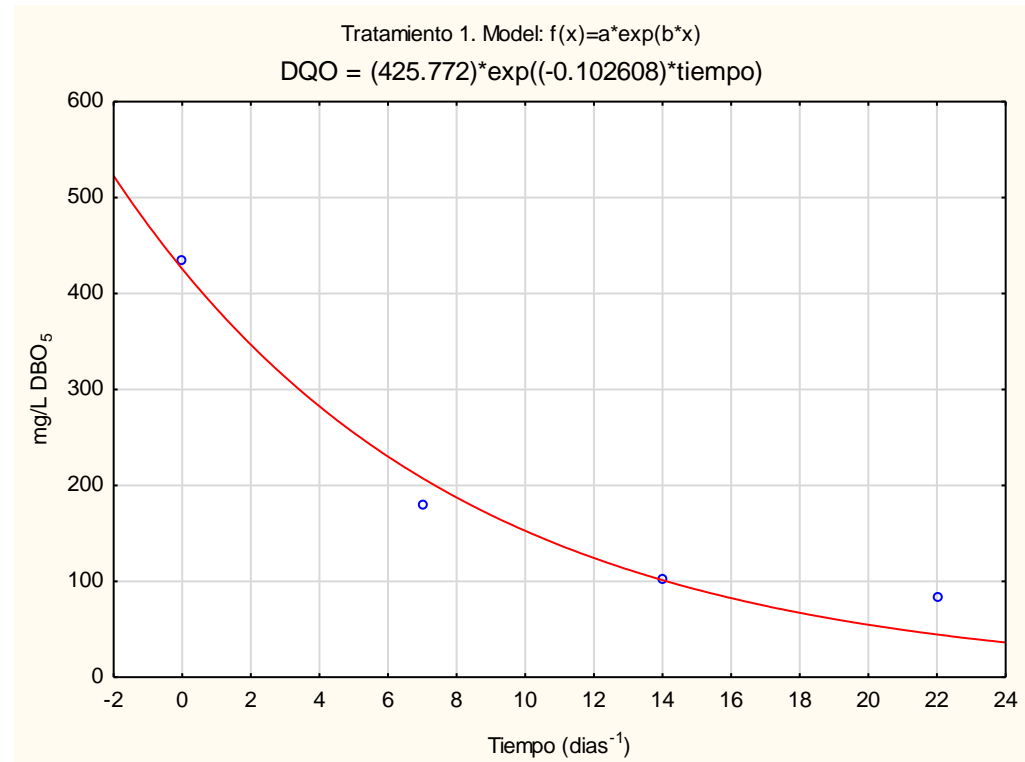
Tratamiento 3			
Dep. var: f(x) - DBO			
Model:	f(x) = a*exp(b*x)		
Final loss: 392.45884407			
R= .98308			
Variance explained: 96.644%			
N=4	Observado	Predicho	Residuo
1	182.00	176.9263	5.0737
2	87.00	100.2313	-13.2313
3	57.10	56.7825	0.3175
4	43.50	29.6599	13.8401
Constantes		a	b
1	Estimate	176.9263	-0.08118
2	Std.Err.	13.7308	0.01393
3	t(2)	12.8853	-5.82953
4	-95%CL	117.8474	-0.14110
5	+95%CL	236.0053	-0.02126
6	p-value	0.0060	0.02819



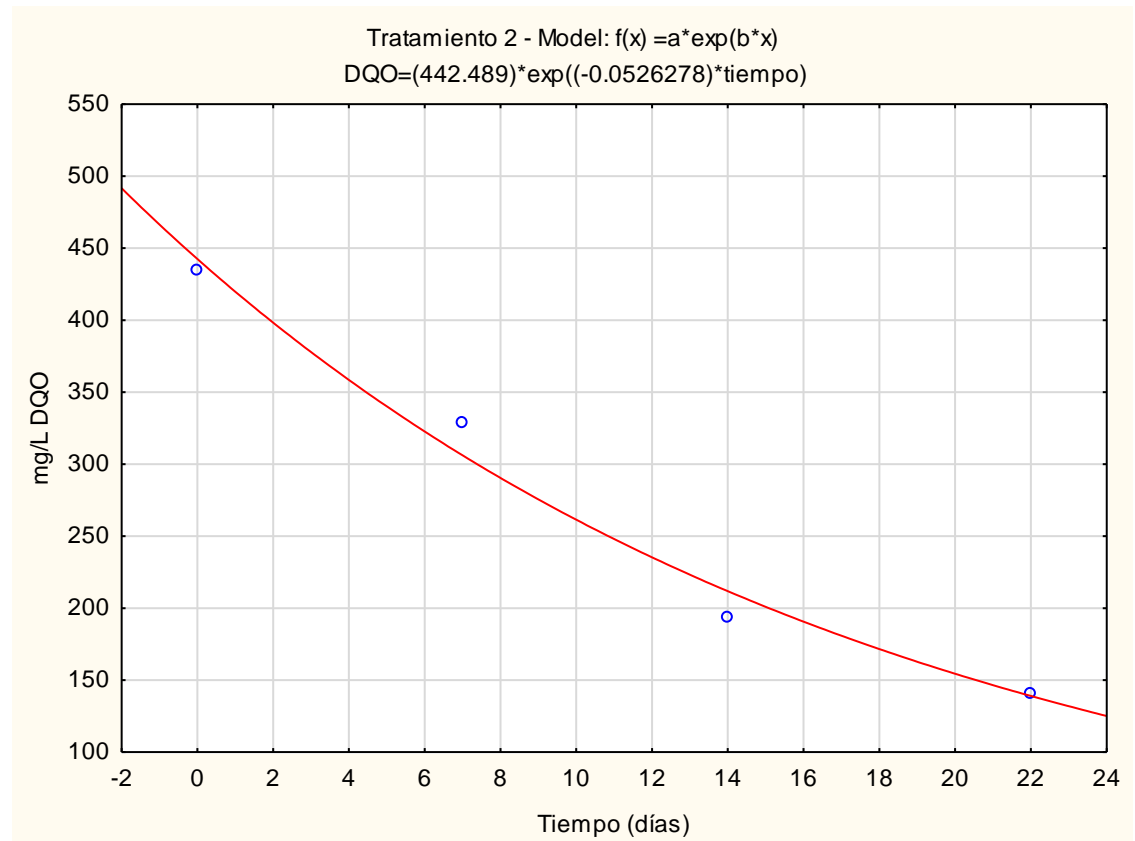
Tratamiento 4			
Dep. var: f(x) - DBO			
Model:	f(x) = a*exp(b*x)		
Final loss: 334.66513960			
R= .98704			
Variance explained: 97.426%			
N=4	Observado	Predicho	Residuo
1	182.00	178.3012	3.69881
2	83.50	93.3816	-9.88157
3	47.20	48.9067	-1.70668
4	38.20	23.3533	14.84674
Constantes		a	b
1	Estimate	178.3012	-0.09240
2	Std.Err.	12.7613	0.01455
3	t(2)	13.9721	-6.35238
4	-95%CL	123.3939	-0.15498
5	+95%CL	233.2085	-0.02981
6	p-value	0.0051	0.02390



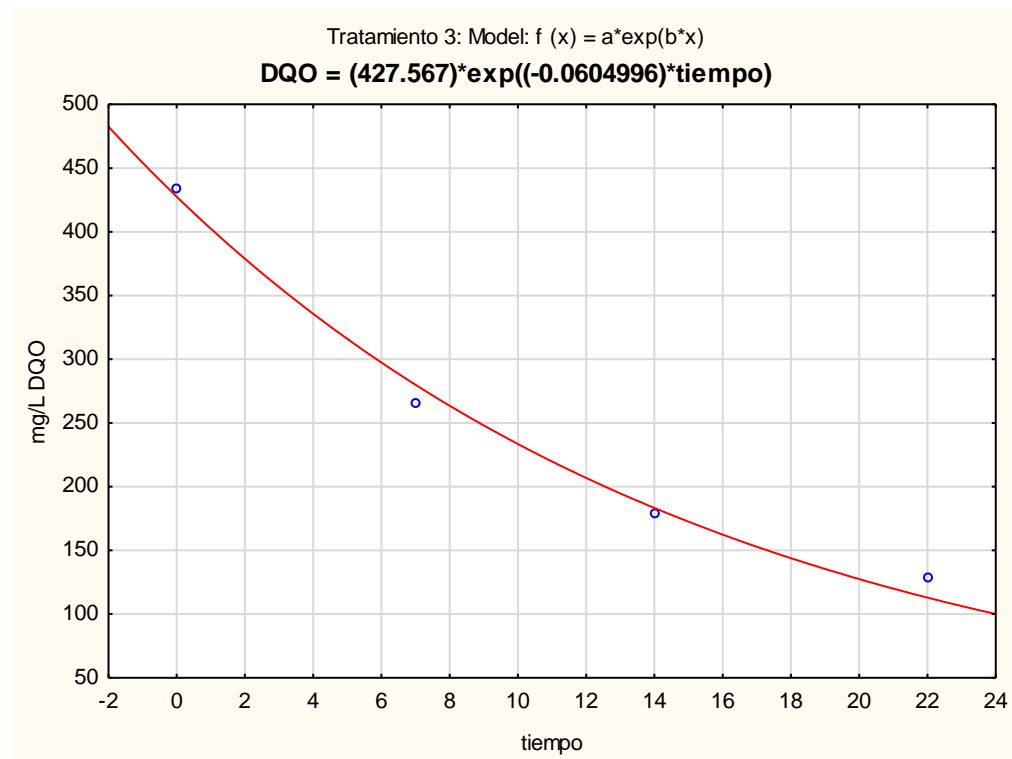
Tratamiento 1			
Dep. var: f(x) - DQO			
Model:	f(x) = a*exp(b*x)		
Final loss:	2387.1147		
R= 0.98469			
Variance explained: 96.962%			
N=4	Observado	Predicho	Residuo
1	434.80	425.7715	9.0285
2	180.25	207.6072	-27.3572
3	102.00	101.2298	0.7702
4	84.00	44.5463	39.4537
Constantes		a	b
1	Estimate	425.7715	-0.10261
2	Std.Err.	34.3509	0.01853
3	t(2)	12.3948	-5.53732
4	-95%CL	277.9714	-0.18234
5	+95%CL	573.5717	-0.02288
6	p-value	0.0064	0.03110



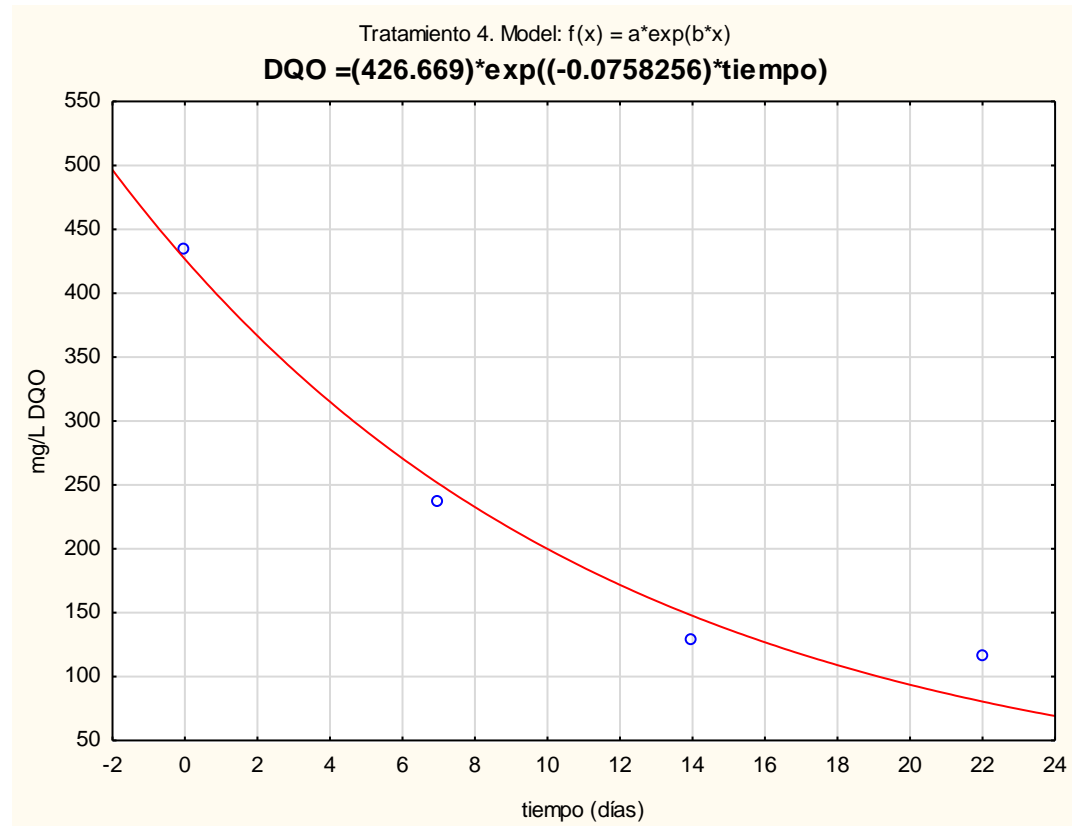
Tratamiento 2			
Dep. var: f(x) - DQO			
Model:	f(x) = a*exp(b*x)		
	Final loss: 900.23819212		
	R= .99150		
	Variance explained: 98.307%		
N=4	Observado	Predicho	Residuo
1	434.80	442.4890	-7.6890
2	329.00	306.1333	22.8667
3	194.00	211.7965	-17.7965
4	140.25	139.0180	1.2320
	Constantes	a	b
1	Estimate	442.4890	-0.05263
2	Std.Err.	19.7095	0.00552
3	t(2)	22.4505	-9.53468
4	-95%CL	357.6857	-0.07638
5	+95%CL	527.2923	-0.02888
6	p-value	0.0020	0.01082



Tratamiento 3			
Dep. var: f(x) - DQO			
Model:	f(x) = a*exp(b*x)		
Final loss: 543.87724820			
R= .99496			
Variance explained: 98.994%			
N=4	Observa do	Predicho	Residuo
1	434.80	427.5671	7.2329
2	265.25	279.9509	-14.7009
3	179.00	183.2988	-4.2988
4	129.00	112.9698	16.0302
Constantes		a	b
1	Estimate	427.5671	-0.0605
2	Std.Err.	15.6723	0.0051
3	t(2)	27.2817	-11.9292
4	-95%CL	360.1346	-0.0823
5	+95%CL	494.9996	-0.0387
6	p-value	0.0013	0.0070



Tratamiento 4			
Dep. var: f(x) - DQO			
Model:	$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x)$		
	Final loss: 1918.7803975		
	R= .98514		
	Variance explained: 97.051%		
N=4	Observa do	Predicho	Residuo
1	434.80	426.6693	8.1307
2	236.50	250.9440	-14.4440
3	129.00	147.5918	-18.5918
4	116.50	80.4668	36.0332
Constantes		a	b
1	Estimate	426.6693	-0.07583
2	Std.Err.	30.1063	0.01179
3	t(2)	14.1721	-6.43110
4	-95%CL	297.1324	-0.12656
5	+95%CL	556.2061	-0.02510
6	p-value	0.0049	0.02334



Pruebas de normalidad - Pueba de Shapiro-Wilk

		Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3			Tratamiento 4		
Parámetro		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DBO ₅	inicial	1.000	3	1.000	1.000	3	1.000	1.000	3	1.000	1.000	3	1.000
	final	0.900	3	0.386	0.949	3	0.567	0.769	3	0.043	0.906	3	0.403
a	Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			
DQO	inicial	0.993	3	0.846	0.993	3	0.846	0.993	3	0.846	0.993	3	0.846
	final	0.933	3	0.499	0.999	3	0.957	0.971	3	0.676	0.906	3	0.403
a	Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			
SST	inicial	0.780	3	0.068	0.780	3	0.068	0.780	3	0.068	0.780	3	0.068
	final	0.913	3	0.427	0.836	3	0.204	0.949	3	0.567	0.996	3	0.880
a	Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			
N-NH ₄ ⁺	inicial	1.000	3	1.000	1.000	3	1.000	1.000	3	1.000	1.000	3	1.000
	a	Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors		
b	N-NH ₄ ⁺ final es una constante y se ha desestimado.			N-NH ₄ ⁺ final es una constante y se ha desestimado.			N-NH ₄ ⁺ final es una constante y se ha desestimado.			N-NH ₄ ⁺ final es una constante y se ha desestimado.			
N-NO ₂ ⁻	inicial	0.949	3	0.567	0.949	3	0.567	0.949	3	0.567	0.949	3	0.567
	a	Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors		
b	N-NO ₂ ⁻ final es una constante y se ha desestimado.			N-NO ₂ ⁻ final es una constante y se ha desestimado.			N-NO ₂ ⁻ final es una constante y se ha desestimado.			N-NO ₂ ⁻ final es una constante y se ha desestimado.			
N-NO ₃ ⁻	inicial	0.983	3	0.747	0.983	3	0.747	0.983	3	0.747	0.983	3	0.747
	final	1	3	1	0.871	3	0.298	0.989	3	0.803	0.987	3	0.780
a	Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			
P _{Total}	inicial	0.775	3	0.056	0.775	3	0.056	0.775	3	0.056	0.775	3	0.056
	final	0.999	3	0.942	0.987	3	0.784	0.971	3	0.676	0.939	3	0.524
a	Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			
Turbiedad	inicial	0.844	3	0.223	0.844	3	0.223	0.844	3	0.223	0.844	3	0.223
	final	0.984	3	0.759	0.997	3	0.893	0.918	3	0.445	0.8761	3	0.313
a	Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			Corrección de la significación de Lilliefors			

Prueba de homogeneidad de varianzas

Parámetro	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	Parámetro	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Tratamiento 1					Tratamiento 2				
DBO ₅	0.84	1	4	0.412	DBO ₅	3.34	1	4	0.142
DQO	2.17	1	4	0.215	DQO	2.10	1	4	0.221
SST	2.00	1	4	0.230	SST	2.00	1	4	0.230
N-NH ₄ ⁺	4.00	1	4	0.116	N-NH ₄ ⁺	4.00	1	4	0.116
N-NO ₂ ⁻	8.69	1	4	0.042	N-NO ₂ ⁻	8.69	1	4	0.042
N-NO ₃ ⁻	4.50	1	4	0.101	N-NO ₃ ⁻	4.50	1	4	0.101
Fósforo Total	0.11	1	4	0.759	Fósforo Total	1.50	1	4	0.288
Turbiedad	0.72	1	4	0.443	Turbiedad	0.02	1	4	0.888
Tratamiento 3					Tratamiento 4				
DBO ₅	2.17	1	4	0.214	DBO ₅	2.69	1	4	0.176
DQO	0.10	1	4	0.772	DQO	0.42	1	4	0.554
SST	2.00	1	4	0.230	SST	2.00	1	4	0.230
N-NH ₄ ⁺	4.00	1	4	0.116	N-NH ₄ ⁺	4.00	1	4	0.116
N-NO ₂ ⁻	8.69	1	4	0.042	N-NO ₂ ⁻	8.69	1	4	0.042
N-NO ₃ ⁻	4.50	1	4	0.101	N-NO ₃ ⁻	4.50	1	4	0.101
Fósforo Total	0.71	1	4	0.448	Fósforo Total	0.84	1	4	0.411
Turbiedad	0.00	1	4	1.000	Turbiedad	0.37	1	4	0.575

Anexo 12. Modelamiento para reactores de mezcla completa de los tratamientos

Ecuación de un reactor de mezcla completa en función al DBO

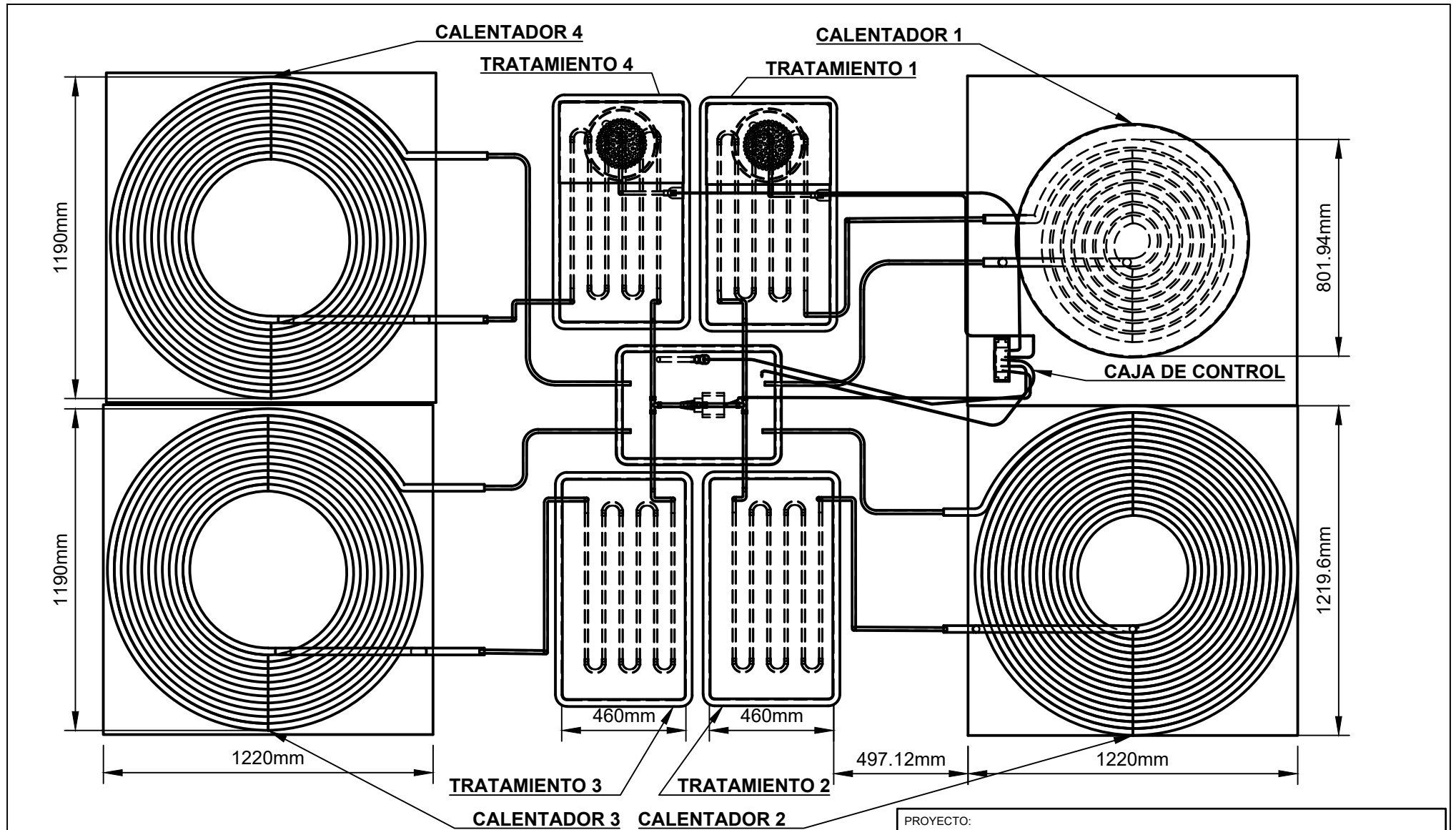
$$\frac{DBO}{DBO_0} = \frac{1}{1+kt}$$

Tiem po días	Tratamien to1 $\frac{DBO}{DBO_0}$	Tratamien to2 $\frac{DBO}{DBO_0}$	Tratamien to3 $\frac{DBO}{DBO_0}$	Tratamien to4 $\frac{DBO}{DBO_0}$	Tratamien to1 Eficiencia 1 %	Tratamien to2 Eficiencia 2 %	Tratamien to3 Eficiencia 3 %	Tratamien to4 Eficiencia 4 %
0	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.91	0.93	0.92	0.92	8.9	6.9	7.5	8.5
2	0.84	0.87	0.86	0.84	16.4	13.0	14.0	15.6
3	0.77	0.82	0.80	0.78	22.7	18.3	19.6	21.7
4	0.72	0.77	0.75	0.73	28.2	23.0	24.5	27.0
5	0.67	0.73	0.71	0.68	32.9	27.1	28.9	31.6
6	0.63	0.69	0.67	0.64	37.0	30.9	32.8	35.7
7	0.59	0.66	0.64	0.61	40.7	34.3	36.2	39.3
8	0.56	0.63	0.61	0.57	44.0	37.3	39.4	42.5
9	0.53	0.60	0.58	0.55	46.9	40.1	42.2	45.4
10	0.51	0.57	0.55	0.52	49.5	42.7	44.8	48.0
11	0.48	0.55	0.53	0.50	51.9	45.0	47.2	50.4
12	0.46	0.53	0.51	0.47	54.0	47.2	49.3	52.6
13	0.44	0.51	0.49	0.45	56.0	49.2	51.3	54.6
14	0.42	0.49	0.47	0.44	57.8	51.1	53.2	56.4
15	0.40	0.47	0.45	0.42	59.5	52.8	54.9	58.1
16	0.39	0.46	0.43	0.40	61.1	54.4	56.5	59.7
17	0.38	0.44	0.42	0.39	62.5	55.9	58.0	61.1
18	0.36	0.43	0.41	0.38	63.8	57.3	59.4	62.5
19	0.35	0.41	0.39	0.36	65.1	58.6	60.7	63.7
20	0.34	0.40	0.38	0.35	66.2	59.8	61.9	64.9
21	0.33	0.39	0.37	0.34	67.3	61.0	63.0	66.0
22	0.32	0.38	0.36	0.33	68.3	62.1	64.1	67.0

Ecuación de un reactor de mezcla completa en función del DQO

$$\frac{DQO}{DQO_0} = \frac{1}{1+kt}$$

Tiem po días	Tratamien to1 $\frac{DQO}{DQO_0}$	Tratamien to2 $\frac{DQO}{DQO_0}$	Tratamien to3 $\frac{DQO}{DQO_0}$	Tratamien to4 $\frac{DQO}{DQO_0}$	Tratamien to1 Eficiencia 1 %	Tratamien to2 Eficiencia 2 %	Tratamien to3 Eficiencia 3 %	Tratamien to4 Eficiencia 4 %
0	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.91	0.95	0.94	0.93	9.3	5.0	5.7	7.0
2	0.83	0.90	0.89	0.87	17.0	9.5	10.8	13.2
3	0.76	0.86	0.85	0.81	23.5	13.6	15.4	18.5
4	0.71	0.83	0.81	0.77	29.1	17.4	19.5	23.3
5	0.66	0.79	0.77	0.73	33.9	20.8	23.2	27.5
6	0.62	0.76	0.73	0.69	38.1	24.0	26.6	31.3
7	0.58	0.73	0.70	0.65	41.8	26.9	29.8	34.7
8	0.55	0.70	0.67	0.62	45.1	29.6	32.6	37.8
9	0.52	0.68	0.65	0.59	48.0	32.1	35.3	40.6
10	0.49	0.66	0.62	0.57	50.6	34.5	37.7	43.1
11	0.47	0.63	0.60	0.55	53.0	36.7	40.0	45.5
12	0.45	0.61	0.58	0.52	55.2	38.7	42.1	47.6
13	0.43	0.59	0.56	0.50	57.2	40.6	44.0	49.6
14	0.41	0.58	0.54	0.49	59.0	42.4	45.9	51.5
15	0.39	0.56	0.52	0.47	60.6	44.1	47.6	53.2
16	0.38	0.54	0.51	0.45	62.1	45.7	49.2	54.8
17	0.36	0.53	0.49	0.44	63.6	47.2	50.7	56.3
18	0.35	0.51	0.48	0.42	64.9	48.6	52.1	57.7
19	0.34	0.50	0.47	0.41	66.1	50.0	53.5	59.0
20	0.33	0.49	0.45	0.40	67.2	51.3	54.8	60.3
21	0.32	0.48	0.44	0.39	68.3	52.5	56.0	61.4
22	0.31	0.46	0.43	0.37	69.3	53.7	57.1	62.5

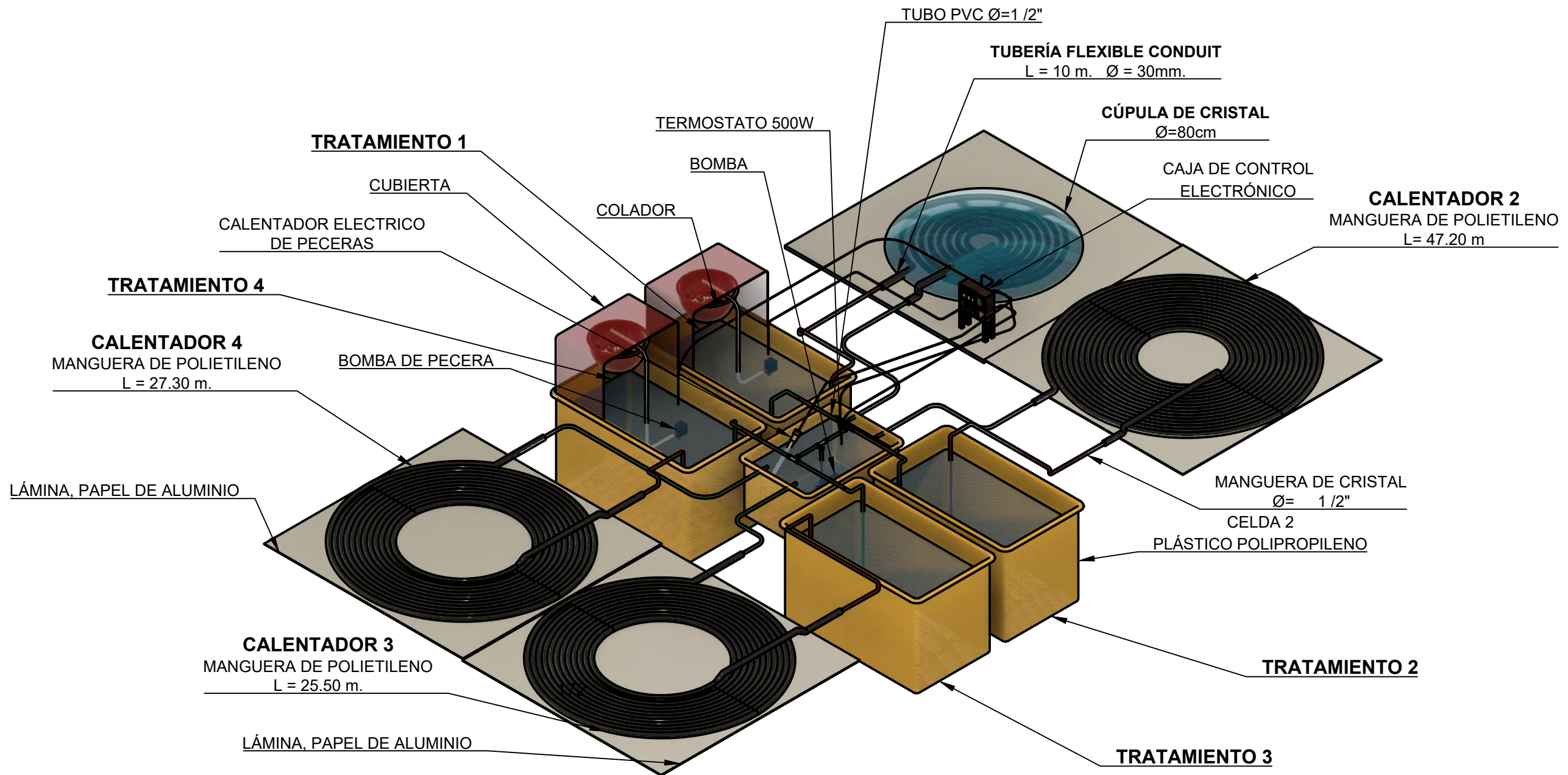


Esc: 1/20

VISTA EN PLANTA

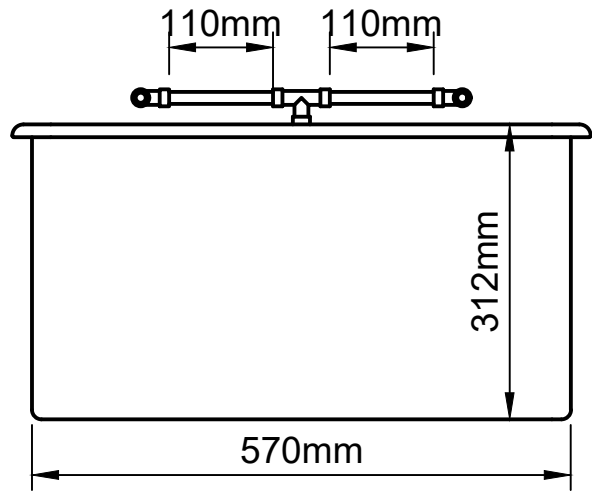
PROYECTO:
**EFEECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE
 DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN CONDICIONES
 ALTOANDINAS**

DISEÑO: Ing. JUAN EDUARDO VIGO RIVERA	DPTO: PUNO	PROVINCIA: SAN ROMÁN	DISTRITO: JULIACA	LAMINA:
PLANO: VISTA EN PLANTA	ESCALA: 1/20	REVISIÓN: 06	FECHA: 12/11/19	A-01
DIBUJO: Ing. KENEDY H. CUTISACA BELLIDO, Ing. SIRLY M. TURPO MAMANI				

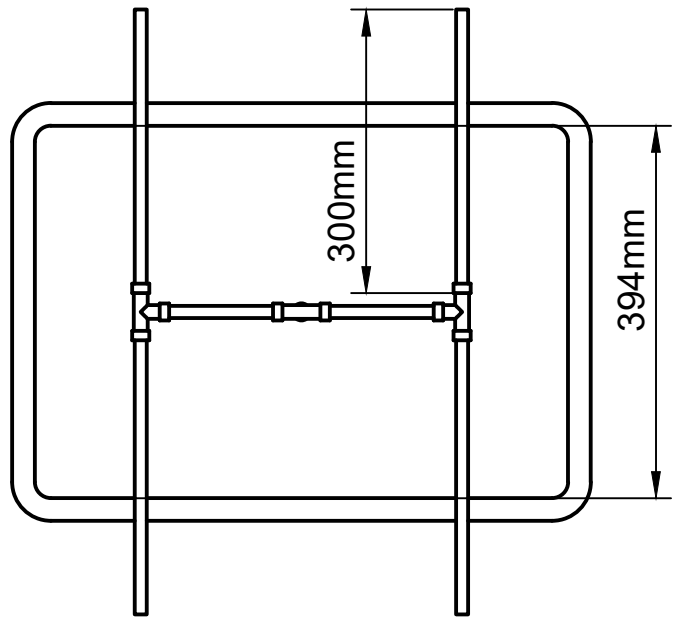


VISTA ISOMÉTRICA - DESCRIPTIVA

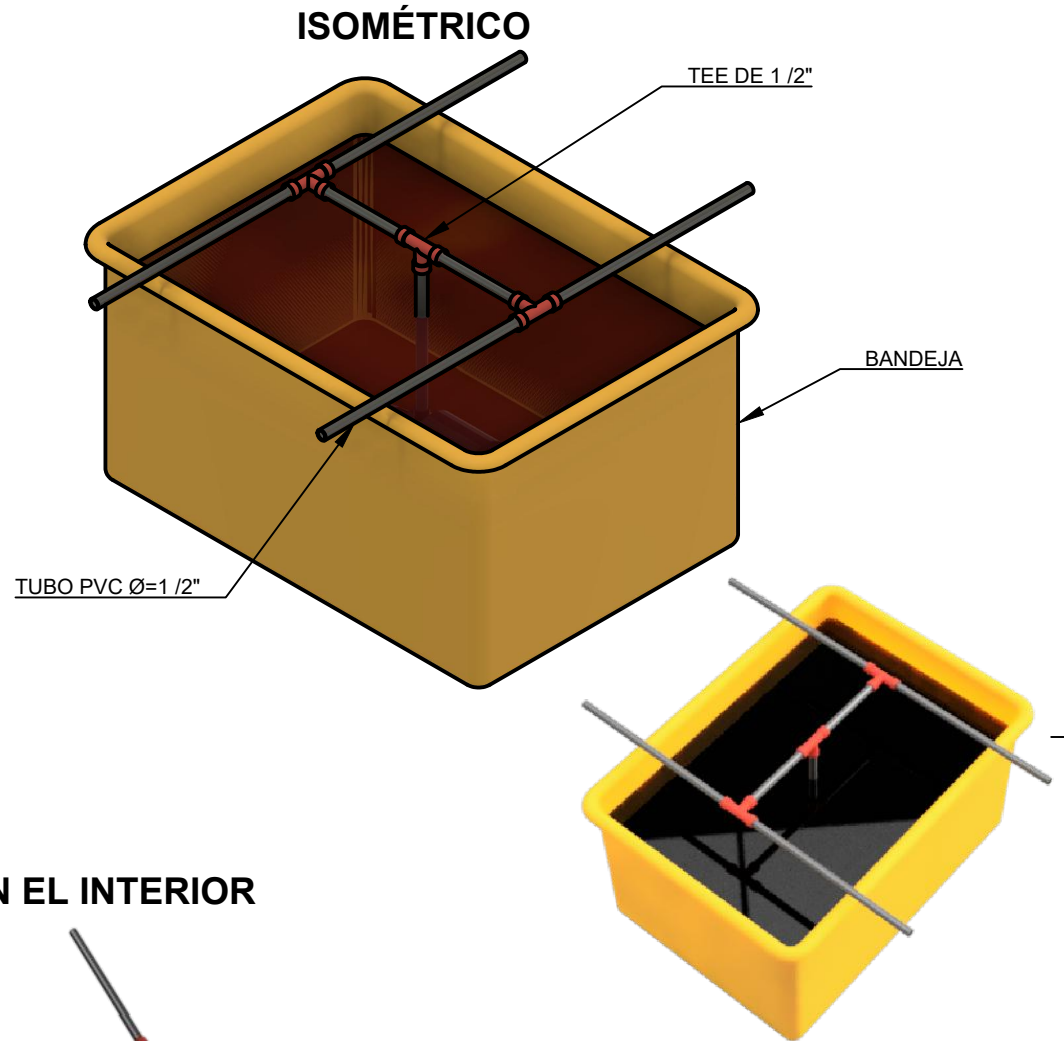
PROYECTO: EFEECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN CONDICIONES ALTOANDINAS				
DISEÑO: Ing. JUAN EDUARDO VIGO RIVERA	DPTO: PUNO	PROVINCIA: SAN ROMÁN	DISTRITO: JULIACA	LAMINA: A-02
PLANO: Vista en planta en 3D	ESCALA: 1/20	REVISIÓN: 06	FECHA: 12/11/19	
DIBUJO: Ing. KÉNEY H. CUTISACA BELLIDO, Ing. SIRLY M. TURPO MAMANI				



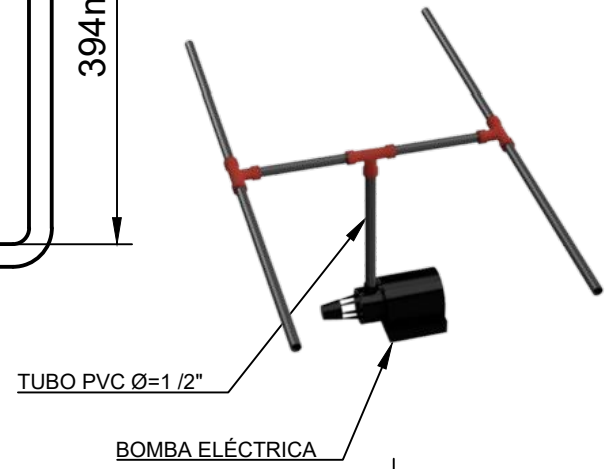
VISTA FRONTAL



VISTA EN PLANTA



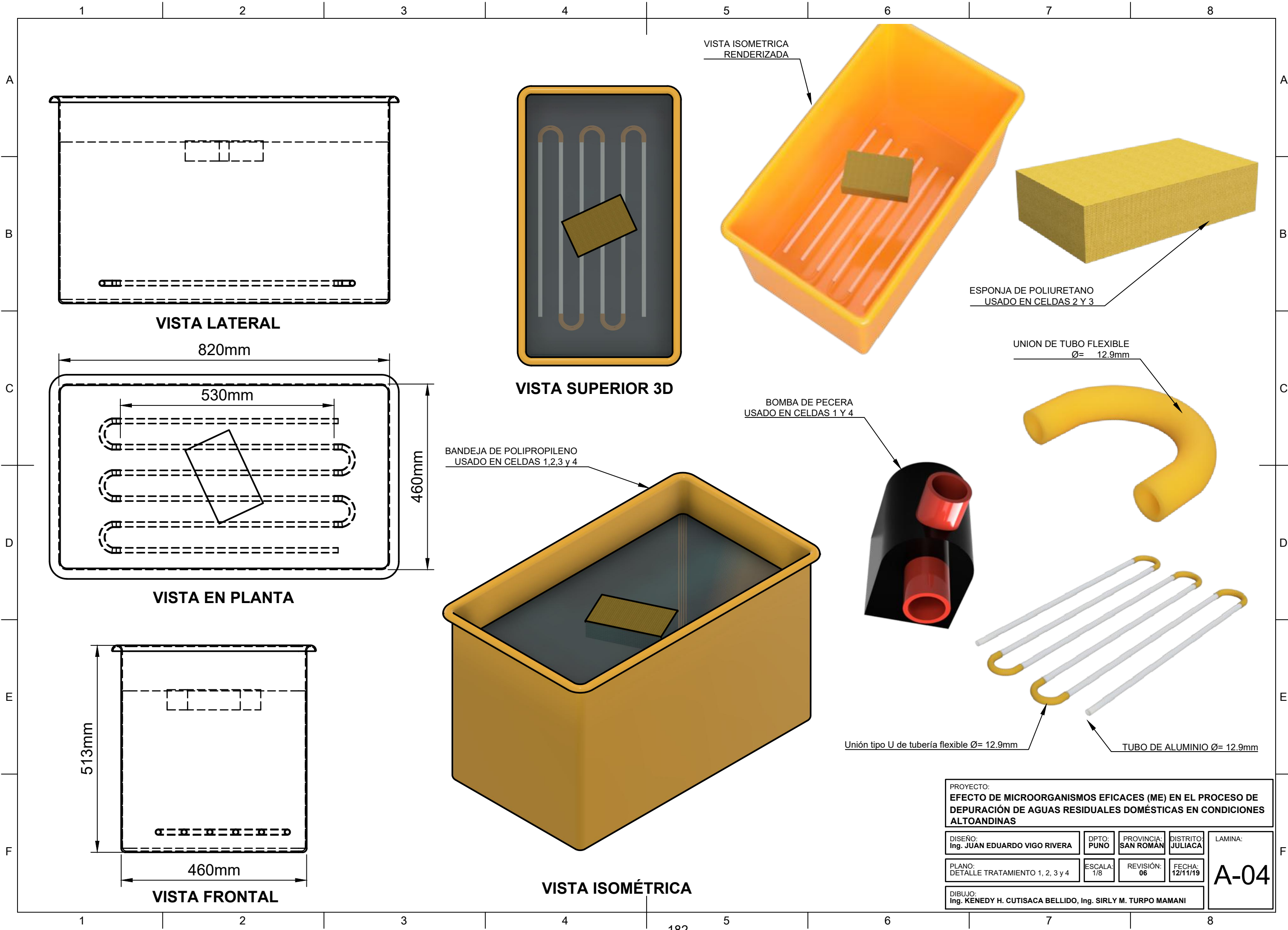
VISTA EN EL INTERIOR



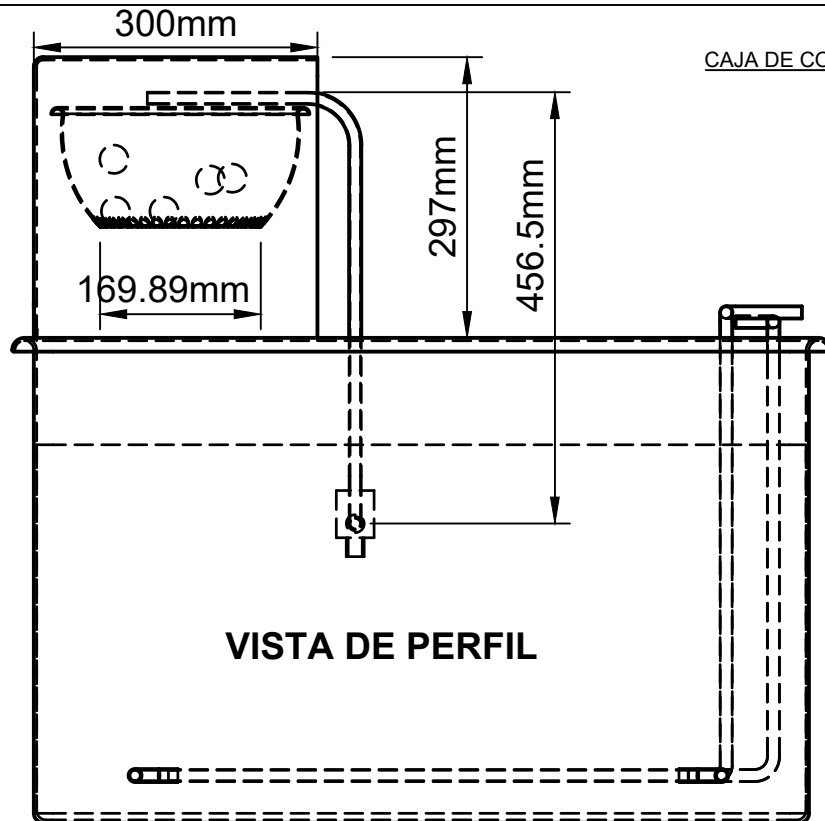
VISTA RENDERIZADA

PROYECTO:
**EFEECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE
 DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN CONDICIONES
 ALTOANDINAS**

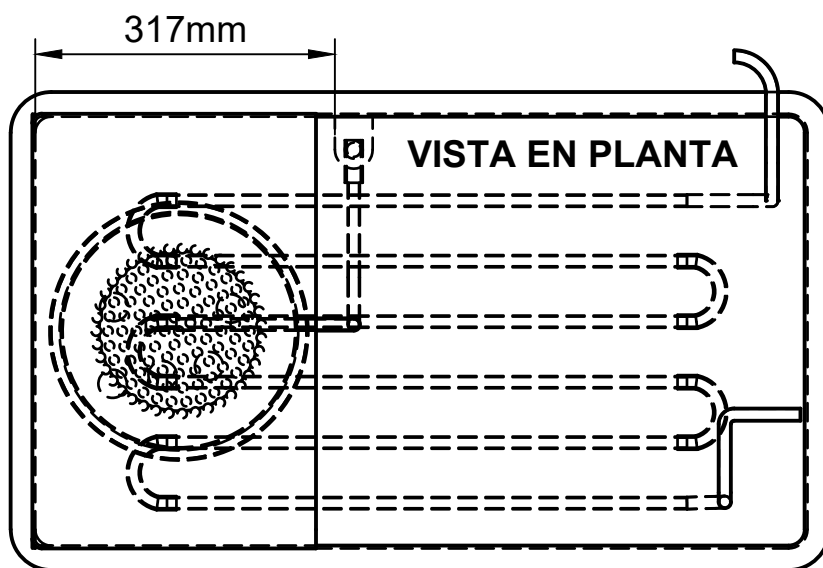
DISEÑO: Ing. JUAN EDUARDO VIGO RIVERA	DPTO: PUNO	PROVINCIA: SAN ROMÁN	DISTRITO: JULIACA	LAMINA:
PLANO: DETALLE DE CELDA CENTRAL	ESCALA: 1/8	REVISIÓN: 06	FECHA: 12/11/19	A-03
DIBUJO: Ing. KENEDY H. CUTISACA BELLIDO, Ing. SIRLY M. TURPO MAMANI				



PROYECTO: EFEECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN CONDICIONES ALTOANDINAS				
DISEÑO: Ing. JUAN EDUARDO VIGO RIVERA	DPTO: PUNO	PROVINCIA: SAN ROMÁN	DISTRITO: JULIACA	LAMINA: A-04
PLANO: DETALLE TRATAMIENTO 1, 2, 3 y 4	ESCALA: 1/8	REVISIÓN: 06	FECHA: 12/11/19	
DIBUJO: Ing. KÉNEY H. CUTISACA BELLIDO, Ing. SIRLY M. TURPO MAMANI				



VISTA DE PERFIL



VISTA EN PLANTA

CAJA DE CONTROL IMPLEMENTADO CON ARDUINO



VISTA 3D



COLADOR DE PLASTICO

BIOBOLAS

BOMBA DE PECERA



PROYECTO:
**EFEECTO DE MICROORGANISMOS EFICACES (ME) EN EL PROCESO DE
 DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN CONDICIONES
 ALTOANDINAS**

DISEÑO:
 Ing. JUAN EDUARDO VIGO RIVERA

DPTO:
 PUNO

PROVINCIA:
 SAN ROMÁN

DISTRITO:
 JULIACA

LAMINA:

PLANO:
 DETALLE DE TRATAMIENTO 1 Y 4

ESCALA:
 1/8

REVISIÓN:
 06

FECHA:
 12/11/19

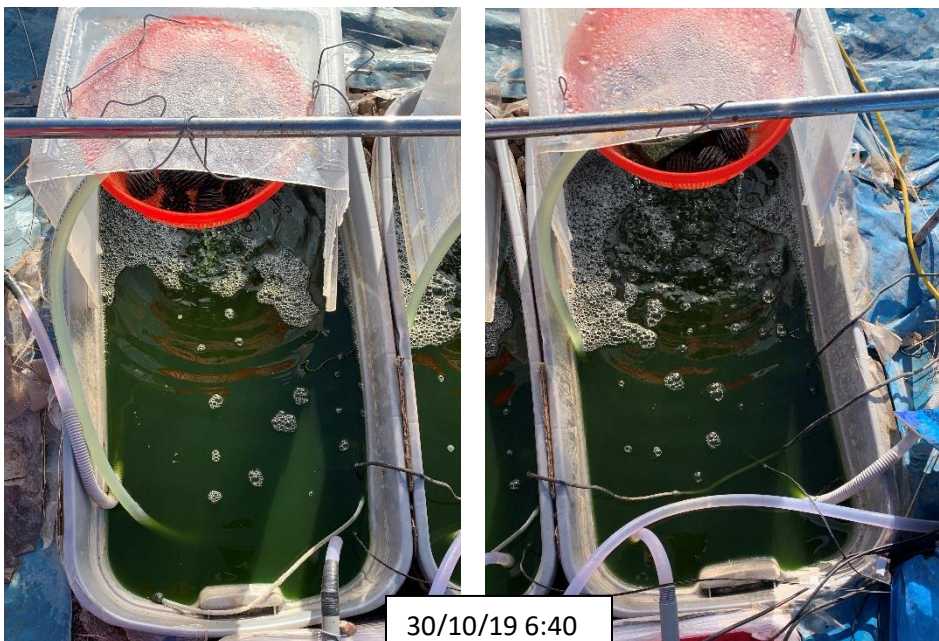
A-05

DIBUJO:
 Ing. KENEDY H. CUTISACA BELLIDO, Ing. SIRLY M. TURPO MAMANI

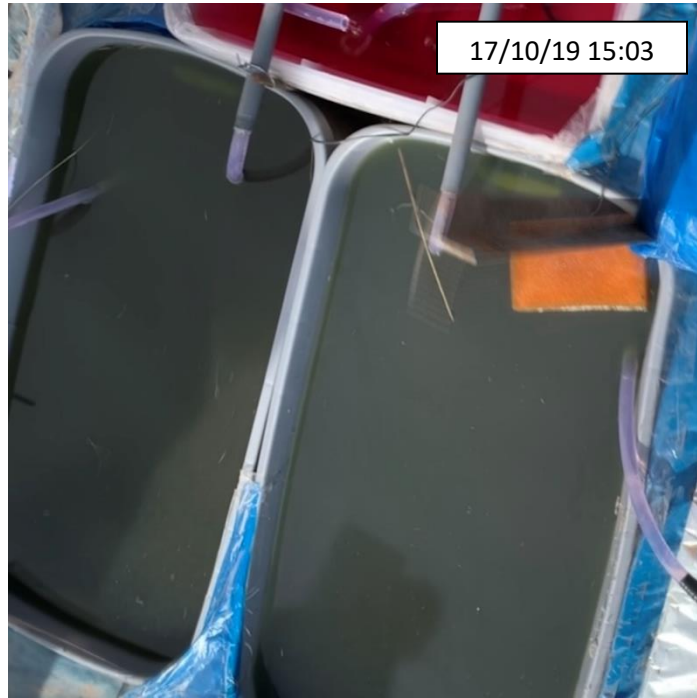
Anexo 14. Panel fotográfico



Anexo 14. 1. Instalación experimental. Primer día de operación



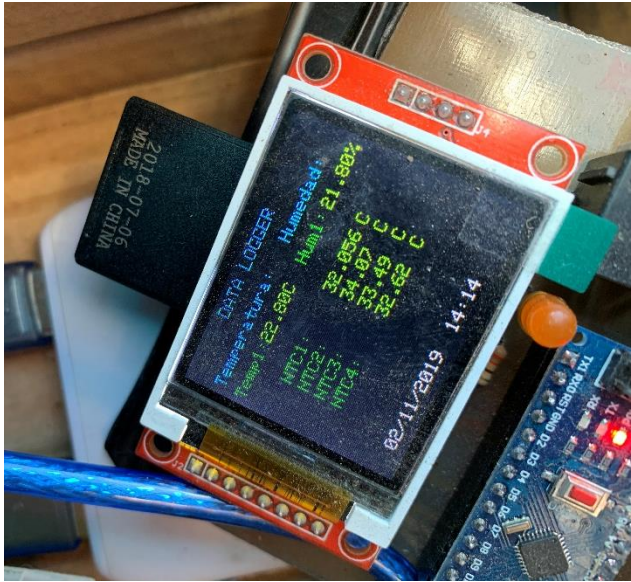
Anexo 14.2. Tratamientos Aerobios. Derecha con ME - izquierda sin ME



Anexo 14.3. Tratamientos anaerobios. Derecha con ME - izquierda sin ME



Anexo 14.4. Tratamientos anaerobios. Derecha con ME - izquierda sin ME



Anexo 14.5. Plataformas Arduinos. Derecha Arduino con Protoboard - Izquierdo Arduino de placa



Anexo 14.6. Tratamientos aerobios Derecha con ME – Izquierda sin ME



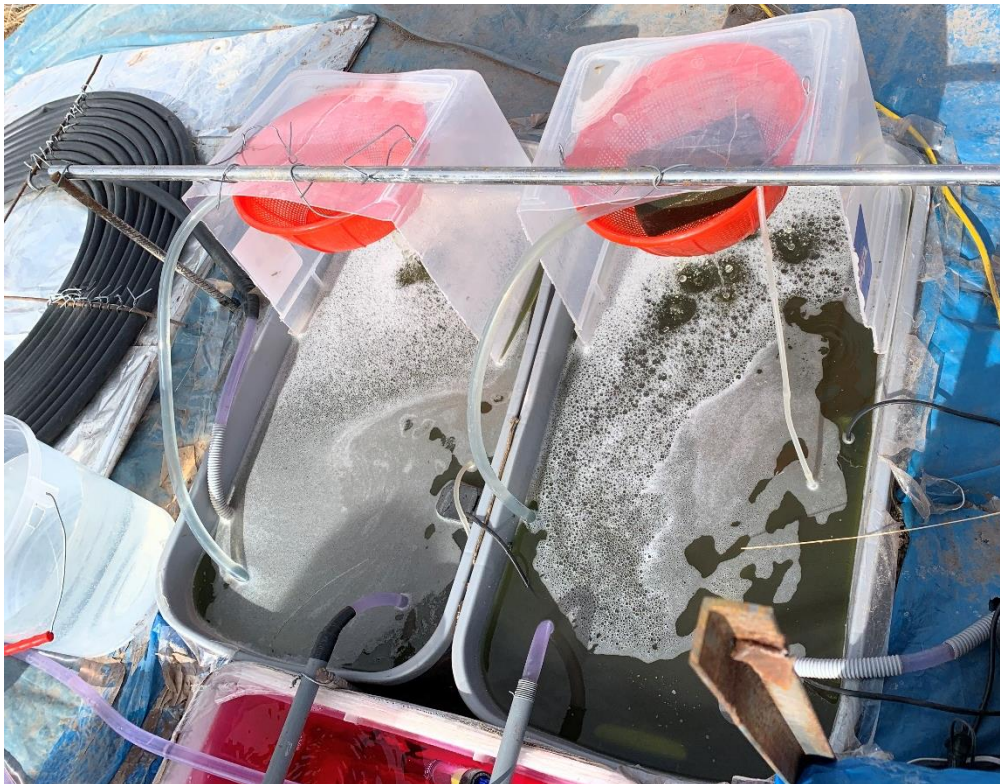
Anexo 14.7. Visitantes de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno



Anexo 14.8. Derecha Análisis de Laboratorio – Izquierda Monitoreo insitu



Anexo 14.9. Medición insitu de turbiedad (7/11/19 13:34)



Anexo 14.10. Presencia de espuma el primer día de instalación por detergentes en aguas residuales domésticas