

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



“ESTUDIO FISICOQUÍMICO Y ECOTOXICOLÓGICO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURIN”

Presentada por:

MARYORI AMANDA LAZARO DIAZ

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Lima – Perú

2024

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art.24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO Y ECOTOXICOLÓGICO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURIN

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dokumen.pub Fuente de Internet	3%
2	lawetnet.org Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	xdocs.net Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Científica del Sur Trabajo del estudiante	

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“ESTUDIO FISICOQUÍMICO Y ECOTOXICOLÓGICO DE
LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA BAJA DEL
RÍO LURÍN”**

Presentado por:

MARYORI AMANDA LAZARO DIAZ

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Ph.D. Lizardo Visitación Figueroa
PRESIDENTE

Dra. Rosemary Vela Cardich
MIEMBRO

Ph. D. Mary Flor Cesaré Coral
MIEMBRO

Ph. D. Lisveth Vilma Flores del Pino de Wright
ASESORA

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme concretar esta etapa de mi vida, a pesar de las situaciones adversas presentadas en este camino.

A mi familia por el apoyo incondicional que siempre me han brindado en cada etapa de mi vida.

A la Ph. D. Lisveth Flores, por su continuo asesoramiento, soporte y guía durante el desarrollo de la presente investigación.

Al Departamento Académico de Química, por permitirme el uso de las instalaciones del Laboratorio de Tesis, y préstamo de los equipos y materiales.

Al Ph. D. Javier Quino por las facilidades brindadas para el uso del laboratorio de la Universidad de Lima, durante el desarrollo del bioensayo con *Vibrio fischeri*.

A la Dra. Rosemary Vela Cardich, Ph.D Mary Flor Cesaré Coral y Ph. D. Lizardo Visitación por sus aportes que han contribuido a la mejora de la presente investigación.

A Pierinna Ratto y Diego Altamirano, por su apoyo en campo y laboratorio.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Cuenca del río Lurín.....	3
2.1.1 Ubicación política	3
2.1.2 Ubicación geográfica	3
2.1.3 Características hidrológicas	4
2.1.4 Unidades hidrográficas	5
2.1.5 Fuentes contaminantes y vertimientos autorizados.....	6
2.2 Aguas residuales.....	7
2.2.1 Aguas residuales domésticas.....	7
2.2.2 Problemática del agua residual en el Perú.....	7
2.2.3 Problemática del agua residual en Lima	9
2.2.4 Problemática del agua residual en Lurín.....	10
2.3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).....	12
2.3.1 Sistemas de tratamiento.....	14
2.3.1.1 Tratamiento Preliminar	14
2.3.1.2 Tratamiento Primario	15
2.3.1.3 Tratamiento Secundario	15
2.3.1.4 Tratamiento Terciario	19
2.3.2 PTAR San Bartolo	19
2.3.2.1 Ubicación	19
2.3.2.2 Características generales	20
2.3.2.3 Sistema de tratamiento	21
2.3.2.4 Problemática	24
2.3.2.5 Monitoreos realizados por SEDAPAL.....	24
2.3.3 PTAR Julio C Tello.....	25
2.3.3.1 Ubicación	25
2.3.3.2 Características generales	25
2.3.3.3 Sistema de tratamiento	26

2.3.3.4	Problemática	26
2.3.3.5	Monitoreos realizados por SEDAPAL.....	26
2.4	Marco normativo	27
2.4.1	Autoridad del recurso hídrico	27
2.4.2	Límites Máximos Permisibles.....	28
2.4.3	Estándares de Calidad Ambiental	28
2.5	Ecotoxicología.....	30
2.5.1	Diferencia entre ecotoxicología y toxicología ambiental.....	30
2.5.2	Pruebas ecotoxicológicas	30
2.5.2.1	<i>Daphnia magna</i>	31
2.5.2.2	<i>Lactuca sativa</i>	32
2.5.2.3	<i>Vibrio fischeri</i>	33
2.5.3	Principales términos ecotoxicológicos	33
2.5.3.1	Concentración Letal Media (CL ₅₀).....	34
2.5.3.2	Unidades Tóxicas (UT).....	34
2.5.3.3	Índice de Efecto Tóxico Potencial (IETP)	34
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1	ETAPA DE CAMPO	36
3.1.1	Toma de muestras de agua	36
3.1.2	Tipo y frecuencia de monitoreo	41
3.1.3	Medición de parámetros fisicoquímicos	42
3.1.3.1	Parámetros <i>in situ</i>	42
3.1.3.2	Parámetros fisicoquímicos	43
3.1.4	Medición del caudal	43
3.2	ETAPA EXPERIMENTAL:	44
3.2.1	Bioensayo con <i>Daphnia magna</i>	44
3.2.2	Bioensayo con <i>Lactuca sativa</i>	47
3.2.3	Bioensayo con <i>Vibrio fischeri</i>	49
3.3	ETAPA DE GABINETE	53
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1	Parámetros In – Situ	54
4.1.1	Potencial de hidrógeno (pH):	54
4.1.2	Oxígeno Disuelto (OD):.....	55
4.1.3	Conductividad eléctrica (CE):.....	55

4.2	Parámetros Físico – Químicos	56
4.2.1	Sólidos Totales Suspendidos (STS):	56
4.2.2	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):	57
4.2.3	Demanda Química de Oxígeno (DQO):	57
4.2.4	Aceites y grasas:	58
4.2.5	Cloruros:	59
4.2.6	Fosfatos:	59
4.2.7	Sulfatos:	60
4.2.8	Metales Totales	61
4.3	Bioensayos	64
4.3.1	<i>Daphnia magna</i>	64
4.3.2	<i>Lactuca sativa</i>	73
4.3.3	<i>Vibrio fischeri</i>	90
4.4	Análisis del riesgo ecotoxicológico	97
4.4.1	Unidad tóxica (UT)	97
4.4.2	Índice de Efecto Tóxico Potencial (IETP)	98
V.	CONCLUSIONES	101
VI.	RECOMENDACIONES	103
VII.	BIBLIOGRAFÍA	104
VIII.	ANEXOS	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Subcuencas de la Unidad Hidrográfica de Lurín	6
Tabla 2: Vertimientos de aguas residuales inscritas en el PAVER	7
Tabla 3: Calidad del agua en la cuenca baja del río Lurín 2013-2014	12
Tabla 4: Plantas de Tratamiento de Agua Potable operadas por SEDAPAL	13
Tabla 5: Principales características de la tecnología aerobia y anaerobia	20
Tabla 6: Características de la PTAR San Bartolo	20
Tabla 7: Características de la PTAR – Julio. C. Tello	25
Tabla 8: Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de las PTAR	28
Tabla 9: Clasificación de la toxicidad.....	34
Tabla 10: Clasificación de la carga tóxica	35
Tabla 11: Materiales y equipo para el muestreo de la calidad de los recursos hídricos	36
Tabla 12: Puntos de muestreo	38
Tabla 13: Equipo de medición de los parámetros <i>in situ</i>	42
Tabla 14: Método de medición de los parámetros fisicoquímicos	43
Tabla 15: Condiciones de ensayo para el bioensayo con <i>Daphnia magna</i>	45
Tabla 16: Parámetros in – situ medidos en época seca.....	54
Tabla 17: Parámetros in – situ medidos en época húmeda	54
Tabla 18: Concentración de metales en los cinco puntos de muestreo, en la temporada seca	62
Tabla 19: Concentración de metales en los cinco puntos de muestreo, en la temporada húmeda	63
Tabla 20: <i>Daphnia magna</i> neonatas inmovilizadas a las 24 y 48 horas de exposición, para la época seca.....	65
Tabla 21: <i>Daphnia magna</i> neonatas inmovilizadas a las 24 y 48 horas de exposición, para la época húmeda.....	66
Tabla 22: Toxicidad registrada en un tiempo de exposición de 24 y 48 horas de exposición, para la época seca.....	67
Tabla 23: Toxicidad registrada en un tiempo de exposición de 24 y 48 horas de exposición, para la época húmeda	68

Tabla 24: Inhibición de la germinación de las semillas de <i>Lactuca sativa</i> , a una exposición de 120 horas	74
Tabla 25: Toxicidad registrada por inhibición de la germinación de la <i>Lactuca sativa</i> en un tiempo de exposición de 120 horas, para la época seca y húmeda.....	75
Tabla 26: Porcentaje de inhibición de la radícula de la <i>Lactuca sativa</i> , en un tiempo de exposición de 120 horas	78
Tabla 27: Toxicidad registrada en el crecimiento de la radícula de la <i>Lactuca sativa</i> , en un tiempo de exposición de 120 horas.	81
Tabla 28: Porcentaje de inhibición del hipocótilo de la <i>Lactuca sativa</i> , en un tiempo de exposición de 120 horas.	85
Tabla 29: Toxicidad registrada en la elongación del hipocótilo de la <i>Lactuca sativa</i> , en un tiempo de exposición de 120 horas.	86
Tabla 30. Porcentaje de inhibición de la bioluminiscencia de <i>Vibrio fischeri</i>	91
Tabla 31: Toxicidad registrada en la bioluminiscencia del <i>Vibrio fischeri</i>	92
Tabla 32: Unidades tóxicas registradas en la época seca, para los bioensayos con <i>Daphnia magna</i> , <i>Lactuca sativa</i> y <i>Vibrio fischeri</i>	97
Tabla 33: Unidades tóxicas registradas en la época húmeda, para los bioensayos con <i>Daphnia magna</i> y <i>Lactuca sativa</i>	97
Tabla 34: Caudal registrado	98
Tabla 35: Efecto tóxico potencial de cada muestra recolectada en la cuenca baja del río Lurín, en la época seca	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca del río Lurín.	4
Figura 2: Hidrograma del 2022-2023 de la estación Antapucro.	5
Figura 3: Descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento, 2014-2020.....	8
Figura 4: Volumen de agua residual tratada vertida en el departamento de Lima.	9
Figura 5: Relación entre el número de autorizaciones de vertimiento y el volumen total (hm ³) de agua residual vertida entre 2009-2017.....	10
Figura 6: Esquema de sistema de tratamiento de una PTAR.....	14
Figura 7: Variación de oxígeno disuelto en lagunas aireadas. a) Laguna sin airear, b) Laguna aireada de mezcla completa.....	16
Figura 8: Ubicación de la PTAR de San Bartolo.	20
Figura 9: Proceso de operación de la PTAR de San Bartolo.	22
Figura 10: Procesos Unitarios de la PTAR de San Bartolo.	23
Figura 11: Características fisicoquímicas de los efluentes de la PTAR San Bartolo en los años 2022 y 2023, contrastado con los Límites Máximos Permisibles.	24
Figura 12: Ubicación de la PTAR de Julio C Tello.	25
Figura 13: Características fisicoquímicas de los efluentes de la PTAR Julio. C.Tello.	27
Figura 14: Morfología de <i>Daphnia magna</i>	32
Figura 15: Morfología de Lactuca Sativa.	33
Figura 16: Rotulado y etiquetado de botellas, previo a la salida de campo.....	37
Figura 15: Medición de parámetros in situ.	38
Figura 18: Ubicación de los cinco puntos de muestreo de los que se recolectaron las muestras .	39
Figura 19: Descarga de efluentes de la PTAR Julio C. Tello	40
Figura 20: Descarga de efluentes de la PTAR San Bartolo	40
Figura 21: Cuenca baja del río Lurín en época seca	41
Figura 22: Cuenca baja del río Lurín en época húmeda	41
Figura 23: Preparación de las diluciones	46
Figura 24: Conteo de <i>Daphnia magna</i> en cada tubo de ensayo.....	47
Figura 25: Distribución de semillas Lactuca sativa en la placa Petri	48

Figura 26: Preparación de las placas Petri, previo al almacenamiento.....	49
Figura 27. Inoculación de <i>Vibrio fischeri</i>	51
Figura 28. Frascos de BioTox™ WaterTox™ EVO Kit 1243-500	41
Figura 29: Resultados de parámetros in-situ comparados con el ECA de Agua del 2017	56
Figura 30: Parámetros físico – químicos (DQO, DBO y Aceites y grasas).....	59
Figura 31: Parámetros físico-químicos (cloruros, sulfatos y fosfatos).	61
Figura 32: Curva de concentración – mortalidad, respecto a la <i>Daphnia magna</i> , en un tiempo de exposición de 24 y 48 horas, en la época seca.	67
Figura 33: Curva de concentración – mortalidad, respecto a la <i>Daphnia magna</i> , en un tiempo de exposición de 24 y 48 horas, en la época húmeda.	68
Figura 34. Correlación entre la DQO y Unidades Tóxicas (UT), para la época seca.	72
Figura 35: Correlación entre la DQO y Unidades Tóxicas (UT), para la época húmeda.	73
Figura 36: Curva concentración – inhibición de la germinación de la <i>Lactuca sativa</i> en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada húmeda.....	77
Figura 37: Curva concentración – inhibición de la germinación de la <i>Lactuca sativa</i> en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada seca.	74
Figura 38: Curva concentración – inhibición del crecimiento de la radícula de la <i>Lactuca sativa</i> en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada seca.	82
Figura 39: Curva concentración – inhibición del crecimiento de la radícula de la <i>Lactuca sativa</i> en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada húmeda.	84
Figura 40: Curva concentración – inhibición de la elongación del hipocótilo de la <i>Lactuca sativa</i> en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada seca.	88
Figura 41: Curva concentración – inhibición de la elongación del hipocótilo de la <i>Lactuca sativa</i> en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada húmeda.	89
Figura 42: Curva concentración – inhibición de la bioluminiscencia del <i>Vibrio fischeri</i> en un tiempo de exposición de 15 minutos, para la temporada seca.	95
Figura 43: Curva concentración – inhibición de la bioluminiscencia del <i>Vibrio fischeri</i> en un tiempo de exposición de 15 minutos, para la temporada húmeda.	96

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa de ubicación	118
Anexo 2: Análisis Estadístico	119
Anexo 3: Scripts.....	161
Anexo 4: Informes de laboratorio	163
Anexo 5: Resultados de bioensayos.....	171
Anexo 6: Información brindada por SEDAPAL.....	178
Anexo 7: Información brindada por SENAMHI	184
Anexo 8: Cálculo del caudal en la época seca y húmeda en la parte baja del río Lurín.	189

RESUMEN

La presente investigación evaluó la calidad del agua de la cuenca baja del río Lurín, mediante la evaluación parámetros fisicoquímicos y pruebas ecotoxicológicas. Se recolectaron cinco muestras de agua, en época seca (junio) y época húmeda (enero), considerando la influencia de las descargas de efluentes de las PTAR Julio C. Tello y San Bartolo. Respecto a los parámetros fisicoquímicos, presentó un rango de pH ligeramente alcalino, con condiciones de oxígeno disuelto y temperatura dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), categoría 3, subcategoría D1 y D2. La muestra LU-05 alcanzó un valor de DBO de 29,4 mg/L, en la época seca. y de DQO 63,4 y 61,6 mg/L, para la época seca y húmeda, respectivamente, superando los valores del ECA. Asimismo, se encontraron concentraciones de P, Cu, Ni y Zn de 9,18; 0,02; 0,01 y 0,04 mg/L, respectivamente, que podrían haber influenciado en la medición de la ecotoxicidad.

De las pruebas ecotoxicológicas, se registró mayor toxicidad en la época seca. Para el bioensayo con *Daphnia magna*, las muestras LU-03 y LU-05 registraron la máxima toxicidad, con valores de Concentraciones Letales Medias (CL₅₀) de 64,40 por ciento (1,55 UT) y 24,31 por ciento (4,11 UT), respectivamente; considerado como “toxicidad aguda”. Las muestras LU-03 y LU-05 corresponden a muestra tomadas 200 metros aguas abajo de la salida del efluente de la PTAR Julio C. Tello y San Bartolo, respectivamente. Por tanto, la mejora en la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de estas PTAR contribuiría a reducir el impacto en la calidad del agua de la parte baja del río Lurín. Respecto a la *Lactuca sativa*, LU-05 registró la máxima toxicidad, con valores de Concentraciones de Inhibición Medias (CI₅₀) para la germinación, crecimiento de la radícula y elongamiento del hipocótilo, de 46,13 por ciento (2,17 UT); 80,44 por ciento (1,24 UT) y 90,15 por ciento (1,11 UT); respectivamente; clasificándose como “toxicidad aguda”. Para prueba con *Vibrio fischeri*, se encontró que es la menos sensible. El punto LU-05, registró la mayor toxicidad con 0,71 UT y 0,49 UT, para la temporada seca y húmeda.

Del análisis de riesgo ecotoxicológico se registró para la muestra LU-05, los valores más altos del Índice de Efecto Tóxico Potencial (IETP) con 4,60 para la época seca.

Palabras clave: Calidad del agua, Lurín, parámetros fisicoquímicos, pruebas ecotoxicológicas, toxicidad.

ABSTRACT

The present investigation evaluated the water quality of the lower Lurín river basin, through a study of physicochemical parameters and an ecotoxicological evaluation. Five water samples were collected, in the dry season (June) and wet season (January), considering the influence of effluent discharges from the Julio C. Tello and San Bartolo WWTPs. Regarding the physicochemical parameters, it presented a slightly alkaline pH range, with dissolved oxygen and temperature conditions within the Environmental Quality Standards (ECA), category 3, subcategory D1 and D2. The LU-05 sample reached a BOD value of 29,4 mg/L, in the dry season. and COD 63,4 and 61,6 mg/L, for the dry and wet season, respectively, exceeding the ECA values. Likewise, concentrations of P, CU, Ni and Zn of 9,18; 0,02; 0,01 and 0,04 mg/L, respectively, were found, which could have influenced the measurement of ecotoxicity. This would indicate that the treated residual water from the San Bartolo WWTP could not be reused to irrigate crops near the area, due to the high concentration of organic matter.

About the ecotoxicological tests, the highest toxicity was recorded in the dry season. For the bioassay with *Daphnia magna*, samples LU-03 and LU-05 registered the maximum toxicity, with values of Median Lethal Concentrations (LC50) of 64,40 percent (1,55 UT) and 24,31 percent (4,11 UT), respectively; considered as “acute toxicity”. Samples LU-03 and LU-05 correspond to samples taken 200 meters downstream from the effluent outlet of the Julio C. Tello and San Bartolo WWTPs, respectively. Therefore, improving the efficiency of wastewater treatment from these WWTPs would contribute to reducing the impact on the water quality of the lower part of the Lurín River. Regarding *Lactuca sativa*, LU-05 registered the maximum toxicity, with values of Mean Inhibition Concentrations (IC50) for germination, radicle growth and hypocotyl elongation of 46.13 percent (2,17 UT), 80,44 percent (1,24 UT) and 90,15 percent (1,11 UT); respectively; classified as “acute toxicity”. For testing with *Vibrio fischeri*, it was found to be the least sensitive. Point LU-05 registered the highest toxicity with 0,71 UT and 0,49 UT, for the dry and wet season. The ecotoxicological risk analysis was produced for the LU-05 sample, the highest values of the Potential Toxic Effect Index (PEEP) with 4,60 for the dry season.

Keywords: water quality, Lurín, physicochemical parameters, ecotoxicological tests, toxicity

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico en la cuenca baja del río Lurín durante los últimos años ha sido vertiginoso, con más del 90% de la población radicando sobre ecosistemas costeros (Puchiri, Vega & Isola, 2021). Cabe precisar que el valle bajo del río Lurín es considerado como el último pulmón verde de Lima, cuya principal importancia radica en la agricultura y actividades turísticas (Aquafondo, sf citado por MINAM, 2020). Sin embargo, actualmente se encuentra amenazado por problemas de contaminación hídrica.

Las principales fuentes de contaminación de los ríos están representadas por las descargas de aguas residuales sin tratamiento previo o con un tratamiento incompleto (García *et al.*, 2011; Robledo *et al.*, 2017 citado por Vélez-Azañero, 2021). Esto se debe a inadecuadas instalaciones de tratamiento, combinadas con el alto costo de las plantas de tratamiento de aguas residuales en los países en desarrollo (Musa, Ahamad & Abdu, 2023). En Lima Metropolitana se genera a diario aproximadamente 1'202,286 m³ de aguas residuales, de las cuales solo el 20,5% recibe tratamiento (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

Al respecto, para la presente investigación se ha evidenciado que en la cuenca baja del río Lurín, descargan sus efluentes dos (02) Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), las cuales son: Julio C. Tello y San Bartolo, ambas operadas por Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL). Frente a este panorama, surge la interrogante, ¿los efluentes de estas PTAR contribuyen a la contaminación del recurso hídrico de la cuenca baja del río Lurín?

De acuerdo con Gholami-Borujeni *et al.* (2018), las aguas residuales pueden presentar una alta toxicidad. La mayoría de los países utilizan métodos de tratamiento físico, biológico y químico para el manejo de las aguas residuales. La eficiencia del tratamiento puede ser determinada usando bioensayos después de cada etapa y comparada con la toxicidad del agua residual sin tratar. Blanco *et al.*, 2017; Boehler *et al.*, 2017 citado por Abbas, 2018, indican que las pruebas de toxicidad han

ido avanzando paulatinamente en los últimos años, como una herramienta eficaz para la evaluación del riesgo ambiental.

El alcance de este trabajo de investigación busca evaluar el nivel de ecotoxicidad de la cuenca baja del río Lurín, considerando la influencia de la descarga de efluentes de la PTAR San Bartolo y Julio C. Tello, a partir de la determinación de indicadores de toxicidad como Unidades Tóxicas (UT), Concentración Letal Media (CL50) y Concentración de Inhibición Media (CI50). Cabe indicar que, la toma de muestras se realizó teniendo en consideración al grado de accesibilidad al río Lurín, especialmente en la época húmeda en la que se incrementa significativamente el nivel del cuerpo de agua.

Por lo expuesto anteriormente, la presente investigación tiene como objetivo principal, evaluar la calidad del agua de la cuenca baja del río Lurín, mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos y pruebas ecotoxicológicas a través de bioensayos. Asimismo, como objetivos específicos se tienen: i) realizar la caracterización fisicoquímica del río Lurín, en la parte baja , ii) evaluar la calidad del agua en función a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua del 2017 (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM) y iii) evaluar los efectos ecotoxicológicos de las muestras de agua utilizando pruebas de inmovilización de *Daphnia magna*, inhibición de la germinación, radícula e hipocótilo de la *Lactuca sativa* y de inhibición de la bioluminiscencia del *Vibrio fischeri*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cuenca del río Lurín

2.1.1 Ubicación política

La cuenca del río Lurín se encuentra en la vertiente del Pacífico, en la zona centro-oeste del Perú. Las partes alta y media pertenecen a la provincia de Huarochirí, en el departamento de Lima, mientras que la parte baja pertenece al ámbito de la zona sur de Lima Metropolitana (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2019).

2.1.2 Ubicación geográfica

La cuenca del río Lurín se ubica geográficamente en el flanco occidental de la Cordillera Occidental de los Andes, entre los meridianos $76^{\circ}56'$ O y $76^{\circ}11'$ O y los paralelos $11^{\circ}15'$ S y $12^{\circ}18'$ O. Presenta una extensión de 1645 km^2 , una forma alargada y estrecha, con una longitud aproximada de 80 km, en la dirección este – oeste, y en la dirección norte-sur, de 48 km (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2021). Las altitudes que varían de los 0 a 5316 msnm. Respecto a la cuenca baja, varía de 0 a 500 msnm, encontrándose la zona de mayor producción agrícola de toda la cuenca (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2020).



Figura 1. Cuenca del río Lurín. Recuperado de “Análisis de medidas para la mejora de la calidad del agua en el tramo bajo del río Lurín (Perú)”, por Paredes & Guardia. 2007.

2.1.3 Características hidrológicas

El río Lurín presenta un régimen de descargas irregulares con carácter torrentoso. Según Díaz (2015), el río en estudio descarga el 68,3 por ciento de su volumen promedio anual durante los 03 meses que dura el periodo de avenidas (de enero a marzo), el 11,4 por ciento durante los 07 meses que constituyen el periodo de estiaje (de mayo a noviembre) y el 20,3 por ciento en los meses de transición (abril y diciembre).

En ese sentido, para la presente investigación, se tomaron las muestras en los meses de junio (época de estiaje) y enero (época de avenida).

En la **Figura 2.** se muestra el hidrograma de caudales del río Lurín del 2022 al 2023, de acuerdo a los datos obtenidos en la estación hidrometeorológica Antapucro, operada por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Entre los meses de marzo y abril encontramos que el río alcanzó su máximo caudal llegando a los $29,67 \text{ m}^3/\text{s}$. La temporada seca comprende los meses de junio a diciembre, donde el caudal mínimo es de $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que la época húmeda de enero a mayo.

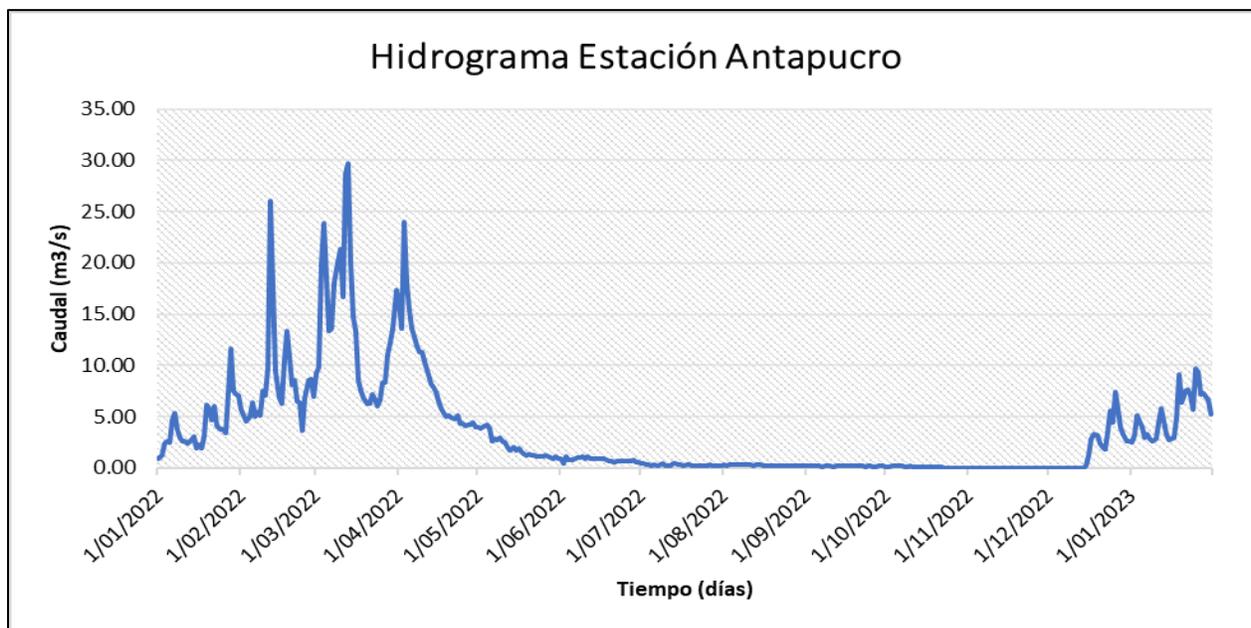


Figura 2: Hidrograma del 2022-2023 de la estación Antapucro. Información brindada por el SENAMHI a través de la ley de transparencia y acceso a la información pública mediante Carta N°D000052-2023-SENAMHI-UACGD. 2023.

2.1.4 Unidades hidrográficas

Según el Manual de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), a la cuenca del río Lurín se le asigna el código N°1375534.

La unidad hidrográfica de Lurín, presenta la forma característica de las cuencas de la costa, ancha en la parte alta y estrecha en la desembocadura. El cauce principal corre en dirección de este – oeste, nace en el río Huarascancha y empalmándose con el río Taquíá hasta su confluencia con el río Lurín. Durante su recorrido, recibe el aporte por la margen derecha del río Chamacha y por la margen izquierda de los ríos Seco y Huariaco. En la parte media y baja de la cuenca, se encuentran quebradas como; Cantuaria, Yanacoto y de la Cantera que no tienen aporte alguno en época húmeda (ANA, 2019). Cabe precisar que, de estos ríos se conforman nueve (09) subcuencas, las cuales se presentan a continuación:

Tabla 1: Subcuencas de la Unidad Hidrográfica de Lurín

Cuenca	Subcuenca	Extensión (km ²)	Área (%)
Unidad Hidrográfica Lurín	Pachacamac	200.54	12.21
	Tinajas	163.89	9.98
	Cieneguilla – Antapucro	490.60	29.87
	Chamacha	88.70	5.40
	Huariaco	92.09	5.61
	Canchahuara	171.98	10.47
	San Damian	192.50	11.11
	Pachachaca	125.53	7.64
	Taquia	126.69	7.71

Nota: Adaptado de “Estudio Hidrológico de la Unidad Hidrográfica Lurín”. ANA, 2019.

El área de estudio de la presente investigación se centrará en la subcuenca Pachacamac, con código PASFSTETTER N°13755341, cuya área representa un 12,21 por ciento y correspondería a la cuenca baja del río Lurín. Esta subcuenca va de los 0 a 200 msnm en su curso principal. Desemboca en el océano pacífico a la altura del Santuario Arqueológico de Pachacamac, a una distancia aproximada de 30 km de la Panamericana Sur (ANA, 2019).

2.1.5 Fuentes contaminantes y vertimientos autorizados

Los reportes de Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial de la Cuenca del Río Lurín, realizado por la Autoridad Nacional del Agua en el 2013, señalan que la principal fuente de contaminación de la cuenca del río Lurín, son los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, los cuales en su mayoría no cuentan con autorización. Asimismo, existen vertimientos de aguas residuales tratadas que han realizado su inscripción en el Programa de Adecuación de Vertimientos y Reuso de Agua Residual (PAVER). Estas son:

Tabla 2: Vertimientos de aguas residuales inscritas en el PAVER

Tipo	Unidad	Régimen	Cuerpo Receptor	Caudal (L/s)	Volumen (m ³ /s)
PAVER	PTAR Julio C.Tello	Continuo	Río Lurín	25	788,4
PAVER	PTAR San Bartolo	Continuo	Río Lurín	840	26490,2
PAVER	PTAR Cieneguilla	Intermitente	Río Lurín	55	1734,4
PAVER	PTAR Manchay	Continuo	Río Lurín	50	1188

Nota: Recuperado de: “Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial de la Cuenca del Río Lurín”. ANA, 2013.

2.2 Aguas residuales

En el artículo N°131 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N°29338), se define a las aguas residuales como: “aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo”.

Keshaviah ScM *et al.* (2023) señala que el monitoreo de aguas residuales debe enfocarse a la vigilancia de enfermedades, ya que ofrece una base para proporcionar alertas tempranas sobre amenazas a la salud. Por tanto, el incremento del monitoreo de aguas residuales sirve para identificar posibles enfermedades reemergentes tales como, el cólera, la influenza, viruela del mono, fiebre tifoidea y la resistencia a antimicrobianos.

2.2.1 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales de origen doméstico son aquellos flujos de agua que se conforman por los restos fecales eliminadas por la población, aguas de lavado y limpieza que son recolectadas de viviendas o instalaciones comerciales privadas o públicas (Lazcano, 2016).

En el artículo N°132 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N°29338), se define a las aguas residuales domésticas, como “aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y provenientes de la actividad humana”.

Las dos plantas de tratamiento de la presente investigación reciben aguas residuales domésticas.

2.2.2 Problemática del agua residual en el Perú

Latinoamérica es una de las regiones más biodiversas del mundo y posee más de la tercera parte de recurso hídrico del mundo. Frente a ello, el 80 por ciento de la población de América Latina reside en las urbes, generando una gran cantidad de asentamientos cercanos a las fuentes de agua, representando el principal foco de contaminación, generando consecuencias ecológicas adversas (Larios – Meoño, 2015)

En el Perú se genera 2 217 946 m³ de aguas residuales por día, de las cuales solo el 32 % recibe tratamiento, según indica OEFA, 2014. En promedio cada habitante peruano genera 142 litros de aguas residuales al día.

De acuerdo con el Anuario de Estadísticas Ambientales 2021, del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el año 2020, el Perú registró 267 millones de metros cúbicos de aguas residuales domésticas vertidas sin tratamiento, que representa un ligero descenso (0,4 por ciento) respecto al año anterior. En la siguiente figura se observa la variación de las descargas de aguas residuales desde el 2014 al 2020.

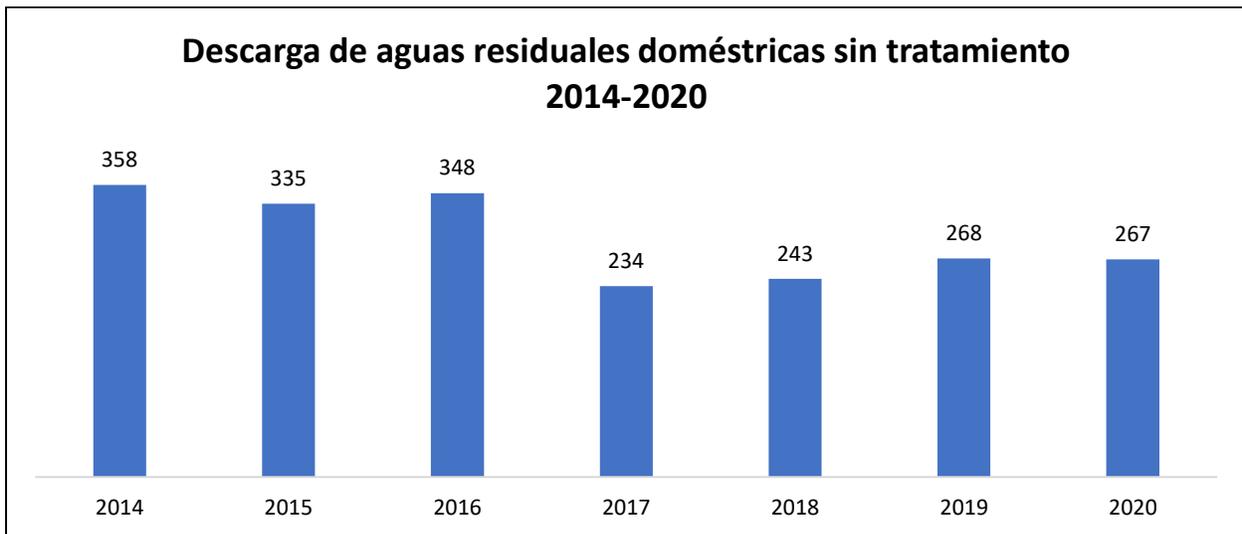


Figura 3: Descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento, 2014-2020. Recuperado de: SUNASS, 2022.

El déficit de tratamiento de aguas residuales se debe principalmente a la insuficiente infraestructura de las PTAR para tratar los volúmenes que se generan diariamente. Veliz *et al.* (2009), señala que el riego con aguas residuales domésticas sin tratamiento representa un alto riesgo para los seres humanos, ya que constituyen una potencial fuente de agentes patógenos que producen diversas infecciones gastrointestinales.

2.2.3 Problemática del agua residual en Lima

El departamento de Lima registra el mayor volumen de agua autorizada vertida, en contraste con el resto de regiones, alcanzando 619,92 hm³. De los cuales, el sector saneamiento, representa el 61% cuyo volumen asciende a más de 378 hm³ (Derecho, Ambiente y Recursos Naturales [DAR], 2017). En la siguiente **Figura 4** se muestra el volumen de agua residual tratada vertida en el departamento de Lima por sectores.

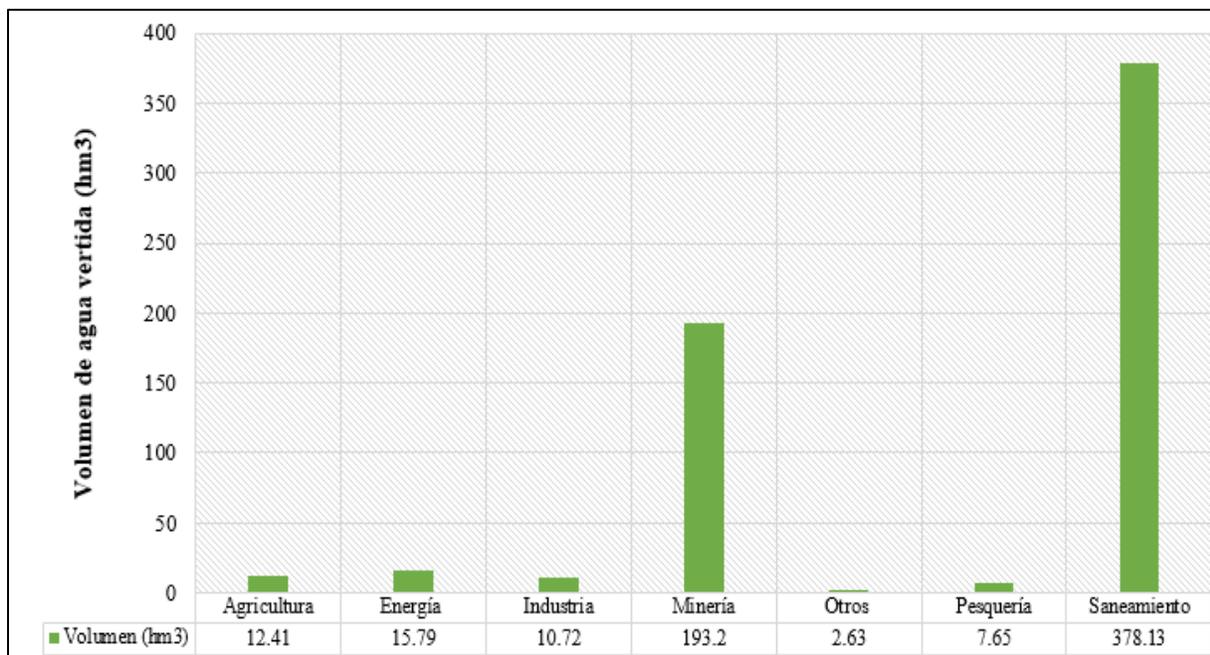


Figura 4: Volumen de agua residual tratada vertida en el departamento de Lima. Recuperado de Calidad del Agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales. 2017. DAR.

Cabe precisar que, en el sector saneamiento no existe una relación directa entre el volumen de vertimiento y las autorizaciones otorgadas. En otras palabras, a un mayor número de autorizaciones no necesariamente les corresponde un mayor volumen de agua vertida (Ver **Figura 5**).

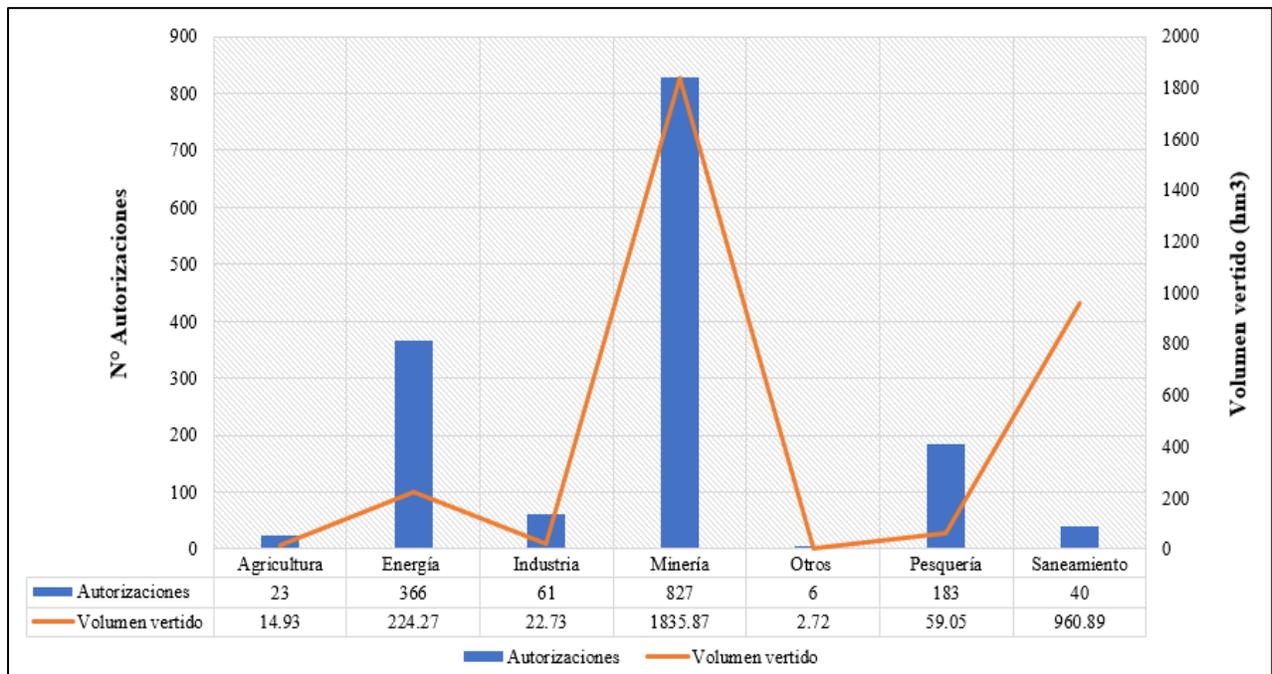


Figura 5: Relación entre el número de autorizaciones de vertimiento y el volumen total (hm³) de agua residual vertida entre 2009-2017. Recuperado de Calidad del Agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales. 2017. DAR.

2.2.4 Problemática del agua residual en Lurín

En el Plan de Seguridad Ciudadana de Lurín (2017), se señala que en los últimos años se ha venido agravando la contaminación ambiental debido al vertimiento de aguas residuales de tipo industrial y doméstico a los canales de regadíos y al río Lurín. Asimismo, se han identificado zonas con presencia de vertimiento de aguas residuales de tipo doméstico tales como: Huertos de Lurín, Huertos de Villena, Buena Vista y Cesar Vallejo. Cabe resaltar que también se ha observado presencia de residuos cloacales en los canales de Jirón Bolívar, antigua Panamericana Sur, Santa Rosa y el ex fundo San Pedro, el cual llega a desembocar a la playa San Pedro.

En el Informe Temático N°150/2014-2015, elaborado por el Congreso de la República, se señalan una serie de problemas identificados con relación al estudio de la cuenca del río Lurín, siendo lo más preocupantes, i) la falta de planificación en la expansión urbana en la cuenca, sobre todo en la parte baja, que conlleva al incremento de la demanda de agua para uso poblacional; ii) el uso ineficiente uso del agua para riego y iii) la contaminación creciente del agua, sobre todo en la parte baja de la cuenca debido al incremento de la actividad industrial y la expansión urbana.

En noviembre de 2013, la ANA presentó el primer reporte de monitoreo de la calidad del agua superficial en Lurín, a través del Informe Técnico N°144-ANA-DGCRH/LCP, donde identificó 48 fuentes contaminantes en la cuenca del río Lurín, los cuales pertenecen a vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales. Además, se detalla que en el ámbito de la cuenca del río Lurín, no existen vertimientos de aguas residuales tratadas, autorizadas por la ANA. Sin embargo, la empresa SEDAPAL ha realizado la inscripción al PAVER (Constancia de inscripción N°0005-2012-ANA-ALA.CHRL.-PAVER) a 4 PTAR: Julio C. Tello, San Bartolo, Cieneguilla y Manchay.

Asimismo en febrero de 2014, se presentó el segundo reporte de monitoreo de la calidad del agua superficial en Lurín, mediante el Informe Técnico N°007-2014-ANA-DGCRH-VIG, donde a diferencia del informe anterior se identificó que la empresa SEDAPAL, cuenta con la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas para la PTAR Manchay, mientras que mantiene 3 unidades inscritas al PAVER.

Para los mencionados reportes de monitoreo de la calidad de agua superficial, se establecieron 9 puntos de monitoreo distribuidos en toda la cuenca del río Lurín. De los cuales, dos puntos pertenecen a la zona estudio de la presente investigación, RLuri 7 y RLuri8 que se ubican a 50 m aguas arriba del puente de Lurín y en el cruce con la Panamericana Sur, respectivamente. En estos puntos de monitoreo se registraron excedencias al ECA Agua – Categoría 3 vigente, en los parámetros oxígeno disuelto, pH, DBO₅, DQO, sulfuros, fosfatos, aceites y grasas, coliformes termotolerantes y *escherichia coli*. Además, según los reportes estos puntos presentan los más altos índices de afectación de la calidad del agua debido principalmente a los vertimientos de las PTAR Julio C. Tello y San Bartolo, que se encuentran inscritos en el PAVER.

En la Tabla 3 se presenta los valores de los parámetros que sobrepasaron la normativa ambiental vigente en el monitoreo de la calidad del agua del año 2013 y 2014.

Tabla 3: Calidad del agua en la cuenca baja del río Lurín 2013-2014

Parámetros	Unidad	RLuri7		RLuri8		ECA
		Nov-13	Feb-14	Nov-13	Feb-14	Cat3
Oxígeno disuelto	mgO ₂ /L	--	8.83	3.4	6.99	4
pH	Unidad pH	--	8.78	8.1	8.24	6.5-8.5
DBO ₅	mgO ₂ /L	--	< 2.00	85.27	30.17	15
DQO	mgO ₂ /L	--	< 10.0	233.33	72.5	40
Sulfuros	mg/L	--	0.011	0.109	0.018	0.05
Fosfatos	mg P/L	--	0.655	6.284	0.552	1
Aceites y Grasas	mg/L	--	3.8	9.4	6.1	1
Coliformes	NMP/100mL	--	7900	33000	4900	1000
Termotolerantes						
Escherichia Coli	NMP/100mL	--	3300	23000	2300	100

Nota: Recuperado de Monitoreo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Lurín:

Informe técnico. 2013. ANA. Elaboración propia

2.3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

La escasez del recurso hídrico representa una grave amenaza para el desarrollo de la sociedad. Frente a ello, el reuso de las aguas residuales se considera como una de las mejores estrategias para satisfacer las actuales y futuras necesidades del recurso hídrico (Zhang *et al.*, 2016).

Por otro lado, en nuestro país, el reuso de aguas residuales sin tratamiento previo, según lo señalado por Veliz *et al.* (2009), representa un alto riesgo para los seres humanos, ya que constituyen una potencial fuente de agentes patógenos que producen diversas infecciones gastrointestinales. Diaz *et al.* (2012), nos señalan que las aguas residuales domésticas alcanzan un alto porcentaje de agua (99,9 por ciento) y apenas un 0,1 por ciento de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos. Este pequeño porcentaje de sólidos representa el mayor problema en el tratamiento y disposición de aguas residuales.

Una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) está compuesta por un conjunto de operaciones unitarias de tipo físicos (mecánico), biológicos y químicos que buscan remover los contaminantes presentes en las aguas residuales (Häder, 2018).

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saniamiento (SUNASS, 2022), nos señala que el Perú cuenta con 202 PTAR, de las cuales 171 (85 por ciento) se encuentra funcionando, 4(2 por ciento) en construcción y 27 (13 por ciento) paralizadas por problemas de diseño. Se precisa,

además que de las 27 PTAR paralizadas, 10 ya culminaron las obras, pero no entraron en operación y de las 17 restantes, la obra quedó inconclusa.

En Lima Metropolitana existen 21 plantas de tratamiento operada por SEDAPAL, 14 por municipalidades y 8 por otras entidades. En la Tabla 4, se muestran las plantas de tratamiento que son operadas por SEDAPAL y que se encuentran en Lima Metropolitana.

En el distrito de Lurín existen 4 PTAR, de las cuales 3 descargan sus efluentes al río Lurín. De ellas, se ha escogido para la presente investigación la PTAR de San Bartolo y la de Julio C. Tello, que descarga su efluente en la parte baja del río Lurín. Es importante señalar que la PTAR San Bartolo opera actualmente a un caudal menor al caudal de diseño, mientras que la PTAR de Julio C. Tello opera al mismo caudal de diseño.

Tabla 4: Plantas de Tratamiento de Agua Potable operadas por SEDAPAL

PTAR	Ubicación	Caudal de diseño (l/s)	Caudal actual (l/s)	Cuerpo Receptor
Ancón	Ancón	20	44	Reuso
Santa Rosa	Santa Rosa	18	12	Reuso
Ventanilla	Ventanilla	250	366	Reuso
Taboada	Callao	3250	--	Mar
Puente Piedra	SMP	422	496	Reuso
Nueva Sede	Agustino	1	1	Reuso
Carapongo	Ate vitarte	500	501	Reuso
S.A Carapongo	Lurigancho	22	22.2	Reuso
Cieneguilla	Cieneguilla	118	--	Río Lurín
Manchay	Pachacamac	60	--	Río Manchay
San Juan	SJM	800	425	Reuso
José Gálvez	Villa Maria	60	85	Reuso/Río Lurín
Huascar	Villa El Salvador	170	77	Reuso
Nuevo Lurín	Lurín	10	21	Reuso
J.C.Tello	Lurín	23	23	Río Lurín
S.P.Lurín	Lurín	20	24	Reuso
San Bartolo	Lurín	1700	834	Río Lurín
Punta Hermosa	Punta Hermosa	10	3	Reuso
Pucusana	Pucusana	10	24	Reuso

Nota: Recuperado de Estudio de Opciones de Tratamiento y Reúso de Agua Residual en Lima Metropolitana. Portal institucional de SEDAPAL.

**Reuso: riego de áreas verdes y/o agrícolas.

2.3.1 Sistemas de tratamiento

El tratamiento de aguas residuales consiste en procesos de tratamiento primarios, secundarios y en algunas ocasiones tratamientos más avanzados, con tecnologías biológicas, físicas y químicas. (Zhang *et al.*, 2016).

Se le conoce como línea de agua a todas las unidades que recorre el agua residual desde que ingresa a la planta, pasando por diferentes tratamientos, hasta su vertimiento final en el cuerpo receptor (SUNASS, 2022). En la siguiente figura se presenta las diferentes unidades existentes en las PTAR.

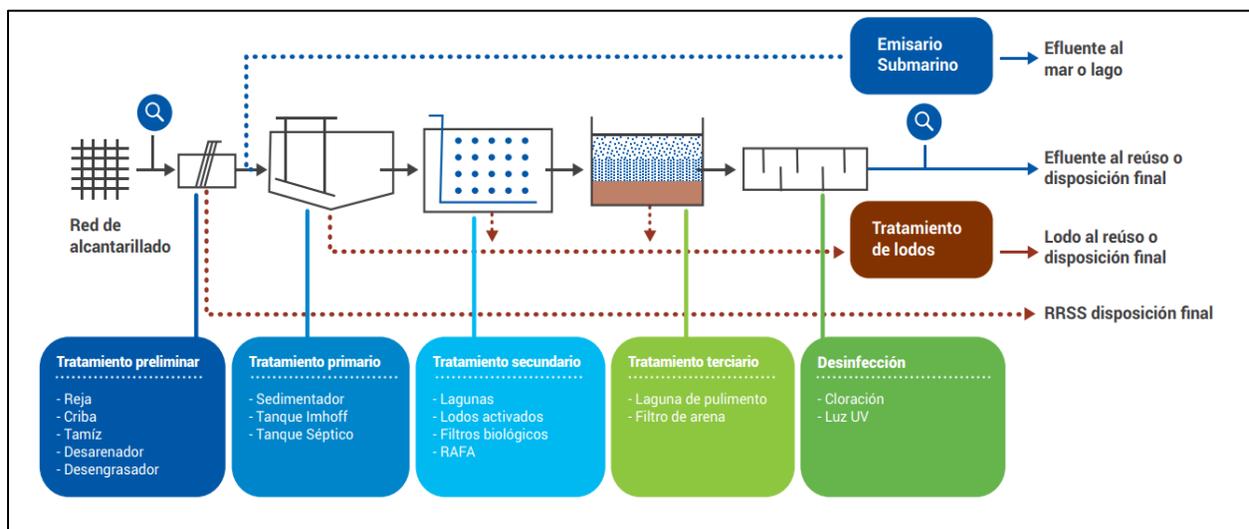


Figura 6: Esquema de sistema de tratamiento de una PTAR. Recuperado de “Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras”. 2022. SUNASS-

Por lo general, en una PTAR se presenta el siguiente sistema de tratamiento:

2.3.1.1 Tratamiento Preliminar

Consiste en realizar el acondicionamiento de las aguas residuales, la remoción de elementos gruesos flotantes, arenas sedimentables, aceites y grasas. Las unidades utilizadas son un sistema de rejas, cribas, tamiz, desarenador y desengrasador (SUNASS,2022). Estas unidades son necesarias para eliminar materia (acumulación de arena y residuos sólidos flotantes) que provoca problemas de mantenimiento y funcionamiento de la PTAR (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN], 2018).

Según SUNASS (2022) de las 171 PTAR en funcionamiento, 93 cuentan con infraestructura para la instalación de reja o criba (76 rejas instaladas y 17 inoperativas), 55 con desarenador (51 operativas y 4 sin funcionamiento) y 11 con desarenador que también cumple la función de desengrasado.

2.3.1.2 Tratamiento Primario

Comprende la remoción de partículas finas y gruesas (sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables), mediante gravedad o que pueden ser recolectadas de la superficie tales como aceites, grasas y sólidos ligeros. (Häder, 2018). Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final.

De acuerdo con la Norma OS.090, los procesos del tratamiento primario de las aguas residuales pueden ser: tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación.

SUNASS (2022) precisa que, de las 171 PTAR operativas, solo 20 cuentan con tratamiento primario, de las cuales 17 están en funcionamiento (09 con tanque Imhoff, 4 sedimentadores circulares, 5 tanques sépticos y 02 reactores de flujo ascendente).

2.3.1.3 Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario remueve el material biológico disuelto y suspendido como residuos humanos, restos de comida, jabones y detergentes, para ello usan microorganismos que pueden romper las sustancias orgánicas. Las bacterias y protozoos son mayormente removidos por una separación antes que el agua sea descargada al tercer tratamiento (Häder, 2018).

En la Norma OS.090 se indica que el tratamiento secundario es aquel cuya eficiencia de remoción de DBO soluble es mayor del 80 por ciento, remueven principalmente la materia orgánica biodegradable en estado coloidal y soluble.

De las 171 PTAR, 160 cuentan con unidades de tratamiento secundario. Al respecto, la tecnología que más se aplica es del tipo de lagunas, facultativas y aeradas, en forma individual o en combinación (SUNASS, 2022).

a) Lagunas aireadas

Dunner (2004) citado por Andrade & Peña (2017), define a las lagunas aireadas como sistemas diseñados para almacenar y tratar el agua residual por un tiempo de retención hidráulico, en la que se incorporan unidades de aireación para oxigenar el sistema. Estas pueden ser superficiales, turbinas o difusores, dependiendo del tipo de laguna aireada.

En la siguiente se presenta una figura de la distribución de oxígeno disuelto respecto a la profundidad en el agua de una laguna sin airear con una con aireación de mezcla completa.

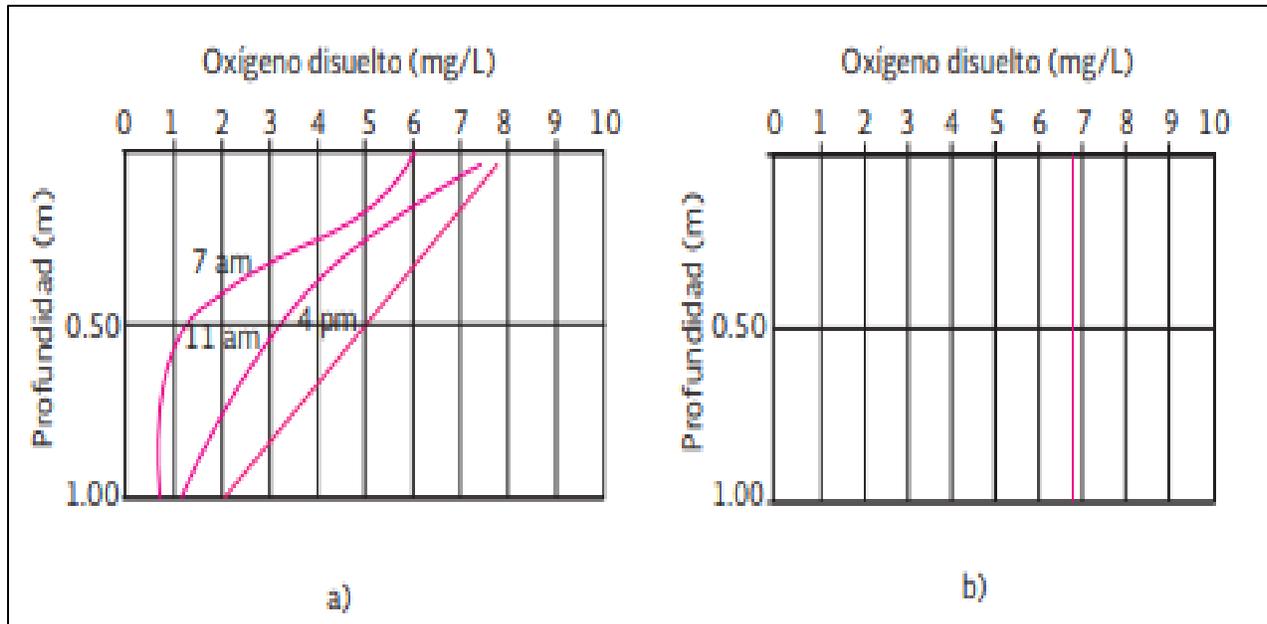


Figura 7: Variación de oxígeno disuelto en lagunas aireadas. a) Laguna sin airear, b) Laguna aireada de mezcla completa. Recuperado de “Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Tipos de lagunas aireadas

Las lagunas se clasifican según su grado de mezclado en:

1. Lagunas aireadas de mezcla completa:

Está diseñada con elevados niveles de potencia, que permiten la mezcla completa. El objetivo es mantener los sólidos sedimentables en suspensión e incrementar la concentración de oxígeno disuelto. Se genera una alta relación entre la potencia y volumen. Por lo general, es la primera de una serie de lagunas aireadas, en el que la edad del lodo

es el mismo que el tiempo de retención hidráulica (Organización Panamericana la Salud [OPS], 1999).

2. Lagunas aireadas de mezcla parcial:

Presentan mayor profundidad, por lo que requieren menor área. Estas pueden recibir mayor carga orgánica, que otros tipo de lagunas. Se diseñan con diferentes niveles de potencia de aireación, a fin de mantener suspendido una porción de sólidos, que genera que se sedimenten en el fondo (CONAGUA, s.f).

b) Lagunas anaerobias

Crombet *et al.* (2016), señalan que la tecnología anaerobia para el tratamiento de aguas residuales dado que no requiere suministrar oxígeno, implica un menor requerimiento energético, con bajo costo de instalaciones, menor área de terreno y produce bajas cantidades de lodos.

En la norma O.S 090 se indica que estas se emplean como primera unidad de un sistema cuando el tratamiento de aguas residuales domésticas presentan bajas cargas orgánicas o para desechos industriales, en lo que puede darse varias unidades anaerobias en serie.

En la siguiente tabla, las diferencias entre el tratamiento aerobia y anerobia.

Tabla 5: Principales características de la tecnología aerobia y anaerobia

Parámetro	Aerobio	Anaerobio
Reacción predominante	$C_6H_6O_{12} + 6O_6 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ + biomasa	$C_6H_6O_{12} \rightarrow 3CH_4 + CO_2 +$ biomasa
Energía	60% almacenada (biomasa) 40% perdida como calor	5-7 % almacenada (biomasa) 3-5% perdida como calor 90% retenida como CH ₄
Coefficiente de producción celular (Y)	Alto 0.40-0.50 gSSV/g DBO_{removida}	Bajo <i>Bacterias metanogénicas:</i> 0,03 gSSV/g DBO_{removida} <i>Bacterias acidogénicas:</i> 0,15 gSSV/g DBO_{removida}
Requerimiento de nutrientes	Alto DBO ₅ :N:P = 100:5:1	Bajo DQO:N:P = 350:5:1
Energía para liberación	Alto	No requiere
Área	Grande	Pequeña
Costos de implementación	Alto	Bajo
Calidad del lodo	Requiere estabilización	Lodo estabilizado
Periodo de arranque	Bajo-Medio	Medio-Alto
Tolerancia a altas cargas orgánicas	Si	Si
Eficiencia de tratamiento	> 80%	65 – 80%
Postratamiento para reducción de MO nitrogenada, fósforo y patógenos.	Si	Si
Postratamiento para reducción de MO carbonácea	Poco frecuente	Frecuente
Recirculación de la biomasa	Frecuente	No requiere
Almacenamiento de lodo activo	No	Si
Producción de metano	No	Si
Producción potencial de hidrógeno	No	Si
Impacto ambiental (olores)	Bajo-Moderado	Alto – Moderado

Nota: Adaptado de Perspectivas del Tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. Torres (2012).

2.3.1.4 Tratamiento Terciario

Los tratamientos terciarios de aguas residuales consisten en proceso físicos y/o químicos cuyo objetivo es reducir la carga de contaminantes, sólidos en suspensión y turbidez, microorganismos patógenos, complementando el tratamiento secundario. (Ustum *et al.*, 2011 citado por Morillo, 2020). La finalidad de este tratamiento es evitar que la descarga tratada ocasione la eutrofización o crecimiento desproporcionado de algas en los cuerpos de agua (SUNASS, 2022).

El tratamiento terciario siempre involucra una desinfección química y física o una microfiltración usando por ejemplo arena. El agua que sale puede ser utilizada para irrigación o descargada en arroyos, ríos, lagunas y humedales. Si está lo suficientemente limpia esto puede usarse también para recargar los reservorios subterráneos. Algunas plantas de tratamiento de aguas residuales usan pasos adicionales como la remoción de nitrógeno y fósforo como un removedor de nutrientes biológicos. La desinfección se realiza siempre usando radiación UV, ozono, cloro o hipoclorito de sodio para remover bacterias, virus y otros patógenos (Häder, 2018).

En el Perú se han identificado 31 plantas con tratamiento terciarios, de las cuales 24 corresponden a lagunas de pulimento, 03 a microfiltrado, 02 a filtros de arena y 02 a filtro de membrana (SUNASS,2022).

2.3.2 PTAR San Bartolo

2.3.2.1 Ubicación

La planta de tratamiento de aguas residuales de San Bartolo se ubica en en el km 40 de la panamericana sur, en el distrito de Lurín, en la provincia y departamento de Lima. Fue ejecutada a través del Proyecto MESIAS, que consiste en derivar 3,2 m³/s de desagüe crudo provenientes del área de drenaje de la Cuenca de Surco.

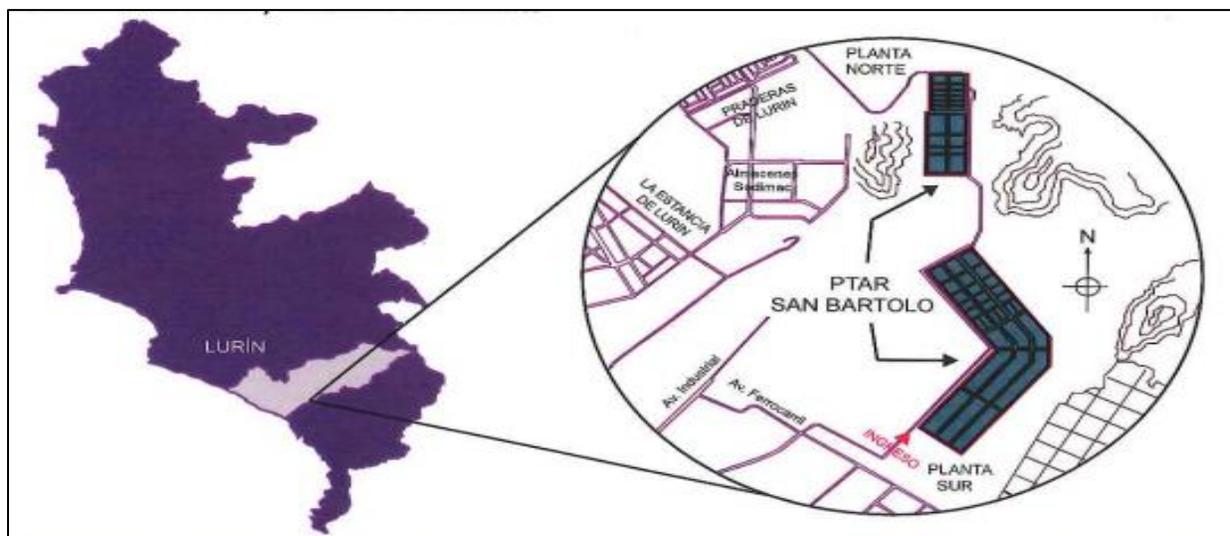


Figura 8: Ubicación de la PTAR de San Bartolo. Información brindada por SEDAPAL a través de la ley de transparencia y acceso a la información pública, mediante Carta N°570-2018-EGLA. 2018.

2.3.2.2 Características generales

La planta de tratamiento más grande del Perú, bajo de operación de SEDAPAL es la de San Bartolo, cuenta con un caudal de diseño de 1,7 m³/s. Sin embargo presenta limitación por la excesiva carga orgánica que llega a la planta; por lo cual, sólo trata 850 l/s. Además, hace varios años trabaja como PTAR con lagunas anaerobias y facultativas por falta de energía eléctrica debido a problemas con los invasores de la zona (SUNASS, 2015).

Esta PTAR se encuentra en el registro único de proceso de adecuación progresiva (RUPAP), con constancia N°082 (SEDAPAL). Las características más importantes de esta PTAR se puede apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6: Características de la PTAR San Bartolo

Características	Descripción
Área Total (ha)	336,43 ha
Entorno	Desértico
Tipo de desagüe	Doméstico
Caudal – DBO de diseño	1700 l/s – 250 mg/l
Caudal actual	839 l/s
Sistema de tratamiento	Lagunas aireadas
Uso de efluente	Vertimiento/Reuso

Nota: Adaptado de información brindada por SEDAPAL a través de la ley de transparencia y acceso a la información pública, mediante Carta N°570-2018-EGLA. 2018.

2.3.2.3 Sistema de tratamiento

La PTAR de San Bartolo cuenta con la tecnología de lagunas aireadas más grandes del Perú, con una capacidad de tratamiento para 734 000 habitantes-equivalentes. Esta presenta el siguiente sistema de tratamiento, según lo reportado por SEDAPAL, mediante el portal de transparencia.

a) Tratamiento preliminar o primario

El tratamiento preliminar se realiza en el PUNTO A, para ello se cuenta con rejas gruesas mecanizadas, tornillo compactador y desarenador convencional. Asimismo, para el tratamiento primario presenta clasificadores de arena.

b) Tratamiento secundario

Cuenta con cinco baterías, comprendidas en dos zonas: norte y sur. En la zona norte está compuesta por dos baterías, que consta de dos lagunas aireadas de mezcla completa, tres lagunas aireadas de mezcla parcial, una laguna de sedimentación y tres lagunas de pulimento. Mientras que, en la zona sur, se cuenta con tres baterías, que está compuesta por dos lagunas de mezcla completa, tres lagunas de mezcla parcial, dos lagunas de sedimentación y tres lagunas de pulimento.

Cabe precisar que la batería 5 de la zona sur, se encuentra inoperativa por falla estructural, que pone en peligro el estado de los diques de las lagunas.

c) Tratamiento terciario

Se realiza la desinfección con el gas cloro.

En la **Figura 9** se puede apreciar la distribución espacial de los componentes de la PTAR San Bartolo.

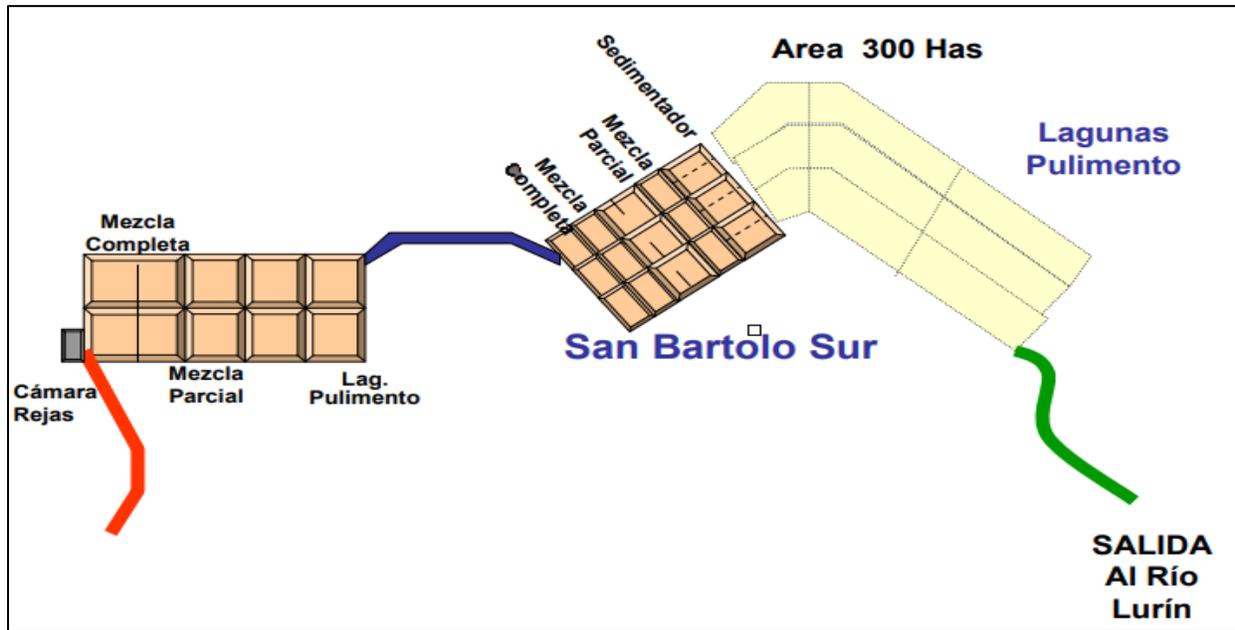


Figura 9: Proceso de operación de la PTAR de San Bartolo. Información brindada por SEDAPAL a través de la ley de transparencia y acceso a la información pública, mediante Carta N°570-2018-EGLA. 2018.

Además, en la Figura 10, se presenta los procesos unitarios para el tratamiento de las aguas residuales que llegan a la PTAR de San Bartolo.

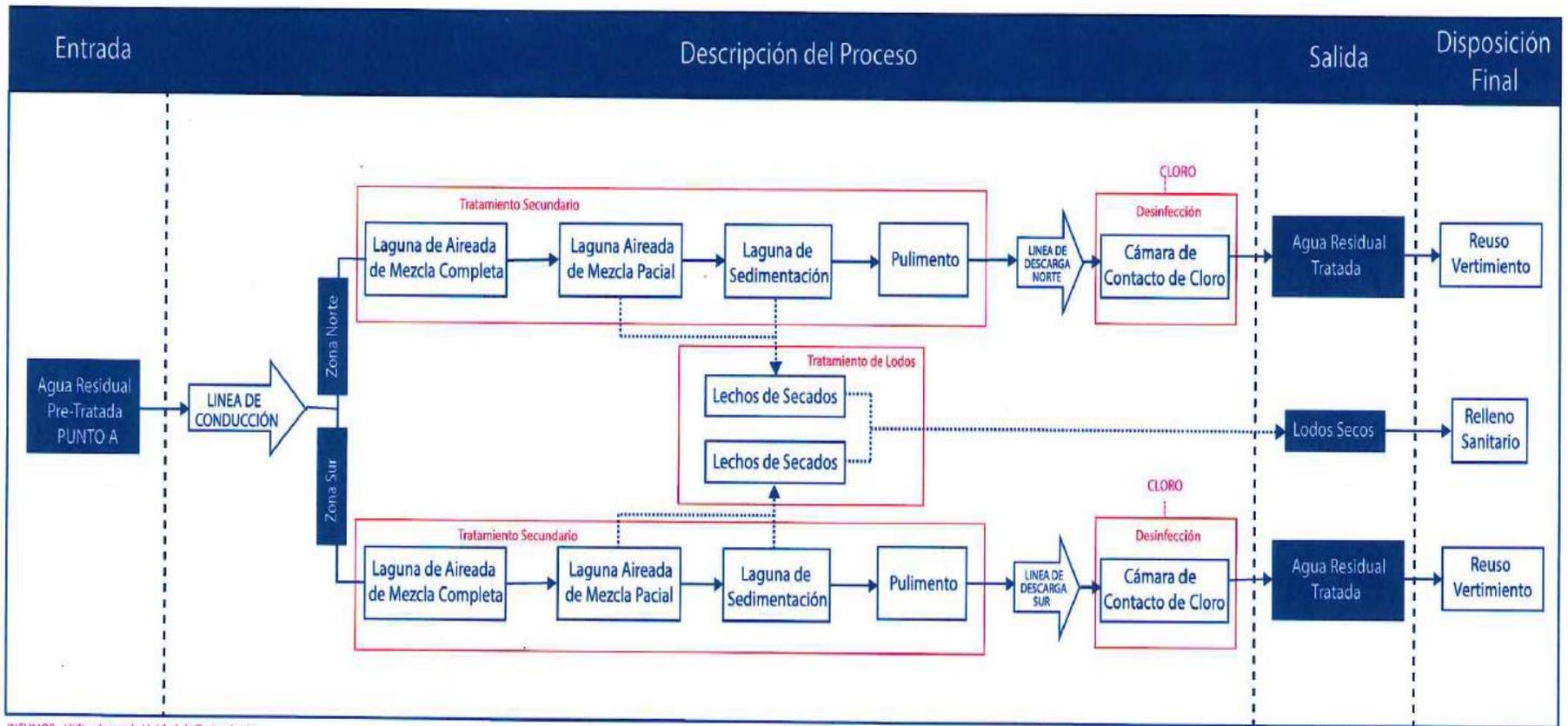


Figura 10: Procesos Unitarios de la PTAR de San Bartolo. Información brindada por SEDAPAL a través de la ley de transparencia y acceso a la información pública, mediante Carta N°570-2018-EGLA. 2018.

2.3.2.4 Problemática

En el 2015, la Autoridad Administrativa del Agua Cañete – Fortaleza, emitió la resolución directoral N° 2024-2015-ANA-AAA-CAÑETE-FORTALEZA, mediante la cual se le impuso una multa de 5.1 UIT a la empresa de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) por verter aguas residuales municipales en el río Lurín, sin contar con la autorización de la Autoridad Nacional del Agua. Asimismo, se le dispuso como medida complementaria elaborar y presentar en un plazo no mayor de 60 días calendarios un Plan de Contingencia, la cual debía incluir la ejecución de acciones inmediatas para evitar la afectación de la calidad del agua del río Lurín.

2.3.2.5 Monitoreos realizados por SEDAPAL

Mediante Memorando N°670-2023-EG-PTAR, de fecha 03 de mayo de 2023, SEDAPAL remite información de los monitoreos que realizó durante el año 2022 e inicios del 2023, a los efluentes de las PTAR San Bartolo, que descarga en la parte baja del río Lurín.

Cabe precisar que, en la PTAR San Bartolo los monitoreos se realizan mensualmente, Estos monitoreos se usaron como insumo para contrastar la información recopilada en campo, y los resultados obtenidos de las pruebas ecotoxicológicas, que se detallarán más adelante.

En el Anexo N°6, se presentan los resultados de dichos monitoreos.

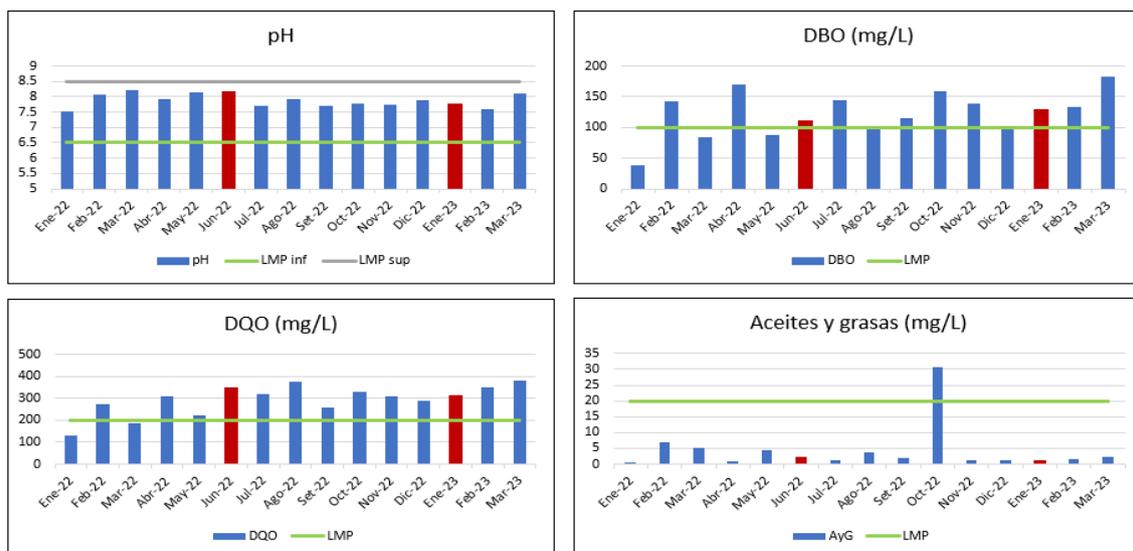


Figura 11: Características fisicoquímicas de los efluentes de la PTAR San Bartolo en los años 2022 y 2023, contrastado con los Límites Máximos Permisibles. Información brindada por SEDAPAL a través de la ley de transparencia y acceso a la información pública, mediante Carta N°229-2023-ESG. 2023.

2.3.3 PTAR Julio C Tello

2.3.3.1 Ubicación

La planta de tratamiento de aguas residuales de Julio. C. Tello se encuentra ubicada en el distrito de Lurín, al margen derecho del río Lurín.

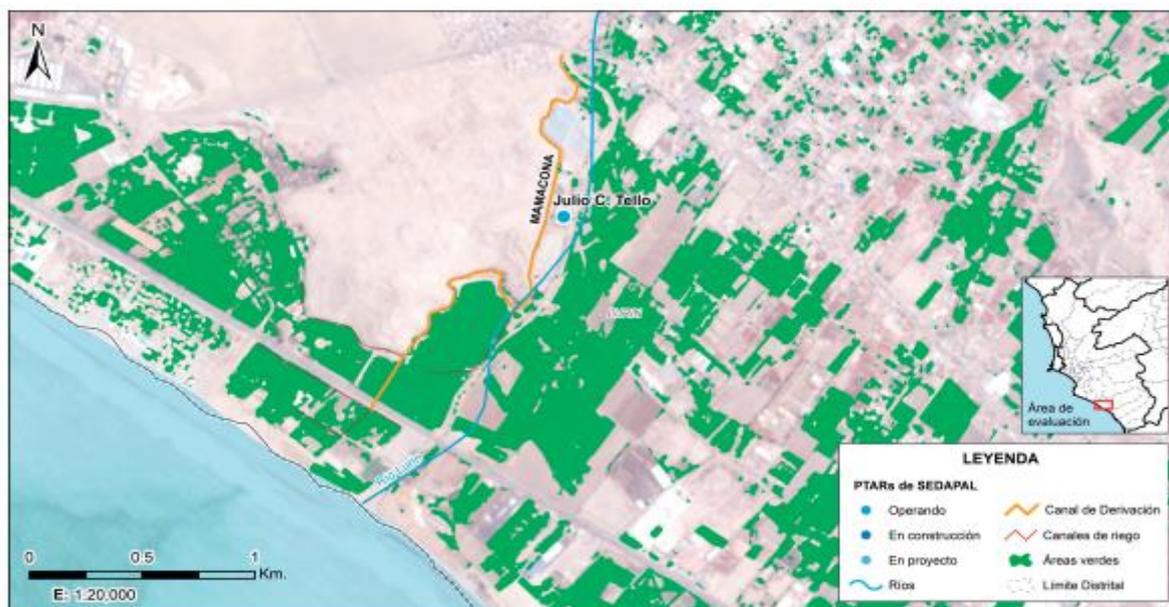


Figura 12: Ubicación de la PTAR de Julio C Tello. Información brindada por SEDAPAL a través de la ley de transparencia y acceso a la información pública, mediante Carta N°570-2018-EGLA. 2018.

2.3.3.2 Características generales

En la Tabla 7 se puede apreciar las características más importantes de la PTAR Julio C.Tello.

Tabla 7: Características de la PTAR – Julio. C. Tello

Características	Descripción
Área Total (ha)	2,5 ha
Entorno	Urbano
Tipo de desagüe	Doméstico
Caudal de diseño	25,0 l/s
Caudal actual	20,4 l/s
Sistema de tratamiento	Sistema anaerobio-aerobio
Uso de efluente	Vertimiento/Reuso

Nota: Información brindada por SEDAPAL a través de la ley de transparencia y acceso a la información pública, mediante Carta N°570-2018-EGLA. 2018.

La PTAR de Julio C.Tello, se encuentra en el registro único de proceso de adecuación progresiva (RUPAP), mediante la constancia N°061.

2.3.3.3 Sistema de tratamiento

La PTAR de Julio C.Tello presenta el siguiente sistema de tratamiento, según lo reportando por SEDAPAL mediante el portal de transparencia.

a) Tratamiento Preliminar y primario

Se cuenta con rejas gruesas manuales $s=45\text{mm}$, $e=10\text{mm}$, así como un tamiz rotatorio de 8mm y un desarenador convencional

b) Tratamiento secundario

Presenta una laguna anaerobia y una laguna aireada de mezcla parcial. Asimismo, cuenta con dos sedimentadores.

Cabe precisar que, la PTAR J.C. Tello inicialmente presentaba un tratamiento secundario de lagunas aeiradas en condiciones de carga elevada, por lo que para mejorar su eficiencia se incorporó la laguna anaerobia con un recubrimiento adecuado de las unidades, junto con la recolección y quemado del biogas. Es por ello que esta PTAR opera sin generar problemas de emisión de olores, en comparación con la PTAR San Bartolo, cuyos efluentes presentan un fuerte mal olor. Asimismo, el tratamiento de biogas a través de quemadores de metano (SUNASS, 2022).

c) Tratamiento terciario

Se realiza la desinfección con el gas cloro.

2.3.3.4 Problemática

De acuerdo a los aportes de la Dirección de Gestión Asuntos Ambientales (DGAA) del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), los efluentes de la PTAR Julio C.Tello, que son descargados en la parte baja del río Lurín, cumplen con todos los parámetros de los Límites Máximo Permisibles (LMP).

2.3.3.5 Monitoreos realizados por SEDAPAL

Similar a la PTAR San Bartolo, mediante la Carta N°229-2023-ESG, de fecha de 03 de mayo de 2023, SEDAPAL remite información de los monitoreos que realiza a los efluentes de la PTAR Julio C. Tello, que descarga en la cuenca baja del río Lurín.

Debido al caudal de descarga de la PTAR Julio C. Tello, se vienen realizando semestralmente (en marzo y setiembre de cada año). Estos monitoreos se usaron como insumo para contrastar la información recopilada en campo, y los resultados obtenidos de las pruebas ecotoxicológicas.

En el Anexo N°6, se presentan los resultados de dichos monitoreos.

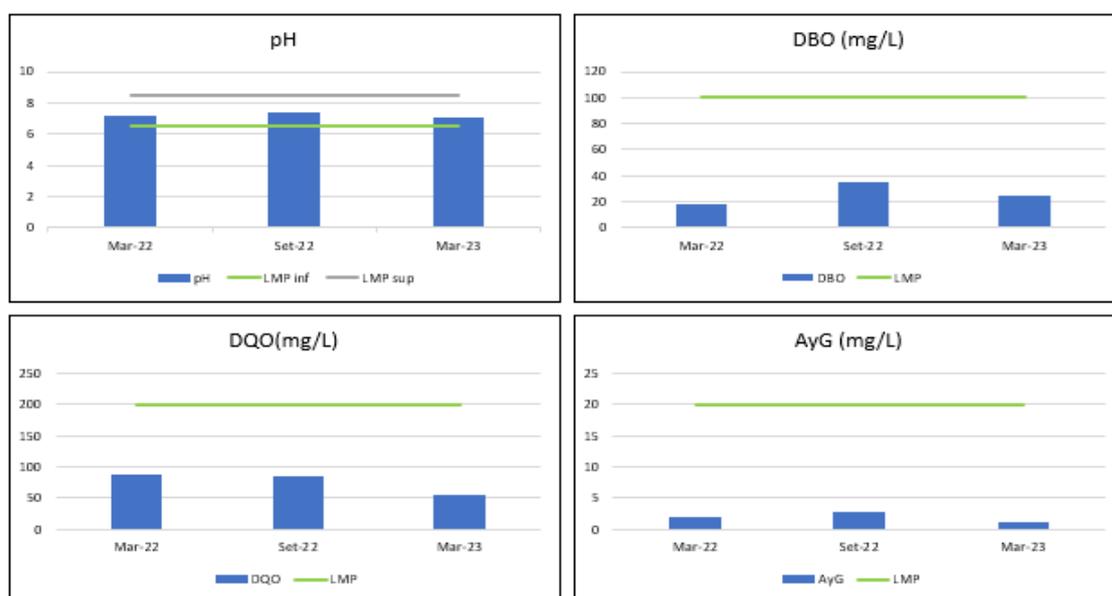


Figura 13: Características fisicoquímicas de los efluentes de la PTAR Julio. C.Tello, durante los años 2022 y 2023, contrastados con los Límites Máximos Permisibles. Información brindada por SEDAPAL a través de la ley de transparencia y acceso a la información pública, mediante Carta N°229-2023-ESG. 2023.

2.4 Marco normativo

2.4.1 Autoridad del recurso hídrico

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) es la responsable de la protección del recurso hídrico, de acuerdo a lo establecido en la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338), que entró en vigencia el 01 de abril de 2009. Asimismo, en el artículo 79° de dicha ley se establece que, *“la Autoridad Nacional del Agua autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización ...”*.

En este sentido, la ANA se encarga de controlar, supervisar y fiscalizar el cumplimiento de las normas de calidad del agua en base a los Estándares Nacionales de Calidad de Agua así como los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de las PTAR domésticas o municipales.

2.4.2 Límites Máximos Permisibles

En el artículo N°02 del Decreto Supremo N°003-2010-MINAM, se define a los límites máximos permisibles (LMP) como “*la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetro físicos, químicos y biológicos que caracterizan a una emisión que al ser excedida puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente*”. Asimismo, esta norma aprueba los LMP para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

En la siguiente tabla, se presentan los valores de LMP.

Tabla 8: Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de las PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de afluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,5-8,5
Sólidos Totales en Suspensión	ml/L	150
Temperatura	°C	< 35

Nota: Adaptado de Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda, por Decreto Supremo N°003-2010-MINAM.

2.4.3 Estándares de Calidad Ambiental

El Ministerio del Ambiental (MINAM) ha definido los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) mediante los cuales ha determinado los valores máximos permitidos de contaminantes en el medio ambiente.

Mediante el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, se aprobaron los estándares de calidad ambiental (ECA) para el agua. En este se establecen cuatro categorías, las cuales son:

- Categoría 1: Poblacional y recreacional

Presenta dos subcategorías:

- 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 avanzada.

- Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación.

B1: Contacto primario

B2: Contacto secundario

- Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

Presenta cuatro subcategorías:

- 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 bebidas de animales

Presenta dos subcategorías:

- Subcategoría D1: Riego de vegetales
- Subcategoría D2: Bebida de animales

- Categoría 4: Conservacion del ambiente acuático

Presenta tres subcategorías:

- Subcategoría E1: Lagunas y lagos
- Subcategoría E2: Ríos
- Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos

Es importante señalar que, según la Resolución Jefatural N°056-2018-ANA, el río Lurín está clasificado como Categoría 3 – Riego de vegetales y bebida de animales. Por tanto, en la presente investigación se han comparado los resultados obtenidos en campo con dicha categoría.

2.5 Ecotoxicología

Tarazona y Ramos – Peralonso (2014) definen a la ecotoxicología como la ciencia dedicada al estudio de los efectos adversos de los productos químicos en la estructura, funciones y la biodiversidad de los ecosistemas. Se le considera una disciplina moderna, dado que se ha desarrollado durante las últimas cuatro décadas. Está asociada directamente a la necesidad de identificar, predecir, controlar y minimizar las consecuencias ambientales negativas del desarrollo industrial humano.

Asimismo, según Capó (2003), la ecotoxicología es la ciencia que estudia la contaminación, su origen, evolución e interacción con las moléculas y seres vivos que forman dinámicamente los ecosistemas, con su evaluación como determinante de criteriología y profilaxis biológica o socioeconómica.

Capó 2003, indica que la ecotoxicología es un hecho antropogénico, y como tal está ligado a la acción humana y su dinámica con el entorno.

2.5.1 Diferencia entre ecotoxicología y toxicología ambiental

Agathokleous & Calabrese (2020), señalan que la ecotoxicología es una subdisciplina de la toxicología ambiental que integra la ecología y la toxicología. Mientras que la toxicología ambiental estudia como los agentes químicos, biológicos y físicos que se producen en el suelo, aire y agua pueden afectar a los organismos vivos individuales. La ecotoxicología integra los factores de estrés en todos los niveles de organización biológica desde lo molecular hasta las comunidades y ecosistemas enteros.

2.5.2 Pruebas ecotoxicológicas

Herramientas como las pruebas ecotoxicológicas, son importantes para evaluar la toxicidad de las sustancias químicas e incluso los efectos nocivos de las condiciones ambientales adversas para las diferentes especies (Campagna-Fernandes, Marin & Penha, 2016).

Libralato, Ghirardini & Francesco (2010), señalan que los valores obtenidos en las pruebas ecotoxicológicas pueden considerarse herramientas útiles que facilitan la comprensión de los datos y el intercambio de información, lo cual permite resumir y representar resultados de toxicidad, sobre una base estadística, estableciendo indicadores de evaluación del peligro y posibles acciones correctivas.

Entre la presente investigación, se desarrollarán las siguientes pruebas ecotoxicológicas agudas, es decir, que se produce luego de una exposición de corta duración. Esto genera un efecto rápido en los organismos, normalmente la muerte, por lo cual se utiliza para determinar la concentración mortal de un excedente del compuesto o del efluente en un periodo de tiempo dado (Núñez y Hurtado citado por Huamán 2016).

La toxicidad agua del efluente, generalmente se mide mediante una concentración múltiple o prueba definitiva, es decir, un control y un mínimo de cinco concentraciones diferentes del efluente (Agenda de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA], 2002).

Estas pruebas están diseñadas para proporcionar información dosis – respuesta, que se expresa como el porcentaje de la concentración del efluente que es letal para el 50% de los organismos de prueba (CL50) durante un corto periodo de tiempo establecido (24 – 96 h), o la concentración máxima del efluente en la que la supervivencia no es estadísticamente significativa diferente del control. Para que los resultados de la prueba sean aceptables, la supervivencia del control deberá ser igual o superior al 90% (USEPA 2002).

Debido a su sensibilidad, rápido tiempo de respuesta, y facilidad de uso, estos bioensayos pueden ser empleados rutinariamente para monitorear agua residual en cada parte del tratamiento con la finalidad de proveer una temprana preocupación. Las comparaciones entre diferentes tipos de bioensayos demuestran en la mayoría de los casos presentan una buena y alta sensibilidad (Gholami-Borujeni *et al.*, 2018)

2.5.2.1 *Daphnia magna*

Magalhaes de Castro (2019) indica que la *Daphnia magna*, es el cladóreo más utilizado para evaluar el tratamiento de los efluentes de aguas residuales, debido a la facilidad de cultivo en el laboratorio y su corto ciclo de vida. Asimismo, representa al zooplancton de manera ideal en los estudios ecotoxicológicos (Dodson y Hanazato citado por Núñez 2005). En la siguiente figura, se aprecia la morfología de la *Daphnia magna* de un neonato de 24 horas.



Figura 14: Morfología de *Daphnia magna*. Recuperado de “Comparative study of the sensitivity of *Daphnia galeata* and *Daphnia magna* to heavy metals”. Cui, R *et al.*, 2018

Arias-Barreiro *et al.* (2010) indican que el bioensayo con *Daphnia magna* proporciona una prueba cuantitativa directa de la medida de la toxicidad ambiental de los efluentes y de los cuerpos receptores.

Los efectos de los productos químicos en *Daphnia magna* se evalúan observando los cambios en crecimiento, reproducción, comportamiento de natación y otros rasgos, según lo describe Manakul *et al.* (2017). En una de las pruebas estándar, asignadas por la OCDE, inmovilización y producción y reproducción masculinas son evaluados después de la exposición química. En estas pruebas estandarizadas de toxicidad, factores abióticos como el pH, la dureza del medio, la temperatura y el fotoperíodo han sido buenos documentados en los protocolos de prueba porque es bien sabido que estos factores influyen en la historia de vida de las daphnias.

2.5.2.2 *Lactuca sativa*

El bioensayo ecotoxicológico con *Lactuca sativa*, es comúnmente utilizado para evaluar la fitotoxicidad de las aguas residuales domésticas e industriales (Priac, Badot & Crini, 2017), por lo cual es recomendada por múltiples organizaciones internacionales para la determinación de los efectos ecológicos de sustancias tóxicas para pruebas estándar de toxicidad (Lyu *et al.*, 2018).

El bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) es una prueba estática de toxicidad aguda (120 horas de exposición) en el que se pueden evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o de mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento (Sobrero & Ronco, 2004). Al respecto, Muhammad *et al.* (2006) señala la importancia de

considerar la inhibición del crecimiento del hipocótilo y radícula, este último de especial consideración ya que están contacto directo con el suelo, adsorbiendo agua y distribuyéndola al resto de la planta. En la siguiente figura, se muestra la morfología de la *Lactuca sativa*.

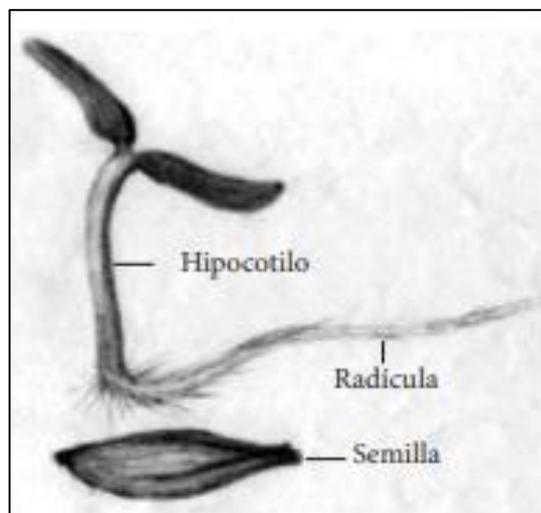


Figura 15: Morfología de *Lactuca Sativa*. Recuperado de “Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa L*”. Sombrero & Ronco 2004.

2.5.2.3 *Vibrio fischeri*

El *Vibrio fischeri*, también conocido como “fotobacteria fischeri”, es una bacteria Gram negativa, con forma de bastón, flagelada, no patógena, distribuida en ambientes marinos templados y subtropicales (Abbas *et al.*, 2018)

La prueba ecotoxicológica con *Vibrio fischeri*, es la más común de los ensayos bacterianos, dado que es sensible, rentable, fácil de operar y rápida, requiere de 5 a 30 minutos para predecir la toxicidad. Además, se puede utilizar para casi todo tipo de tóxicos (Parvez, Venkataraman & Mukherji, 2006).

Kóvats *et al.* (2012) realizó una comparación de dos métodos para medición de la inhibición de la bioluminiscencia del *Vibrio fischeri*, en aguas residuales municipales. Al respecto, evidenció que el método cinético (ISO 21338:2010) resulta la alternativa más confiable que el método convencional (ISO 11348-3), dado que elimina la toxicidad virtual causada por la turbidez y/o color de la muestra. Por tanto, en la presente investigación se ha utilizado el método cinético.

2.5.3 Principales términos ecotoxicológicos

En la presente investigación se usaran los siguientes términos ecotoxicológicos.

2.5.3.1 Concentración Letal Media (CL₅₀)

Según Carriquiriborde, P. 2021, la concentración efectiva (CE_x) es un término genérico, que puede especificarse según el tipo y magnitud del efecto. Por tanto, la Concentración letal 50 (CL₅₀) hace referencia a la concentración en la que se produce la mortalidad del 50% de individuos.

2.5.3.2 Unidades Tóxicas (UT)

Las unidades tóxicas (UT) se utilizan para cuantificar la toxicidad de una solución. Esta representa la proporción entre la concentración de un componente en una mezcla y su toxicidad agua (European Commision, 2012).

Las unidades tóxicas se calculan de la siguiente forma:

$$UT = \frac{1}{LC50} * 100$$

Donde:

- LC50= Concentración Letal 50

Al respecto, las muestras se pueden clasificar en las siguientes categorías:

Tabla 9: Clasificación de la toxicidad

UT	Clase	Toxicidad	Símbolo
< 0,4	I	No toxicidad aguda	
0,4 < UT < 1	II	Toxicidad aguda leve	
1 < UT < 10	III	Toxicidad aguda	
10 < UT < 100	IV	Toxicidad aguda alta	
UT > 100	V	Toxicidad aguda muy alta	

Nota: Adaptado de “A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters,” por G. Persoone, B. Marsalek, I. Blinova, T. Andrea & D. Zarina, 2003.

2.5.3.3 Índice de Efecto Tóxico Potencial (IETP)

El índice de efecto tóxico potencial (IETP), por sus siglas en inglés, permite evaluar y comparar el potencial tóxico de los efluentes de aguas residuales provenientes de una descarga puntual en un ambiente acuático (Blaise y Francois 2005).

El IETP se calcula con la siguiente fórmula:

$$IETP = \text{Log}10 \left[1 + n \left(\frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \right) Q \right]$$

Donde:

- n = número de bioensayos que exhiben la respuesta tóxica
- T_i = número de UT generada por cada bioensayo.
- N = número máximo de respuestas medibles
- Q = caudal promedio del efluente (m³/h)

Una vez obtenido el valor del IETP se puede clasificar según la siguiente tabla

Tabla 10: Clasificación de la carga tóxica

Clasificación de la carga tóxica	Valor IETP
Despreciable	< 1.99
Reducida	2 - 2.99
Moderada	3 – 3.99
Considerable	4 – 4.99
Elevada	> 5

Nota: Escobar, P. 2008, citado por Huamán (2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en 03 etapas, las que se describen a continuación:

3.1 ETAPA DE CAMPO

La presente etapa se desarrolló en la parte baja del río Lurín.

3.1.1 Toma de muestras de agua

La toma de muestras se realizó siguiendo lo establecido en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural N°010-2016-ANA. Los materiales y equipos utilizados para el muestreo de agua se describen en la siguiente tabla:

Tabla 11: Materiales y equipo para el muestreo de la calidad de los recursos hídricos

	Descripción
Medio de transporte	Vehículo de transporte terrestre (auto)
Materiales	Cooler grande, frascos de plásticos de 1L (para los bioensayos), frascos de plástico (para la medición de los parámetros fisicoquímicos), frascos de vidrio (para los aceites y grasas), balde de plástico limpio de 5 litros, pizeta, geles refrigerantes
Equipo	Multiparámetro, GPS, cámara fotográfica
Formatos	Cadena custodia, etiquetas, registro de datos de campo
Soluciones y reactivos	Agua destilada (4L), soluciones estándar, preservantes (H ₂ SO ₄ y HNO ₃).
Indumentaria de protección	Botas de jebe cortas, mandil, mascarillas, guantes descartables, gorro.
Otros	Plumón indeleble, lapiceros, libreta de campo, soga, papel secante, agua potable.

Nota: Adaptado del “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”, por Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2016.

Para la toma de muestras se realizó el siguiente procedimiento:

- A. Un día previo a la salida de campo, se rotularon y etiquetaron todas las botellas plásticas y de vidrio, se agruparon en bolsas plásticas por punto de muestreo. Asimismo, se alistaron los refrigerantes.
- B. En la salida a campo durante la época seca, se encontró condiciones de fácil acceso, debido al bajo o nulo caudal del río Lurín. Sin embargo, en la época húmeda las condiciones cambiaron por el incremento del nivel del río, por lo cual se utilizaron sogas para descender a la toma de la muestra.
- C. Para el desarrollo de los bioensayos, se tomaron muestras simples de 1L para los 05 puntos de muestreo (LU-01, LU-02, LU-03, LU-04 y LU-05).
- D. Para la medición de los parámetros físico químicos, se tomaron muestras simples en botellas plásticas y de vidrio, según el parámetro a medir.
- E. Las muestras se almacenaron en un cooler de 50L de capacidad, acondicionado con gel refrigerantes, a fin de preservar las muestras.
- F. Finalmente, las muestras se almacenaron en el laboratorio de tesis de la Universidad Nacional Agraria La Molina, a una temperatura de 4°C.



Figura 16: Rotulado y etiquetado de botellas, previo a la salida de campo.



Figura 17: Medición de parámetros in situ.

En la Tabla 12 se presentan los 05 puntos de muestreo, que se establecieron a lo largo de la cuenca baja del río Lurín. Cabe precisar que, se tomaron dos repeticiones por cada punto de muestreo, uno se usó para las pruebas ecotoxicológicas, y la otra para la medición de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 12: Puntos de muestreo

Punto de muestreo	Estación	Coordenadas UTM		Características
		Norte	Este	
Río Lurín	LU – 01	8644275	294016	A 500 m aguas abajo del cruce de la Antigua Panamericana Sur con el río Lurín
Río Lurín	LU-02	8643969	293937	A 50 m aguas arriba de la desembocadura de la PTAR Julio C. Tello
Río Lurín	LU-03	8643779	293886	A 200 m aguas abajo de la desembocadura de la PTAR Julio C. Tello
Río Lurín	LU-04	8643633	293840	A 50 m aguas arriba de la desembocadura de la PTAR San Bartolo
Río Lurín	LU-05	86443436	293667	A 200 m aguas debajo de la desembocadura de la PTAR San Bartolo

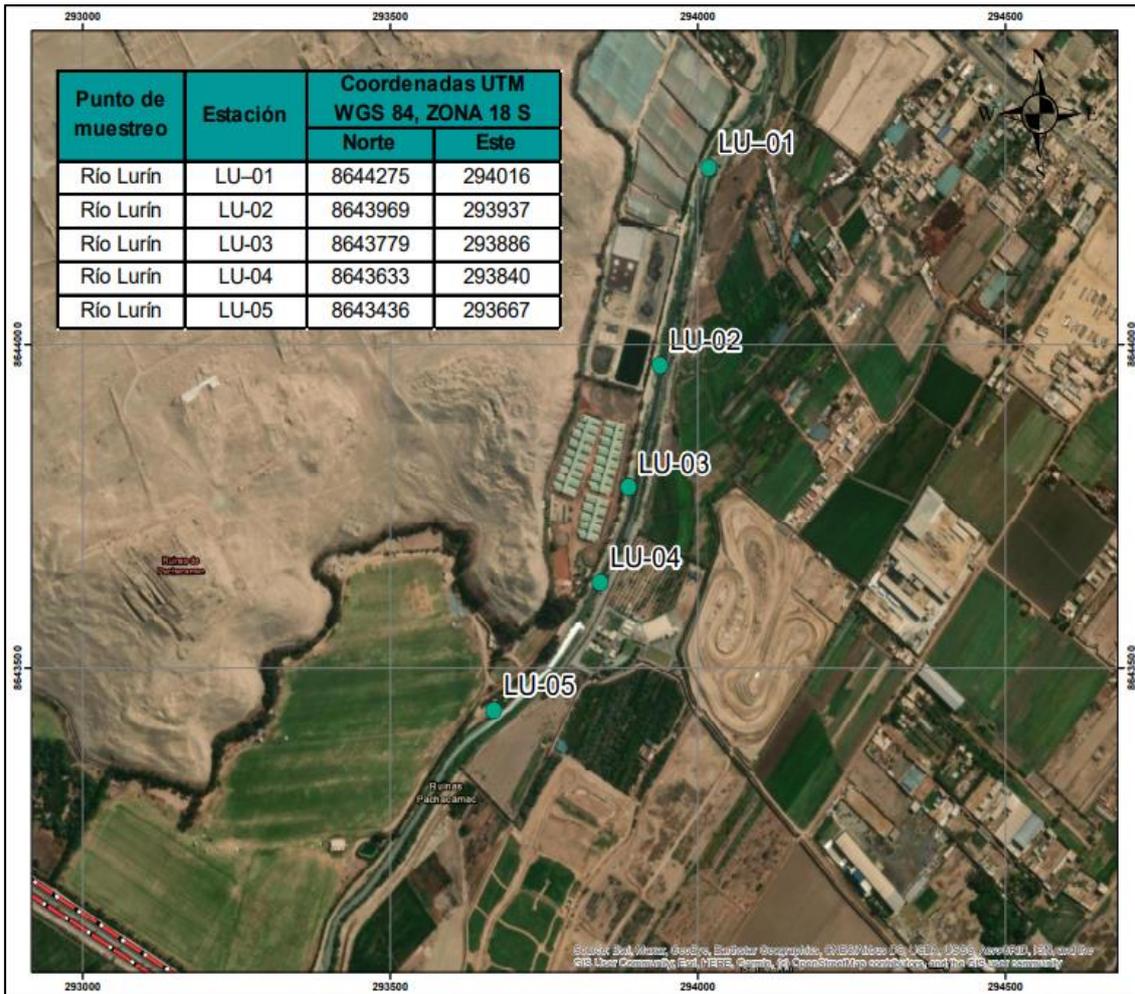


Figura 18: Ubicación de los cinco puntos de muestreo de los que se recolectaron las muestras



Figura 19:. Descarga de efluentes de la PTAR Julio C. Tello



Figura 20: Descarga de efluentes de la PTAR San Bartolo

3.1.2 Tipo y frecuencia de monitoreo

Las muestras recolectadas fueron de tipo simple o puntual. El muestreo se realizó en época seca (junio de 2022) y época húmeda (enero de 2023). Cabe precisar que, durante la época seca el caudal registrado fue mínimo, por lo que la composición del curso hídrico se consideró relativamente constante. Asimismo, durante la época húmeda las muestras se recolectaron considerando las condiciones de accesibilidad al río.



Figura 21: Cuenca baja del río Lurín en época seca



Figura 22: Cuenca baja del río Lurín en época húmeda

3.1.3 Medición de parámetros fisicoquímicos

3.1.3.1 Parámetros *in situ*

Durante el muestreo en campo, se midieron los siguientes parámetros *in situ*, que se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13: Equipo de medición de los parámetros *in situ*

Parámetro	Unidad	Equipo
Oxígeno disuelto	mg/L	Equipo multiparámetro “HACH HQ40D”
pH	-	Equipo multiparámetro “HACH HQ40D”
Temperatura	°C	Equipo multiparámetro “HACH HQ40D”
Conductividad eléctrica	mS/cm	Equipo multiparámetro “HACH HQ40D”

Para ello, se calibró previamente cada sonda del equipo multiparámetro con sus respectivas soluciones de calibración.

3.1.3.2 Parámetros fisicoquímicos

Tabla 14: Método de medición de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Referencia	Método
<u>Químico – Físico</u>		
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	EW_APHA5210B	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B; 23rd Ed:2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test
Demanda química de oxígeno (DQO)	EW_APHA5220D	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed:2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method.
Cloruros	EW_EPA300_0	EPA 300.0. Rev 2.1.1:1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography.
Sólidos suspendidos totales	EW_APHA2540D	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D:23rd Ed:2017. Solids: Total Suspended Solids dried
Sulfatos	EW_EPA300_0	EPA 300.0 Rev. 2.1:1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography.
<u>Nutrientes</u>		
Fosfatos	EW_EPA300_0	EPA 300.0 Rev. 2.1:1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography.
<u>Orgánicos</u>		
Aceites y grasas	EW_ASTMD3921	ASTM D3921 – 96 (Reapproved 2011). Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water
<u>Metales</u>		
Metales totales	EW_EPA200_8	EPA – Method 200.8 Rev.5.4, 1994. Determination of trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry. 2015

Nota:

3.1.4 Medición del caudal

La medición del caudal de la parte baja del río Lurín, se realizó utilizando el método del flotador. Esto debido a que, durante la época seca, la velocidad del río fue mínima para el reconocimiento del sensor del correntómetro.

Para el desarrollo del método del flotador, se utilizaron los fundamentos del Manual de hidrometría (Documento Técnico N° 001 SENAMHI-DHI-2018) aprobado mediante Resolución de Presidencia Ejecutiva N°182-2018-SENAMHI/PREJ. Estos son:

- Se utilizaron esferas de tecnopor de 5cm de radio para calcular la velocidad superficial del agua.
- Se registró el tiempo que demoró en llegar el flotador desde el punto A al B.
- La distancia entre el punto A y B, fue de 10 metros.
- Para el cálculo de la sección transversal, se midió el ancho del río y tres profundidades (margen derecho, centro e izquierdo). Cabe indicar que el reducido volumen de agua del río durante la época seca dificultó una estimación precisa del caudal.

En el Anexo 8, se presentan los cálculos realizados para estimar el caudal en cada punto de muestreo.

3.2 ETAPA EXPERIMENTAL:

Para la presente investigación se realizaron 03 pruebas ecotoxicológicas (*Daphnia magna*, *Lactuca sativa* y *Vibrio fisheri*), las cuales se describirán a continuación. Asimismo, se describirá el proceso del cálculo de Concentración Letal media (CL₅₀) y Concentración de Inhibición media (CI₅₀).

Los bioensayos con *Daphnia magna* y *Lactuca sativa*, se desarrollaron en el Laboratorio de Tesis del Departamento Académico de Química de La Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Asimismo, el bioensayo con *Vibrio fisheri*, se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima.

3.2.1 Bioensayo con *Daphnia magna*

3.2.1.1 Materiales:

Tubos de ensayo, *Daphnia magna*, fiolas volumétricas de 50 y 100 mL, pipetas volumétricas graduadas de 10, 5 y 2mL, matraz Erlenmeyer de 100 mL, gradillas, bombas de succión, papel filtro, colador.

3.2.1.2 Metodología:

- Protocolo

Este bioensayo fue realizado siguiendo protocolo OCSP 850.1010 de la USEPA (2016a), adaptado a las condiciones a las condiciones de la muestra, las cuales se presentan en la

Tabla 15.

Tabla 15: Condiciones de ensayo para el bioensayo con *Daphnia magna*

Parámetro	Condiciones
Tipo de ensayo	Estático
Temperatura	20±2°C
Calidad de luz	Fluorescente, blanco frío
Recipientes de prueba	Tubos de ensayo
Volumen de la solución	10 mL
Edad de los organismos	Neonatos (<24horas)
Número de organismos por tubo	10 individuos
Número de repeticiones	03
Agua de dilución	Agua del medio
Duración de la prueba	48 horas
Efecto medido	Inmovilidad
Resultado final	Concentración Letal Media (CL ₅₀)
Aceptabilidad de los resultados	Mortalidad del control negativo < 10%

Nota: Adaptado del Libro de Cátedra Principios de Ecotoxicología. Carriquirborde, P. 2021.

- Fundamentos

Se usaron individuos neonatos de *Daphnia magna*, con un tiempo de vida menor a 24 horas. Estos fueron expuestos a diferentes diluciones de las muestras problema recogidas en campo (LU-01, LU-02, LU-03, LU-04 y LU-05). El tiempo de exposición fue de 24 y 48 horas, evaluándose la inmovilización de los individuos, con la finalidad de determinar la Concentración Letal Media (CL₅₀).

- Procedimiento

Las *Daphnias magna* se obtuvieron del Acuario Neptuno de San Borja. Se colocaron en un recipiente con las condiciones adecuadas de temperatura, oxígeno y luz. Estas fueron alimentadas con el agua del estanque ubicado frente al Auditorio Principal de la UNALM.

En cuanto a las muestras problema, se prepararon cinco (05) diluciones cuyas concentraciones fueron de: 6,25%, 12,5%, 25%, 50% y 100%, para cada muestra. Estas diluciones fueron colocadas en tubos de ensayo de 10 mL, y se efectuaron tres (03) repeticiones para cada muestra (R1, R2, R3).

Respecto al control negativo (0%), se utilizó el agua del medio donde se encontraban los individuos.

En cada tubo de ensayo, se colocaron 10 individuos neonatos de *Daphnia magna*, con ayuda de un gotero de laboratorio.

Finalmente, luego de 24 y 48 horas, se realizó el conteo de los individuos inmobilizados.

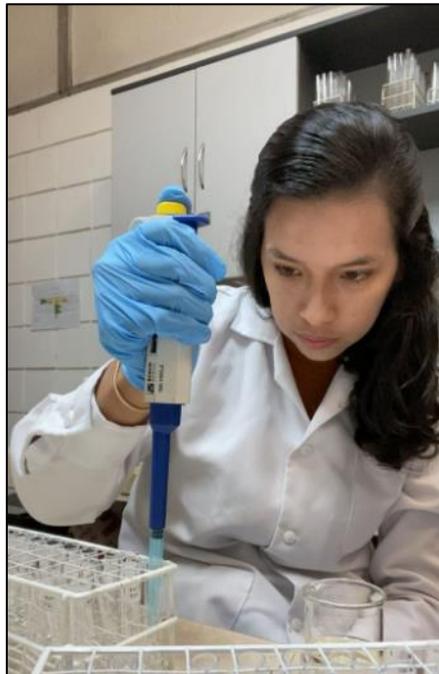


Figura 23: Preparación de las diluciones



Figura 24: Conteo de *Daphnia magna* en cada tubo de ensayo.

3.2.2 Bioensayo con *Lactuca sativa*

3.2.2.1 Materiales:

Placas Petri, papel filtro, sobre de semillas de lechuga, fiolas de 50, 100 y 1000 mL, pipetas volumétricas graduadas de 2, 5 y 10 mL, pinza, bosas plásticas.

3.2.2.2 Metodología:

- Protocolo

Este bioensayo fue realizado siguiendo protocolo de Sombrero y Ronco, 2004, para la detección de toxicidad adaptado a las condiciones a las condiciones de la muestra.

- Fundamentos

Se usaron semillas de lechuga romana, que germinan en todas las estaciones del año. Estos fueron expuestos a diferentes diluciones de las muestras problema recogidas en campo (LU-01, LU-02, LU-03, LU-04 y LU-05). El tiempo de exposición fue de 120 horas (05 días), evaluándose la inhibición de la germinación, elongación de la radícula y hipocótilo, con la finalidad de determinar la Concentración Inhibición Media (CI₅₀).

- Procedimiento

Las semillas de lechuga que se usaron en el bioensayo fueron de la marca Great Lakes. Para el medio se usó agua hidropónica (solución A y B) del Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la UNALM.

La preparación de la solución hidropónica consistió en colocar 5mL de la solución B y 2mL de la solución A, en un litro de agua.

En cuanto a las muestras problema, se prepararon cinco (05) diluciones cuyas concentraciones fueron de: 6,25%, 12,5%, 25%, 50% y 100%, para cada muestra. Luego, se colocó el papel filtro en cada placa Petri y se procedió a humedecer con 2mL de la dilución preparada por cada concentración. Con ayuda de una pinza de laboratorio, previamente esterilizada, se colocaron 10 semillas en cada placa Petri. Se realizaron tres repeticiones para cada concentración (R1, R2 y R3). Posteriormente, las placas Petri se colocaron en bolsas plásticas, para evitar la evaporación del agua y se almacenaron en oscuridad.

Respecto al control negativo (0%), se utilizó la solución hidropónica, descrita previamente y se siguió el mismo procedimiento que para las otras diluciones.

Por último, transcurridas 120 horas, se procedió con el conteo de las semillas germinadas y la medición de hipocótilo y radícula.



Figura 25:Distribución de semillas *Lactuca sativa* en la placa Petri



Figura 26: Preparación de las placas Petri, previo al almacenamiento.

3.2.3 Bioensayo con *Vibrio fischeri*

3.2.3.1 Materiales:

WaterTox EVO Kit 1243-500 (06 viales de reactivo bacteriano *Vibrio fischeri*, 06 botellas de diluyentes de 13mL y 01 botella de OAS preparado), tubos de ensayo PS (12x75mm), micropipeta de 500 $\mu\text{g/L}$, fiola de 200 mL, gradillas, pipeta de 100 y 20mL y vaso precipitado de 500mL.

3.2.3.2 Equipos

Luminómetro de tubo FB14 Titertek-Berthold, Chiller/Baño María, termómetro y agitador mecánico.

3.2.3.3 Metodología:

- Protocolo

Este bioensayo fue realizado siguiendo protocolo del Bio Tox Water Tox EVO Kit 1243-500, que se basa en la ISO 11348-3 “Determinación del efecto inhibitorio de las muestras de agua sobre la emisión de luz de *Vibrio fischeri* (prueba de bacterias luminiscentes)”.

- Fundamentos

Se utilizaron cepas bacterianas de *Vibrio fischeri*, las cuales fueron expuestas a diferentes diluciones de las muestras problema recogidas en campo. El tiempo de medición (delay) en el luminómetro fue de 5 segundos. Asimismo, se midió en el tiempo cero y a los 15 minutos de la exposición, evaluándose la inhibición de la bioluminiscencia, a fin de determinar la Concentración Inhibición Media (CI₅₀).

- Procedimiento

a) Almacenamiento del reactivo bacteriano

El Kit de *Vibrio Fischeri* (WaterTox™ EVO) fue adquirido de la empresa Environmental bio-detection products inc. (EBPI). Estos reactivos bacterianos fueron almacenados a una temperatura de -18°C dado que vienen liofilizados con estabilizadores. Respecto a los diluyentes para reconstituir las cepas bacterianas y la solución de NaCl fueron almacenados a 4°C, a fin de garantizar su conservación.

b) Preparación del agua de dilución

Para la preparación del medio, se tomó 20mL de la solución de NaCl (refrigerada a 4°C) y se disolvió en 180mL de agua ultra pura (Milli-q), con la finalidad de obtener una solución salina al 2%.

c) Preparación del material biológico

Para la reconstitución del reactivo bacteriano se agregó los 13mL del diluyente en la botella del *Vibrio fischeri* liofilizado, se agitó ligeramente y se procedió a almacenar por 30 minutos a 4°C. Transcurrido dicho tiempo, se estabilizó el reactivo a 15°C en baño maría, por 30 minutos más.

d) Exposición del reactivo bacteriano a las muestras problema

Respecto al control negativo (0%), se utilizó 500 µL de solución salina al dos (02) por ciento, y se efectuaron tres (03) repeticiones.

En cuanto a las muestras problema, se prepararon cinco (05) diluciones cuyas concentraciones fueron de: 6,25%, 12,5%, 25%, 50% y 100%, para cada muestra. El agua de dilución utilizada fue la solución salina al dos (02) por ciento, descrita en los párrafos anteriores. Se realizaron tres (03) repeticiones por cada dilución. Cada tubo contenía 500 µL de la dilución.

Una vez preparadas las diluciones con la muestra problema y el control, se procedió a agregar 500 μ L del reactivo biológico reconstituido y estabilizado, a cada tubo de ensayo.

Posteriormente se insertó los tubos de ensayo en luminómetro, para la medición de luminiscencia correspondiente. Cabe precisar que, previamente se realizó la configuración necesaria del equipo. El tiempo de lectura (delay) fue de 5 segundos por cada tubo.

Inmediatamente se culminaba la lectura, se procedía a colocar el tubo de ensayo en baño maría a 15°C, por un tiempo de 15 minutos, tal como se indica en el protocolo.

Transcurrido el tiempo, se procedió a realizar nuevamente la lectura de cada tubo de ensayo.

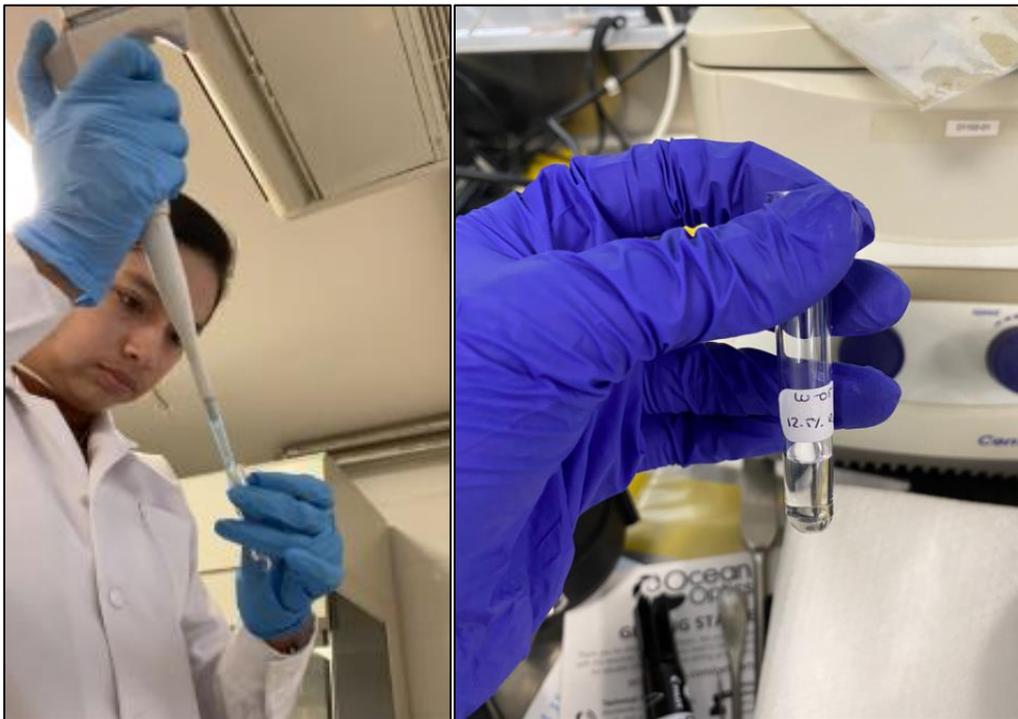


Figura 27. Inoculación de *Vibrio fischeri*



Figura 28. Frascos de BioTox™ WaterTox™ EVO Kit 1243-500

3.3 ETAPA DE GABINETE

Esta etapa consiste en el procesamiento de la información adquirida en las dos etapas anteriores (recojo de muestras y realización de bioensayos).

- Evaluación de los parámetros fisicoquímicos:

Los valores de los parámetros fisicoquímicos fueron determinados por el laboratorio de Societé Générale de Surveillance (SGS). Se evaluó si los valores obtenidos superaban los Estándares de Calidad del Agua (ECA – AGUA), haciendo uso del programa Excel.

- Evaluación ecotoxicológica:

Daphnia magna:

Se determinó la Concentración Letal Media (CL50) y la curva dosis – respuesta, mediante el análisis PROBIT, con un nivel de confianza de 95% mediante el uso del software “Rstudio” y la librería “drm” y “ggplot 2”

Lactuca sativa:

Se determinó la Concentración Inhibición Media (CL50) y la curva dosis – respuesta, mediante el análisis PROBIT, con un nivel de confianza de 95% mediante el uso del software “Rstudio” y la librería “drm” y “ggplot 2”

Vibrio fischeri

Se determinó la Concentración Inhibición Media (CL50) y la curva dosis – respuesta, mediante el análisis PROBIT, con un nivel de confianza de 95% mediante el uso del software “Rstudio” y la librería “drm” y “ggplot 2”.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros In – Situ

En las Tabla 16 y

Tabla 17, se presentan los resultados de los parámetros medidos en campo, en la época seca y húmeda, respectivamente, para los cinco (05) puntos de muestreo (LU-01, LU-02, LU-03, LU-04 y LU-05).

Tabla 16: Parámetros in – situ medidos en época seca

Puntos de muestreo	Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)
LU-01	22,60	8,32	2,02	12,88
LU-02	21,70	8,00	1,99	9,30
LU-03	20,60	8,30	1,88	9,37
LU-04	22,20	8,68	2,07	13,45
LU-05	21,50	8,50	2,61	3,65

Tabla 17: Parámetros in – situ medidos en época húmeda

Puntos de muestreo	Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)
LU-01	23,70	7,34	0,37	8,13
LU-02	27,00	7,22	0,37	7,92
LU-03	25,90	7,08	0,42	7,08
LU-04	25,40	7,06	0,37	7,66
LU-05	25,70	7,17	0,48	7,37

4.1.1 Potencial de hidrógeno (pH):

Respecto al potencial de hidrógeno (pH), en la época seca el punto LU – 04, superó ligeramente el valor del ECA del agua (2017), categoría 3, subcategoría D1: riego de

vegetales y D2: bebida de animales. Además, el punto LU-03 superó el valor máximo de la subcategoría D2. El resto de muestras se mantuvo dentro del rango permitido para la categoría 3, subcategoría D1 (6,5 – 8,5) y D2 (6,5 – 8,4).

En términos generales, el agua de la cuenca baja del río Lurín, es ligeramente alcalina (básico). Veliz – Azañero, Lozano & Cáceres – Torres (2016), en su investigación sobre la cuenca baja del río Lurín, encontraron que el valor de pH se incrementaba a medida disminuía la altitud en dirección al mar. Cabe precisar que, según los datos brindados por SEDAPAL (ver numeral 2.3.2.5 y 2.3.3.5) el pH de los efluentes de ambas PTAR es similar a los obtenidos en el río Lurín. (Figura 11, Figura 13 y Figura 29).

4.1.2 Oxígeno Disuelto (OD):

Todos los puntos superan el valor mínimo establecido en el ECA de agua (2017), categoría 3, subcategoría D1 (4mg/L) y D2 (5 mg/L), a excepción del punto LU-05 donde el valor de oxígeno disuelto para la época seca es menor a lo establecido en el ECA, alcanzando solo un 3,65mg/L. Asimismo, durante la época seca los valores de OD son altos, existiendo una marcada diferencia con el punto LU-05, donde disminuye significativamente. Este punto corresponde a los 200 metros aguas abajo de la descarga de la PTAR San Bartolo, lo cual está estrechamente relacionado con la calidad del efluente (Fan *et al.*, 2017). Castro, Fraile & Reynolds (1996), señalan que un elevado grado de contaminación de un cuerpo de agua, puede explicar los bajos niveles de oxígeno; lo cual se relaciona con un área de uso urbano. Respecto, a la época húmeda los valores se mantienen constantes.

De la Figura 29, se observa que en general en la parte baja del río Lurín, se registraron valores altos de oxígeno disuelto, alcanzándose los picos más elevados en la época seca. Al respecto, Muñoz, et al. (2015), encontraron que la concentración del oxígeno está relacionada con la radiación solar, que incrementa la tasa fotosintética de las plantas. Cabe precisar que las muestras fueron tomadas en un horario diurno, cercanos al mediodía, en la que la radiación solar es mayor.

4.1.3 Conductividad eléctrica (CE):

Esta refleja la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, y está relacionada a la concentración de sales disueltas en el agua (Aumassanne, 2015). En la época seca se alcanzaron los picos más altos, sin embargo, no sobrepasaron el valor del ECA del agua

(2017), categoría 3, subcategoría D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales; a excepción de la muestra LU-05 (2610 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que lo superó ligeramente para la subcategoría D1: riego de vegetales. Con respecto a la época húmeda, los valores oscilaron entre 369-415 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tal como se observa en la Figura 29. Aumassanne & Fontanella (2015), en su investigación sobre la variación de la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río Colorado, Argentina, encontraron una relación inversa entre la conductividad eléctrica y el caudal, alcanzándose valores más bajos en la época de verano. Esto explica la mayor conductividad eléctrica en la época seca.

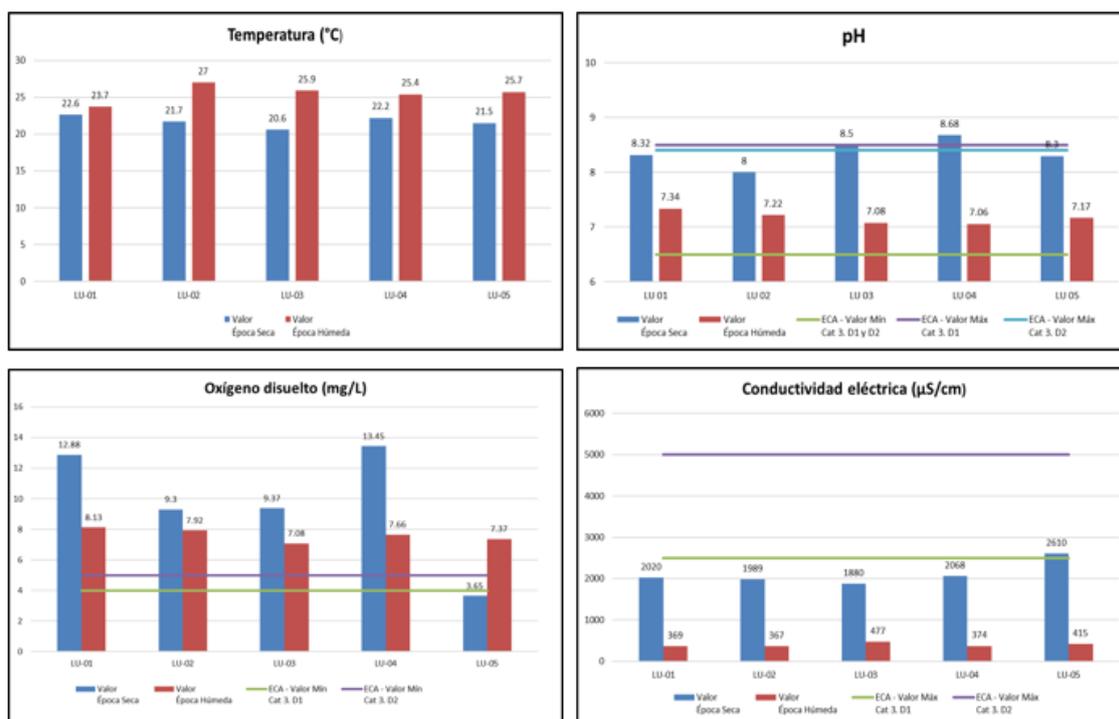


Figura 29: Resultados de parámetros in-situ comparados con el ECA de Agua del 2017, categoría 3, subcategoría D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales.

4.2 Parámetros Físico – Químicos

4.2.1 Sólidos Totales Suspendidos (STS):

Es todo aquello suspendido en el agua, tales como sales inorgánicas (calcio, magnesio, bicarbonato, cloruros, sodios, sulfatos y minerales traza), materia orgánica, entre otros. (Lagger *et al.*, 2000). Dado que el ECA del agua (2017) categoría 3, Riego de vegetales y bebida de animales, no presenta valor máximo para este parámetro, los resultados obtenidos se compararon con el ECA de la categoría 4, subcategoría E2: Ríos. Tal como se observa la Figura 30, ninguno sobrepasó el valor máximo.

4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):

Se define como medida de la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica biodegradable, presente en el agua. Cabe precisar, que la DBO representa uno de los indicadores más relevantes para medir la contaminación de aguas residuales. (Raffo & Ruiz, 2014).

De la Figura 30, se aprecia que para la época húmeda todos los valores se mantienen por debajo de lo establecido en el ECA de agua (2017), categoría 3, subcategoría D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales.

Con respecto a la época seca, el punto LU-05 supera significativamente el valor del ECA, mientras que el resto de puntos se mantienen por debajo. Cabe precisar que, dicho punto corresponde al tomado 200 metros aguas abajo del efluente de la PTAR de San Bartolo. De acuerdo con Jauregui-Medina, *et al.* (2007), los ríos tienen la capacidad de depurarse por sí mismos, debido a la acción de los microorganismos que descomponen biológicamente la materia orgánica, lo que implica una disminución de la concentración de oxígeno disuelto. Esto indica que el alto valor de DBO en el punto LU-05, es consecuente con la baja concentración de oxígeno disuelto en dicho punto.

Por otro lado, de los datos obtenidos de SEDAPAL respecto a los monitoreos mensuales realizados durante el 2022 y 2023 a los efluentes de la PTAR San Bartolo (Ver numeral 2.3.2.5), el valor de DBO del efluente supera lo establecido en los LMP, con 110 mg/L y 129,70 mg/L, para la época seca (junio 2022) y húmeda (enero 2023), respectivamente. Lo cual explica que, al ser dispuesto en el río en época seca, se supere el valor del ECA. (Figura 11)

4.2.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Esta refleja la cantidad materia de materia orgánica total susceptible de oxidación química. Asimismo, es uno de los principales parámetros de control de calidad del agua (Rosabal-Carbonell, *et al.*, 2012).

De la Figura 30 se aprecia que el punto LU-05 ha superado significativamente el valor del ECA de agua (2017) correspondiente a la Categoría 3, subcategoría D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales, tanto para la época seca como para la húmeda.

Similar a la DBO, el valor de DQO en el efluente de dicha PTAR supera considerablemente los LMP, con valores de 346 mg/L y 312 mg/L, para la época seca y

húmeda, respectivamente (Figura 11). Esto indica, que una mejora en la eficiencia del proceso de tratamiento de agua residuales de la PTAR San Bartolo, conllevaría a reducir el impacto en la calidad del agua de la parte baja río Lurín. González & Chiroles (2011) sostienen que, por cada litro de agua residual contaminada, se contamina al menos 8 litros de agua dulce. Asimismo, la mejora del tratamiento de estas aguas residuales podría conducir a que se puedan reutilizar para el riego de los cultivos cercanos a la zona.

4.2.4 Aceites y grasas:

Vidales *et al.* (2010) indican que los aceites y grasas son altamente estables, inmiscibles con el agua, generalmente provienen de desechos alimenticios, a excepción de los aceites minerales, que proceden de otras actividades. Estas permanecen en el agua, dando lugar a natas y espumas. Cabe precisar, que en el efluente de la PTAR San Bartolo, se observó la presencia de natas y espumas, que se van dispersando con el recorrido del río.

Como se observa en la Figura 30, ningún punto supera el ECA de agua (2017) Categoría 3, subcategoría D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales, los valores obtenidos fueron menores a 0.4 mg/L, a excepción del punto LU-05 en época húmeda que alcanzó el pico más alto, sin superar el valor del ECA.

En este caso, según los datos brindados por SEDAPAL (ver numeral 2.3.2.5 y 2.3.3.5), el valor de aceites y grasas para los efluentes de las PTAR de San Bartolo y Julio C. Tello, se mantuvieron por debajo de los LMP.

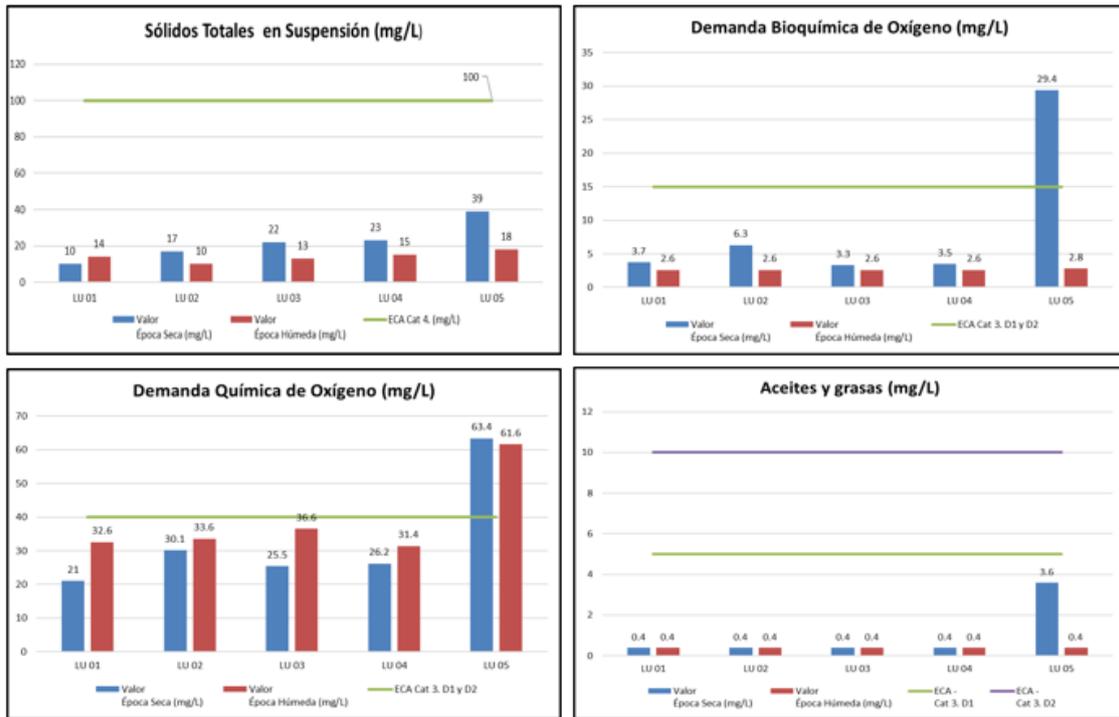


Figura 30: Parámetros físico – químicos (DQO, DBO y Aceites y grasas), contrastado con el ECA de agua, categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales. Sólidos Totales en Suspensión (STS), contrastado con el ECA de agua categoría 4, subcategoría E2: Ríos.

4.2.5 Cloruros:

La presencia de los cloruros en cuerpos de agua superficiales, de forma no natural, se atribuye a desechos industriales, aguas residuales domésticas, retorno de aguas de riego o residuos de aguas pecuarias (Catalán, 1981; CCPY, 2012 citado por Sánchez, 2016).

En cuanto a los cloruros en la parte baja del río Lurín, se observa que no superaron el ECA del agua (2017) categoría 3, subcategoría D1 – Riego de vegetales. Cabe precisar, que se alcanzaron valores altos durante la época seca, mientras que disminuyeron significativamente en la época húmeda, debido al incremento del caudal del río.

4.2.6 Fosfatos:

Teixeira *et al.* (2013) sostienen que la presencia de compuestos de fosfatos en las aguas residuales domésticas se debe principalmente al uso de detergentes, productos de limpieza, excreciones humanas, orines, entre otros. Abella & Martínez, (2012), en su investigación sobre contribución de un efluente tributario a la eutrofización del lago de Tota en Colombia, encontraron que las actividades domésticas (que involucra el uso de

detergentes), contribuyen a la acumulación de nutrientes en el cuerpo de agua y un riesgo de generar la eutrofización.

En nuestra legislación ambiental nacional, no se establece un valor de estándar de calidad ambiental para el fosfato.

Del gráfico se aprecia, que se obtuvieron valores elevados durante la época seca, en comparación con los valores obtenidos durante la temporada húmeda. El pico más alto corresponde al punto LU-05, alcanzando 8,11 mg/L, seguido de los puntos LU-03 y LU-02. Estos valores elevados de fosfatos indicarían un riesgo de generar la eutrofización del agua, disminuyendo el oxígeno del agua y por ende la vida acuática en la parte baja del río Lurín.

4.2.7 Sulfatos:

Se encuentran en el agua de forma natural, en las aguas de lluvia, y por procesos industriales. Cabe señalar que, en lugares donde aumente la concentración del fitoplancton, en condiciones anaerobias, las bacterias afines al sulfato se activan, formando el sulfuro de hidrógeno, que es característico por el olor desagradable y altamente tóxico que elimina el resto de organismos vivos del medio (Severiche, 2012). Esto explicaría el olor desagradable que emiten los efluentes de la PTAR San Bartolo.

En cuanto a los sulfatos, se observa que no superaron el ECA del agua (2017) categoría 3, subcategoría D1- Riego de vegetales. Cabe precisar, que se alcanzaron valores altos durante la época seca, mientras que disminuyeron significativamente en la época húmeda, debido al incremento del caudal del río.

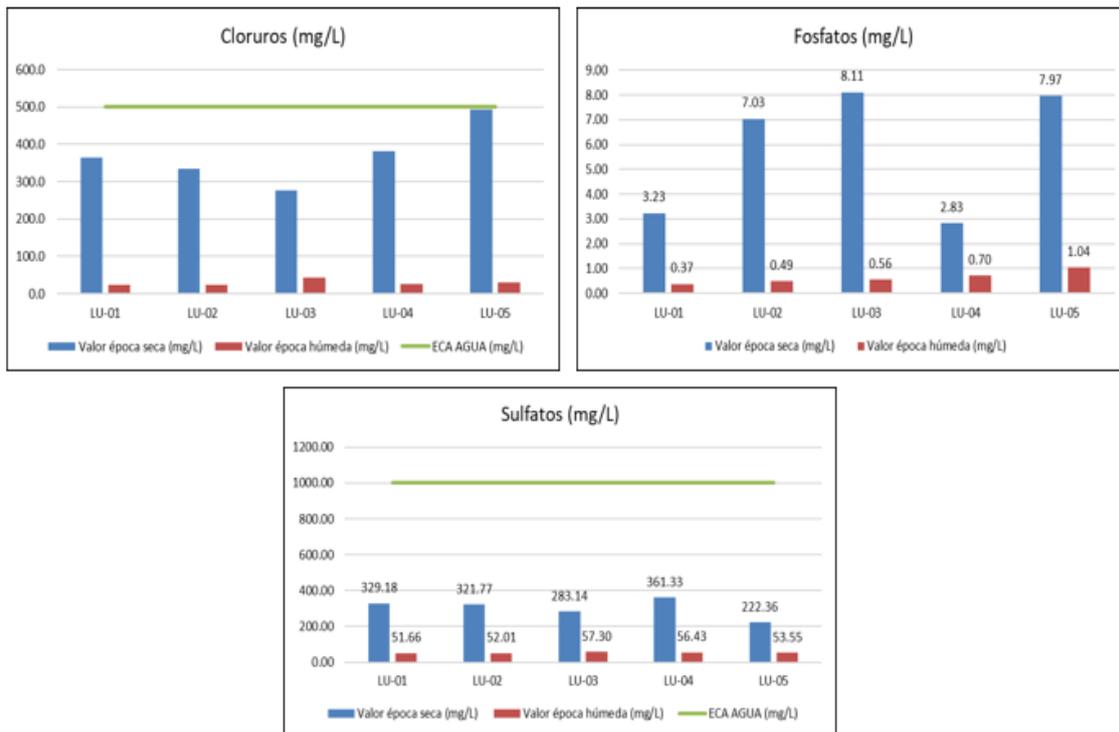


Figura 31: Parámetros físico-químicos (cloruros, sulfatos y fosfatos), contrastados con los valores del ECA de agua, categoría 3, subcategoría D1.

4.2.8 Metales Totales

En las Tabla 18 y Tabla 19 se presentan los resultados del análisis de metales totales para los 05 puntos de muestreo LU 01, LU 02, LU 03, LU 04 y LU 05, para la época húmeda y seca, respectivamente.

Al respecto, se precisa que ningún punto de muestreo supera el valor del ECA de agua, categoría 3, subcategoría D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales, en cuanto a los metales.

Tabla 18: Concentración de metales en los cinco puntos de muestreo, en la temporada seca

Metales	Concentración (mg/L)					ECA Cat 3.	
	LU-01	LU-02	LU-03	LU-04	LU-05	D1	D2
Plata	0,000119	0,014923	0,00004	0,000186	0,000028	**	**
Aluminio	0,336	0,126	0,360	0,111	0,265	5	5
Arsénico	0,00655	0,00516	0,0036	0,00605	0,00470	0,1	0,2
Boro	0,488	0,496	0,152	0,486	0,417	1	5
Bario	0,0666	0,0612	0,0196	0,0692	0,0405	0,7	**
Calcio	182,168	181,590	28,017	186,478	144,567	**	**
Cadmio	0,00010	0,00013	0,00006	0,00013	0,00006	0,01	0,05
Cobalto	0,00047	0,00033	0,00025	0,00034	0,00041	0,05	1
Cromo	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,1	1
Cesio	0,0017	0,0013	0,0004	0,0017	0,0007	**	**
Cobre	0,00610	0,00487	0,00263	0,00643	0,00409	**	**
Hierro	0,5926	0,1984	0,3882	0,2194	0,3282	5	**
Galio	0,00032	0,00021	0,00014	0,00028	0,00037	**	**
Mercurio	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	**	**
Potasio	19,50	97,82	3,95	20,70	26,53	**	**
Litio	0,0882	0,0723	0,0299	0,0902	0,0506	2,5	2,5
Lutecio	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006	**	**
Magnesio	32,009	31,955	4,663	33,190	24,707	**	250
Manganeso	0,09380	0,06903	0,0253	0,10323	0,05212	0,2	0,2
Molibdeno	0,00323	0,00302	0,00164	0,00297	0,00288	**	**
Sodio	261,334	222,739	29,324	224,963	203,204	**	**
Niquel	0,0033	0,0031	0,0006	0,0032	0,0019	0,2	1
Fósforo	2,906	6,479	0,858	2,805	7,978	**	**
Plomo	0,0016	0,0018	0,0007	0,0007	0,0007	0,05	0,05
Rubidio	0,0137	0,0207	0,0048	0,0142	0,0201	**	**
Antimonio	0,00148	0,00142	0,00097	0,00116	0,00065	**	**
Selenio	0,0039	0,0016	<0,0013	0,0037	<0,0013	0,02	0,05
Silicio	11,22	17,28	6,253	10,71	19,30	**	**
Silice	24,01	36,96	13,38	22,91	41,29	**	**
Estroncio	0,9084	0,8542	0,1979	0,9342	0,6336	**	**
Titanio	0,0129	0,0084	0,0177	0,0048	0,0156	**	**
Uranio	0,003127	0,002915	0,00045	0,003273	0,002112	**	**
Vanadio	0,0049	0,0044	0,0018	0,0056	0,0056	**	**
Zinc	0,0299	0,0292	0,0128	0,0277	0,0167	2	24

Nota: El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta categoría del ECA de agua (2017).

Tabla 19: Concentración de metales en los cinco puntos de muestreo, en la temporada húmeda

Metales	Concentración (mg/L)					ECA	
	LU-01	LU-02	LU-03	LU-04	LU-05	D1	D2
Plata	0,00054	<0,00001	0,00021	<0,00001	0,001749	**	**
Aluminio	0,371	0,332	0,248	0,561	0,098	5	5
Arsénico	0,0044	0,0042	0,0032	0,0046	0,00343	0,1	0,2
Boro	0,143	0,141	0,143	0,148	0,489	1	5
Bario	0,0208	0,0195	0,0185	0,0210	0,0380	0,7	**
Calcio	25,782	24,910	26,117	26,312	136,032	**	**
Cadmio	0,00011	0,00007	0,00007	0,00004	0,00012	0,01	0,05
Cobalto	0,00022	0,00027	0,00033	0,00035	0,00043	0,05	1
Cromo	<0,0003	<0,0003	0,0159	<0,0003	0,0060	0,1	1
Cesio	0,0004	0,0003	<0,0003	0,0003	0,0047	**	**
Cobre	0,00230	0,00084	0,00095	0,00141	0,01602	**	**
Hierro	0,4587	0,3463	0,4315	0,5659	0,2210	5	**
Galio	<0,00012	<0,00012	<0,00012	0,00020	0,00021	**	**
Mercurio	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	**	**
Potasio	5,15	3,20	4,19	2,92	41,21	**	**
Litio	0,0290	0,0287	0,0274	0,0292	0,1452	2,5	2,5
Lutecio	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006	**	**
Magnesio	3,949	3,995	4,280	4,199	21,279	**	250
Manganeso	0,0273	0,0273	0,0281	0,0328	0,04426	0,2	0,2
Molibdeno	0,00139	0,00132	0,00135	0,00130	0,00308	**	**
Sodio	17,577	17,171	20,828	18,480	365,301	**	**
Niquel	0,0038	0,0006	0,0015	<0,0006	0,0090	0,2	1
Fósforo	0,534	0,488	0,770	0,577	9,179	**	**
Plomo	0,0008	<0,0006	<0,0006	0,0010	0,0008	0,05	0,05
Rubidio	0,0042	0,0036	0,0041	0,0038	0,0316	**	**
Antimonio	0,00056	0,00057	0,00043	0,00043	0,00567	**	**
Selenio	<0,0013	<0,0013	<0,0013	<0,0013	<0,0013	0,02	0,05
Silicio	6,131	5,925	6,004	6,741	15,49	**	**
Silice	13,12	12,68	12,85	14,42	33,15	**	**
Estroncio	0,1763	0,1679	0,1732	0,1679	0,9960	**	**
Titanio	0,0184	0,0082	0,0083	0,0177	0,0087	**	**
Uranio	0,00039	0,00041	0,00037	0,00040	0,001946	**	**
Vanadio	0,0010	0,0011	0,0014	0,0027	0,0034	**	**
Zinc	0,0238	0,0112	0,0088	0,0061	0,0384	2	24

Nota: El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta categoría del ECA de agua (2017).

4.3 Bioensayos

En la presente investigación se han desarrollado tres (03) bioensayos de toxicidad aguda, con *Daphnia magna*, *Lactuca sativa* y *Vibrio fischeri*; los cuales se presentan a continuación:

4.3.1 *Daphnia magna*

El bioensayo se realizó de acuerdo a lo establecido en el protocolo EPA-OCSPP 850,1010, las condiciones de pH y temperatura (°C) se mantuvieron dentro del rango requerido. La tolerancia al pH de *Daphnia magna*, es de 5,5 a 10 (Seco *et al.*, 2003, citado por Sivula *et al.*, 2018). Respecto al control negativo, el porcentaje de neonatos de *Daphnia magna*, fue menor al 10 por ciento, asegurando de esta manera la validez de la prueba ecotoxicológica. Se precisa, que cada tubo de ensayo contenía 10 individuos, con cuatro (04) repeticiones por concentración.

En las Tabla 20 y Tabla 21, se muestran los resultados de las daphnias neonatas inmovilizadas en la época seca y húmeda, respectivamente, para los cinco puntos de muestreo (LU-01, LU-02, LU-03, LU-04 y LU-05). Se observa que en el punto LU-01, se registró inmovilización a partir del 25 por ciento de concentración para ambas épocas. El punto LU-02 presenta un comportamiento similar, registrando una baja inmovilización de la *Daphnia*. Ambos puntos, corresponden a muestras tomadas en la parte baja del río Lurín, previo a la descarga de efluentes de las PTAR en estudio.

Tabla 20: *Daphnia magna* neonatas inmovilizadas a las 24 y 48 horas de exposición, para la época seca

LU – 01												
Tiempo de exposición	24 horas						48 horas					
Concentración	R1	R2	R3	R4	Prom	σ	R1	R2	R3	R4	Prom	Σ
0%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	1	0,25	0,50
6.25%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
12.50%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
25%	1	1	1	0	0,75	0,50	1	1	1	0	0,75	0,50
50%	2	1	2	1	1,5	0,58	1	2	3	1	1,75	0,96
100%	3	2	3	3	2,75	0,50	4	3	4	3	3,5	0,58
LU – 02												
0%	0	0	0	1	0,25	0,5	0	0	0	1	0,25	0,50
6.25%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
12.50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
25%	1	1	0	1	0,75	0,5	1	1	2	1	1,25	0,50
50%	2	2	1	2	1,75	0,5	2	3	2	2	2,25	0,50
100%	3	3	3	2	2,75	0,5	5	3	4	4	4	0,82
LU – 03												
0%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	1	0	0,25	0,50
6.25%	0	1	1	1	0,75	0,50	0	1	1	2	1	0,82
12.50%	1	1	2	1	1,25	0,50	1	1	2	2	1,5	0,58
25%	2	1	2	1	1,5	0,58	2	3	2	2	2,25	0,50
50%	4	3	3	4	3,5	0,58	5	4	5	5	4,75	0,50
100%	5	5	5	6	5,25	0,50	5	6	6	7	6	0,82
LU – 04												
0%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,0
6.25%	0	2	1	1	1	0,82	1	2	1	1	1,25	0,5
12.50%	1	2	2	2	1,75	0,50	1	3	2	3	2,25	1,0
25%	2	2	2	1	1,75	0,50	2	2	3	3	2,5	0,6
50%	2	4	3	2	2,75	0,96	4	4	3	5	4	0,8
100%	5	6	5	7	5,75	0,96	5	6	7	7	6,25	1,0
LU – 05												
0%	0	0	0	0	0	0,00	0	1	0	0	0,25	0,50
6.25%	1	1	2	1	1,25	0,50	1	1	2	1	1,25	0,50
12.50%	2	3	3	2	2,5	0,58	2	3	3	3	2,75	0,50
25%	4	3	4	4	3,75	0,50	5	3	4	4	4	0,82
50%	7	7	8	9	7,75	0,96	9	9	8	9	8,75	0,50
100%	10	10	10	10	10	0,00	10	10	10	10	10	0,00

Tabla 21: Daphnias magna neonatas inmovilizadas a las 24 y 48 horas de exposición, para la época húmeda

LU – 01												
Tiempo de exposición	24 horas						48 horas					
Concentración	R1	R2	R3	R4	Prom	Σ	R1	R2	R3	R4	Prom	Σ
0%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
6.25%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
12.50%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
25%	0	1	0	0	0,25	0,50	0	1	1	0	0,5	0,58
50%	0	2	1	1	1	0,82	0	2	1	1	1	0,82
100%	3	1	2	2	2	0,82	3	2	3	2	2,5	0,58
LU – 02												
0%	0	1	0	0	0,25	0,50	0	1	0	0	0,25	0,50
6.25%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
12.50%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
25%	1	1	0	0	0,5	0,58	1	1	0	1	0,75	0,50
50%	2	1	1	1	1,25	0,50	2	2	1	1	1,5	0,58
100%	2	3	3	1	2,25	0,96	2	3	3	2	2,5	0,58
LU – 03												
0%	0	0	0	0	0	0,00	1	0	0	0	0,25	0,50
6.25%	0	0	1	1	0,5	0,58	0	1	0	2	0,75	0,96
12.50%	1	0	0	0	0,25	0,50	1	0	3	1	1,25	1,26
25%	2	2	2	0	1,5	1,00	2	3	2	1	2	0,82
50%	2	3	2	4	2,75	0,96	3	4	4	5	4	0,82
100%	3	4	5	4	4	0,82	5	4	7	5	5,25	1,26
LU – 04												
0%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	1	0,25	0,50
6.25%	0	0	1	0	0,25	0,50	1	1	1	0	0,75	0,50
12.50%	1	0	0	2	0,75	0,96	1	2	0	2	1,25	0,96
25%	1	1	2	2	1,5	0,58	1	1	2	3	1,75	0,96
50%	1	2	3	2	2	0,82	2	2	3	2	2,25	0,50
100%	4	4	5	4	4,25	0,50	7	6	7	6	6,5	0,58
LU – 05												
0%	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00
6.25%	1	2	2	2	1,75	0,50	1	2	3	2	2	0,82
12.50%	2	1	2	2	1,75	0,50	2	3	3	3	2,75	0,50
25%	4	3	2	2	2,75	0,96	5	3	2	3	3,25	1,26
50%	5	5	6	5	5,25	0,50	5	5	6	5	5,25	0,50
100%	10	10	10	10	10	0,00	10	10	10	10	10	0,00

En las Tabla 22 y Tabla 23, se presenta la Concentración Letal Media (CL_{50}) y la Unidad Tóxica (UT), determinada mediante un análisis Probit, para la época seca y húmeda, respectivamente. Cabe precisar que, los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente, utilizando métodos no paramétricos, para evaluar la homogeneidad de varianzas.

En términos generales, la toxicidad en la parte baja del río Lurín oscila entre 0.39 – 4.11UT. Además, se infiere que para un mismo punto de muestreo la toxicidad es mayor en la época seca, debido al menor caudal registrado en el río, que concentra los contaminantes. Ordenando la toxicidad se tiene lo siguiente: LU-01 < LU-02 < LU-04 < LU-03 < LU-05 para la época seca (Tabla 22). Cabe precisar que, LU-03 y LU-05 corresponden a 200 metros aguas debajo de la descarga de efluentes de las PTAR. Respecto a la época húmeda, la toxicidad se ordena: LU-02 < LU-01 < LU-03 < LU-04 < LU-05 (Tabla 23).

Tabla 22: Toxicidad registrada en un tiempo de exposición de 24 y 48 horas de exposición, para la época seca

Muestra	24h			48h		
	CL_{50}	UT	Toxicidad	CL_{50}	UT	Toxicidad
LU-01	>100	0,47	Toxicidad aguda leve	>100	0,66	Toxicidad aguda leve
LU-02	>100	0,47	Toxicidad aguda leve	>100	0,75	Toxicidad aguda leve
LU-03	92,51	1,09	Toxicidad aguda	64,40	1,55	Toxicidad aguda
LU-04	92,32	1,08	Toxicidad aguda	67,28	1,49	Toxicidad aguda
LU 05	27,04	3,70	Toxicidad aguda	24,31	4,11	Toxicidad aguda

Como se puede apreciar en la para los puntos de muestreo LU-01 y LU-02, presenta una “toxicidad aguda leve”, según la escala de Persoone *et al.* (2003). Respecto a LU-03, 04 y 05, registran una “toxicidad aguda”.

Tabla 23: Toxicidad registrada en un tiempo de exposición de 24 y 48 horas de exposición, para la época húmeda

Muestra	24h			48h		
	CL ₅₀	UT	Toxicidad	CL ₅₀	UT	Toxicidad
LU-01	>100	0,39	No tóxico	>100	0,56	Toxicidad aguda leve
LU-02	>100	0,39	No tóxico	>100	0,41	No tóxico
LU-03	>100	0,71	Toxicidad aguda leve	85,75	1,16	Toxicidad aguda
LU-04	>100	0,72	Toxicidad aguda leve	77,41	1,29	Toxicidad aguda
LU 05	38,54	2,59	Toxicidad aguda	32,83	3,06	Toxicidad aguda

De los resultados mostrados en la Tabla 23, para LU-01 y LU-02 de acuerdo con la escala de Persoone *et al.* (2003), se registran como “No Tóxico”. Se evidencia que incluso a una concentración de 100 por ciento, el porcentaje de individuos inmovilizados es bajo.

Respecto a los puntos LU-03 y LU-04 se obtuvo un resultado de CL50 de 64,40 por ciento (1,55 UT) y 67,28 por ciento (1,49 UT), respectivamente, para un tiempo de 48h en la época seca (Tabla 22). Para la época húmeda (Tabla 23), alcanzaron un CL50 de 85,75 por ciento (1,16 UT) para LU-03 y 77,41 por ciento (1,29) para LU-04, clasificándose como “Toxicidad Aguda”, según la escala de Persoone *et al.* (2003).

En la Tabla 23 los puntos de muestreo LU-03 y LU-04, para una exposición de 24 horas presentan una “Toxicidad Aguda Leve”. Cabe precisar que el punto LU-03 corresponde a 200 metros aguas abajo de la descarga de la PTAR Julio. C. Tello.

Kocbas & Oral (2015), concluyeron en su investigación sobre la toxicidad de efluentes (incluye *Daphnia magna*) en una planta de tratamiento de aguas residuales en Turquía, que las aguas residuales tratadas y sin tratar pueden ser dañinas para la biota incluso si cumplen con los estándares límites de descarga de aguas residuales. Por tanto, para la presente investigación, se infiere que a pesar de que la toxicidad aguda de la descarga de la PTAR Julio C. Tello es leve, y que los parámetros físicos – químicos medidos se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles (Decreto Supremo N°003-2010-MINAM) podría representar un riesgo para la biota dentro de las 24 horas.

El punto de muestreo que registró la mayor toxicidad fue LU-05, alcanzando un valor de CL₅₀ de 24,31 por ciento (4,11 UT) y 32,83 por ciento (3,06 UT), para la época seca

(Tabla 22) y húmeda (Tabla 23), respectivamente. Kim *et al.* (2012), en su investigación sobre la identificación de toxicidad multinivel de aguas residuales (incluye *Daphnia magna*) en una PTAR en Korea, encontraron que la toxicidad aguda disminuía rápidamente con el avance del tratamiento; sin embargo, en algunos casos el efluente final resultaba tóxico, debido a la presencia de Cu que no se eliminó de manera efectiva, durante el tratamiento. En el caso del efluente de la PTAR San Bartolo (LU-05), para la época seca, se encontró una concentración de Cu de 0,02 mg/L, lo que explicaría la toxicidad encontrada en este efluente.

Otro estudio como el de Teodorovic *et al.*, 2009, clasificaron las toxicidades de los metales, de la siguiente manera: Cd > Zn > Mn > Pb; de acuerdo con las pruebas de toxicidad que realizaron con la *Daphnia magna*. Al respecto, la muestra LU-05 presenta una concentración de Zn de 0,04 mg/L, esto podría explicar la toxicidad aguda encontrada; en comparación con las otras muestras, cuya concentración de metales es mucho menor.

En las Figura 32 y Figura 33 se presentan la curva concentración – mortalidad del bioensayo con *Daphnia magna*, para todas las muestras, en un tiempo de exposición de 24 y 48 horas, en la época seca y húmeda, respectivamente. En términos generales, se observa que el porcentaje de mortalidad de las daphnias se incrementa con una mayor concentración.

Asimismo, se aprecia que la toxicidad aumenta ligeramente con el tiempo. Estudios similares, como el de Teodorovic *et al.* (2009); que compararon la sensibilidad bacteriana con la de la *Daphnia magna*, en ensayos de toxicidad aguda, y encontraron que las curvas generadas con los resultados de las pruebas a las 24 y 48h, indican un ligero aumento de la toxicidad dependiente del tiempo.

La muestra con mayor toxicidad es la LU-05, tanto para la época húmeda como seca. De las Figura 32 y Figura 33, se observa que esta muestra presenta curvas con pendientes más marcadas. Asimismo, LU-01 y LU-02 presentan la menor pendiente, para ambas temporadas, mientras que las muestras LU-03 y LU-04 presentan un comportamiento similar.

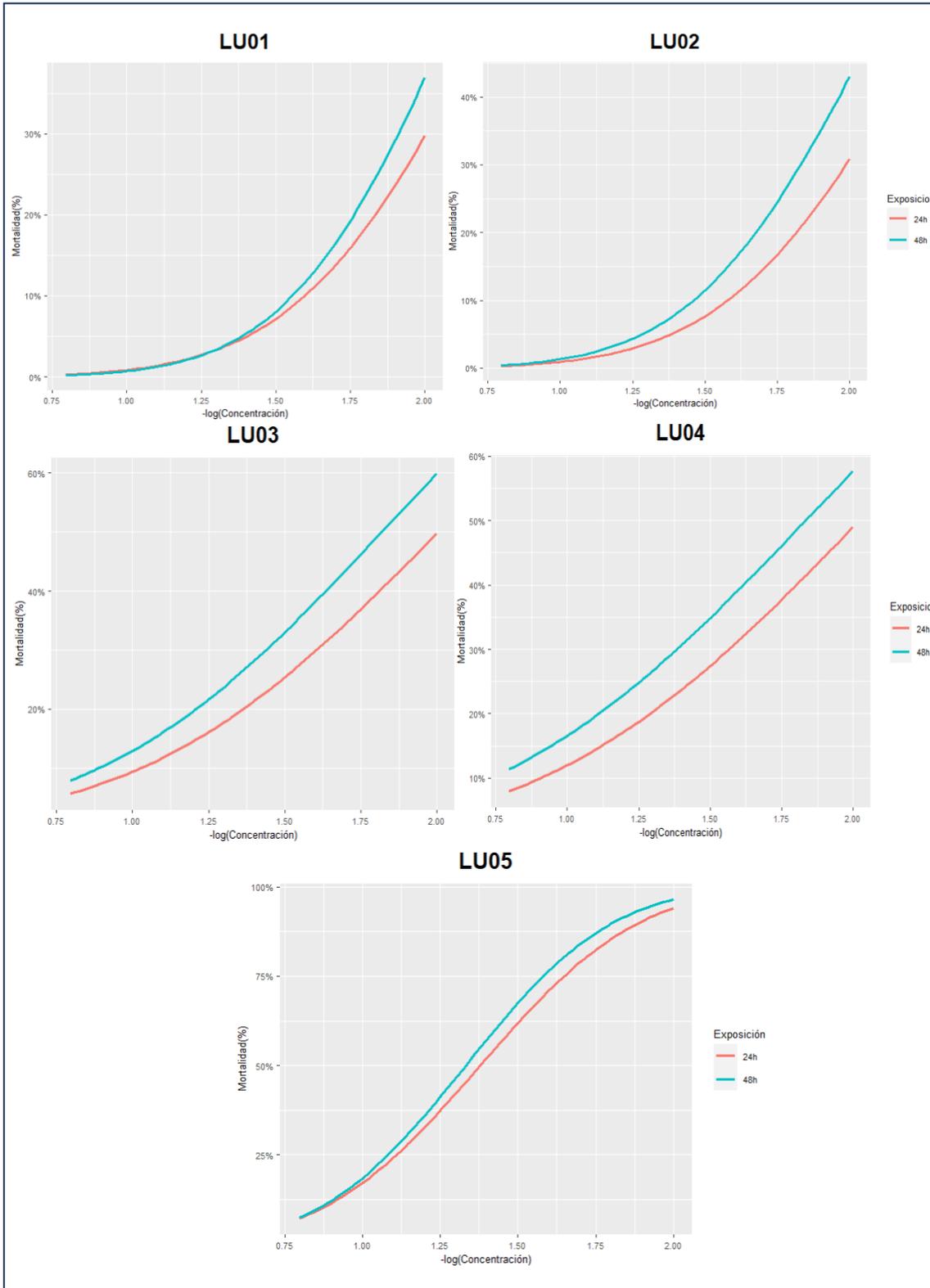


Figura 32: Curva de concentración – mortalidad, respecto a la *Daphnia magna*, en un tiempo de exposición de 24 y 48 horas, en la época seca.

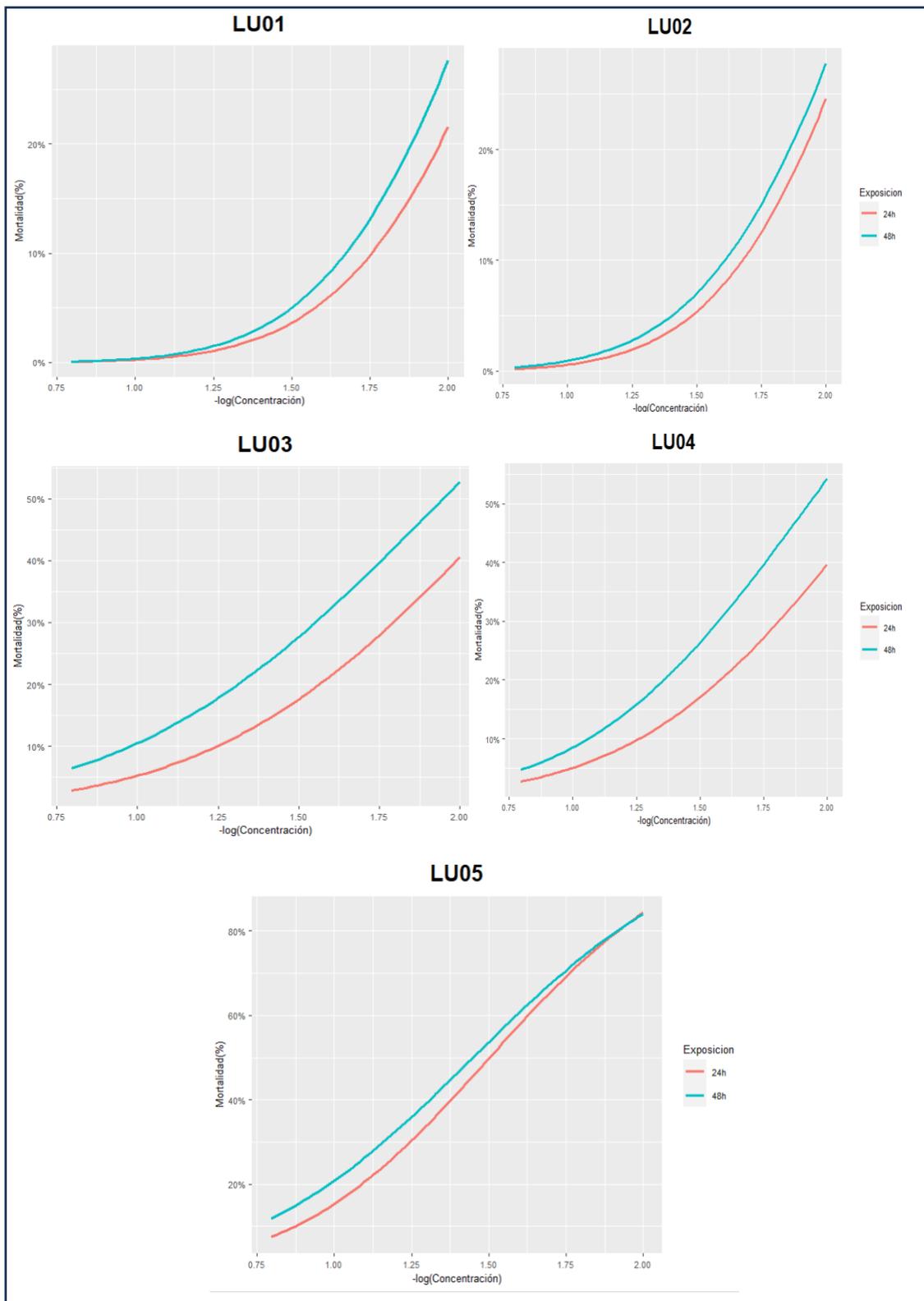


Figura 33: Curva de concentración – mortalidad, respecto a la *Daphnia magna*, en un tiempo de exposición de 24 y 48 horas, en la época húmeda.

Por otro lado, estudios similares como el de Gholami-Borujeni, Nejatizadeh-Baradozi & Hamed Aghdasi (2018), quienes evaluaron la toxicidad de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales usando *Daphnia magna*, concluyeron que un incremento de la concentración de DQO en el efluente, genera un incremento de la toxicidad del agua residual municipal (Coeficiente de determinación 93,26 por ciento).

En esa misma línea, en la Figura 34, se presenta la correlación entre la DQO y las UT, para los cinco puntos de muestreo en la época seca. Al respecto, se evidencia una alta relación lineal directa, con un coeficiente de correlación (R) de 0,94 y un coeficiente de determinación (R²) de 0,8947. Por tanto, se podría indicar que el 89,47 por ciento de la toxicidad de las muestras en la época seca, se debe a la concentración de DQO.

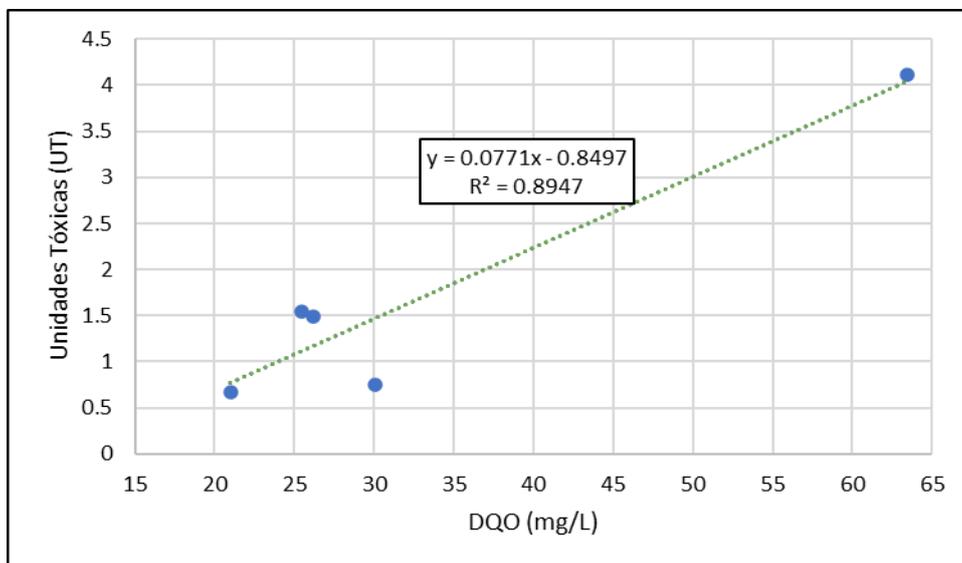


Figura 34. Correlación entre la DQO y Unidades Tóxicas (UT), para la época seca.

Respecto a la época húmeda, en la Figura 35 se muestra la relación lineal directa entre las UT y la DQO, con un alto coeficiente de correlación (R) de 0,92 y un coeficiente de determinación (R²) de 0,8386. Al respecto, se podría precisar que el 83,86 por ciento de la toxicidad de las muestras en la época húmeda, obedece a la concentración de la DQO. Además, se podría indicar que el incremento del caudal del río disminuye la correlación entre la toxicidad y la DQO.

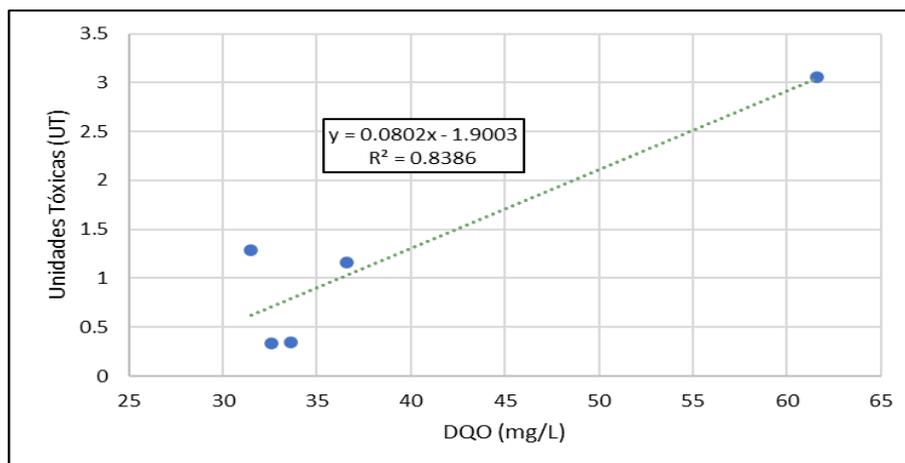


Figura 35: Correlación entre la DQO y Unidades Tóxicas (UT), para la época húmeda.

De lo expuesto en las líneas anteriores, se puede inferir la importancia de realizar la medición de los parámetros fisicoquímicos en combinación con las pruebas de toxicidad a fin de proteger la calidad del recurso hídrico en el que se descarga los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

4.3.2 *Lactuca sativa*

El bioensayo con *Lactuca sativa* se desarrolló siguiendo el procedimiento descrito en Sombrero y Ronco, 2004, con un control negativo de todas las muestras fue superior al 90 por ciento de germinación y un pH dentro del rango 4 - 10. Además, se realizaron 03 repeticiones (R1, R2 y R3) para cada concentración (0%, 6.25%, 12.5%, 25%, 50% y 100%), en cada muestra (LU-01, LU-02, LU-03, LU-04 y LU-05). En este experimento, se determinaron los siguientes factores:

4.3.2.1 Inhibición de la germinación

Se obtuvo el porcentaje de inhibición en la germinación de la *Lactuca sativa*, en relación a determinada concentración. En la Tabla 24, se presenta el promedio de la inhibición de la germinación por concentración y su desviación estándar, tanto para la época seca como la húmeda para cada una de las muestras (LU-01, LU-02, LU-03 LU-04 y LU-05).

Tabla 24: Inhibición de la germinación de las semillas de *Lactuca sativa*, a una exposición de 120 horas

LU-01										
Época	Seca					Húmeda				
Concentración	R1	R2	R3	Prom	Σ	R1	R2	R3	Prom	σ
0%	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0,00
6,25%	0	0	1	0,33	0,58	2	2	0	1,33	1,15
12,50%	0	2	3	1,67	1,53	1	1	2	1,33	0,58
25%	2	3	3	2,67	0,58	2	1	2	1,67	0,58
50%	3	1	2	2,00	1,00	1	1	3	1,67	1,15
100%	4	3	3	3,33	0,58	3	2	1	2,00	1,00
LU-02										
0%	0	1	0	0,33	0,58	0	0	0	0,00	0,00
6,25%	0	0	1	0,33	0,58	2	2	2	2,00	0,00
12,50%	0	2	2	1,33	1,15	1	2	2	1,67	0,58
25%	2	1	2	1,67	0,58	2	0	3	1,67	1,53
50%	2	3	1	2,00	1,00	2	3	4	3,00	1,00
100%	4	3	5	4,00	1,00	5	4	2	3,67	1,53
LU-03										
0%	0	0	0	0,00	0,00	0	0	1	0,33	0,58
6,25%	0	2	1	1,00	1,00	1	0	2	1,00	1,00
12,50%	2	3	3	2,67	0,58	0	2	3	1,67	1,53
25%	3	3	4	3,33	0,58	1	1	4	2,00	1,73
50%	4	3	3	3,33	0,58	3	2	2	2,33	0,58
100%	5	5	6	5,33	0,58	5	4	5	4,67	0,58
LU-04										
0%	0	0	1	0,33	0,58	0	0	0	0,00	0,00
6,25%	2	0	3	1,67	1,53	0	1	1	0,67	0,58
12,50%	2	2	3	2,33	0,58	1	1	3	1,67	1,15
25%	3	4	2	3,00	1,00	1	3	4	2,67	1,53
50%	4	4	5	4,33	0,58	3	2	4	3,00	1,00
100%	4	6	5	5,00	1,00	5	4	6	5,00	1,00
LU-05										
0%	0	1	0	0,33	0,577	0	0	1	0,33	0,58
6,25%	1	2	2	1,67	0,577	0	0	2	0,67	1,15
12,50%	4	2	1	2,33	1,528	2	1	2	1,67	0,58
25%	4	3	3	3,33	0,577	3	4	3	3,33	0,58
50%	4	5	5	4,67	0,577	4	4	5	4,33	0,58
100%	7	8	7	7,33	0,577	4	6	7	5,67	1,53

En la Tabla 25, se puede observar los valores de Concentración de Inhibición Media (CI50) y las Unidades Tóxicas (UT) para cada muestra. Cabe precisar que, las CI50 y UT se determinaron mediante un análisis Probit.

Tabla 25: Toxicidad registrada por inhibición de la germinación de la *Lactuca sativa* en un tiempo de exposición de 120 horas, para la época seca y húmeda.

Muestra	Seca			Húmeda		
	CI ₅₀	UT	Toxicidad	CI ₅₀	UT	Toxicidad
LU-01	>100	1	Toxicidad aguda leve	>100	0,27	No tóxico
LU-02	>100	0,56	Toxicidad aguda leve	>100	0,22	No tóxico
LU-03	94,52	1,06	Toxicidad aguda	>100	0,66	Toxicidad aguda leve
LU-04	92,55	1,08	Toxicidad aguda	>100	0,91	Toxicidad aguda leve
LU-05	46,13	2,17	Toxicidad aguda	68,08	1,47	Toxicidad aguda

Similar al bioensayo de *Daphnia magna*, se utilizó un análisis Probit. Estos datos se analizaron estadísticamente utilizando el método paramétrico ANOVA, a excepción del punto LU-01, que cumplía no con los supuestos de normalidad de errores, ni la homogeneidad de varianzas por lo que se usó un método no paramétrico.

De la Tabla 25, se observa que la toxicidad en la parte baja del río Lurín respecto a la inhibición de la germinación, se encuentra en un rango de 0,22 a 2,17 UT. Asimismo, se registra mayor toxicidad en la época seca que en la húmeda, debido principalmente al caudal del recurso hídrico. Ordenando la toxicidad se tiene lo siguiente: LU-02 < LU-01 < LU-03 < LU-04 < LU-05 para ambas épocas.

Respecto a la época húmeda, los puntos LU-01 y LU-02, se clasifican como “No tóxico”, según la escala de Persoone *et al.* (2003). Asimismo, las muestras LU-03 y LU-04 presentan una “toxicidad aguda leve”, con 0,22 y 0,66 UT, respectivamente. En cuanto a la muestra LU-05, registra un CI₅₀ de 68,08 por ciento y 1,47 UT, presentando una “Toxicidad aguda”. Esto significa que, a una concentración de 68,86 por ciento, se inhibió el 50 por ciento de la germinación de las semillas. Es importante señalar que, en esta época los valores presentan una mayor desviación estándar, esto pudo ser causado por el lote de semillas, que podrían haber presentado deficiencias y no necesariamente por el efecto tóxico de la muestra.

En el caso de la época seca, las muestras LU-01 y LU-02, presentan una “Toxicidad aguda leve”, según la escala de Persoone *et al.* (2003). Mientras que las muestras LU-03, LU-03 y LU-04 registran una “Toxicidad aguda”, con un CI_{50} de 94.52 por ciento (1,06 UT), 92,55 por ciento (1,08UT) y 46,13 por ciento (2.17 UT) por ciento, respectivamente.

Respecto a las muestras tomadas 200 metros aguas debajo de las descargas de las PTAR J.C. Tello (LU-03) y San Bartolo (LU-05), se evidencia que presentan una mayor toxicidad, con respecto a las tomadas 50 metros antes de la descarga LU-02 y LU-4, respectivamente; para ambas épocas (Tabla 25).

Chan-Keb *et al.* (2018), en su investigación sobre ensayos de *Lactuca sativa* realizados para determinar la toxicidad aguda del agua y extracto acuoso de los suelos en el río Champotón, en Argentina, obtuvieron una CI_{50} de 63 por ciento; similar a la obtenida en la muestra LU-05 en la época húmeda. Respecto a ello, concluyeron que la inhibición de la germinación y el elongamiento podrían deberse a presencia de los contaminantes solubles en agua. Asimismo, atribuyeron a la materia orgánica y nitrógeno los responsables de los efectos observados.

En ese sentido, podría indicarse que la toxicidad registrada en las muestras LU-03, LU-04 y LU-05, se debe a la presencia contaminantes como el nitrógeno y fósforo. Cabe precisar, que LU-03 y LU-05 corresponden a muestras tomadas aguas debajo de la descarga de aguas residuales domésticas tratadas. En la Tabla 18 se presentan las concentraciones de fósforo para LU-03 (7,98 m/L), LU-04 (2,805 mg/L) y LU-05 (9,18 mg/L); las cuales son más elevadas en comparación con los puntos LU-01 y LU-02.

Por otro lado, como se puede apreciar en la Tabla 25, la muestra LU-05 presenta la mayor toxicidad, en la época seca. Chan-Keb *et al.* (2018), señalan que las semillas de lechuga son extremadamente sensibles a los metales. Por tanto, se puede inferir que la toxicidad de esta muestra se debe a la presencia de metales, tales como el Cu que alcanza un valor de 0,02 mg/L y el Zn con una concentración de 0,04 mg/L (Tabla 18). Lyu *et al.* (2018) clasificaron las toxicidades de los metales, de la siguiente manera: $Cd > Ni > Cu > Zn > Hg$; de acuerdo con las pruebas de toxicidad que realizaron con la *Lactuca sativa*.

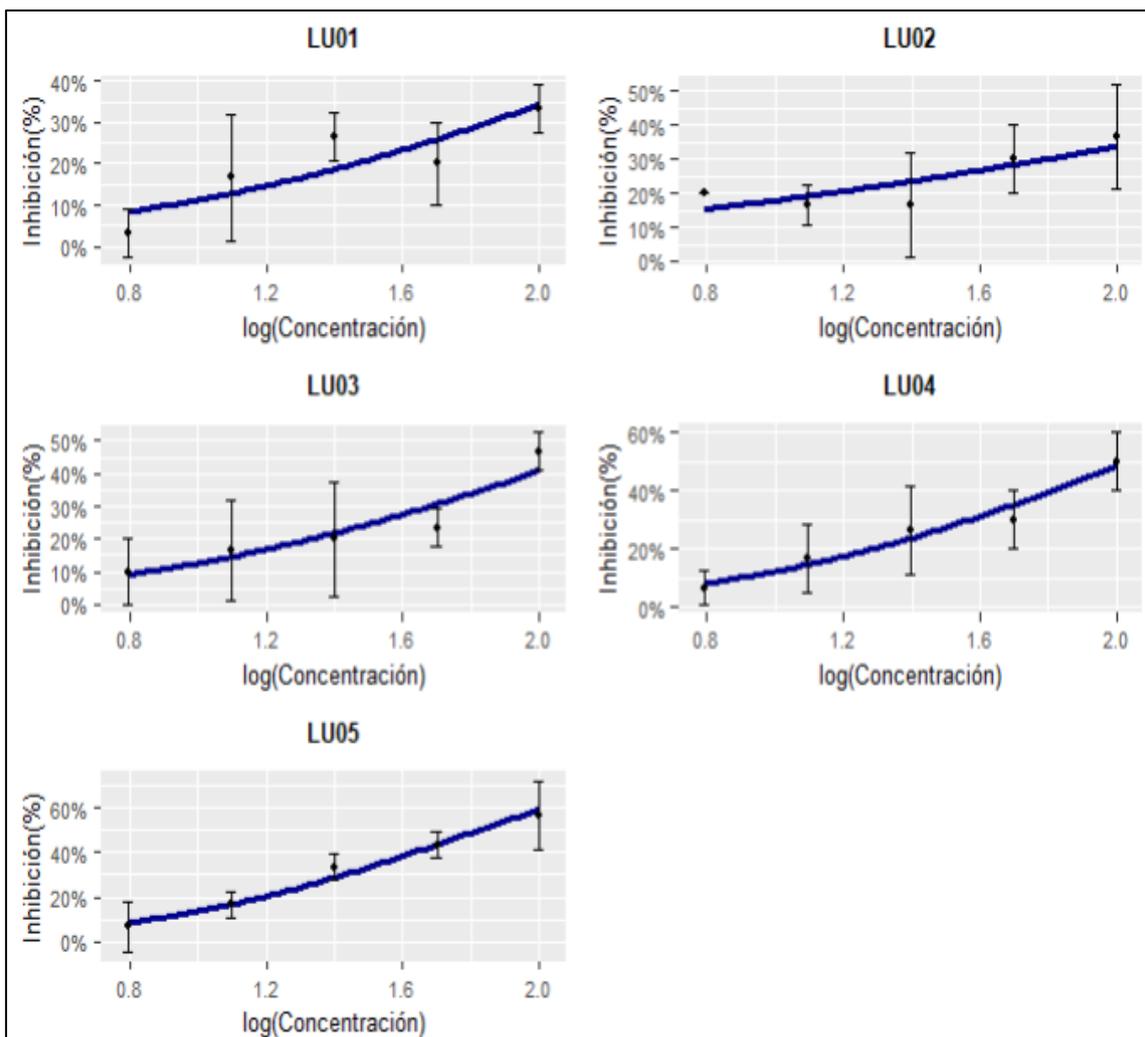


Figura 36: Curva concentración – inhibición de la germinación de la *Lactuca sativa* en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada húmeda.

En la Figura 36 y Figura 37 se presentan las curvas de concentración y el porcentaje de inhibición de la germinación de la *Lactuca sativa*, en un tiempo de exposición de 120 horas, para la época húmeda y seca, respectivamente. En general, se observa una pendiente poco pronunciada, principalmente en las muestras LU-01, LU-02, los cuales corresponden a puntos sin influencia de la descarga de efluentes de la PTAR

Respecto a las muestras LU-03, LU-04 y LU-05, la pendiente aumenta ligeramente, alcanzando un porcentaje de inhibición mayor, y alcanzando para la temporada seca una “Toxicidad aguda”, mientras que para la temporada húmeda una “toxicidad agua leve” para LU-03 y LU-04 y “Toxicidad aguda” para LU-05.

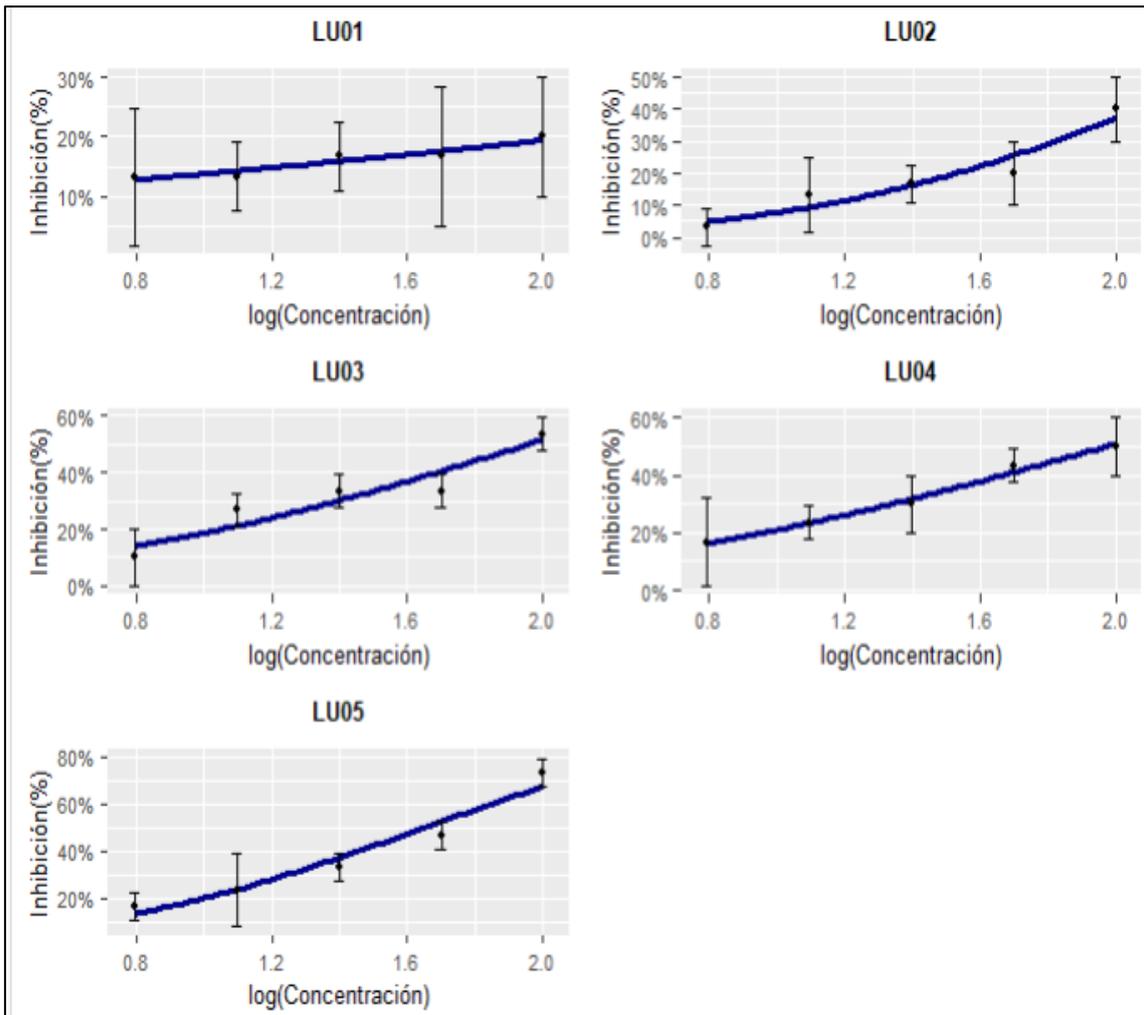


Figura 37: Curva concentración – inhibición de la germinación de la *Lactuca sativa* en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada seca.

4.3.2.2 Inhibición del crecimiento de la radícula

Se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula de la *Lactuca sativa*, usando la longitud promedio del control (L_c) y la longitud promedio de cada tratamiento (L_m), calculándose de la siguiente manera:

$$\text{Inhibición (\%)} = \frac{L_c - L_m}{L_c} * 100$$

En el Anexo N°05, se adjunta el resultado de la medición de radícula para las cinco muestras, en la temporada seca y húmeda.

En la Tabla 26 se presenta el porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula de la *Lactuca sativa*, a una exposición de 120 horas. En general, se observa que el porcentaje de inhibición va incrementándose a una mayor concentración. Sin embargo, en algunas muestras se ha observado un efecto positivo a bajas concentraciones (6.25% y 12.5%), es decir el crecimiento de la radícula, principalmente en las muestras LU-03 y LU-05, para la época húmeda y seca. Esto se conoce como el “efecto hormesis”. Según Matsson, 2008, este término es usado para describir una dosis – respuesta bifásica, es decir, que presenta un efecto beneficioso a una baja concentración y un efecto inhibitorio a una alta dosis.

Cabe indicar que el efecto hormesis ha tenido mayor incidencia en la época húmeda, registrándose en todas las muestras a excepción de la muestra LU-01. Mientras que en la época seca solo se evidenció este efecto en las muestras LU-03 y LU-05.

Otro aspecto importante que señalar, es que las muestras LU-01, LU-02 y LU-04, presentan un porcentaje de inhibición similar, debido a que se tratan de muestras de aguas de río sin o con ligera influencia de las descargas de las PTAR Julio C. Tello y San Bartolo. Asimismo, las muestras LU-03 y LU-05, presentan un porcentaje de inhibición del crecimiento de la radícula mayor.

Tabla 26: Porcentaje de inhibición de la radícula de la *Lactuca sativa*, en un tiempo de exposición de 120 horas

LU-01										
Época	Seca					Húmeda				
Concentración	R1	R2	R3	Prom	Σ	R1	R2	R3	Prom	σ
0%	-7,97	1,92	6,04	0,00	7,20	0,3	1,2	-1,5	0,00	1,35
6,25%	6,04	-2,20	-0,73	1,04	4,40	2,9	1,8	-3,2	0,51	3,29
12,50%	9,34	6,25	10,52	8,70	2,20	4,9	6,9	5,1	5,64	1,07
25%	20,67	22,29	19,94	20,97	1,20	15,1	14,7	15,1	14,95	0,21
50%	25,82	27,66	30,98	28,15	2,61	21,6	19,6	18,1	19,75	1,75
100%	40,93	48,19	43,49	44,20	3,68	39,5	41,5	44,1	41,72	2,32
LU-02										
0%	-0,73	-1,00	1,73	0,00	1,50	0,3	1,2	-1,5	0,00	1,40
6,25%	7,46	-0,73	-0,09	2,21	4,56	-6,3	-7,5	-9,8	-7,85	1,75
12,50%	8,28	9,92	14,01	10,74	2,95	6,5	4,0	5,1	5,19	1,27
25%	19,13	18,11	20,15	19,13	1,02	16,5	16,8	15,1	16,13	0,92
50%	26,30	25,13	22,66	24,69	1,86	24,5	21,6	25,3	23,82	1,95
100%	45,40	50,86	45,95	47,41	3,01	47,0	43,6	39,4	43,32	3,78
LU-03										
0%	2,94	6,15	-9,09	0,00	8,03	1,33	0,30	-1,64	0,00	1,51
6,25%	-3,48	-2,27	0,18	-1,86	1,86	-5,06	-4,83	-11,77	-7,22	3,94
12,50%	-4,28	-3,13	-7,72	-5,04	2,39	2,36	-1,49	-1,31	-0,15	2,17
25%	12,91	11,76	10,43	11,70	1,24	15,49	13,21	12,64	13,78	1,51
50%	27,81	30,10	26,66	28,19	1,75	22,18	20,35	19,06	20,53	1,57
100%	50,27	43,85	47,86	47,33	3,24	48,61	50,32	46,56	48,50	1,89
LU-04										
0%	2,01	-6,00	3,99	0,00	5,29	-3,48	0,70	2,79	0,00	3,19
6,25%	4,24	8,94	-5,62	2,52	7,43	-2,44	-3,37	-6,85	-4,22	2,33
12,50%	7,58	8,69	5,83	7,37	1,44	3,60	2,44	1,44	2,49	1,08
25%	14,74	13,89	14,26	14,30	0,43	17,54	19,36	18,12	18,34	0,93
50%	34,68	31,71	35,86	34,08	2,14	28,32	25,52	23,34	25,73	2,50
100%	40,61	42,10	48,33	43,68	4,10	47,74	44,25	42,51	44,83	2,66
LU-05										
0%	4,97	-5,59	0,61	0,00	5,31	0,07	-1,85	1,78	0,00	1,82
6,25%	-5,59	-0,26	-3,53	-3,12	2,69	-1,85	-12,42	-9,30	-7,86	5,43
12,50%	-7,52	-7,89	-8,49	-7,97	0,49	3,91	2,85	-6,90	-0,04	5,96
25%	27,35	24,03	21,54	24,30	2,92	17,64	15,12	14,90	15,89	1,52
50%	36,07	33,74	38,97	36,26	2,62	32,74	31,14	30,82	31,57	1,03
100%	53,50	56,41	59,32	56,41	2,91	45,55	56,76	51,96	51,42	5,62

En la **Tabla 27** se presenta la toxicidad registrada respecto a la inhibición del crecimiento de la radícula de la *Lactuca sativa*.

Tabla 27: Toxicidad registrada en el crecimiento de la radícula de la *Lactuca sativa*, en un tiempo de exposición de 120 horas.

Muestra	Seca			Húmeda		
	CI ₅₀	UT	Toxicidad	CI ₅₀	UT	Toxicidad
LU-01	>100	0,74	Toxicidad aguda leve	>100	0,72	Toxicidad aguda leve
LU-02	>100	0,83	Toxicidad aguda leve	>100	0,77	Toxicidad aguda leve
LU-03	>100	0,94	Toxicidad aguda leve	>100	0,93	Toxicidad aguda leve
LU-04	>100	0,86	Toxicidad aguda leve	>100	0,84	Toxicidad aguda leve
LU 05	80,44	1,24	Toxicidad aguda	94,99	1,05	Toxicidad aguda

La concentración de inhibición media (CI₅₀) se determinó mediante un análisis Probit. Estos datos se analizaron estadísticamente utilizando el método paramétrico ANOVA, ya que los resultados cumplen con los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas.

De la Tabla 27 se observa que la toxicidad en la parte baja del río Lurín respecto a la inhibición del crecimiento de la radícula oscila entre 0,72 – 1,24 UT, Todas las muestras presentan una “toxicidad aguda leve”, a excepción de la muestra LU-05 que registra un CI₅₀ de 80,44 por ciento (1,24 UT) para la época seca y 94,99 por ciento (1,05 UT) para la época húmeda; clasificándose como “toxicidad aguda”, según la escala de Persoone *et al.* (2003).

Asimismo, se registra mayor toxicidad en la época seca que en la húmeda, debido principalmente al caudal del recurso hídrico. Ordenando la toxicidad se tiene lo siguiente: LU-01 < LU-02 < LU-04 < LU-03 < LU-05 para la época seca y húmeda. Cabe señalar que las toxicidades más bajas corresponden a muestras tomadas previa a la descarga de las aguas residuales tratadas de las dos PTAR de la presente investigación (Julio C. Tello y San Bartolo). Mientras que las mayores toxicidades, corresponden a aguas debajo de las descargas.

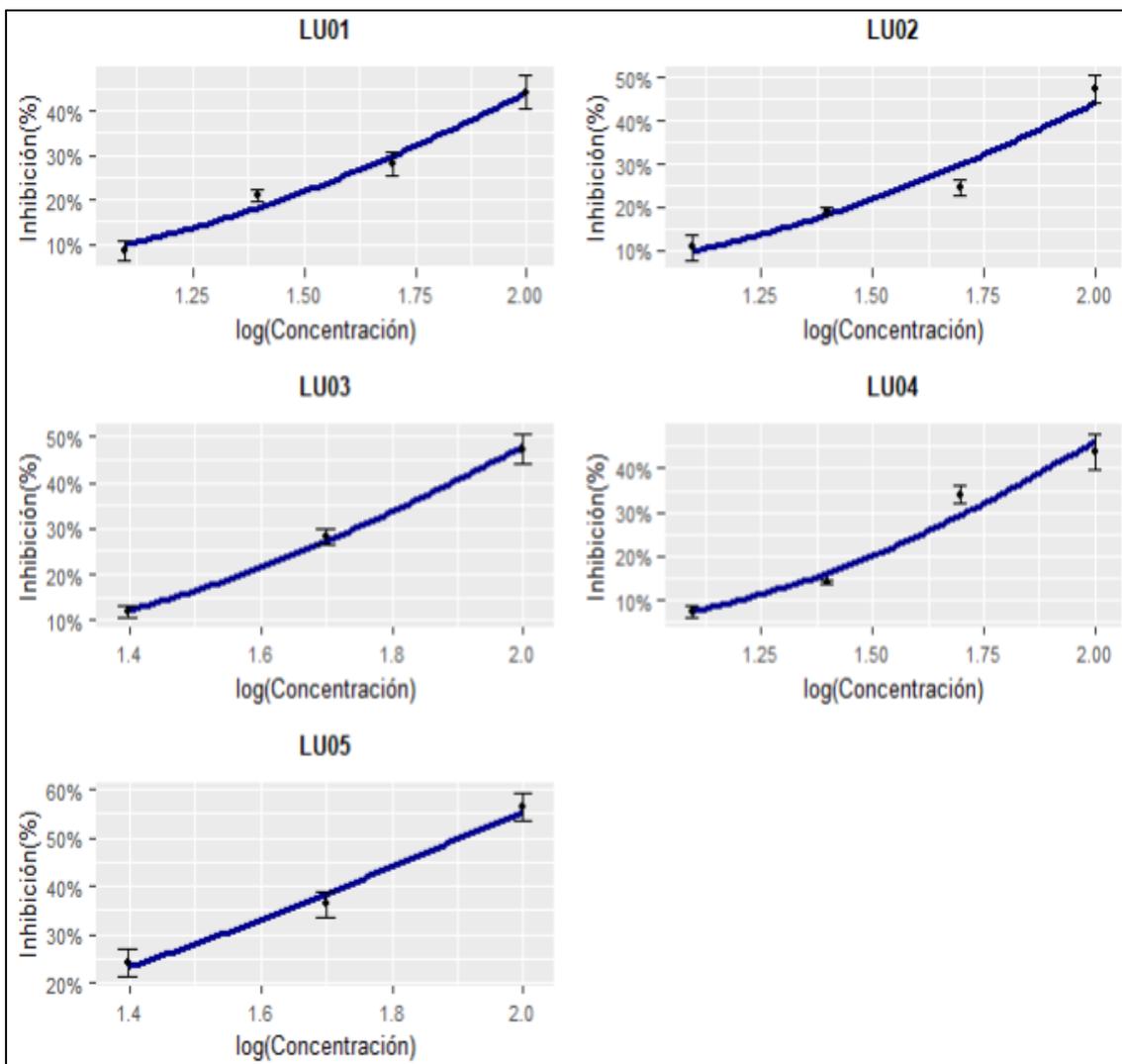


Figura 38: Curva concentración – inhibición del crecimiento de la raíz de la *Lactuca sativa* en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada seca.

En las Figura 38 y Figura 39 se presentan las curvas de concentración y porcentaje de inhibición del crecimiento de la raíz de la *Lactuca sativa*, en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada seca y húmeda, respectivamente. Al respecto, se observa que el porcentaje de inhibición va aumentando con la concentración. Cabe precisar que, las muestras LU-03 y LU-05 presentaron el efecto de hormesis para la temporada húmeda y seca, por lo que los valores a las concentraciones de 6,25 y 12,5 por ciento, fueron retirados del análisis Probit y, por ende, las gráficas se han afectado.

Respecto a las muestras LU01, LU-02 y LU-03, también presentaron hormesis a una concentración de 6,25 por ciento, por lo que dichos datos no fueron incluidos en el presente análisis.

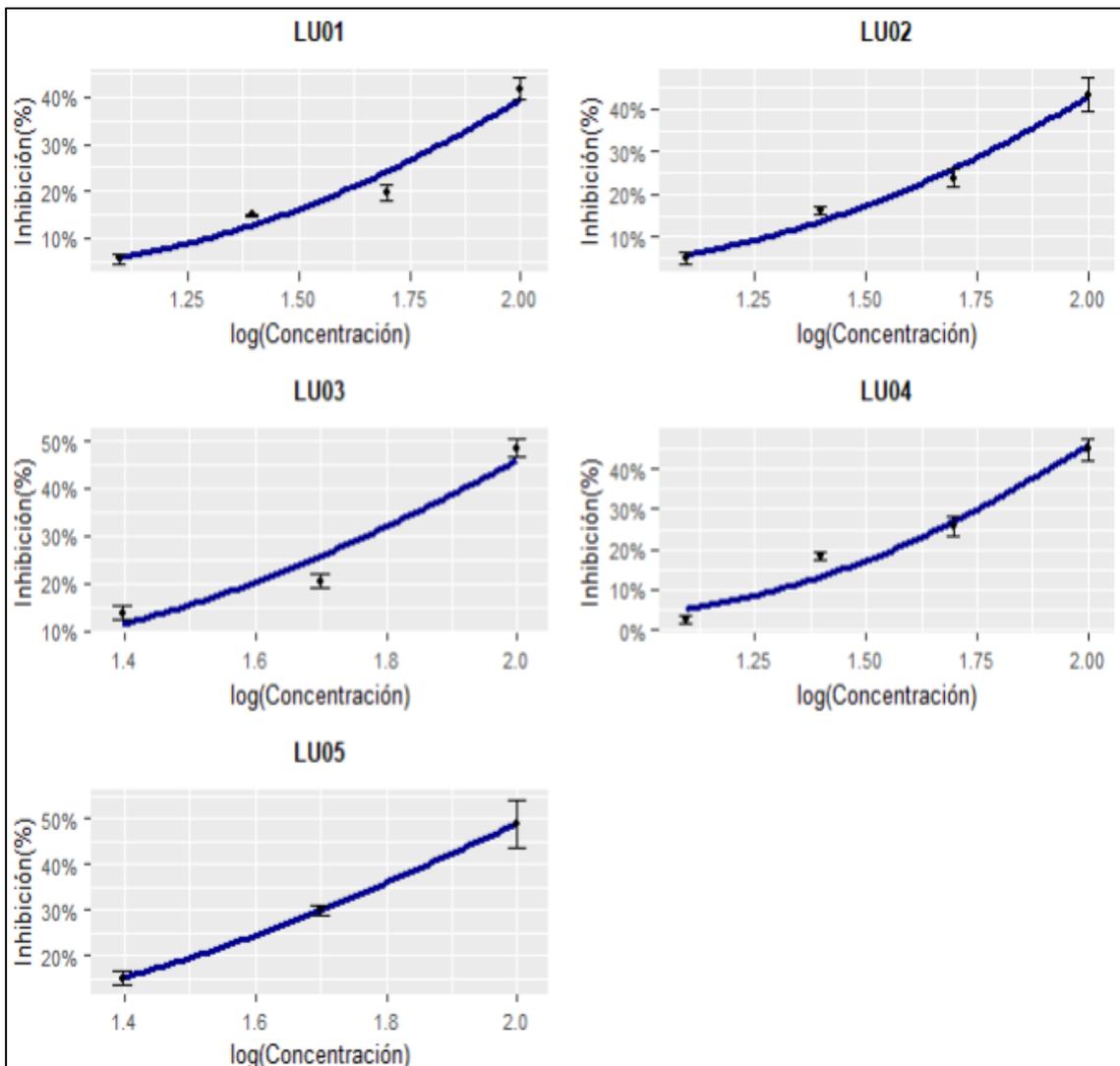


Figura 39: Curva concentración – inhibición del crecimiento de la radícula de la *Lactuca sativa* en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada húmeda.

4.3.2.3 Inhibición del crecimiento del hipocótilo

Se determinó el porcentaje de inhibición del elongamiento del hipocótilo de la *Lactuca sativa*, usando la longitud promedio del control (L_c) y la longitud promedio de cada tratamiento (L_m), calculándose de la siguiente manera:

$$\text{Inhibición (\%)} = \frac{L_c - L_m}{L_c} * 100$$

En el Anexo N°05, se adjunta el resultado de la medición del hipocótilo para las cinco muestras, en la temporada seca y húmeda.

En la Tabla 28 se observa el porcentaje de inhibición del crecimiento del hipocótilo de la *Lactuca sativa*, a una exposición de 120 horas. Este presenta un comportamiento similar a la radícula, en el que el porcentaje de inhibición va aumentando a una alta concentración. Además, se aprecia también el efecto hormesis tal como en la radícula, aunque en menor grado principalmente en las muestras LU-03 y LU-05, a una concentración de 6,25 por ciento.

Estudios similares como el de Rodríguez *et al.* (2014), sobre la calidad del río Chalma en México, identificaron la relación de las variables de la calidad del agua, con la inhibición de la germinación y crecimiento de la radícula e hipocótilo. Para una zona con alta concentración de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) se podría generar la inhibición de la germinación de las semillas de *Lactuca sativa*, pero promover el elongamiento de la radícula.

Otros estudios similares señalan que las altas concentraciones de nutrientes en las aguas residuales podrían producir un efecto tóxico enmascarado por un alto potencial nutricional y estimulación del crecimiento (Zaltauskaité, & Vaisaiunaité, 2010, Gagneten, *et al.*, 2021). Esto explicaría el efecto beneficioso registrado en el crecimiento de la radícula e hipocótilo de las muestras LU-03 y LU-05 a bajas concentraciones y un efecto tóxico a altas concentraciones.

Tabla 28: Porcentaje de inhibición del hipocótilo de la *Lactuca sativa*, en un tiempo de exposición de 120 horas.

LU-01										
Época	Seca					Húmeda				
Concentración	R1	R2	R3	Prom	σ	R1	R2	R3	Prom	Σ
0%	-0,13	1,88	-1,74	0,00	1,81	-4,96	-3,31	8,26	0,00	7,20
6,25%	-0,54	1,88	-0,09	0,42	1,28	0,83	-6,92	-1,24	-2,44	4,01
12,50%	5,50	3,49	6,93	5,30	1,73	9,09	10,01	12,19	10,43	1,59
25%	17,56	13,25	16,70	15,84	2,28	20,97	16,44	21,49	19,63	2,78
50%	24,74	23,59	23,09	23,81	0,85	26,54	27,46	28,57	27,52	1,02
100%	44,37	43,70	36,23	41,43	4,52	35,66	30,27	32,05	32,66	2,74
LU-02										
0%	-0,20	0,83	-0,62	0,00	0,75	-5,34	11,07	-5,73	0,00	9,59
6,25%	1,48	-3,99	5,97	1,15	4,99	-5,44	1,72	-8,78	-4,17	5,36
12,50%	6,11	5,27	8,95	6,78	1,93	10,52	8,40	14,60	11,17	3,15
25%	16,32	18,60	17,90	17,61	1,17	23,66	18,76	20,48	20,97	2,49
50%	28,95	31,43	30,30	30,23	1,24	28,44	29,12	30,03	29,19	0,80
100%	38,95	41,06	40,22	40,07	1,06	42,75	33,21	34,16	36,70	5,26
LU-03										
0%	0,94	0,54	-1,48	0,00	1,29	2,54	-2,61	0,07	0,00	2,58
6,25%	6,98	-4,70	-6,04	-1,25	7,16	-6,97	-5,39	7,39	-1,65	7,87
12,50%	3,86	-2,40	-1,25	0,07	3,33	8,48	9,87	5,48	7,94	2,24
25%	14,29	14,86	15,44	14,86	0,58	18,12	16,36	14,16	16,21	1,98
50%	30,87	21,19	26,37	26,14	4,85	23,03	26,21	24,23	24,49	1,61
100%	55,70	54,90	52,68	54,43	1,56	43,74	37,93	42,16	41,28	3,00
LU-04										
0%	-0,66	1,00	-0,34	0,00	0,88	-1,36	-0,45	1,82	0,00	1,64
6,25%	3,69	2,88	5,32	3,96	1,24	6,82	7,58	7,07	7,15	0,39
12,50%	12,49	10,42	10,05	10,99	1,32	12,12	11,62	13,64	12,46	1,05
25%	23,66	21,99	20,78	22,14	1,45	18,18	21,43	21,21	20,27	1,82
50%	32,34	30,96	29,58	30,96	1,38	32,47	34,66	33,33	33,49	1,10
100%	43,39	45,11	40,35	42,95	2,41	45,45	43,18	38,18	42,27	3,72
LU-05										
0%	1,69	-2,11	0,41	0,00	1,93	0,88	0,42	-1,30	0,00	1,15
6,25%	0,74	-1,51	-0,98	-0,58	1,18	-6,13	-7,06	-3,44	-5,55	1,88
12,50%	-6,85	2,76	-0,68	-1,59	4,87	1,82	3,38	0,06	1,75	1,66
25%	24,49	24,29	23,68	24,15	0,42	15,84	14,29	12,50	14,21	1,67
50%	40,16	38,45	36,74	38,45	1,71	28,31	25,97	30,81	28,36	2,42
100%	50,13	50,85	54,41	51,80	2,29	49,35	44,68	46,23	46,75	2,38

Por otro lado, según Priac, Badot & Crini, 2017; la medición de la radícula es un parámetro más sensible en comparación con el hipocótilo. Gonzales *et al.* (2015), explican que esto se debe a que la radícula es la primera en entrar en contacto con los contaminantes, por lo que resulta más afectada; generando un efecto perjudicial para el desarrollo de la planta. De la Tabla 28 se observa que el porcentaje de inhibición de la radícula es ligeramente mayor que en hipocótilo, alcanzando para la muestra LU-05 en la época seca, un valor de 56,41 por ciento. Mientras que en el hipocótilo un 51,80 por ciento. Cabe precisar, que la muestra LU-05 es la que presenta mayor porcentaje de inhibición tanto para la radícula que el hipocótilo. Asimismo, en general se aprecia un mayor porcentaje de inhibición en la época seca, que en la húmeda.

En la siguiente tabla se presenta la toxicidad registrada en la inhibición del crecimiento del hipocótilo de la *Lactuca sativa* para las cinco muestras recogidas en la parte baja de la cuenca del río Lurín.

Tabla 29: Toxicidad registrada en la elongación del hipocótilo de la *Lactuca sativa*, en un tiempo de exposición de 120 horas.

Muestra	Seca			Húmeda		
	CI ₅₀	UT	Toxicidad	CI ₅₀	UT	Toxicidad
LU-01	>100	0,72	Toxicidad aguda leve	>100	0,34	No tóxico
LU-02	>100	0,69	Toxicidad aguda leve	>100	0,47	Toxicidad aguda leve
LU-03	91,43	1,09	Toxicidad aguda	>100	0,68	Toxicidad aguda leve
LU-04	>100	0,76	Toxicidad aguda leve	>100	0,73	Toxicidad aguda leve
LU 05	90,15	1,11	Toxicidad aguda	>100	0,93	Toxicidad aguda leve

Los parámetros fueron determinados mediante un análisis probit. Estos datos se analizaron estadísticamente utilizando el método paramétrico ANOVA, ya que cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas; a excepción de la muestra LU-05 para la temporada seca, que se evaluó la prueba no paramétrica de Fligner-Killeen.

De la Tabla 29 se observa que la toxicidad en la parte baja del río Lurín respecto a la inhibición de la elongación del hipocótilo se encuentra en el rango de 0,34 a 1,11 UT.

Respecto a la época húmeda, la muestra LU-01 registra 0.34 UT clasificándose como “no tóxico”, según la escala de Persoone *et al.* (2003). El resto de muestras LU-02 (0,47 UT),

LU-03 (0,69 UT), LU-04 (0,73 UT) y LU-05(0,93 UT), se registran como “toxicidad aguda leve” (Tabla 29).

En cuanto a la época seca, las muestras LU-01, LU-02 y LU-04 presentan 0,72; 0,69 y 0,76 UT, respectivamente; presentando una “toxicidad aguda leve”, Asimismo, las muestras LU-30 y LU-05 registran un CI_{50} de 91,34 (1,09 UT) y 90,15 (1,11 UT) por ciento, respectivamente, que de acuerdo con la escala de Persoone *et al*, (2003) presentan una “toxicidad aguda”.

Similar a la inhibición del crecimiento de la radícula, se registra mayor toxicidad en la época seca que en la húmeda, debido principalmente al caudal del recurso hídrico. Ordenando la toxicidad se tiene lo siguiente: LU-02 < LU-01 < LU-04 < LU-03 < LU-05 para la época seca y LU-01 < LU-02 < LU-03 < LU-04 < LU-05 para la época húmeda. Si bien, se aprecia una variación en el orden de las toxicidades de las muestras, entre ambas temporadas, la muestra LU-05 continúa registrando la de mayor toxicidad.

En general, comparando las toxicidades obtenidas del porcentaje de inhibición de la germinación y elongación de la radícula e hipocótilo de la *Lactuca sativa* respecto al bioensayo con la *Daphnia magna*, se observa que registra una menor toxicidad. Frente a ello, en estudios similares como el de Zaltauskaité & Vaisaiunaité (2010), encontraron que la *Lactuca sativa* no es muy sensible al agua residual, mientras que los invertebrados acuáticos como la *Daphnia magna* si lo son.

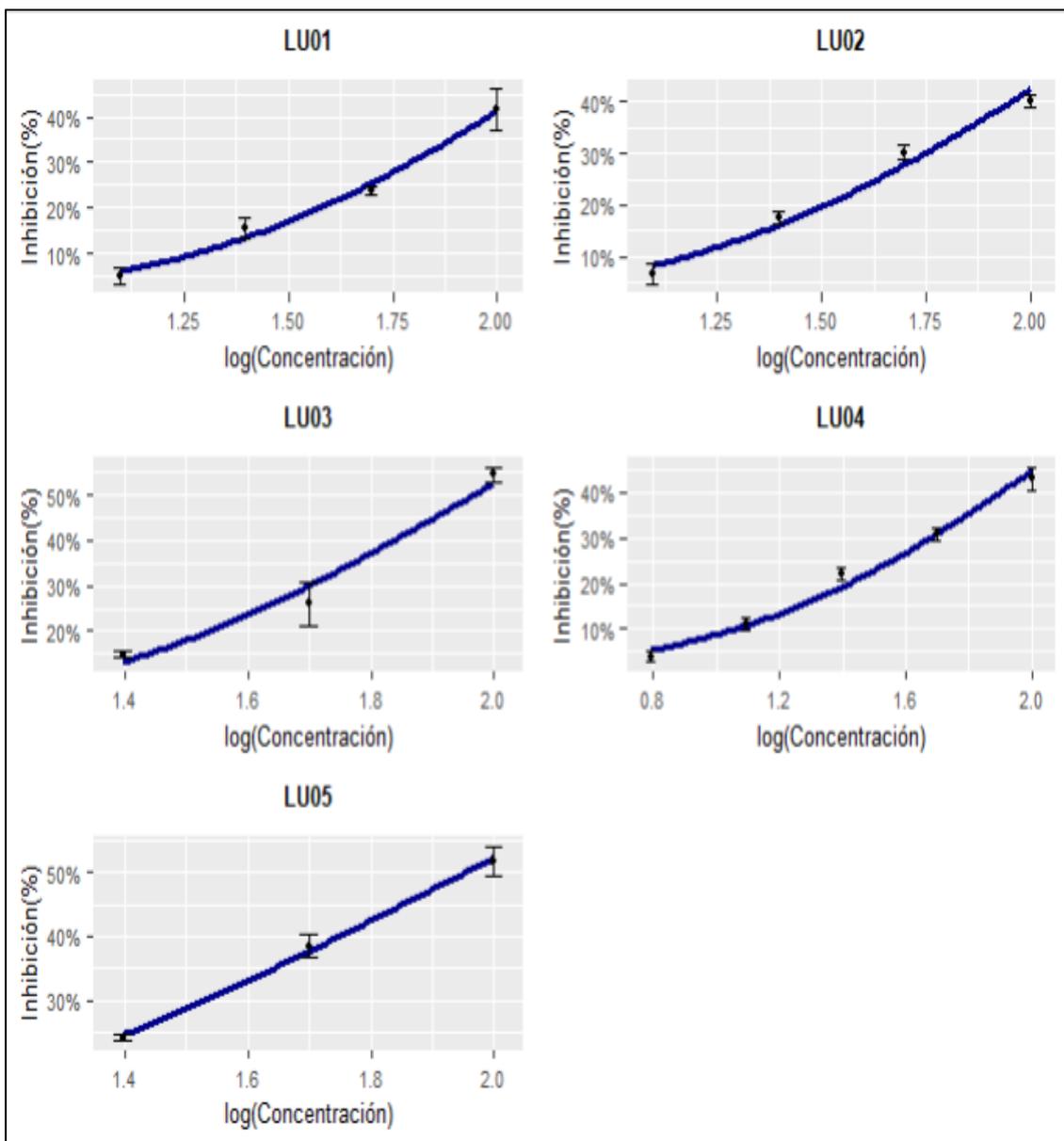


Figura 40: Curva concentración – inhibición de la elongación del hipocótilo de la *Lactuca sativa* en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada seca.

En las Figura 40 y Figura 41 se presentan las curvas de concentración y porcentaje de inhibición del elongamiento del hipocótilo de la *Lactuca sativa*, en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada seca y húmeda, respectivamente.

Se observa que el porcentaje de inhibición va aumentando con la concentración. Cabe precisar que, las muestras LU-03 y LU-05 presentaron el efecto de hormesis en la temporada seca, por lo que los valores a las concentraciones de 6,25 y 12,5 por ciento fueron retirados del análisis Probit, y por ende, las gráficas se han afectado, por lo que han adquirido una forma lineal.

En cuanto a las muestras LU01, LU-02 y LU-03, también presentaron hormesis a una concentración de 6,25 por ciento, en la temporada seca, por lo que dichos datos no fueron incluidos en el presente análisis.

Respecto a la temporada húmeda (Figura 41), se presentó el efecto de hormesis para todas las muestras a una concentración de 6,25 por ciento.

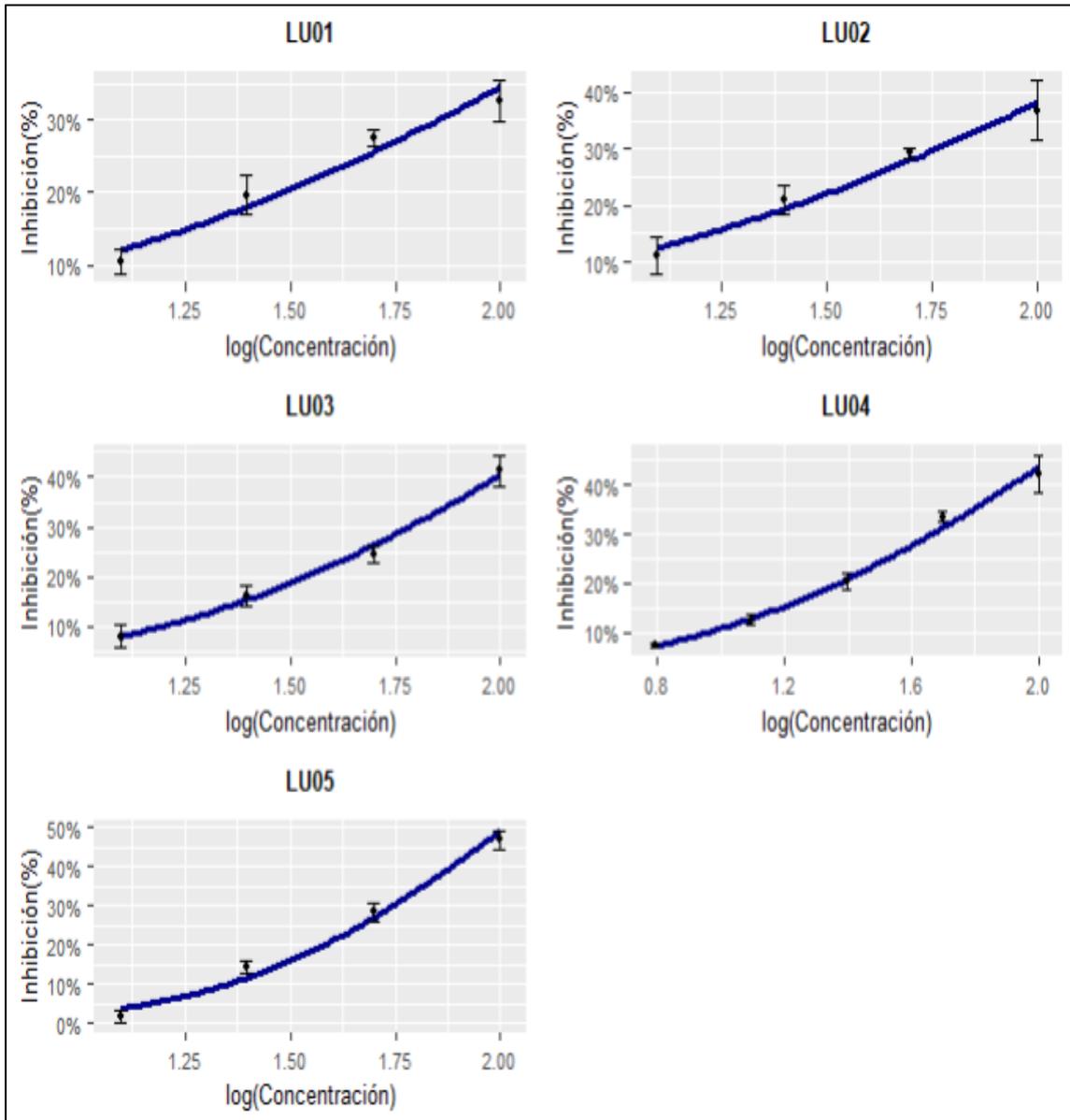


Figura 41: Curva concentración – inhibición de la elongación del hipocótilo de la *Lactuca sativa* en un tiempo de exposición de 120 horas, para la temporada húmeda.

4.3.3 *Vibrio fischeri*

Para la realización de esta prueba ecotoxicológica, se siguieron los lineamientos expuestos en el protocolo BioTox™ WaterTox™ EVO Kit 1243-500, el cual se basa en el ISO 11348-3: Water quality – Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (luminescent bacteria test).

El porcentaje de inhibición de la bioluminiscencia del *Vibrio fischeri* se ha calculado midiendo la intensidad de la bioluminiscencia a un tiempo de exposición de 15min (IT_f) y al inicio del test (IT_0). Para ello se ha utilizado la siguiente fórmula.

$$\text{Inhibición (\%)} = 100 - 100 * \frac{IT_{15}}{KF * IT_0} * 100$$

Dado que la disminución de la bioluminiscencia ocurre de manera natural a través del tiempo, se aplica un coeficiente de corrección (KF), midiendo la intensidad de la bioluminiscencia del control negativo al inicio del test (IC_0) y a los 15 minutos de exposición (IC_{15}).

$$KF = \frac{IC_{15}}{IC_0}$$

En el Anexo N°05, se adjunta el resultado de la medición de la bioluminiscencia en RLU (del inglés Relative Light Units).

En la Tabla 30, se presenta los porcentajes de inhibición de la bioluminiscencia de *Vibrio fischeri*, el promedio por concentración y su desviación estándar, para la temporada seca húmeda. Se observa que al igual que en los dos bioensayos anteriores (*Daphnia magna* y *Lactuca sativa*) el punto LU-05 presenta mayor porcentaje de inhibición de la bioluminiscencia de *Vibrio fischeri* para ambas temporadas. Cabe precisar que, dicha muestra corresponde la tomada 200 metros aguas debajo de la descarga de la PTAR de San Bartolo.

Respecto a los puntos LU-01 y LU-02, los porcentajes de inhibición son bajos incluso a una exposición del 100 por ciento de la muestra. Ambos puntos corresponden a muestras del río Lurín, tomadas aguas arriba a la descarga de efluentes de las PTAR San Bartolo y Julio. C. Tello.

Tabla 30. Porcentaje de inhibición de la bioluminiscencia de *Vibrio fischeri*

Temporada	Seca					Húmeda					
	Concentración	R1	R2	R3	Prom	σ	R1	R2	R3	Prom	σ
	0%	1,09	1,09	1,12	1,10	0,01	1,08	1,07	1,09	1,08	0,01
LU-01											
	100%	7,23	6,17	8,11	7,17	0,97	8,00	6,05	5,55	6,53	1,30
	50%	2,78	2,18	3,95	2,97	0,90	2,47	2,76	3,42	2,88	0,49
	25%	0,44	1,22	0,98	0,88	0,40	1,54	1,49	1,44	1,49	0,05
	12,5%	-1,15	0,49	0,59	-0,02	0,98	-0,91	0,52	-0,54	-0,31	0,74
	6,25%	-1,71	-1,34	0,44	-0,87	1,15	-0,37	-0,64	-0,07	-0,36	0,29
LU-02											
	100%	5,74	7,91	7,36	7,00	1,12	5,07	5,35	6,44	5,62	0,72
	50%	2,48	1,41	2,53	2,14	0,63	1,80	1,95	2,36	2,04	0,29
	25%	0,73	0,96	1,50	1,07	0,40	0,69	1,07	0,93	0,89	0,19
	12,5%	0,02	-2,28	-0,35	-0,87	1,24	0,72	-1,37	0,41	-0,08	1,13
	6,25%	-1,55	-2,36	-1,93	-1,94	0,40	-1,43	-0,47	0,69	-0,40	1,06
LU-03											
	100%	17,39	19,03	20,21	18,88	1,42	11,97	10,52	13,94	12,14	1,72
	50%	4,10	3,39	3,19	3,56	0,48	3,64	4,36	3,70	3,90	0,40
	25%	1,00	2,10	2,39	1,83	0,73	2,03	1,77	2,29	2,03	0,26
	12,5%	0,45	0,61	0,89	0,65	0,22	0,36	0,54	0,32	0,41	0,12
	6,25%	-0,84	-0,56	-0,63	-0,67	0,15	-1,02	-0,48	0,13	-0,46	0,58
LU-04											
	100%	16,36	18,13	23,06	19,18	3,47	14,08	14,44	17,01	15,18	1,60
	50%	3,91	3,11	4,04	3,69	0,50	4,33	3,11	3,53	3,66	0,62
	25%	2,62	2,67	2,51	2,60	0,08	2,57	2,38	2,69	2,55	0,15
	12,5%	1,73	1,16	1,10	1,33	0,35	1,09	0,61	0,54	0,74	0,30
	6,25%	0,13	0,25	0,20	0,19	0,06	0,36	-0,08	-1,52	-0,41	0,98
LU-05											
	100%	27,72	25,95	28,59	27,42	1,35	18,14	19,15	21,57	19,62	1,76
	50%	4,59	3,14	4,88	4,20	0,93	4,44	4,60	4,20	4,41	0,20
	25%	2,52	2,47	3,13	2,71	0,37	2,80	3,53	3,51	3,28	0,42
	12,5%	0,98	1,23	1,50	1,24	0,26	1,43	1,52	1,40	1,45	0,06
	6,25%	0,43	0,26	0,33	0,34	0,09	-0,20	-0,46	0,77	0,03	0,65

Cabe precisar que, el método cinético para determinación de inhibición de la bioluminiscencia de *Vibrio fischeri*, que se utilizó en la presente investigación, no sufre interferencias debido al color o turbidez de la muestra. Por tanto, se puede analizar las muestras de aguas residuales como si fueran transparentes, es decir, sin alterar el resultado. (Correia *et al.*, 2004).

Liwerska-Bizukojc, E. (2022), sostiene que el bioensayo con *Vibrio fischeri* es un buen indicador, organismo modelo y sensible para evaluar la toxicidad en aguas residuales.

En la Tabla 31 se presenta la Concentración de Inhibición Media (CI₅₀) y la Unidad Tóxica (UT), determinada mediante un análisis Probit, para la temporada seca y húmeda. Cabe precisar que, los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente, utilizando métodos no paramétricos, para evaluar la homogeneidad de varianzas; a excepción de la muestra LU-01 para ambas temporadas, y en la muestra LU-02 en la época húmeda, que se evaluó con el método paramétrico ANOVA (análisis de varianzas), ya que cumplía con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Asimismo, es importante señalar que las muestras LU-01 y LU-02 presentaron el efecto de hormesis para la temporada húmeda y seca, en las concentraciones de 6,25 y 12,5 por ciento, mientras que las muestras LU-03 y LU-04, para la concentración de 6,25 por ciento (Ver Tabla 30). Por tanto, dichos valores no fueron considerados en el análisis Probit y, por ende, las gráficas se han afectado (Ver Figura 42 y Figura 43).

Tabla 31: Toxicidad registrada en la bioluminiscencia del *Vibrio fischeri*

Muestra	Seca			Húmeda		
	CI ₅₀	UT	Toxicidad	CI ₅₀	UT	Toxicidad
LU-01	>100	0,17	No tóxico	>100	0,11	No tóxico
LU-02	>100	0,21	No tóxico	>100	0,14	No tóxico
LU-03	>100	0,55	Toxicidad aguda leve	>100	0,39	No tóxico
LU-04	>100	0,52	Toxicidad aguda leve	>100	0,40	Toxicidad aguda leve
LU 05	>100	0,71	Toxicidad aguda leve	>100	0,49	Toxicidad aguda leve

De la Tabla 31, se observa que las muestras recogidas en los puntos LU-01 y LU-02, no registraron toxicidad, tanto para la temporada seca como para la húmeda, según la escala de Persoone *et al.* (2003).

Respecto al punto LU-03, alcanzó 0,55 UT en la temporada seca, clasificándose como “Toxicidad aguda leve”, mientras que, en la temporada húmeda, se registró como “No Tóxico” según Persoone *et al.* (2003).

Las muestras LU-04 y LU-05, en la época seca presentaron 0,52 UT y 0,71 UT, respectivamente; y para la época húmeda, 0,40 UT y 0,49 UT, respectivamente. En la escala de Persoone *et al.* (2003); corresponde a una “Toxicidad aguda leve” (Tabla 31).

En líneas generales, la toxicidad respecto al *Vibrio fischeri* en la parte baja del río Lurín oscila entre 0.11 – 0.71 UT. Terasaki, M., Makino, M & Tatarazako, N (2008) señalan la toxicidad registrada por el *Vibrio fischeri* está correlacionada con la hidrofobicidad. Asimismo, los autores encontraron que el *Vibrio fischeri* es más sensible que la *Daphnia magna* para la determinación de la toxicidad agua de los parabenos.

Comparando con los tres bioensayos (*Daphnia magna*, *Lactuca sativa* y *Vibrio fischeri*) presenta se podría indicar que el *Vibrio fischeri* es un microorganismo que presenta una menor sensibilidad. Vásquez, M & Fatta-Kassinis, D. (2013), obtuvieron resultados similares en su investigación sobre la toxicidad de los efluentes en dos plantas de tratamiento de aguas residuales en Chipre (A y B), en la que encontraron que el *Vibrio fischeri* es menos sensible (microorganismo marino) frente a la *Daphnia magna* (microorganismo de agua dulce). Por tanto, de los expuesto líneas anteriores, se podría inferir que las muestras tomadas para la presente investigación contienen baja concentración de parabenos, que son preservantes comúnmente utilizados en cosméticos.

Otro factor importante a inferir es que para un mismo punto de muestreo la toxicidad es mayor en la época seca (estiaje), debido al menor caudal registrado en el río, que concentra los contaminantes. Al respecto, Vásquez & Fatta-Kassinis (2013), también encontraron que la toxicidad de los efluentes es usualmente menor en los meses de invierno (A, UT= no tóxico; B, UT= 1,4-1,8), en comparación con la época de estiaje (A, UT= 1-2; B, UT= 4-4,3), tal como se evidencia en la presenta investigación en la que la toxicidad es menor en la temporada seca (estiaje).

Ordenando la toxicidad se tiene lo siguiente: LU-01 < LU-02 < LU-04 < LU-03 < LU-05 para la época seca (Tabla 31). Cabe precisar que, LU-03 y LU-05 corresponden a 200 metros aguas debajo de la descarga de efluentes de las PTAR. Respecto a la época húmeda, la toxicidad se ordena: LU-01 < LU-02 < LU-03 < LU-04 < LU-05 (Tabla 31).

La mayor toxicidad registrada en la muestra LU-05, se infiere se debe a la presencia de la materia orgánica (nitrógeno y fósforo principalmente), producto la descarga de los efluentes de la PTAR San Bartolo. Estudios similares como el de Raclavska, Drozdova & Hartmann (2021), evaluaron la toxicidad de las aguas residuales municipales en la Ciudad de Ostrava (República Checa), con *Vibrio fischeri*, en la que concluyeron que la inhibición se ve afectada principalmente por la presencia de sustancias orgánicas y nutrientes en el agua.

En la Figura 42 se presenta la curva concentración – inhibición de la bioluminiscencia registrada en el *Vibrio fischeri*, para las cinco muestras tomadas en la temporada seca. Se observa que, a una mayor concentración, el porcentaje de inhibición va aumentando, sin embargo, se precisa que ninguna muestra alcanzó el 100 por ciento de inhibición. Parvez, Venkataraman & Mukherji (2006), sostienen que la producción de luz es proporcional al metabolismo de la actividad de la población bacteriana, por lo que cualquier inhibición de la actividad enzimática provoca una disminución de la bioluminiscencia.

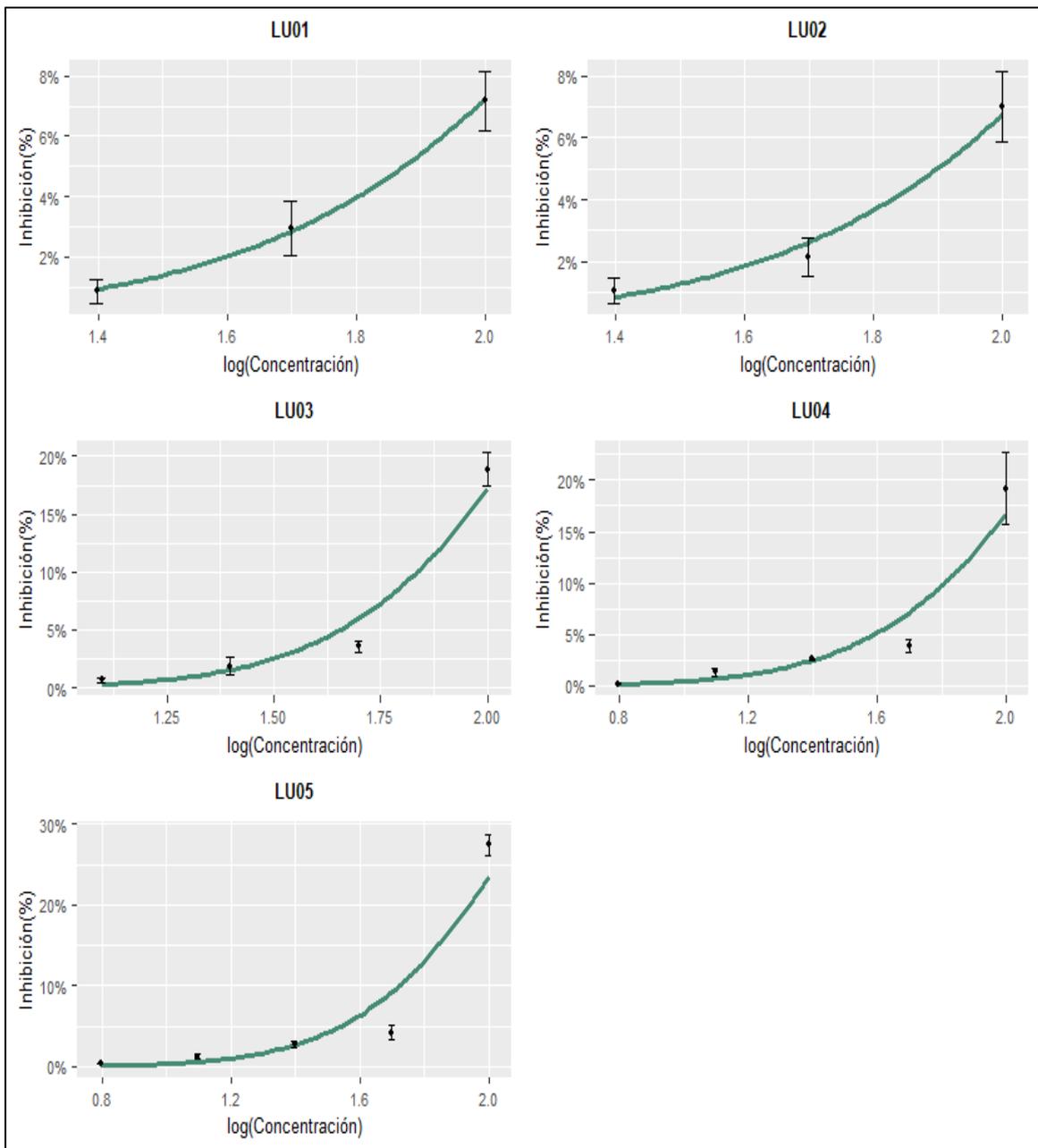


Figura 42: Curva concentración – inhibición de la bioluminiscencia del *Vibrio fischeri* en un tiempo de exposición de 15 minutos, para la temporada seca.

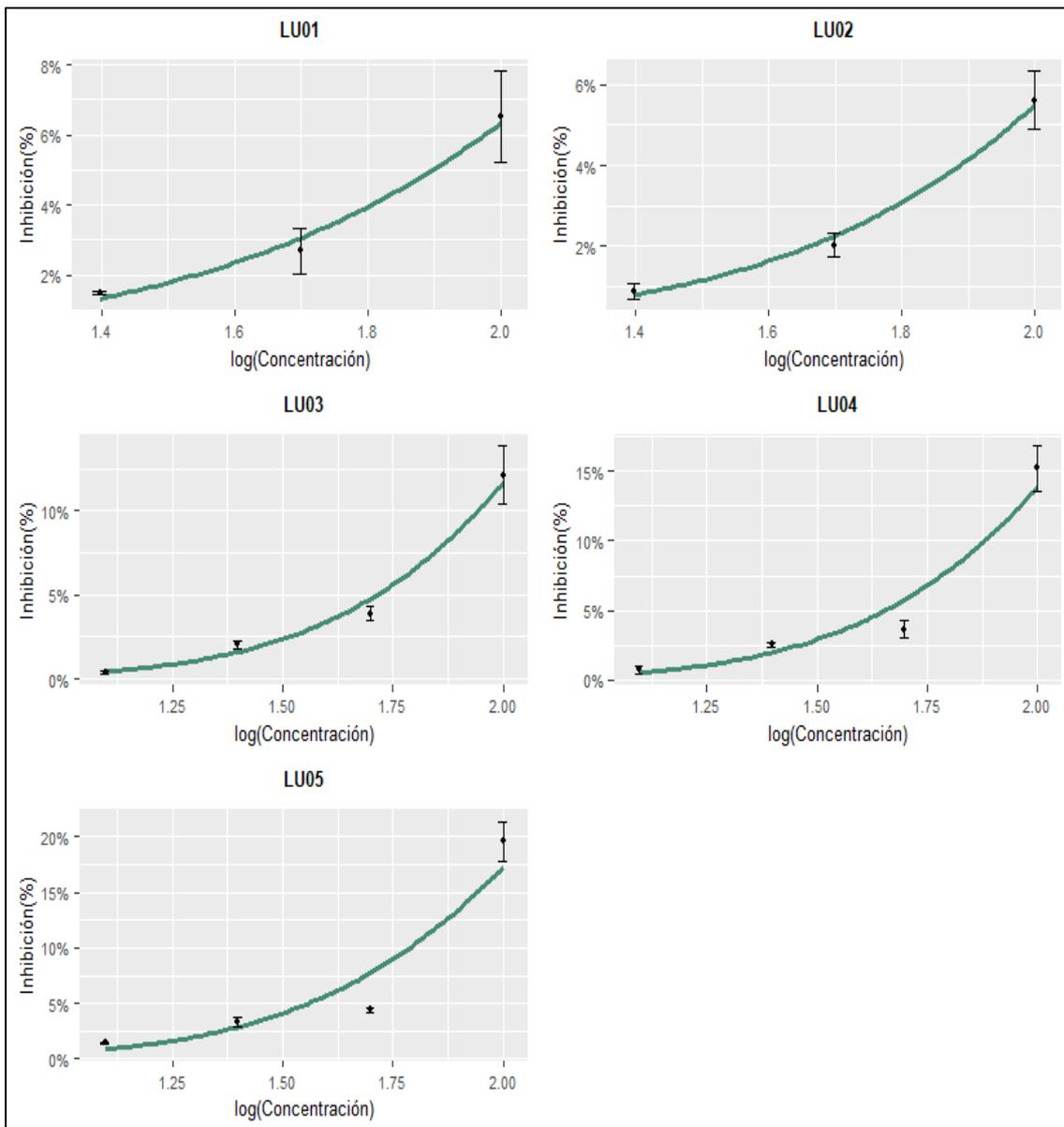


Figura 43: Curva concentración – inhibición de la bioluminiscencia del *Vibrio fischeri* en un tiempo de exposición de 15 minutos, para la temporada húmeda.

De la Figura 43 se observa que similar a la figura anterior, a una mayor concentración el porcentaje de inhibición aumenta. La muestra LU-05 presenta el mayor porcentaje de inhibición de la bioluminiscencia del *Vibrio fischeri* cuando se expone a una concentración del 100 por ciento.

4.4 Análisis del riesgo ecotoxicológico

4.4.1 Unidad tóxica (UT)

Para determinar la toxicidad de las muestras recogidas en la cuenca baja del río Lurín, se calcularon las unidades tóxicas, para los bioensayos con *Daphnia magna* respecto al porcentaje de mortalidad a las 24 y 48 horas, el porcentaje de inhibición de la germinación, crecimiento del hipocótilo y radícula de la *Lactuca sativa*; y el porcentaje de inhibición de la bioluminiscencia del *Vibrio fischeri*.

Tabla 32: Unidades tóxicas registradas en la época seca, para los bioensayos con *Daphnia magna*, *Lactuca sativa* y *Vibrio fischeri*.

Muestra	Daphnia magna		Lactuca sativa			Vibrio fischeri	Toxicidad Promedio
	24h	48h	Ger	Rad	Hip	Bioluminiscencia	
LU-01	0,47	0,66	1	0,74	0,72	0,17	0,627
LU-02	0,47	0,75	0,56	0,83	0,69	0,21	0,585
LU-03	1,09	1,55	1,06	0,94	1,09	0,55	1,047
LU-04	1,08	1,49	1,08	0,86	0,76	0,52	0,965
LU-05	3,70	4,11	2,17	1,24	1,11	0,71	2,173

Nota: Ger = germinación, Rad=radícula, Hip = hipocótilo.

En la Tabla 32 se presentan las unidades tóxicas promedio registradas en la época seca. Se evidencia que la muestra LU-05 presenta la mayor toxicidad promedio y LU-02 la más baja. Respecto a la época húmeda (Tabla 33), presenta un comportamiento similar, siendo LU-05 la muestra más toxica en promedio. En general, la época seca presenta mayor toxicidad que la húmeda, alcanzando una “toxicidad aguda” según la escala de Persoone *et al.* (2003).

Tabla 33: Unidades tóxicas registradas en la época húmeda, para los bioensayos con *Daphnia magna*, *Lactuca sativa* y *Vibrio fischeri*

Muestra	Daphnia magna		Lactuca sativa			Vibrio fischeri	Toxicidad Promedio
	24h	48h	Ger	Rad	Hip	Bioluminiscencia	
LU-01	0,39	0,56	0,27	0,72	0,34	0,11	0,398
LU-02	0,39	0,41	0,22	0,77	0,47	0,14	0,400
LU-03	0,71	1,16	0,66	0,93	0,68	0,39	0,755
LU-04	0,72	1,29	0,91	0,84	0,73	0,40	0,815
LU-05	2,59	3,06	1,47	1,05	0,93	0,43	1,588

Nota: Ger = germinación, Rad=radícula, Hip = hipocótilo.

4.4.2 Índice de Efecto Tóxico Potencial (IETP)

El Índice de Efecto Tóxico Potencial permite la evaluación y comparación del potencial tóxico de los efluentes (Costan, *et al.*, 1993). Si bien este indicador se utiliza para efluentes, se está usando en la presente investigación para evaluar la toxicidad del río, dado que los principales agentes contaminantes en el área de estudio, son efluentes de las PTAR San Bartolo y Julio C. Tello. Cabe precisar que, durante la época seca el caudal del río Lurín en la parte baja es mínimo, por lo que el caudal medido en el río para las muestras (LU-03, LU-04 y LU-05), corresponden al del efluente principalmente. Respecto a la época húmeda, se realizó el cálculo de manera referencial.

Para su cálculo se midió el caudal del río en cada punto que se recogieron las muestras de agua. Cabe precisar que las condiciones de accesibilidad al río dificultaron la medición exacta del caudal, tal como se detalla en el numeral 3.1.4. En la Tabla 34 se presenta los caudales registrados en todos los puntos muestreados, para la temporada seca.

Tabla 34: Caudal registrado

Muestra	Caudal – Época Seca	
	m ³ /s	m ³ /h
LU-01	0,052	187,2
LU-02	0,052	187,2
LU-03	0,063	226,8
LU-04	0,064	230,4
LU-05	1,021	3675,6

Se observa que los caudales del punto LU-01 y LU-02 son similares, debido a que entre ambos puntos las condiciones son parecidas. Respecto al punto LU-03, el valor del caudal se incrementó, debido a la descarga de la PTAR Julio C. Tello. Un caso similar ocurre para el punto LU-05 que el caudal se incrementó significativamente debido a la descarga de efluente de la PTAR San Bartolo. En el Anexo 8, se presenta el cálculo del caudal.

En la Tabla 35 se presentan los resultados del índice de efecto tóxico potencial (IETP) calculados para la época seca. Cabe precisar que, no se realizó el cálculo del IETP para la época húmeda, debido a que el caudal del río se incrementó considerablemente y difiere del caudal del efluente. Estos valores fueron calculados, de acuerdo a lo descrito en el numeral 3.1.3, donde: i) n es el número de bioensayos, ii) la toxicidad promedio es el promedio de las unidades tóxicas (UT) registradas para cada bioensayo, iii) la carga tóxica es la toxicidad promedio por la cantidad de bioensayos y iv) el porcentaje en relación a la carga tóxica.

Los bioensayos considerados fueron: la mortalidad de *Daphnia magna* a las 24h y 48h, la inhibición de la germinación, radícula e hipocótilo de la *Lactuca sativa* y la inhibición de la bioluminiscencia del *Vibrio fischeri*.

Tabla 35: Efecto tóxico potencial de cada muestra recolectada en la cuenca baja del río Lurín, en la época seca

Muestra	N	Toxicidad promedio	Caudal (m3/h)	Carga Tóxica	IETP	Porcentaje
LU-01	5	0,627	187,2	3,14	2,77	11,61
LU-02	5	0,585	187,2	2,93	2,74	10,84
LU-03	5	1,047	226,8	5,16	3,07	19,39
LU-04	5	0,965	230,4	4,83	3,05	17,88
LU-05	5	2,173	3675,6	10,79	4,60	40,27

En la temporada seca se observa que el mayor efecto tóxico potencial se registró para el LU-05 con un valor de 4,60 y el mínimo para el LU-02 con 2,74. Asimismo, se evidencia que LU-01 y LU-02 registraron un efecto tóxico similar; al igual que LU-03 y LU-04 (Tabla 35).

Según la escala de clasificación de la carga tóxica en función al IETP, propuesta por Escobar, 2008, citado por Huamán (2016), las muestras LU-01 y LU-02 presentan una

carga tóxica “despreciable”, mientras que LU-03 y LU-04 una carga tóxica “reducida” y LU-05 una carga tóxica “considerable”, alcanzando un 40,29 por ciento, en relación a la carga tóxica total.

Estudios similares, como el de Huamán, 2016, en su investigación sobre la toxicidad del efluente en la laguna de estabilización El Espinar en Puno, determinaron valores de IETP en un rango entre 4,50 – 4,62, similares a lo registrados para la muestra LU-05, en la época seca, que corresponde a 200 metros aguas abajo de la descarga de efluentes de la PTAR San Bartolo, lo cual representa una carga tóxica “considerable”. Por tanto, una mejora en la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales contribuiría a disminuir el efecto tóxico potencial de los efluentes en la parte baja del río Lurín.

Otra investigación realizada por Kusui, & Blaise (1999), en la que realizaron una evaluación ecotoxicológica de veinte efluentes industriales en Japón, calcularon valores de IETP que oscilaban en un rango de 0 a 5,2. Los valores máximos de IETP fueron alcanzados por efluentes provenientes de la producción de aluminio, industria de papel e industria farmacéutica. Asimismo, en Canadá se realizó un ejercicio similar evaluando la toxicidad de 77 efluentes, cuyos valores IETP oscilaron entre 0 a 7,6. Los mayores valores alcanzados corresponden a efluentes de plantas de papel, planta de producción química y una planta de tratamiento de aguas residuales mixta (doméstica e industrial).

En ese sentido, resulta útil y necesario avanzar en la evaluación del riesgo ecológico y vincularlo con la clasificación de los valores del LMP para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

V. CONCLUSIONES

- 5.1 Respecto a las características fisicoquímicas medidas in-situ, la cuenca baja del río Lurín presentó un rango de pH ligeramente alcalino, con condiciones de oxígeno disuelto y temperatura dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), categoría 3, subcategoría D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales. Asimismo, la conductividad eléctrica se registró por debajo del ECA, a excepción de la muestra LU-05 que presentó un valor ligeramente superior.
- 5.2 En cuanto a la evaluación de la calidad del agua, en función a los parámetros fisicoquímicos medidos en el laboratorio, se evidenció que la DBO sobrepasó los valores del ECA categoría 3, subcategoría D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales para la muestra LU-05 alcanzando un valor de 29,4 mg/L, en la época seca. Asimismo, para la DQO alcanzó valores de 63,4 y 61,6 mg/L en el punto LU-05 para la época seca y húmeda, respectivamente. Esto indicaría que el agua residual tratada de la PTAR San Bartolo no podría reutilizarse para el riego de cultivos cercanos a la zona, debido a la alta concentración de materia orgánica. Por tanto, se puede inferir que una mejora en la eficiencia del proceso de tratamiento de dicha PTAR conduciría a reducir el impacto en esta zona de la cuenca del río Lurín. Respecto a la concentración de metales, ninguna muestra superó el valor del ECA categoría 3, subcategoría D1 y D2; obteniéndose valores mínimos. Sin embargo, para la muestra LU-05 se encontraron concentraciones de P, Cu, Ni y Zn de 9,18; 0,02; 0,01 y 0,04 mg/L, respectivamente, que podrían haber influenciado en la medición de la ecotoxicidad de las aguas muestreadas.
- 5.3 De la evaluación de los efectos ecotoxicológicos, se obtuvo: i) En el bioensayo con *Daphnia magna*, se evidenció mayor toxicidad en la época seca, para las cinco muestras. Los puntos LU-03 y LU-05 registraron la máxima toxicidad, con valores de

Concentraciones Letales Medias (CL₅₀) de 64,40 por ciento (1,55 UT) y 24,31 por ciento (4,11 UT), respectivamente; considerado como “toxicidad aguda”, según la escala de Persoone. ii) En la prueba ecotoxicológica con *Lactuca sativa*, se evidenció mayor toxicidad en la temporada seca, para las cinco muestras. El punto LU-05 registró la máxima toxicidad, con valores de Concentraciones de Inhibición Medias (CI₅₀) para la germinación, crecimiento de la radícula y elongamiento del hipocótilo, de 46,13 por ciento (2,17 UT), 80,44 por ciento (1,24 UT) y 90,15 por ciento (1,11 UT); respectivamente; clasificándose como “toxicidad aguda”, según la escala de Persoone. iii) En cuanto a la prueba ecotoxicológica con *Vibrio fischeri*, se encontró que es la prueba menos sensible en contraste con la *Daphnia magna* y la *Lactuca sativa*. El punto LU-05, registró la mayor toxicidad con 0,71 UT y 0,49 UT, para la temporada seca y húmeda, respectivamente; clasificándose como “toxicidad aguda leve”, según la escala de Persoone. Esta toxicidad está relacionada a la presencia de materia orgánica y nutrientes proveniente del efluente de la descarga de la PTAR San Bartolo.

5.4 En términos generales, la muestra tomada aguas debajo de la descarga de la PTAR San Bartolo registró mayor toxicidad para las tres (03) pruebas ecotoxicológicas y los parámetros fisicoquímicos; en comparación con la descarga de la PTAR Julio C Tello. El análisis de riesgo ecotoxicológico registró para la muestra LU-05, los valores más altos del Índice de Efecto Tóxico Potencial (IETP) con 4,60 para la época seca..

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1 De los resultados obtenidos en la presente investigación se espera se considere como un antecedente para futuros estudios ecotoxicológicos en la cuenca baja del río Lurín, el cual es considerado como el último pulmón verde de Lima. Asimismo, recalcar la importancia de realizar la medición de los parámetros fisicoquímicos en combinación con las pruebas de ecotoxicidad, por parte de la autoridad nacional correspondiente, a fin de realizar un estudio más integral de las condiciones del recurso hídrico.
- 6.2 Desarrollar estas pruebas ecotoxicológicas en los efluentes e influentes de las PTAR Julio C. Tello y San Bartolo, a fin de evaluar la eficiencia del tratamiento y determinar su influencia en el cuerpo receptor.
- 6.3 Se recomendaría incluir en futuras investigaciones, la medición de la concentración de nitrógeno junto con el fósforo, ya que son las principales causas de la toxicidad en la *Lactuca sativa*, *Daphnia magna* y *Vibrio fischeri*.
- 6.4 Dado que la zona de estudio de esta investigación es la cuenca baja del río Lurín, para próximos estudios se recomendaría incluir en la evaluación fisicoquímica y ecotoxicológicas, un punto cercano a la desembocadura del río en el mar, a fin de evaluar el impacto de la descarga de la PTAR San Bartolo, para los bañistas de playas cercanas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, M., Adil, M., Ehtisham-ul-Haque, S., Munir, B., Yameen, M., Ghaffar, A., Abbas Shar, G., Tahir, M. & Iqbal, M. (2018). *Vibrio fischeri* bioluminescence inhibition assay for ecotoxicity assessment: A review. *Science of the Total Environment* 626:1295-1309. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.066.
- Abella, J. & Martínez, M. (2012). Contribución de un afluente tributario a a eutrofización del lago de Tota (Bocayá, Colombia). *Rev. Colomb. Quím.*, 41(2): 243-262. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042012000200006
- Agathokleous, E & Calabrese, E. (2020). Environmental toxicology and ecotoxicology: How clean is clean? Rethinking dose-response analysis. *Science of Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138769.
- Andrade, F & Peña, M. (2017). Optimización energética de las lagunas aireadas de la planta de tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba (Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca). Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27413/1/Trabajo%20de%20Titulaci%c3%b3n.pdf>
- Arias – Barreiro, C., Nishizaki, H., Okubo, K., Aoyama, I. & Mori, C. Ecotoxicological characterization of tannery wastewater in Dhaka, Bangladesh. *J Environ Biol.* 31(4): 471-5. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21186722/>
- Arias – Barreiro, C., Nishizaki, H., Okubo, K., Aoyama, I. & Mori, C. Ecotoxicological characterization of tannery wastewater in Dhaka, Bangladesh. *J Environ Biol.* 31(4): 471-5. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21186722/>
- Aumassame, C. & Fontanella, D. (2015). Variaciones en la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río Colorado, Argentina. Recuperado

de:https://www.researchgate.net/publication/326942874_Variaciones_en_la_conductividad_electrica_del_agua_para_riego_en_la_cuenca_del_rio_Colorado_Argentina

Aumassame, C. (2015). Impacto de los cambios en el uso y la cobertura de la tierra y de la variación del clima, sobre los principales componentes del balance de agua en la cuenca del río Colorado, Argentina (Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata). doi: 10.35537/10915/82130.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2012). Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú. Recuperado de: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/597>

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2013). Monitoreo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Lurín. Recuperado de: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3042>

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Recuperado de: <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2019). Estudio Hidrológico de la Unidad Hidrográfica Lurín. Recuperado de: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4707>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2018). Técnica y métodos de tratamiento para tipos de aguas residuales. Recuperado de: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25552/2/Informe_Tratamiento_Aguas_Residuales.pdf

Blaise C., Féraud J.F. (2005). Effluent assessment with the PEEP (Potential Ecotoxic Effects Probe) index. Small-scale Freshwater Toxicity. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3553-5_2

Blaise C., Féraud J.F. (2005). Effluent assessment with the PEEP (Potential Ecotoxic Effects Probe) index. Small-scale Freshwater Toxicity. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3553-5_2

- Campagna-Fernandes, A.F, Marín, E.B & Penha T.H.F.L. (2016). Application of root growth endpoint in toxicity test with lettuce (*Lactuca Sativa*). Recuperado de: <https://ecotoxbrasil.org.br/upload/584dad9ebe18b46707c505bca2955631-006-ec-6660-27-32-application-root.pdf>
- Capó, M. (2003). La ecotoxicología, una ciencia de hoy. Medicina Balear – Vol.18, núm 3. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6370514>
- Carriquiriborde, P. (2021). Principios de ecotoxicología. Universidad Nacional de la Plata. Recuperado de: <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/1663>
- Castañeda, D.J & Celis, S.I. (2018). Evaluación de la toxicidad con bacterias *Vibrio Fisheri* en suelos y agua procedentes de cultivos de café y maíz contaminados con Glifosato y Paraquat. Recuperado de: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/739/
- Castro, L., Fraile, J. & Reynolds, J. (1996). Conductividad, oxígeno disuelto, pH y temperatura en el río Bermudez (Costa Rica) y su relación con el uso del suelo en la cuenca. Uniciencia, ISSN-e 2215-3470, Vol. 13, Nº. 1. Recuperado por: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5381343>
- Chan-Keb, C., Agraz-Hernández, C., Perez-Balan, R., Gómez-Solano, M., Maldonado-Montiel, T., Ake-Canche, B & Gutierrez-Alcántara, E. (2018). Acute toxicity of water and aqueous extract of soils from Champotón river in *Lactuca sativa* L. Toxicology Reports. Volume 5, Pages (593-597). doi: 10.1016/j.toxrep.2018.05.009
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (Sin fecha). Manual de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento – Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización. Recuperado de: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro27.pdf>
- Correia, E., Treves, B. & Snook, R. (2004). Water toxicity monitoring using *Vibrio fischeri*: a method free of interferences from colour and turbidity. J Environ Monit. 6(2):97-102.doi: 10.1039/b311137g
- Costan, G., Bermingham, N., Blaise, C.& Ferard, F. (1993). Potential Ecotoxic Effects Probe (PEEP): a Novel Index to Assess and Compare the Toxic Potential of Industrial Effluents. *Environmental Toxicology and Water Quality: An International Journal*. Vol. 8, 115-140. doi: 10.1002/tox.2530080202

- Crombet, S., Abalos, A., Rodriguez, S., Pérez, N. (2016). Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria. Universidad Nacional de Colombia, doi: 10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57715
- Cui, R., Kwak, J. & An, Y. (2018). Comparative study of the sensitivity of *Daphnia galeata* and *Daphnia magna* to heavy metals. *Ecotoxicology and environmental safety*. Volume 162. 63-70. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.06.054
- Cui, R., Kwak, J. & An, Y. (2018). Comparative study of the sensitivity of *Daphnia galeata* and *Daphnia magna* to heavy metals. *Ecotoxicology and environmental safety*. Volume 162. 63-70. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.06.054
- Decreto Supremo N°001-2010-AG: Aprueban Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos: Ley N°29338. Recuperado de: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4665>
- Decreto Supremo N°003-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
- Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Derecho, Ambiente y Recursos naturales (DAR). (2017). Calidad del Agua en el Perú – Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales. Recuperado de: <https://repositorio.dar.org.pe/handle/20.500.13095/63>
- Díaz Jara, P. (2015). Modelamiento Hidrogeológico para estimar el caudal óptimo de la parte baja del acuífero del valle del río Lurín (Tesis pregrado, Universidad Ricardo Palma). Recuperada de: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2400>
- Dünner, S. I. (2004). Evaluación Integral de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas y Alternativas de Tratamiento en Localidades Rurales Concentradas. Aplicaciones en las Regiones R.M. y VII (Tesis de maestría, Universidad de Chile). Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102800>

- European Commission. (2012). Toxicity and assessment of chemical mixtures. doi:10.2772/21444.
- European Commission. (2012). Toxicity and assessment of chemical mixtures. doi:10.2772/21444.
- Fan, H., Qi, L., Liu, G., Zhang, Y., Fan, Q. & Wang, H. Aeration optimization through operation at low dissolved oxygen concentrations: Evaluation of oxygen mass transfer dynamics in different activated sludge systems. *Journal of Environmental Sciences*. Volume 55 (224-235). doi: 10.1016/j.jes.2016.08.008.
- Gagneten, A., Romero, N., Reno, U., Regalado, L., Kergaravat, S., Rodenak, Kladniew & Castro, G. Silver nanoparticle filter for domestic wastewater reuse. *Wiley Online Library*. doi: 10.1002/jctb.6710
- Gholami-Borujeni, F., Nejatizadeh-Barandozi, F. & Aghdasi, H. (2018). Data on effluent toxicity and physicochemical parameters of municipal wastewater treatment plant using *Daphnia Magna*. *Data in Brief*, 19, 1837–1843. doi: [10.1016/j.dib.2018.06.076](https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.06.076)
- Gonzales, Y., Rodríguez, E., Fernández, I. & Argota, G. (2015). Evaluación ecotoxicológica de las aguas del refugio de fauna “San Miguel de Parada” mediante los biomodelos *Lactuca sativa L.* y *Artemia sp.* En Santiago de Cuba, Cuba. *Cátedra Villarreal*, 3(2). doi: 10.24039/cv20153251
- González, M.I. & Chiroles, S. (2011). Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura. *Revista cubana de salud pública*; 37(1)61-73. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662011000100007
- González, Y & Aportela, P. (2001). Determinación de la toxicidad aguda del dicromato de potasio en larvas de artemia salina. *Anuario Toxicología* 1(1):104-8. Recuperado de: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/cum-33972?lang=es>
- Häder, D. Ecotoxicological monitoring of wastewater. *Bioassays. Advanced Methods and Applications* 369-386. doi: 10.1016/B978-0-12-811861-0.00018-8
- Huamán, G. (2016). Toxicidad del efluente de la laguna de estabilización El Espinar mediante bioensayos con *Daphnia pulex* y *Lactuca sativa* (Tesis de maestría,

- Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de:
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2840>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2021). Hidrogeología de la cuenca del río Lurín. Recuperado de:
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3297>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2021). Anuario de Estadísticas Ambientales. Recuperado de:
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1827/libro.pdf
- Jauregui – Medina, C., Ramírez-Hernández, S., Espinoza – Rodríguez, M., Tova-Rodarte, R., Quintero – Hernandez, B. & Rodriguez – Castañeda, I. (2017). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, 3(1), 65-73. Recuperado por: <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/91>
- Keshaviah, A., Diamond, M., Wade, M. & Scarpino., S. (2023). Wastewater monitoring can anchor global disease surveillance systems. *Lancet Glob Health* 11(6):e976-81. Doi: 10.1016/S2214-109X(23)00170-5
- Kim, S., Kin, W., Chounlamany, V., Seo, J., Yoo, J., Jo, H. & Jung, J. (2012) Identification of multi-level toxicity of liquid crystal display wastewater toward *Daphnia magna* and *Moina macrocopa*. *Journal of Hazardous Materials*. Volumen 227–228. Pages (327-333). doi: 0.1016/j.jhazmat.2012.05.059.
- Kocbas, F & Oral, R. (2015). *Daphnia magna* as a test species for toxicity evaluation of municipal wastewater treatment plants effluents on freshwater cladoceran in Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 15: 619-624. doi: 10.4194/1303-2712-v15_3_05.
- Kovats, N., Refaey, M., Varanka, B., Reich., K., Ferincz, A., Acs, A. (2012). Comparison of conventional and *Vibrio fischeri* bioassays for the assessment of municipal wastewater toxicity. *Environmental Engineering and Management Journal* 2002. Vol. N°11, 2073 – 2076. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/259582451_Comparison_of_conventional

[and Vibrio fischeri bioassays for the assessment of municipal wastewater to xicity](#)

- Kusui, T. & Blaise, C. (1999). Ecotoxicological Assessment of Japanese Industrial Effluents Using a Battery of Small-Scale Toxicity Tests. *Impact Assessment of Hazardous Aquatic Contaminants; Concepts and Approaches*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/287171635_Ecotoxicological_assessment_of_Japanese_industrial_effluents_using_a_battery_of_small-scale_toxicity_tests
- Lagger, J.R., Mata, H.T., Pechin, G.H., Larrea., Otrosky, R.N., Cesan, R.O., Caimier, A.G. & Meglia, G.E. (2000). La importancia de la calidad del agua en producción lechera. *Veterinaria Argentina*, 17(165):346-354. Recuperado de: https://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/32-calidad_agua_en_produccion_lechera.pdf
- Larios – Meoño, J., Gonzales, C., Morales, Y. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), 8–25. Recuperado de: <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Lazcano, C. (2016). Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales. Segunda edición. Recuperado de: <https://www.ecoediciones.com/libros/biotecnologia-ambiental-de-aguas-y-aguas-residuales-2da-edicion-ebook/>
- Libralato, G., Ghirardini, V & Franceso, A. How toxic is toxic? A proposal for wastewater toxicity hazard assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Volume 73, Issue 7. Pages 1602-161. doi: 10.1016/j.ecoenv.2010.03.007.
- Lillo Paredes, C.C., C.E. Moncloa Guardia. (2007). Centro ecoturístico en el Caserío de Sisicaya. Tesis doctoral. Universidad Ricardo Palma. Lima (Perú). Recuperado de: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/582>
- Liwarska-Bizukojc, E. (2022). Evaluation of Ecotoxicity of Wastewater from the Full-Scale Treatment Plants. *Water*, 14(20), 3345. doi: 10.3390/w14203345.
- Lyu, J., Park, J., Pandey, L., Choi, S., Lee, H., De Saeger, J., Depuydt, S & Han, T. (2018). Testing the toxicity of metals, phenol, effluents, and receiving waters by root elongation in *Lactuca sativa L.* *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 149. Pages (225-232). doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.11.006.

- Magalhães de Castro Serra, A. (2019). Assessment of *Daphnia magna* as a toxicity bioindicator for wastewater. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10362/91159>
- Manakul, P., Peerakietkhajorn, S., Matsuura, T., Kato, Y. & Watanabe, H. (2017). Effects of symbiotic bacteria on chemical sensitivity of *Daphnia magna*. *Mar Environ Res.*128:70-75. doi: 10.1016/j.marenvres.2017.03.001.
- Manakul, P., Peerakietkhajorn, S., Matsuura, T., Kato, Y. & Watanabe, H. (2017). Effects of symbiotic bacteria on chemical sensitivity of *Daphnia magna*. *Mar Environ Res.*128:70-75. doi: 10.1016/j.marenvres.2017.03.001.
- Mattson, MP. (2008). Hormesis defined. *Ageing Res Rev* 7(1): 1-7. doi: 10.1016/j.arr.2007.08.007.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2020). Diagnóstico de Servicios Ecosistémicos en la cuenca del río Lurín, para la implementación de un mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos. Recuperado de: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/659>
- Morillo, I. (2020). Evaluación de la recarga artificial de acuíferos como tratamiento terciario en depuración de aguas residuales y comparación frente a otros tratamientos terciarios (Tesis de Maestría, Escuela de Caminos). Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/341546/TFM_Ineyser%20Morillo%20Santana.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Muhammad, J., Deog, L., Kwang, J., Muhammad, A., Sheong, L & Eui, R. (2006). Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. *Journal Central European Agriculture*. Volume 7 No. 2 (273-282). Recuperado de: <https://jcea.agr.hr/en/issues/article/358>
- Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (2015). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(5), 59-7. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/317437947_Relacion_entre_oxigeno_disuelto_precipitacion_pluvial_y_temperatura_rio_Zahuapan_Tlaxcala_Mexico
- Musa, S., Ahamd, A. & Adbu, N. (2023). The use of wastewater for irrigation: Pros and cons for human health in developing countries. *Total Environment Research Themes*. doi: 10.1016/j.totert.2023.100044.

- Norma Técnica de Edificación OS. 090. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619690-os-090-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-ds-n-022-2009>
- Núñez, M & Hurado, J. (2005). Bioensayos de toxicidad aguda utilizando *Daphnia gman Staraus* (Cladocera, Daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado. Revista Peruana de Biología. Vol 12 (1): 165-179. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195018466018>
- Núñez, M & Hurado, J. (2005). Bioensayos de toxicidad aguda utilizando *Daphnia gman Staraus* (Cladocera, Daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado. Revista Peruana de Biología. Vol 12 (1): 165-179. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195018466018>
- Núñez, M. & Hurtado, J. (2005). Bioensayos de toxicidad aguda utilizando *Daphnia magna Staturus* (Cladocera, Daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado. Revista Peruana de Biología. Versión On-line ISSN 1727-9933. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332005000100018
- Ordenanza Municipal N°337-2017-MDL. Se ratifica el Plan de Seguridad Ciudadana y Convivencia Social del distrito de Lurín. (2017).
- Organización Panamericana de la Salud. (1999). Lagunas aireadas mecánicamente. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/lagunameca.pdf>
- Palomino, I. (2015). Informe Temático N°150/2014-2015 Los recursos hídricos de la cuenca del río Lurín. Congreso de la República. Recuperado de: [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0F8D539D66CD95C60525805200754373/\\$FILE/83_INFTEM150_2014_2015_ASI_DIDP_CR_recursos_hidricos.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0F8D539D66CD95C60525805200754373/$FILE/83_INFTEM150_2014_2015_ASI_DIDP_CR_recursos_hidricos.pdf)
- Parvez, S., Venkataraman, C. & Mukherji, S. (2006). A review on advantages of implementing luminescence inhibition test (*Vibrio fischeri*) for acute toxicity prediction of chemicals. Environment International Volume 32, Issue 2, 265-268. doi.org/10.1016/j.envint.2005.08.022.

- Perssoone, G., Marsalek, B., Blinova, I., Torokne, A., Zarina, D., Manusadzianas L, Nalecz-Jawecki, G., Tofan, L., Stepanova, N., Tothova, L. & Kolar, B. (2003). A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural water and wasterwaters. *Environ Toxicol*;18(6):395-402. doi: 10.1002/tox.10141.
- Priac, A., Badot, P., & Crini, G. (2017). Treated wastewater phytotoxicity assessment using *Lactuca sativa*: Focus on germination and root elongation test parameters. *Comptes Rendus Biologies* 340 (188-194). doi: 10.1016/j.crvi.2017.01.002.
- Puchuri, J., Vega, C. & Isola, S. (2020). Infraestructura natural en la cuenca del río Lurín en Perú para prevenir desastres. CDKN Alianza Clima y Desarrollo. Recuperado de: <https://cdkn.org/sites/default/files/files/Inside-Story-Lurin-Peru-SP-Web.pdf>
- Raclavska, H., Drozdova, J. & Hartmann, S. (2021). Municipal waste water toxicity evaluation with *Vibrio fischeri*. *International Journey of Energy and Environment*. Volumen 15. doi: 10.46300/91012.2021.15.7
- Raffo, E. & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales de la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial* 17(1):71-80 UNMSM. ISSN: 1810-9993 (Electrónico). doi: 10.15381/idata.v17i1.12035.
- Resolución de Presidencia Ejecutiva N°182-2018- SENAMHI/PREJ, que aprueba el Documento Técnico N°001-SENAMHI-DHI-2018, Manual de Hidrometría. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=normas>
- Rodriguez, A., Robles C., Ruiz, R., López, E., Sedeño, J. & Rodríguez, A. Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. (2014). *Rev. Int. Contam. Ambient* [online]. vol.30, n.3, pp.307-316. ISSN 0188-4999. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n3/v30n3a7.pdf>
- Rosabal-Carbonell, Y., Chang-Huerta, L. Pérez-Aballe, N & Morales-León, J.A. (2012). Evaluación de la demanda química de oxígeno en aguas de la provincia de Granma, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 8(1), 15-20. Recuperado de: <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/197>
- Sánchez, J. A., Álvarez, T., Pacheco, J. G., Carrillo, L., & González, R. A. (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *Tecnología y Ciencias*

del Agua, 7(4), 75-96. Recuperado de:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000400075

Severiche, C. & González, H. (2012). Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado. USB Med, Vol. 3, No. 2. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4694214.pdf>

Sivula, L., Vehniainen, E., Karjalainen, A. & Kukkonen, J. (2018). Toxicity of biomining effluents to *Daphnia magna*: Acute toxicity and transcriptomic biomarkers. Chemosphere. Volume 210, Pages 304-311. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.030.

Sobrero, M.C. & Ronco, A. (2005). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa L.* En G. Castillo. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones (Primera ed., págs. 71-80).

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2022). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras. Recuperado de: https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2015). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicio de saneamiento. Recuperado de: <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Tarazona, J. & Ramos – Peralonso, M. (2014). Ecotoxicology, Terrestrial. Encyclopedia of Toxicology. doi: 10.1016/B978-0-12-386454-3.00499-1.

Teixeira, G., Sánchez, I.A, Gebara, D., Dall, M., Sobrinho, A. & Matsumoto, T. (2013). Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N. 067 pp. 172-182. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/430/43029146015.pdf>

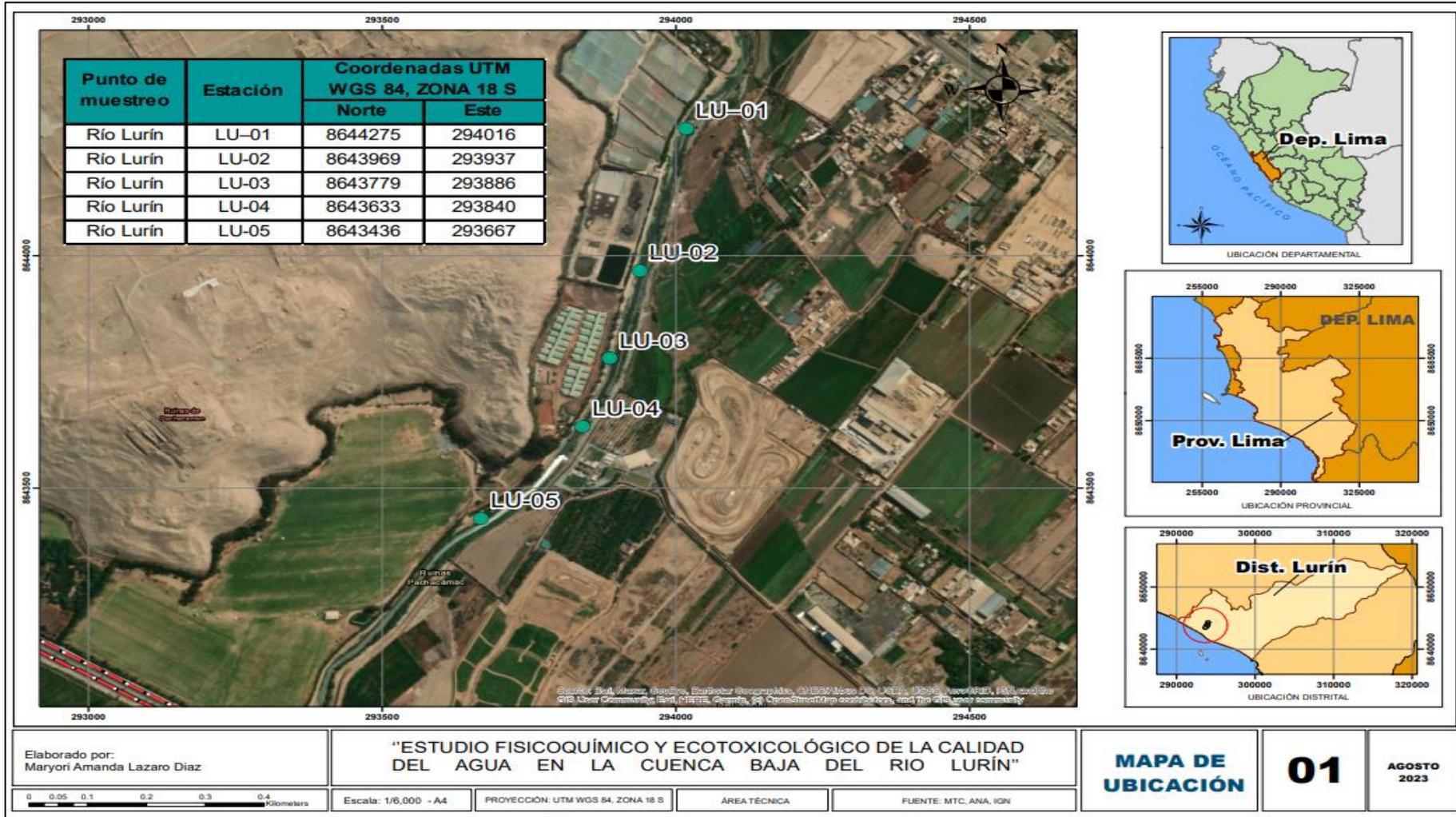
- Teodorovic, I., Planojevic, I., Knezevic, P., Sonja, R. & Nermet, I. (2009). Sensitivity of bacterial vs. acute *Daphnia magna* toxicity tests to metals. *cent.eur.j.biol.* 4, 482–492 doi: 10.2478/s11535-009-0048-7.
- Terasaki, M., Makino, M., Tatarazako, N. (2008). Acute toxicity of parabens and their chlorinated by-products with *Daphnia magna* and *Vibrio fischeri* bioassays. *Journal of applied Toxicology*, Volume 29, Issue 3. 242-247. doi: 10.1002/jat.1402.
- Torres, P. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Revista EIA.* 115-129. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n18/n18a10.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2002). Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. Fifth edition. Recuperado de: https://www3.epa.gov/npdes/wettraining/module6/story_content/external_files/Acute%20Tox%205th%20Edition.pdf
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2002). Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. Fifth edition. Recuperado de: https://www3.epa.gov/npdes/wettraining/module6/story_content/external_files/Acute%20Tox%205th%20Edition.pdf
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2016). Ecological effects test Guidelines OCSPP 850.1010: Aquatic Invertebrate Acute Toxicity Test, Freshwater Daphnids. Recuperado de: <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPPT-2009-0154-0041>
- Vásquez, M & Fatta-Kassinos, D. (2013). Is the evaluation of “traditional” physicochemical parameters sufficient to explain the potential toxicity of the treated wastewater at sewage treatment plants? *Environ Sci Pollut Res* 20:3516–3528. doi: 10.1007/s11356-013-1637-6.
- Vélez – Azañero, A. (2021). Residuos sólidos de la cuenca del río Lurín, Lima, Perú. *Ciencia Amazónica* (Iquitos). Recuperado de : <https://ojs.ucp.edu.pe/index.php/cienciaamazonica/article/download/342/169/#:~:te>

[xt=Las%20principales%20fuentes%20de%20contaminaci%C3%B3n%20en%20los%20r%C3%ADos%20de%20est%C3%A1n%20representa,et%20al.%2C%202017.](#)

- Vélez – Azañero, A., Lozano, S & Cáceres – Torres, K. (2016). Diversidad de fitoplancton como indicador de calidad de agua en la Cuenca Baja del Río Lurín, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*. Vol. 15. N°2. doi: 10.21704/rea.v15i2.745
- Veliz, E., Llanes, J., Asela, L. & Bataller, M. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, Vol. 40, No. 1. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181221574007.pdf>
- Vidales, A., Leos, M.& Campos, M. (2010). Extracción de grasas y aceites en los efluentes de una industria automotriz. *Conciencia Tecnológica*, (40),29-34. ISSN: 1405-5597. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94415759007>
- Zaltauskaité, J & Vaisiunaite, R. Evaluation of municipal effluent toxicity using higher plants and invertebrates. (2010). *Environmental Research, Engineering and Management*. N°.3(53). P. 17-23. Recuperado de: https://erem.ktu.lt/index.php/erem/article/view/88/Zaltauskaite_2010_erem.pdf
- Zhang, Q.H., Yang, W.N., Ngo, H.H., Guo.W.S., Jin, J.K., Dzakpasu, M., ..., Ao, D. (2016). Current status of urban wastewater treatment plants in China. *Environmental International*. 92–93 (2016) 11–22. doi: 10.1016/j.envint.2016.03.024.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Mapa de ubicación



Anexo 2: Análisis Estadístico

A. Análisis estadístico para el bioensayo con *Daphnia magna*

Se ha utilizado un método no paramétrico, ya que los supuestos no siguen una distribución normal. Por tanto, para evaluar la homocedasticidad se usó la prueba Fligner-Killeen, el cual compara las varianzas basándose en la mediana. A excepción del punto de muestreo LU-04 con un tiempo de exposición de 48 horas para la época seca, en la que se usó el método paramétrico ANOVA (análisis de varianzas), ya que cumplía con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Época Seca

LU-01 (24 horas):

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU01_24h_Seca$`Mortalidad (%)` and LU01_24h_Seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 10.065, df = 5, p-value = 0.07341
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-01 a las 24 horas, es constante.

LU-01 (48 horas):

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU01_48h_Seca$`Mortalidad (%)` and LU01_48h_Seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 11, df = 5, p-value = 0.05138
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-01 a las 48 horas, es constante.

LU-02 (24 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU02_24h_Seca\$`Mortalidad (%)` by LU02_24h_Seca\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.3, df = 5, p-value = 0.8063

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-02 a las 24 horas, es constante.

LU-02 (48 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU02_48h_Seca\$`Mortalidad (%)` by LU02_48h_Seca\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 4.1158, df = 5, p-value = 0.5329

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-02 a las 48 horas, es constante.

LU-03 (24 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU03_24h_Seca\$`Mortalidad (%)` by LU03_24h_Seca\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 5.2519, df = 5, p-value = 0.3859

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-03 a las 24 horas, es constante.

LU-03 (48 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU03_48h_Seca\$`Mortalidad (%)` by LU03_48h_Seca\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 1.8482, df = 5, p-value = 0.8697

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-03 a las 48 horas, es constante.

LU-04 (24 horas):

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU04_24h_Seca$`Mortalidad (%)` by LU04_24h_Seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 7.8257, df = 5, p-value = 0.1661
```

Ho = La varianza del error es constante.
Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-04 a las 24 horas, es constante

LU-04 (48 horas):

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU04_48h_Seca <- read_excel("D:/R/Daphnia magna/LU04_48h_Seca.xlsx")
> View(LU04_48h_Seca)
> shapiro.test(LU04_48h_Seca$`Mortalidad (%)`)

Shapiro-wilk normality test
data: LU04_48h_Seca$`Mortalidad (%)`
W = 0.92387, p-value = 0.07116
```

Ho = La varianza del error es constante.
Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Levene

```
> library(car)
> leveneTest(LU04_48h_Seca$`Mortalidad (%)`, LU04_48h_Seca$Concentration, center = mean)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean)
  Df F value Pr(>F)
group 5  2.5543 0.06475 .
    18
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Ho = La varianza del error es constante.
Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1 = aov(`Mortalidad (%)`~Concentration)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Concentration  1   9001    9001  132.5 8.8e-11 ***
Residuals    22   1494     68
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 04-48horas, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-05 (24 horas):

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU05_24h_Seca$`Mortalidad (%)` and LU05_24h_Seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 11, df = 5, p-value = 0.05138
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-05 a las 24 horas, es constante

LU-05 (48 horas):

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU05_48h_Seca$`Mortalidad (%)` by LU05_48h_Seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.5556, df = 5, p-value = 0.7681
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-05 a las 48 horas, es constante.

Época Húmeda

Se ha utilizado un método no paramétrico, ya que los supuestos no siguen una distribución normal. Por tanto, para evaluar la homocedasticidad se usó la prueba Fligner-Killen, el cual compara las varianzas basándose en la mediana.

LU-01 (24 horas):

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU01_24h_Húmeda$`Mortalidad (%)` and LU01_24h_Húmeda$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 7.0211, df = 5, p-value = 0.2191
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

LU-01 (48 horas):

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU01_48h_Húmeda$`Mortalidad (%)` and LU01_48h_Húmeda$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 10.42, df = 5, p-value = 0.06416
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por lo que se infiere que al menos una de las varianzas no es constante.

LU-02 (24 horas):

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU02_24h_Húmeda$`Mortalidad (%)` and LU02_24h_Húmeda$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 11, df = 5, p-value = 0.05138
```

H₀ = La varianza del error es constante.

H_a = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-02 a las 24 horas, es constante.

LU-02 (48 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU02_48h_Húmeda\$`Mortalidad (%)` and LU02_48h_Húmeda\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 9.1015, df = 5, p-value = 0.1051

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-02 a las 48 horas, es constante.

LU-03 (24 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU03_24h_Húmeda\$`Mortalidad (%)` and LU03_24h_Húmeda\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 5.5323, df = 5, p-value = 0.3544

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-03 a las 24 horas, es constante.

LU-03 (48 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU03_48h_Húmeda\$`Mortalidad (%)` and LU03_48h_Húmeda\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.0573, df = 5, p-value = 0.8412

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-03 a las 48 horas, es constante.

LU-04 (24 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU04_24h_Húmeda\$`Mortalidad (%)` and LU04_24h_Húmeda\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 6.9777, df = 5, p-value = 0.2223

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-04 a las 24 horas, es constante.

LU-04 (48 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU04_48h_Húmeda\$`Mortalidad (%)` and LU04_48h_Húmeda\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 4.519, df = 5, p-value = 0.4773

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-04 a las 48 horas, es constante.

LU-05 (24 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU05_24h_Húmeda\$`Mortalidad (%)` and LU05_24h_Húmeda\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 9.5515, df = 5, p-value = 0.08899

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-05 a las 24 horas, es constante.

LU-05 (48 horas):

Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU05_48h_Húmeda\$`Mortalidad (%)` and LU05_48h_Húmeda\$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 5.5536, df = 5, p-value = 0.3521

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-05 a las 48 horas, es constante.

B. Análisis estadístico para el bioensayo con *Lactuca sativa*

i. Inhibición de la germinación

Época Seca

Se ha utilizado el método paramétrico ANOVA (análisis de varianzas), ya que cumplía con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. A excepción del punto de muestreo LU-01, en el que no cumplía con los supuestos, por lo que se usó la misma prueba no paramétrica (Fligner-Killen) usada para el bioensayo con *Daphnia magna*.

LU-01:

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU01_Seca$`Mortalidad (%)` and LU01_Seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.2246, df = 5, p-value = 0.8173
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza de la inhibición de la germinación de la muestra LU-01, es constante.

LU-02:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU02_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU02__Seca.xlsx")
> View(LU02_Seca)
> shapiro.test(LU02_Seca$`Mortalidad (%)`)

Shapiro-wilk normality test
data: LU02_Seca$`Mortalidad (%)`
W = 0.89707, p-value = 0.05111
```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Levene

```
> leveneTest(LU02_Húmeda$`Mortalidad (%)`, LU02_Húmeda$Concentration, center = mean)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean)
  Df F value Pr(>F)
group 5      3.4 0.03825 *
  12
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.01, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov (LU02_Húmeda$`Mortalidad (%)`~LU02_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU02_Húmeda\$Concentration	1	1770	1770.3	15.48	0.00118 **
Residuals	16	1830	114.4		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 02, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-03:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU03_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU03__Seca.xlsx")
> View(LU03_Seca)
> shapiro.test(LU03_Seca$`Mortalidad (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

data: LU03_Seca\$`Mortalidad (%)`
W = 0.92027, p-value = 0.1307

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Levene

```
> leveneTest(LU03_Seca$`Mortalidad (%)`, LU03_Seca$Concentration, center = mean)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean)
```

	Df	F value	Pr(>F)
group 5	5	1.7846	0.1905
12	12		

H_0 = La varianza del error es constante.

H_a = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov (LU03_Seca$`Mortalidad (%)`~LU03_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
LU03_Seca\$Concentration	1	4268	4268	43.79	5.92e-06	***
Residuals	16	1560	97			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 03, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-04:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU04_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU04__Seca.xlsx")
> View(LU04_Seca)
> shapiro.test(LU04_Seca$`Mortalidad (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

data: LU04_Seca\$`Mortalidad (%)`
W = 0.94465, p-value = 0.3473

H_0 = La distribución es normal.

H_a = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU04_Seca$`Mortalidad (%)`, LU04_Seca$Concentration)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU04_Seca\$`Mortalidad (%)` and LU04_Seca\$Concentration
Bartlett's K-squared = 2.9166, df = 5, p-value = 0.7128

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov (LU04_Seca$`Mortalidad (%)`~LU04_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
LU04_Seca\$Concentration	1	3647	3647	31.31	4.02e-05	***
Residuals	16	1864	116			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 03 horas, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-05:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU05_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU05__Seca.xlsx")
> view(LU05_Seca)
> shapiro.test(LU05_Seca$`Mortalidad (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

data: LU05_Seca\$`Mortalidad (%)`
W = 0.93844, p-value = 0.2725

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU05_Seca$`Mortalidad (%)`, LU05_Seca$Concentration)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU05_Seca\$`Mortalidad (%)` and LU05_Seca\$Concentration
Bartlett's K-squared = 3.7054, df = 5, p-value = 0.5926

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov (LU05_Seca$`Mortalidad (%)`~LU05_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU05_Seca\$Concentration	1	8774	8774	118.2	8.47e-09 ***
Residuals	16	1188	74		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 03 horas, presenta un efecto diferente a las demás.

Época Húmeda

Se ha utilizado un método no paramétrico, ya que los supuestos no siguen una distribución normal. Por tanto, para evaluar la homocedasticidad se usó la prueba Fligner-Killen, el cual compara las varianzas basándose en la mediana.

LU-01:

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU01_Húmeda$`Mortalidad (%)` and LU01_Húmeda$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 4.6712, df = 5, p-value = 0.4573
```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza de la inhibición de la germinación de la muestra LU-01, es constante.

LU-02:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```

> library(readxl)
> LU02_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU02__Húmeda.xlsx")
> View(LU02_Húmeda)
> shapiro.test(LU02_Húmeda$`Mortalidad (%)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  LU02_Húmeda$`Mortalidad (%)`
W = 0.89912, p-value = 0.05548

```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Levene

```

> library(car)
Loading required package: carData
> leveneTest(LU02_Seca$`Mortalidad (%)`, LU02_Seca$Concentration, center = mean)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean)
      Df F value Pr(>F)
group  5    0.64  0.674
      12

```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```

> anova1=aov (LU02_Seca$`Mortalidad (%)`~LU02_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
LU02_Seca$Concentration  1    2618   2617.6   41.46 8.18e-06 ***
Residuals                16    1010     63.1
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 02 horas, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-03:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```

> library(readxl)
> LU03_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU03__Húmeda.xlsx")
> View(LU03_Húmeda)
> shapiro.test(LU03_Húmeda$`Mortalidad (%)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  LU03_Húmeda$`Mortalidad (%)`
W = 0.90504, p-value = 0.07038

```

H_0 = La distribución es normal.
 H_a = La distribución no es normal.
 Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  LU03_Húmeda$`Mortalidad (%)` and LU03_Húmeda$Concentration
Bartlett's K-squared = 4.2764, df = 5, p-value = 0.5103

```

H_0 = La varianza del error es constante.
 H_a = La varianza del error no es constante.
 Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```

> anova1=aov (LU03_Húmeda$`Mortalidad (%)`~LU03_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)

```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU03_Húmeda\$Concentration	1	3163	3163	30.92	4.3e-05 ***
Residuals	16	1637	102		

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.001$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 03 horas, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-04:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```

> library(readxl)
> LU04_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU04__Húmeda.xlsx")
> View(LU04_Húmeda)
> shapiro.test(LU04_Húmeda$`Mortalidad (%)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  LU04_Húmeda$`Mortalidad (%)`
W = 0.90229, p-value = 0.06299

```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Levene

```

> leveneTest(LU04_Húmeda$`Mortalidad (%)`, LU04_Húmeda$Concentration, center = mean)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean)
      Df F value Pr(>F)
group  5  1.9778 0.1546
      12

```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```

> anova1=aov (LU04_Húmeda$`Mortalidad (%)`~LU04_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)

```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU04_Húmeda\$Concentration	1	4400	4400	42.67	6.91e-06 ***
Residuals	16	1650	103		

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 04, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-05:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU05_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU05__Húmeda.xlsx")
> View(LU05_Húmeda)
> shapiro.test(LU05_Húmeda$`Mortalidad (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

```
data: LU05_Húmeda$`Mortalidad (%)`
W = 0.93227, p-value = 0.2129
```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU05_Húmeda$`Mortalidad (%)`, LU05_Húmeda$Concentration)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

```
data: LU05_Húmeda$`Mortalidad (%)` and LU05_Húmeda$Concentration
Bartlett's K-squared = 3.626, df = 5, p-value = 0.6044
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU05_Húmeda$`Mortalidad (%)`~LU05_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU05_Húmeda\$Concentration	1	5972	5972	52.28	2.01e-06 ***
Residuals	16	1828	114		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 05, presenta un efecto diferente a las demás.

ii. Inhibición del crecimiento de la radícula

Se ha utilizado el método paramétrico ANOVA (análisis de varianzas), ya que cumplía con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Para el supuesto de normalidad se usó la Prueba de Shapiro – Wilk, ya que se recomienda para muestras pequeñas ($n < 50$) y para el supuesto de homocedasticidad la prueba de Bartlett.

Época Seca

LU-01:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU01_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radícula/LU01__Seca.xlsx")
> View(LU01_Seca)
> shapiro.test(LU01_Seca$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

data: LU01_Seca\$`Inhibición (%)`
W = 0.97175, p-value = 0.8831

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU01_Seca$`Inhibición (%)`, LU01_Seca$Concentration)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU01_Seca\$`Inhibición (%)` and LU01_Seca\$Concentration
Bartlett's K-squared = 5.5706, df = 4, p-value = 0.2336

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```

> anova1=aoV(LU01_Seca$`Inhibición (%)`~LU01_Seca$Concentration)
There were 50 or more warnings (use warnings() to see the first 50)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
LU01_Seca$Concentration  1    3333     3333   118.9 6.54e-08 ***
Residuals                13     364        28
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 01, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-02:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```

> library(readxl)
> LU02_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radícula/LU02__Seca.xlsx")
> View(LU02_Seca)
> shapiro.test(LU02_Seca$`Inhibición (%)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  LU02_Seca$`Inhibición (%)`
W = 0.91994, p-value = 0.1923

```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```

> bartlett.test(LU02_Seca$`Inhibición (%)`,LU02_Seca$Concentration)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  LU02_Seca$`Inhibición (%)` and LU02_Seca$Concentration
Bartlett's K-squared = 2.4695, df = 4, p-value = 0.6501

```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```

> anova1=aov(LU01_Seca$`Inhibición (%)`~LU01_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
LU01_Seca$Concentration  1   3333     3333   118.9 6.54e-08 ***
Residuals                13    364        28
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 02, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-03:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```

> library(readxl)
> LU03_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radícula/LU03__Seca.xlsx")
> View(LU03_Seca)
> shapiro.test(LU03_Seca$`Inhibición (%)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  LU03_Seca$`Inhibición (%)`
W = 0.94698, p-value = 0.5934

```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```

> bartlett.test(LU03_Seca$`Inhibición (%)`,LU03_Seca$Concentration)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  LU03_Seca$`Inhibición (%)` and LU03_Seca$Concentration
Bartlett's K-squared = 6.443, df = 3, p-value = 0.09194

```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU03_Seca$`Inhibición (%)`~LU03_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
LU03_Seca\$Concentration	1	3762	3762	182.8	9.45e-08	***
Residuals	10	206	21			

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 03, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-04:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU04_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radicula/LU04__Seca.xlsx")
> View(LU04_Seca)
> shapiro.test(LU04_Seca$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: LU04_Seca\$`Inhibición (%)`
W = 0.91716, p-value = 0.1743

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU04_Seca$`Inhibición (%)`,LU04_Seca$Concentration)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU04_Seca\$`Inhibición (%)` and LU04_Seca\$Concentration
Bartlett's K-squared = 8.2924, df = 4, p-value = 0.08144

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU04_Seca$`Inhibición (%)`~LU04_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
LU04_Seca\$Concentration	1	3745	3745	118.2	6.75e-08	***
Residuals	13	412	32			

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 04, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-05:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU05_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radícula/LU05__Seca.xlsx")
> View(LU05_Seca)
> shapiro.test(LU05_Seca$Inh)
```

Shapiro-wilk normality test

data: LU05_Seca\$Inh
W = 0.94752, p-value = 0.6011

H_0 = La distribución es normal.

H_a = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU05_Seca$`Inh`, LU05_Seca$Con)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU05_Seca\$Inh and LU05_Seca\$Con
Bartlett's K-squared = 1.1899, df = 3, p-value = 0.7554

H_0 = La varianza del error es constante.

H_a = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU05_Seca$`Inh`~LU05_Seca$Con)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
LU05_Seca$Con  1  62.55   62.55   135.8 3.84e-07 ***
Residuals     10   4.60    0.46
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 05, presenta un efecto diferente a las demás.

Época Húmeda:

LU-01:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU01_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radícula/LU01__Húmeda.xlsx")
> View(LU01_Húmeda)
> shapiro.test(LU01_Húmeda$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: LU01_Húmeda\$`Inhibición (%)`
W = 0.88644, p-value = 0.05925

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU01_Húmeda$`Inhibición (%)`, LU01_Húmeda$Concentration)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU01_Húmeda\$`Inhibición (%)` and LU01_Húmeda\$Concentration
Bartlett's K-squared = 6.1788, df = 4, p-value = 0.1862

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU01_Húmeda$`Inhibición (%)`~LU01_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU01_Húmeda\$Concentration	1	3063.9	3063.9	520.7	7.16e-12 ***
Residuals	13	76.5	5.9		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 01, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-02:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU02_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radícula/LU02__Húmeda.xlsx")
> View(LU02_Húmeda)
> shapiro.test(LU02_Húmeda$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

```
data: LU02_Húmeda$`Inhibición (%)`
W = 0.91206, p-value = 0.1456
```

H_0 = La distribución es normal.

H_a = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU02_Húmeda$`Inhibición (%)`,LU02_Húmeda$Concentration)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

```
data: LU02_Húmeda$`Inhibición (%)` and LU02_Húmeda$Concentration
Bartlett's K-squared = 4.2333, df = 4, p-value = 0.3754
```

H_0 = La varianza del error es constante.

H_a = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU02_Húmeda$`Inhibición (%)`~LU02_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU02_Húmeda\$Concentration	1	3431	3431	400.3	3.78e-11 ***
Residuals	13	111	9		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 02, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-03:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU03_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radícula/LU03__Húmeda.xlsx")
> View(LU03_Húmeda)
> shapiro.test(LU03_Húmeda$`Inhibición (%)`)
```

```
Shapiro-Wilk normality test

data:  LU03_Húmeda$`Inhibición (%)`
W = 0.87437, p-value = 0.07428
```

H_0 = La distribución es normal.

H_a = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU03_Húmeda$`Inhibición (%)`,LU03_Húmeda$Concentration)
```

```
Bartlett test of homogeneity of variances

data:  LU03_Húmeda$`Inhibición (%)` and LU03_Húmeda$Concentration
Bartlett's K-squared = 0.12038, df = 3, p-value = 0.9893
```

H_0 = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU03_Húmeda$`Inhibición (%)`~LU03_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU03_Húmeda\$Concentration	1	3702	3702	560.6	4.1e-10 ***
Residuals	10	66	7		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 03, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-04:

4. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU04_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radicula/LU04__Húmeda.xlsx")
> View(LU04_Húmeda)
> shapiro.test(LU04_Húmeda$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

data: LU04_Húmeda\$`Inhibición (%)`
W = 0.90476, p-value = 0.1125

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

5. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU04_Húmeda$`Inhibición (%)`,LU04_Húmeda$Concentration)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU04_Húmeda\$`Inhibición (%)` and LU04_Húmeda\$Concentration
Bartlett's K-squared = 3.3876, df = 4, p-value = 0.4952

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

6. ANOVA

```
> anova1=aov(LU04_Húmeda$`Inhibición (%)`~LU04_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
LU04_Húmeda\$Concentration	1	3850	3850	214.9	1.83e-09	***
Residuals	13	233	18			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 04, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-05:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU05_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Radícula/LU05__Húmeda.xlsx")
> View(LU05_Húmeda)
> shapiro.test(LU05_Húmeda$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

data: LU05_Húmeda\$`Inhibición (%)`
W = 0.9353, p-value = 0.4397

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU05_Húmeda$`Inhibición (%)`,LU05_Húmeda$Concentration)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU05_Húmeda\$`Inhibición (%)` and LU05_Húmeda\$Concentration
Bartlett's K-squared = 5.7767, df = 3, p-value = 0.123

Ho = La varianza del error es constante.

H_a = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU05_Húmeda$`Inhibición (%)`~LU05_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU05_Húmeda\$Concentration	1	4276	4276	289.8	1.03e-08 ***
Residuals	10	148	15		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 05, presenta un efecto diferente a las demás.

iii. Inhibición de la elongación del hipocótilo

Se ha utilizado el método paramétrico ANOVA (análisis de varianzas), ya que cumplía con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Para el supuesto de normalidad se usó la Prueba de Shapiro – Wilk, ya que se recomienda para muestras pequeñas ($n < 50$) y para el supuesto de homocedasticidad la prueba de Bartlett.

Época Seca

LU-01:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU01_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Hipocotilo/LU01__Seca.xlsx")
> View(LU01_Seca)
> shapiro.test(LU01_Seca$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

data: LU01_Seca\$`Inhibición (%)`
W = 0.91889, p-value = 0.1853

H_0 = La distribución es normal.

H_a = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU01_Seca$`Inhibición (%)`,LU01_Seca$Concentration)

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU01_Seca$`Inhibición (%)` and LU01_Seca$Concentration
Bartlett's K-squared = 4.5941, df = 4, p-value = 0.3315
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=av(LU01_Seca$`Inhibición (%)`~LU01_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU01_Seca\$Concentration	1	3137.5	3137.5	295.4	2.55e-10 ***
Residuals	13	138.1	10.6		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 01, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-02:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU02_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Hipócotilo/LU02__Seca.xlsx")
> View(LU02_Seca)
> shapiro.test(LU02_Seca$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

```
data: LU02_Seca$`Inhibición (%)`
W = 0.90618, p-value = 0.1183
```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU02_Seca$`Inhibición (%)`,LU02_Seca$Concentration)

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU02_Seca$`Inhibición (%)` and LU02_Seca$Concentration
Bartlett's K-squared = 1.5871, df = 4, p-value = 0.8111
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU02_Seca$`Inhibición (%)`~LU02_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU02_Seca\$Concentration	1	2983	2983.1	138	2.7e-08 ***
Residuals	13	281	21.6		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 02, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-03:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU03_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Hipócotilo/LU03__Seca.xlsx")
> View(LU03_Seca)
> shapiro.test(LU03_Seca$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: LU03_Seca\$`Inhibición (%)`
W = 0.88609, p-value = 0.1049

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU03_Seca$`Inhibición (%)`,LU03_Seca$Concentration)

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU03_Seca$`Inhibición (%)` and LU03_Seca$Concentration
Bartlett's K-squared = 7.139, df = 3, p-value = 0.0676
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU03_Seca$`Inhibición (%)`~LU03_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU03_Seca\$Concentration	1	4762	4762	749.9	9.76e-11 ***
Residuals	10	64	6		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 03, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-04:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU04_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Hipócotilo/LU04__Seca.xlsx")
> View(LU04_Seca)
> shapiro.test(LU04_Seca$`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

```
data: LU04_Seca$`Inhibición (%)`
W = 0.91534, p-value = 0.1069
```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU04_Seca$`Inhibición (%)`,LU04_Seca$Concentration)

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU04_Seca$`Inhibición (%)` and LU04_Seca$Concentration
Bartlett's K-squared = 1.9383, df = 5, p-value = 0.8576
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU04_Seca$`Inhibición (%)`~LU04_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU04_Seca\$Concentration	1	3757	3757	150.3	1.5e-09 ***
Residuals	16	400	25		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 04, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-05:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU05_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Hipócotilo/LU05__Seca.xlsx")
> View(LU05_Seca)
> shapiro.test(LU05_Seca$`Inhibition`)
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: LU05_Seca$Inhibition
W = 0.90395, p-value = 0.1784
```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU05_Seca$Inhibition,LU05_Seca$Concentration)

Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU05_Seca$Inhibition and LU05_Seca$Concentration
Bartlett's K-squared = 3.462, df = 3, p-value = 0.3257
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU05_Seca`Inhibition`~LU05_Seca$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU05_Seca\$Concentration	1	4002	4002	90.83	2.47e-06 ***
Residuals	10	441	44		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 05, presenta un efecto diferente a las demás.

Época Húmeda:

LU-01:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU01_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Hipócotilo/LU01__Húmeda.xlsx")
> View(LU01_Húmeda)
> shapiro.test(LU01_Húmeda`Inhibición (%)`)
```

Shapiro-wilk normality test

```
data: LU01_Húmeda`Inhibición (%)`
W = 0.94099, p-value = 0.395
```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU01_Húmeda$`Inhibición (%)`,LU01_Húmeda$Concentration)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  LU01_Húmeda$`Inhibición (%)` and LU01_Húmeda$Concentration
Bartlett's K-squared = 7.1145, df = 4, p-value = 0.13
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU01_Húmeda$`Inhibición (%)`~LU01_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)

              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
LU01_Húmeda$Concentration  1 1694.6  1694.6   42.76 1.89e-05 ***
Residuals                  13  515.2    39.6
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 01, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-02:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU02_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Hipócotilo/LU02__Húmeda.xlsx")
> View(LU02_Húmeda)
> shapiro.test(LU02_Húmeda$`Inhibición (%)`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  LU02_Húmeda$`Inhibición (%)`
W = 0.95745, p-value = 0.6483
```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU02_Húmeda$`Inhibición (%)`,LU02_Húmeda$Concentration)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU02_Húmeda$`Inhibición (%)` and LU02_Húmeda$Concentration
Bartlett's K-squared = 8.3657, df = 4, p-value = 0.07906
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU02_Húmeda$`Inhibición (%)`~LU02_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)

              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
LU02_Húmeda$Concentration  1 2152.4  2152.4   43.37 1.76e-05 ***
Residuals                 13   645.2    49.6
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 02, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-03:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU03_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Hipócotilo/LU03__Húmeda.xlsx")
> View(LU03_Húmeda)
> shapiro.test(LU03_Húmeda$`Inhibición (%)`)

      Shapiro-wilk normality test

data: LU03_Húmeda$`Inhibición (%)`
W = 0.94227, p-value = 0.4117
```

Ho = La distribución es normal.
Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU03_Húmeda$`Inhibición (%)`,LU03_Húmeda$Concentration)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU03_Húmeda$`Inhibición (%)` and LU03_Húmeda$Concentration
Bartlett's K-squared = 0.73829, df = 4, p-value = 0.9465
```

Ho = La varianza del error es constante.
Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU03_Húmeda$`Inhibición (%)`~LU03_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU03_Húmeda\$Concentration	1	2963.2	2963.2	301.3	2.25e-10 ***
Residuals	13	127.9	9.8		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 03, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-04:

1. Supuesto de normalidad: Prueba de Shapiro – Wilk

```
> library(readxl)
> LU04_Húmeda <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/Hipócotilo/LU04__Húmeda.xlsx")
> view(LU04_Húmeda)
> shapiro.test(LU04_Húmeda$`Inhibición (%)`)

      Shapiro-wilk normality test

data: LU04_Húmeda$`Inhibición (%)`
W = 0.92987, p-value = 0.1932
```

Ho = La distribución es normal.

Ha = La distribución no es normal.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la distribución es normal.

2. Supuesto de homocedasticidad: Prueba de Bartlett

```
> bartlett.test(LU04_Húmeda$`Inhibición (%)`,LU04_Húmeda$Concentration)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU04_Húmeda$`Inhibición (%)` and LU04_Húmeda$Concentration
Bartlett's K-squared = 7.8284, df = 5, p-value = 0.1659
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU04_Húmeda$`Inhibición (%)`~LU04_Húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU04_Húmeda\$Concentration	1	3509	3509	131.9	3.88e-09 ***
Residuals	16	426	27		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 04, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-05:

```
> fligner.test(LU05_Húmeda$`Inhibición (%)`,LU05_Húmeda$Concentration)

      Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU05_Húmeda$`Inhibición (%)` and LU05_Húmeda$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.0441, df = 4, p-value =
0.7277
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza de la inhibición de la germinación de la muestra LU-01, es constante.

C. Análisis estadístico para el bioensayo con *Vibrio fischeri*

Se ha utilizado un método no paramétrico, ya que los supuestos no siguen una distribución normal. Por tanto, para evaluar la homocedasticidad se usó la prueba Fligner-Killen, el cual compara las varianzas basándose en la mediana. A excepción del punto de muestreo LU-01, en la que se usó el método paramétrico ANOVA (análisis de varianzas), ya que cumplía con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Época Seca

LU-01

1. Supuesto de normalidad:

```
> LU01_seca<-read_excel("D:/R/Vibrio fischeri/LU01_seca.xlsx")
> shapiro.test(LU01_seca$Inhibition)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  LU01_seca$Inhibition
W = 0.90448, p-value = 0.2792
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

2. Supuesto de homocedasticidad:

```
> bartlett.test(LU01_seca$Inhibition, LU01_seca$Concentration)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  LU01_seca$Inhibition and LU01_seca$Concentration
Bartlett's K-squared = 1.2346, df = 2, p-value = 0.5394
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```

> anova1=aov(LU01_seca$Inhibition~LU01_seca$Concentration)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
LU01_seca$Concentration  1  61.57   61.57   112.6 1.44e-05 ***
Residuals                7   3.83    0.55
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 01, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-02:

```

              Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data:  LU02_seca$Inhibition by LU02_seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 0.99605, df = 2, p-value = 0.6077

```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-02, es constante.

LU-03:

```

              Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data:  LU03_seca$Inhibition by LU03_seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.7169, df = 3, p-value = 0.4374

```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-03, es constante.

LU-04:

```

              Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data:  LU04_seca$Inhibition by LU04_seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 3.5001, df = 4, p-value = 0.4779

```

Ho = La varianza del error es constante.
Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-04, es constante

LU-05:

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU05_seca$Inhibition by LU05_seca$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 3.0094, df = 4, p-value = 0.5563
```

Ho = La varianza del error es constante.
Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-05, es constante.

Época húmeda:

Se ha utilizado un método no paramétrico para las muestras LU-03, LU04 y LU-05, ya que los supuestos no siguen una distribución normal. Por tanto, para evaluar la homocedasticidad se usó la prueba Fligner-Killen, el cual compara las varianzas basándose en la mediana. Asimismo, para las muestras LU-01 y LU-02, se usó el método paramétrico ANOVA (análisis de varianzas), ya que cumplía con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

LU-01 (24 horas):

1. Supuesto de normalidad

```
> LU01_húmeda<-read_excel("D:/R/Vibrio fischeri/LU01_húmeda.xlsx")
> shapiro.test(LU01_húmeda$Inhibition)

Shapiro-wilk normality test
data: LU01_húmeda$Inhibition
W = 0.85312, p-value = 0.08065
```

Ho = La varianza del error es constante.
Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

2. Supuesto de homocedasticidad

```
> library(car)
Loading required package: carData
> leveneTest(LU01_húmeda$Inhibition, LU01_húmeda$Concentration, center = mean)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = mean)
      Df F value Pr(>F)
group 2  6.5588 0.03091 *
      6
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.01, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU01_húmeda$Inhibition~LU01_húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
LU01_húmeda$Concentration  1  41.19   41.19   62.3 9.93e-05 ***
Residuals                  7   4.63    0.66
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 01, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-02:

1. Supuesto de normalidad

```
> anova1=aov(LU01_húmeda$Inhibition~LU01_húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
LU01_húmeda$Concentration  1  41.19   41.19   62.3 9.93e-05 ***
Residuals                  7   4.63    0.66
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

2. Supuesto de homocedasticidad

```
> bartlett.test(LU02_húmeda$Inhibition, LU02_húmeda$Concentration)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data: LU02_húmeda$Inhibition and LU02_húmeda$Concentration
Bartlett's K-squared = 2.9613, df = 2, p-value = 0.2275
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Por tanto, para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Eso indica que la variabilidad de la mediana es constante.

3. ANOVA

```
> anova1=aov(LU02_húmeda$Inhibition~LU02_húmeda$Concentration)
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
LU02_húmeda\$Concentration	1	36.09	36.09	152.7	5.22e-06 ***
Residuals	7	1.65	0.24		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dado que no se rechazaron las hipótesis nulas del supuesto de normalidad y homogeneidad de varianzas, se realizó la prueba paramétrica de ANOVA. Esta indica que existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0.01$) y por tanto, al menos una de las concentraciones de la muestra LU 01, presenta un efecto diferente a las demás.

LU-03:

```
      Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data: LU03_húmeda$Inhibition by LU03_húmeda$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.6018, df = 3, p-value = 0.4572
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-03, es constante.

LU-04:

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU04_húmeda$Inhibition by LU04_húmeda$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 1.4114, df = 3, p-value = 0.7029
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-04, es constante.

LU-05:

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: LU05_húmeda$Inhibition by LU05_húmeda$Concentration
Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.4695, df = 3, p-value = 0.4808
```

Ho = La varianza del error es constante.

Ha = La varianza del error no es constante.

Para un nivel de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, por tanto, la varianza del error de la mortalidad para LU-05, es constante.

Anexo 3: Scripts

A. Bioensayo con *Daphnia magna*

```
1 #Cálculo CL 50
2
3 install.packages("drc")
4 library(drc)
5 library(readxl)
6 LU01_24h_Seca <- read_excel("D:/R/Daphnia magna/LU01_24h_Seca.xlsx")
7 modelo<-drm(LU01_24h_seca$mortality~LU01_24h_seca$concentration, data
8             LU01_24h_Seca, fct=LL.4(fixed = c(NA,0,100,NA), names =
9             c("slope", "lower limit", "upper limit", "LC50")))
10 summary(modelo)
11
12 #Gráfica Concentración-Mortalidad
13 setwd("D:/R/Daphnia magna")
14 library(readxl)
15 library(ggplot2)
16 read_excel("D:/R/Daphnia magna/LU01_24h_Húmeda.xlsx")
17 A1<-read_excel("D:/R/Daphnia magna/LU01_24h_seca.xlsx")
18 ggplot(data = A1, aes(x=log10(Concentracion), y = (Mortalidad/Total)))
19 + geom_smooth(method = "glm", method.args=list(family=binomial(link="probit")))
20 ,aes(weight=Total, color=Exposicion), se=FALSE)+
21 theme(text = element_text(size = 8))+
22 theme(plot.title = element_text(family = "Times New Roman", size = rel(2),
23 hjust = (0.5), vjust = 2, face = "bold", lineheight = 1.5))+
24 labs(x="-log(Concentración)", y="Mortalidad(%))+
25 scale_y_continuous(labels = scales::percent_format()+ggtitle("LU01")
```

B. Bioensayo con *Lactuca sativa*

```
1 #Cálculo CI 50
2
3 install.packages("drc")
4 library(drc)
5 LU01_Seca <- read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU01_Seca.xlsx")
6 modelo<-drm(LU01_seca$inhibition~LU01_seca$concentration, data
7             LU01_Seca, fct=LL.4(fixed = c(NA,0,100,NA), names =
8             c("slope", "lower limit", "upper limit", "LC50")))
9 summary(modelo)
10
11 #Gráfica Concentración-Mortalidad
12 setwd("D:/R/Lactuca sativa")
13 library(ggplot2)
14 read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU01_Seca.xlsx")
15 A1<-read_excel("D:/R/Lactuca sativa/LU01_Seca.xlsx")
16 ggplot(data = A1, aes(x=log10(Concentration), y = (Inhibition/Total)))+
17 geom_smooth(method = "glm", method.args=list(family=binomial(link="probit")),
18 aes(weight=Total), colour="#00008B", se=FALSE)+ theme(text = element_text(size = 8))
19 +labs(x="log(Concentración)", y="Inhibición(%))+
20 scale_y_continuous(labels = scales::percent_format())
21 +theme(plot.title = element_text(family = "Times New Roman", size = rel(1),
22 hjust = 0.5, vjust = 2, face = "bold", color = "black", lineheight = 1.5))+
23 ggtitle("LU01")+geom_errorbar(stat="summary", fun.data="mean_sd1",
24 fun.args=list(mult=1), position = position_dodge(width = 0.9), linewidth=0.5, width=0.03)
25 + stat_summary(fun = "mean", geom = "point", shape=20, linewidth=0.5, color="Black")
```

C. Bioensayo con *Vibrio fischeri*

```
1 #Cálculo CI 50
2
3 install.packages("drc")
4 library(drc)
5 LU01_seca<-read_excel("D:/R/Vibrio fischeri/LU01_Seca.xlsx")
6 modelo<-drm(LU01_Seca$Inhibition~LU01_Seca$Concentration, data = LU01_Seca,
7             fct=LL.4(fixed = c(NA,0,100,NA), names = c("slope", "lower limit"
8             , "upper limit", "IC50")))
9 summary(modelo)
10
11 #Gráfica Concentración~Inhibición
12 setwd("D:/R/Vibrio fischeri")
13 library(ggplot2)
14 read_excel("D:/R/Vibrio fischeri/LU01_Seca.xlsx")
15 A1<-read_excel("D:/R/Vibrio fischeri/LU01_Seca.xlsx")
16 ggplot(data = A1, aes(x=log10(Concentration), y = (Inhibition/Total)))+
17 geom_smooth(method = "glm", method.args=list(family=binomial(link="probit")),
18 aes(weight=Total), colour="#458B74", se=FALSE)+ theme(text = element_text(size = 8))
19 +labs(x="log(Concentración)", y="Inhibición(%))+scale_y_continuous(labels = scales::perce
20 +theme(plot.title = element_text(family = "Times New Roman", size = rel(1),
21 hjust = 0.5, vjust = 2, face = "bold", color = "black", lineheight = 1.5))+
22 ggtitle("LU01")+geom_errorbar(stat="summary", fun.data="mean_sd1",
23 fun.args=list(mult=1), position = position_dodge(width = 0.9), linewidth=0.5, width=0.03)
24 + stat_summary(fun = "mean", geom = "point", shape=20, linewidth=0.5, color="Black")]
```

Anexo 4: Informes de laboratorio



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA222955 Rev. 0**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

AV. LA MOLINA S/N LA MOLINA, LIMA

ENV / LB-351049-002

Fecha de Recepción SGS : 05-06-2022

Fecha de Ejecución : Del 05-06-2022 al 11-06-2022

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
LU-01
LU-02
LU-03
LU-04
LU-05

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 11/06/2022

Frank M. Julcamoro Quispe

C.Q.P. 1033

Coordinador de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Página 1 de 7

**INFORME DE ENSAYO
MA2222955 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					LU-01	LU-02
FECHA DE MUESTREO					04/06/2022	04/06/2022
HORA DE MUESTREO					14:30:00	12:30:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL
					AGUA DE RIO	AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	10 ± 2	17 ± 4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	3.7 ± 0.8	6.3 ± 1.3
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	21.0 ± 2.1	30.1 ± 3.0
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	<0.4	<0.4
Aniones						
Cloruro	EW_EPA300_0	mg/L	0.025	0.050	364.532 ± 40.099	335.392 ± 36.893
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	3.232 ± 0.356	7.034 ± 0.774
Sulfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.01	0.03	329.18 ± 39.50	321.77 ± 38.61
Metales Totales						
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.336 ± 0.030	0.126 ± 0.011
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	0.00148 ± 0.00041	0.00142 ± 0.00040
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00655 ± 0.00072	0.00516 ± 0.00057
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0666 ± 0.0060	0.0612 ± 0.0055
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00010	0.00006	<0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	0.00003 ± 0.00001
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.488 ± 0.059	0.496 ± 0.060
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00010 ± 0.00002	0.00013 ± 0.00003
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	182.168 ± 18.217	181.590 ± 18.159
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	0.00055 ± 0.00004	0.00046 ± 0.00004
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0017 ± 0.0004	0.0013 ± 0.0003
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00047 ± 0.00004	0.00033 ± 0.00003
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00610 ± 0.00153	0.00487 ± 0.00122
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.9084 ± 0.0818	0.8542 ± 0.0769
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	2.906 ± 0.814	6.479 ± 1.814
Gallo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	0.00032 ± 0.00003	0.00021 ± 0.00002
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.5926 ± 0.0474	0.1984 ± 0.0159
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	0.0043 ± 0.0012
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0882 ± 0.0079	0.0723 ± 0.0065
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	32.009 ± 3.841	31.955 ± 3.835
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.09380 ± 0.00657	0.06903 ± 0.00483
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00323 ± 0.00074	0.00302 ± 0.00069
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0033 ± 0.0008	0.0031 ± 0.0007
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.000119 ± 0.000018	0.014923 ± 0.002238
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0016 ± 0.0001	0.0018 ± 0.0002
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	19.50 ± 1.56	97.82 ± 7.83
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0137 ± 0.0014	0.0207 ± 0.0021
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.0039 ± 0.0009	0.0016 ± 0.0004
Silice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	24.01 * ± 2.88	36.96 * ± 4.44
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	11.22 ± 1.35	17.28 ± 2.07
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	261.334 ± 28.747	222.739 ± 24.501
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Tantalo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
torio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0129 ± 0.0017	0.0084 ± 0.0011
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.003127 ± 0.000657	0.002915 ± 0.000612
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0049 ± 0.0007	0.0044 ± 0.0007
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	0.0299 ± 0.0030	0.0292 ± 0.0029
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045

**INFORME DE ENSAYO
MA222955 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					LU-05	LU-04
FECHA DE MUESTREO					04/06/2022	04/06/2022
HORA DE MUESTREO					13:00:00	13:34:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUB CATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL
					AGUA DE RIO	AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	39 ± 9	23 ± 5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	29.4 ± 6.2	3.5 ± 0.7
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	63.4 ± 6.3	26.2 ± 2.6
Acetres y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	3.6 ± 0.8	<0.4
Aniones						
Cloruro	EW_EPA300_0	mg/L	0.025	0.050	493.908 ± 54.330	382.520 ± 42.077
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	7.972 ± 0.877	2.833 ± 0.312
Sulfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.01	0.03	222.36 ± 26.68	361.33 ± 43.36
Metales Totales						
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.098 ± 0.009	0.111 ± 0.010
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	0.00567 ± 0.00159	0.00116 ± 0.00032
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00343 ± 0.00038	0.00605 ± 0.00067
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0380 ± 0.0034	0.0692 ± 0.0062
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00010	0.00006	<0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00015 ± 0.00003	<0.00003
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.489 ± 0.059	0.486 ± 0.058
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00012 ± 0.00003	0.00013 ± 0.00003
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	136.032 ± 13.603	186.478 ± 18.648
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024	<0.00024
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0047 ± 0.0012	0.0017 ± 0.0004
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00043 ± 0.00004	0.00034 ± 0.00003
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.01602 ± 0.00401	0.00643 ± 0.00161
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0060 ± 0.0015	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00030 ± 0.00006	0.00013 ± 0.00002
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.9960 ± 0.0896	0.9342 ± 0.0841
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	9.179 ± 2.570	2.805 ± 0.785
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	0.00021 ± 0.00002	0.00028 ± 0.00002
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.00006	<0.00006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.2210 ± 0.0177	0.2194 ± 0.0176
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.00015	<0.00015
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.1452 ± 0.0131	0.0902 ± 0.0081
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	21.279 ± 2.553	33.190 ± 3.983
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.04426 ± 0.00310	0.10323 ± 0.00723
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00308 ± 0.00071	0.00297 ± 0.00068
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.00015	<0.00015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0090 ± 0.0021	0.0032 ± 0.0007
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.001749 ± 0.000262	0.000186 ± 0.000028
Piomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0008 ± 0.0001	0.0007 ± 0.0001
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	41.21 ± 3.30	20.70 ± 1.66
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0316 ± 0.0032	0.0142 ± 0.0014
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.00013	0.0037 ± 0.0009
Silice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	33.15 * ± 3.98	22.91 * ± 2.75
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	15.49 ± 1.86	10.71 ± 1.29
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	365.301 ± 40.183	224.963 ± 24.746
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Tantalo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.00021	<0.00021
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.0003	<0.0003
Thorio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0087 ± 0.0011	0.0048 ± 0.0006
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.001946 ± 0.000409	0.003273 ± 0.000687
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0034 ± 0.0005	0.0056 ± 0.0008
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.00006	<0.00006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	0.0384 ± 0.0038	0.0277 ± 0.0028
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	0.00103 ± 0.00024	<0.00045

**INFORME DE ENSAYO
MA2222955 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					LU-03
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORÍA SUB CATEGORÍA					04/06/2022 15:30:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RÍO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales					
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	22 ± 5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	3.3 ± 0.7
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	25.5 ± 2.6
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	<0.4
Aniones					
Cloruro	EW_EPA300_0	mg/L	0.025	0.050	276.206 ± 30.383
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	8.107 ± 0.892
Sulfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.01	0.03	283.14 ± 33.98
Metales Totales					
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.265 ± 0.024
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	0.00065 ± 0.00018
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00470 ± 0.00052
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0405 ± 0.0036
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00010	0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00005 ± 0.00001
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.417 ± 0.050
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00006 ± 0.00001
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	144.567 ± 14.457
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	0.00042 ± 0.00003
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0007 ± 0.0002
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00041 ± 0.00004
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00409 ± 0.00102
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.6336 ± 0.0570
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	7.978 ± 2.234
Gallo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	0.00037 ± 0.00003
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.3282 ± 0.0263
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0506 ± 0.0046
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	24.707 ± 2.965
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.05212 ± 0.00365
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00288 ± 0.00066
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Níquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0019 ± 0.0004
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.000028 ± 0.000004
Piombo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0007 ± 0.0001
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	26.53 ± 2.12
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0201 ± 0.0020
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013
Silíce Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	41.29 * ± 4.95
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	19.30 ± 2.32
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	203.204 ± 22.352
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Tantalio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003
torio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0156 ± 0.0020
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.002112 ± 0.000444
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0056 ± 0.0008
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	0.0167 ± 0.0017
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2302127 Rev. 0**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

AV. LA MOLINA S/N LA MOLINA, LIMA

ENV / LB-351770-002

PROCEDENCIA : RIO LURIN

Fecha de Recepción SGS : 22-01-2023

Fecha de Ejecución : Del 22-01-2023 al 27-01-2023

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
LU-01
LU-02
LU-03
LU-04
LU-05

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 27/01/2023

Frank M. Julcamoro Quispe

C.Q.P. 1033

Supervisor de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Página 1 de 7



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO
MA2302127 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					LU-01	LU-02
FECHA DE MUESTREO					21/01/2023	21/01/2023
HORA DE MUESTREO					09:15:00	10:00:00
CATEGORÍA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUB CATEGORÍA					AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL
					AGUA DE RÍO	AGUA DE RÍO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	14 ± 3	10 ± 2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHAS220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	32.6 ± 3.30	33.6 ± 3.40
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	<0.4	<0.4
Aniones						
Cloruro	EW_EPA200_8	mg/L	0.025	0.050	24.888 ± 3.21	23.947 ± 3.11
Fosfato	EW_EPA200_8	mg/L	0.019	0.038	0.371 ± 0.041	0.488 ± 0.054
Sulfato	EW_EPA200_8	mg/L	0.01	0.03	51.66 ± 6.20	52.01 ± 6.24
Metales Totales						
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.371 ± 0.033	0.332 ± 0.030
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	0.00056 ± 0.00018	0.00057 ± 0.00018
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0000	0.0001	0.0044 ± 0.00050	0.0042 ± 0.00050
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0208 ± 0.0019	0.0195 ± 0.0018
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.143 ± 0.017	0.141 ± 0.017
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00011 ± 0.000030	0.00007 ± 0.000020
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	25.782 ± 2.58	24.910 ± 2.49
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	0.00089 ± 0.000070	0.00042 ± 0.000030
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0004 ± 0.00010	0.0003 ± 0.00010
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00022 ± 0.000020	0.00027 ± 0.000020
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00230 ± 0.00058	0.00084 ± 0.00021
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	0.00020 ± 0.000040
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.1763 ± 0.016	0.1679 ± 0.015
Fluoruro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	0.534 ± 0.15	0.488 ± 0.14
Gaio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012	<0.00012
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.4567 ± 0.037	0.3463 ± 0.028
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	0.0018 ± 0.00050	<0.0015
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0290 ± 0.0026	0.0287 ± 0.0026
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	3.949 ± 0.47	3.995 ± 0.48
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0000	0.0001	0.0273 ± 0.0019	0.0273 ± 0.0019
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00139 ± 0.00032	0.00132 ± 0.00030
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0038 ± 0.00090	0.0006 ± 0.00010
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00000	0.00001	0.00054 ± 0.000080	<0.00001
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0008 ± 0.00010	<0.0006
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	5.15 ± 0.41	3.20 ± 0.26
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0042 ± 0.00040	0.0036 ± 0.00040
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	<0.0013
Slice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	13.12 ± 1.57	12.66 ± 1.52
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.040	0.128	6.131 ± 0.74	5.925 ± 0.71
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	17.577 ± 1.93	17.171 ± 1.89
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Tantalo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
Torio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0184 ± 0.0024	0.0082 ± 0.0011
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00000	0.00001	0.00039 ± 0.000080	0.00041 ± 0.000090
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0010 ± 0.00020	0.0011 ± 0.00020
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	0.0238 ± 0.0024	0.0112 ± 0.0011
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	0.00073 ± 0.00017	<0.00045

**INFORME DE ENSAYO
MA2302127 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					LU-03	LU-04
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORÍA SUB CATEGORÍA					21/01/2023 10:35:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO	21/01/2023 11:00:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APH42540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	13 ± 3	15 ± 3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APH45210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
Demanda Química de Oxígeno	EW_APH45220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	61.6 ± 6.20	31.5 ± 3.20
Acetres y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	<0.4	<0.4
Aniones						
Cloruro	EW_EPA300 0	mg/L	0.025	0.050	30.326 ± 3.94	25.388 ± 3.30
Fosfato	EW_EPA300 0	mg/L	0.019	0.038	1.041 ± 0.11	0.704 ± 0.077
Sulfato	EW_EPA300 0	mg/L	0.01	0.03	56.43 ± 6.77	53.55 ± 6.43
Metales Totales						
Aluminio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.001	0.003	0.248 ± 0.022	0.561 ± 0.050
Antimonio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0004	0.0013	0.00043 ± 0.00012	0.00043 ± 0.00012
Arsénico Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0000	0.0001	0.0032 ± 0.00040	0.0046 ± 0.00050
Bario Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0185 ± 0.0017	0.0210 ± 0.0019
Berilio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003
Boro Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.002	0.006	0.143 ± 0.017	0.148 ± 0.018
Cadmio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00007 ± 0.000020	0.00004 ± 0.000010
Calcio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.003	0.009	26.117 ± 2.61	26.312 ± 2.63
Cerio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00008	0.00024	0.00053 ± 0.000040	0.00062 ± 0.000050
Cesio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	0.0003 ± 0.00010
Cobalto Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00033 ± 0.000030	0.00035 ± 0.000030
Cobre Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00095 ± 0.00024	0.00141 ± 0.00035
Cromo Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0159 ± 0.0040	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00019 ± 0.000040	0.00020 ± 0.000040
Estroncio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.1732 ± 0.016	0.1679 ± 0.015
Fósforo Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.015	0.047	0.770 ± 0.22	0.577 ± 0.16
Gaio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012	0.00020 ± 0.000020
Germanio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0004	0.0013	0.4315 ± 0.035	0.5659 ± 0.045
Lantano Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Litio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0274 ± 0.0025	0.0292 ± 0.0026
Lutecio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.001	0.003	4.280 ± 0.51	4.199 ± 0.50
Manganeso Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0000	0.0001	0.0281 ± 0.0020	0.0328 ± 0.0023
Mercurio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00135 ± 0.000031	0.00130 ± 0.000030
Niobio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0015 ± 0.00030	<0.0006
Plata Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00000	0.00001	0.00021 ± 0.000030	<0.00001
Plomo Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	0.0010 ± 0.00010
Potasio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.04	0.13	4.19 ± 0.34	2.92 ± 0.23
Rubidio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0041 ± 0.00040	0.0038 ± 0.00040
Selenio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	<0.0013
Silice Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.09	0.27	12.85 ± 1.54	14.42 ± 1.73
Silicio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.040	0.128	6.004 ± 0.72	6.741 ± 0.81
Sodio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.006	0.019	20.828 ± 2.29	18.480 ± 2.033
Talio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Tantalo Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
torio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0083 ± 0.0011	0.0177 ± 0.0023
Uranio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00000	0.00001	0.00037 ± 0.000080	0.00040 ± 0.000080
Vanadio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0014 ± 0.00020	0.0027 ± 0.00040
Wolframio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.0008	0.0026	0.0088 ± 0.00090	0.0061 ± 0.00060
Zirconio Total	EW_EPA200 8	mg/L	0.00015	0.00045	0.00072 ± 0.00017	<0.00045

**INFORME DE ENSAYO
MA2302127 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					LU-05
FECHA DE MUESTREO					21/01/2023
HORA DE MUESTREO					11:40:00
CATEGORÍA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORÍA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RÍO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
Análisis Generales					
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	18 ± 4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	2.8 ± 0.60
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	36.6 ± 3.70
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	<0.4
Aniones					
Cloruro	EW_EPA300_0	mg/L	0.025	0.050	42.152 ± 5.48
Fosfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.019	0.038	0.550 ± 0.061
Sulfato	EW_EPA300_0	mg/L	0.01	0.03	57.30 ± 6.88
Metales Totales					
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.360 ± 0.032
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	0.00097 ± 0.00027
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0000	0.0001	0.0036 ± 0.00040
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0196 ± 0.0018
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.152 ± 0.018
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00006 ± 0.000010
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	28.017 ± 2.80
Ceño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	0.00074 ± 0.000060
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0004 ± 0.00010
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00025 ± 0.000020
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00263 ± 0.00066
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.1979 ± 0.018
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	0.858 ± 0.24
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	0.00014 ± 0.000010
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.3882 ± 0.031
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0299 ± 0.0027
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	4.663 ± 0.56
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0000	0.0001	0.0253 ± 0.0018
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00164 ± 0.00038
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0006 ± 0.00010
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00000	0.00001	0.00004 ± 0.000010
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0007 ± 0.00010
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	3.95 ± 0.32
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0048 ± 0.00050
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013
Silíce Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	13.38 ± 1.61
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.040	0.128	6.253 ± 0.75
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	29.324 ± 3.23
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Tantalio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003
Thorio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0177 ± 0.0023
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00000	0.00001	0.00045 ± 0.000090
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0018 ± 0.00030
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	0.0128 ± 0.0013
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	0.00048 ± 0.00011

Anexo 5: Resultados de bioensayos

A. Bioensayo con *Lactuca sativa*

Para la época húmeda:

- **LU-01**

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Radícula																	
	R1	R2	R3															
1	12	14	10	11	9	15	13	15	12	8	15	17	12	11	15	11	12	11
2	10	9	12	13	8	10	12	10	15	18	12	15	13	12	14	15	15	13
3	5	10	9	12	15	9	13	12	8	15	8	5	5	10	13	12	7	15
4	5	9	7	10	10	7	13	10	10	10	5	5	12	15	14	8	10	13
5	8	4	5	12	6	7	9	6	2	10	13	10	11	14	12	10	10	8
6	7	5	9	8	10	13	9	3	15	13	15	10	10	10	13	9	12	9
7	1	1	3	5	8	4	7	14	10	7	5	13	10	5	10	14	14	12
8		1	1	4	11		1	7	5	8	12	11	15	12	9	13	13	13
9			1	5	5			10		8	10				6	11	10	11
10															11	10	9	10

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Hipocótilo																	
	R1	R2	R3															
1	15	25	20	24	15	14	18	15	16	20	24	20	32	28	20	25	29	20
2	20	18	10	12	15	25	22	8	25	30	15	25	35	30	35	28	35	25
3	14	13	11	22	30	23	25	10	15	23	15	20	15	33	15	20	20	12
4	20	15	20	22	19	10	15	17	18	25	23	15	15	20	22	24	13	18
5	13	17	15	20	15	18	23	13	10	17	25	19	20	23	25	24	25	24
6	14	25	12	20	25	15	15	35	21	24	20	33	23	25	30	43	15	27
7	13	14	27	15	14	16	15	30	23	24	39	15	27	30	15	15	25	24
8		8	20	15	10		20	27	24	20	20	23	25	18	15	25	32	23
9			13	10	15			27		15	15				38	25	25	25
10															30	25	31	24

- LU-02

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Radícula																	
	R1	R2	R3															
1	8	10	12	13	11	12	15	14	18	13	16	18	10	15	11	14	13	9
2	10	11	10	11	10	10	10	11	10	11	15	6	14	14	11	10	7	10
3	5	6	8	10	12	8	12	9	10	10	10	5	11	12	10	12	10	10
4	5	4	10	10	10	9	10	5	7	15	5	20	15	11	15	11	10	7
5	1	5	5	6	9	9	5	5	7	12	12	6	9	15	13	15	9	12
6		1	1	10	5	1	10	15	8	7	10	5	15	6	11	9	11	15
7			4	4	3		8	11	5	10	12	12	11	11	15	12	7	14
8			3	2			3	10		9	4	11	8	10	10	9	19	10
9								7		5						8	15	12
10								4								9	7	12

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Hipocótilo																	
	R1	R2	R3															
1	25	29	25	23	20	14	29	12	33	29	33	25	34	37	34	24	35	32
2	18	14	10	15	22	25	25	20	20	20	31	15	25	34	30	35	22	25
3	15	15	17	15	15	15	17	10	19	17	22	20	31	15	37	25	20	34
4	12	13	17	19	20	20	26	27	25	25	22	25	35	15	24	25	22	28
5	5	19	15	17	14	19	16	23	10	20	24	25	20	20	10	10	30	24
6		15	14	25	20	17	20	24	18	20	30	24	22	25	40	41	30	27
7			20	20	19		15	33		23	15	30	22	30	28	32	15	32
8			20	16			12			25	15	15	32	30	25	30	15	25
9										32						30	24	25
10																24	20	25

- LU-03

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Radícula																	
	R1	R2	R3															
1	5	9	7	12	10	13	10	12	11	10	15	10	13	15	18	12	15	10
2	7	5	9	10	9	11	15	10	11	11	10	14	12	10	13	11	10	13
3	7	6	5	8	12	12	10	12	10	14	13	14	10	10	9	10	10	12
4	5	5	4	11	9	10	10	12	8	15	13	10	13	14	10	13	10	13
5	1	3	1	5	14	7	12	10	7	10	5	6	11	14	13	13	9	8
6		1		2	3	6	4	5	4	15	8	8	10	10	8	9	9	11
7				5	3	3	5	7		6	8	7	7	8	6	7	8	7
8					2	1	3	6		5	7		11	7	10	10	8	5
9							5	2		5			5	9		10	8	10
10										4				5		1	10	

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Hipocótilo																	
	R1	R2	R3															
1	15	19	20	25	18	23	20	28	15	31	27	28	24	34	35	35	34	30
2	10	25	10	20	20	13	29	25	25	29	30	15	33	32	35	26	30	33
3	22	13	16	21	20	20	23	25	25	35	25	29	35	29	15	19	14	28
4	15	10	18	28	15	31	28	15	29	15	22	30	20	25	23	25	36	28
5	9	12	9	15	14	15	15	15	14	24	25	30	25	25	15	25	27	20
6		15		12	14	15	12	20	22	25	15	10	28	30	20	20	18	20
7				15	25	18	17	20		20	18	25	28	15	20	23	30	14
8					23	18	22	17		19	20		25	23	24	23	27	27
9							20	25		18			25	23		25	28	27
10										15				30		25	15	

- LU-04

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Radícula																	
	R1	R2	R3															
1	9	9	10	12	10	9	13	8	12	12	13	10	10	12	14	10	10	11
2	5	9	6	11	11	10	15	8	10	6	11	10	10	9	17	12	10	11
3	7	7	5	8	9	12	10	5	5	10	10	15	10	10	10	5	9	10
4	3	5	1	8	7	7	12	5	5	5	10	6	15	15	7	7	5	7
5	1	1		7	12	5	5	15	10	5	12	10	13	10	7	7	13	7
6		1		1	5	1	5	10	5	15	5	10	10	12	9	12	13	5
7				1	2		5	3		15	10	5	12	11	8	12	11	9
8					1		3			10	8		5	5	10	12	7	10
9							3			5	5		7	5	10	12	8	10
10													6			10	9	13

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Hipocótilo																	
	R1	R2	R3															
1	19	15	18	15	16	20	21	23	15	25	35	15	23	34	35	23	20	25
2	12	15	10	13	11	13	14	23	25	12	30	25	27	24	29	23	30	25
3	14	18	13	13	14	14	19	17	25	20	10	10	20	24	18	25	25	20
4	8	12	12	15	15	13	20	15	15	20	10	30	21	22	13	15	20	14
5	7	10	15	10	13	15	18	12	14	15	25	28	23	23	13	20	28	35
6		5		23	15	13	23	22	10	15	10	10	24	14	31	18	30	12
7				15	14		12	9		27	10	15	17	23	15	29	23	40
8					17		16			25	25		14	13	17	30	11	10
9							19			15	20		13	6	13	25	15	15
10													23			15	19	20

- LU-05

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Radícula																	
	R1	R2	R3															
1	13	7	5	13	12	15	14	10	10	10	12	10	15	17	25	15	7	10
2	5	5	5	11	10	9	10	11	11	10	10	10	10	20	12	15	10	10
3	7	5	5	5	5	5	9	5	10	14	11	10	5	12	20	15	14	8
4	7	1		5	6	1	5	10	7	6	6	10	15	10	6	15	15	10
5	1			7	5	6	10	10	10	15	5	10	15	15	10	5	15	8
6	1			1	5		5	7	9	5	10	13	9	10	7	10	10	9
7							7		5	10	14	14	13	8	7	7	8	12
8										10	11	12	14	17	4	9	8	14
9											12		5	4		6	9	11
10													5	4		7	10	

	100%			50%			25%			12.5%			6.25%			0%		
	Hipocótilo																	
	R1	R2	R3															
1	21	24	19	15	25	25	23	18	12	18	18	20	30	13	15	30	12	25
2	18	13	13	14	14	14	30	23	5	10	25	20	15	40	27	30	12	33
3	10	15	9	16	13	15	15	26	15	25	25	22	10	30	30	24	15	15
4	5	8	5	14	15	13	23	14	12	23	22	30	22	10	15	23	16	25
5	6	10		20	18	7	20	17	35	30	20	20	20	22	12	23	22	27
6	5	1		13	10		10	12	22	15	30	21	25	30	15	13	25	15
7							5		30	27	14	14	20	20	23	22	25	22
8										20	20	24	20	17	40	23	25	23
9											12		40	23		10	30	10
10													25	24		14	31	

B. Bioensayo con *Vibrio fischeri*

Para la temporada seca:

Blanco						
	t=0s			t=15min		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	15152207	15216542	15161894	16537260	16583972	16916035
LU-01						
100	16562564	16566320	16538815	16770067	16941144	16955814
50	15070370	15004621	15273416	15990540	15997009	16368069
25	14798350	14969782	15036275	16080641	16116040	16611857
12.5	15020904	15036217	15236844	16582647	16306358	16899028
6.25	14978132	14951584	15055789	16627501	16513682	16723385
LU-02						
100	16573036	16629911	16487190	17048861	16691123	17041666
50	14897205	15204187	15009955	15856029	16336827	16322920
25	16101664	15960254	15815413	17445528	17226692	17379920
12.5	14698187	15746223	15573771	16038758	17553250	17436470
6.25	14950151	14492640	15415869	16569125	16167057	17531131
LU-03						
100	16997424	17268224	16999856	15325010	15238163	15133010
50	16429974	16580554	16513520	17196340	17458273	17836433
25	16392751	16393752	16448060	17712489	17491737	17912861
12.5	16121713	16329653	15506876	17515464	17687733	17147691
6.25	15706347	15534386	15776732	17286194	17024432	17712489
LU-04						
100	17521364	17409473	17448610	15993689	15534629	14977722
50	16989440	15640462	16736115	17816730	16515121	17918580
25	16036259	16531484	16521641	17042882	17536479	17970703
12.5	16224558	16200297	16291079	17401972	17451062	17976405
6.25	16170783	16189135	16084214	17626267	17600319	17909821
LU-05						
100	17760806	17445496	17630316	14010908	14079206	14045724
50	16741163	16188817	16295666	17432598	17090213	17293772
25	16101008	16502285	16093544	17129938	17540770	17392986
12.5	16050267	16145037	16377953	17345821	17379077	17998295
6.25	15985679	16264990	16178666	17371739	17680484	17990672

Para la temporada húmeda:

Blanco						
	t=0s			t=15min		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	15771044	15860837	15804574	17011691	16967526	17198429
LU-01						
100	15851405	15952099	15793613	15730337	16033310	16233429
50	16426297	16528661	15888066	17280921	17194090	16698371
25	15627798	15524646	15738789	16597754	16359779	16880795
12.5	15820347	15624320	15693221	17220400	16628224	17169216
6.25	15729230	16024874	15701047	17029074	17252558	17097471
LU-02						
100	15340378	15292305	16411691	15707893	15483456	16709821
50	14150341	13879529	15789421	14989201	14558979	16775623
25	14022515	14302961	15712023	15021591	15137850	16938929
12.5	15367526	15198429	15680921	16457427	16482115	16994217
6.25	16094090	16618371	16430337	17608012	17861125	17756272
LU-03						
100	16831227	16521403	16832556	15982637	15815685	15763202
50	16866381	15556939	15731011	17531102	15916591	16484568
25	15845137	14708992	14582234	16743911	15456823	15504452
12.5	14070587	15843478	14243457	15122111	16857342	15450321
6.25	16452374	15620052	16438161	17928324	16789935	17864854
LU-04						
100	16616591	16684568	16843911	15399537	15270800	15211082
50	14907823	13804214	14222350	15384326	14307456	14930052
25	15572311	15503456	14028678	16365854	16189689	14855736
12.5	14349357	14856452	14583677	15309915	15796867	15783931
6.25	14937689	14495678	13056789	16054785	15520149	14423589
LU-05						
100	17415685	17563202	17631102	15377199	15190832	15046709
50	17252558	16997471	17182637	17784001	17346928	17911943
25	16928224	16969216	16829074	17748855	17512541	17670705
12.5	16397795	16680795	16720400	17435501	17572808	17940155
6.25	16133310	15733429	16297754	17437474	16908903	17599263

Anexo 6: Información brindada por SEDAPAL



Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Carta N° 229 - 2023-ESG

Lima, 03 de mayo del 2023

Señora
Maryori Amanda Lazaro Diaz
Jirón Hulracocha N° 2257 Dpto. 304
Presente..-

Asunto : Atención a solicitud de acceso a la información pública – Ley N° 27806

Referencia : Solicitud de Acceso a la Información Pública recibida el 20.04.2023

Es grato dirigirme a usted, con relación a su pedido de información efectuado con el documento de la referencia, en mérito a la Ley N° 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Al respecto, el Equipo Gestión de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales traslada el Memorando N° 670-2023-EG-PTAR recibido el 03.05.2023, el mismo que se adjunta en atención a su requerimiento.

Por ello, conforme a lo establecido en el artículo 12° del Reglamento de la Ley N° 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, dicha documentación, se remite escaneada al correo electrónico: 20130121@lamolina.edu.pe ; de acuerdo a lo señalado en su solicitud.

Sin otro particular, quedo de usted,

Atentamente,

Humberto Reyes Rocha
Segundo Suplente Responsable de la Entrega
de Información COP La Atarjea

/fyns

Reg. 46625-2023



Equipo Gestión de Plantas
de Tratamiento de Aguas Residuales



Memorando N° 670-2023-EG-PTAR

A : Karina Fernández Cuba
Secretaría General (e)

Asunto : Remisión de pedido de información por Ley de Transparencia

Referencia : MEMO N° 281-2023-ESG (Reg. 46625-23)

Fecha : Lima, 02 de mayo de 2023

Mediante el presente documento se da respuesta a la solicitud de información de las plantas de tratamiento de aguas residuales de San Bartolo y Julio C. Tello comunicada mediante el memorando de la referencia en el cual se adjunta la carta N°001-2023-MALD.

Al respecto señalamos lo siguiente:

Las plantas de tratamiento de aguas residuales de San Bartolo y Julio C. Tello han sido diseñadas para tratar aguas residuales domésticas. Cada una de ellas cuenta con la tecnología de tratamiento descrita en el Cuadro N°01. Las PTAR señaladas tratan un caudal promedio anual de 1032.78 L/s y 28.65 L/s respectivamente; de acuerdo al registro anual del último año (2022).

Cuadro N°01 – Caudal de Tratamiento y Tecnología de Tratamiento

PTAR Existentes	Caudal de Tratamiento promedio año 2022 (L/s)	Tecnología de Tratamiento		
		Tratamiento Preliminar y primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
Julio C. Tello	28.65	Rejas gruesas minicorte 5-10mm, en 10mm + 01 tanco rotatorio 8mm + 01 desarenador convencional	1 Laguna anaerobia + 1 laguna aerobia MP + 2 sedimentadores	Desinfección con cloro gas
San Bartolo	1032.78	Pre tratamiento realizado en PUNTO A. Rejas gruesas mecanizadas + faja transportadora + tornillo compactador + desarenador convencional + clasificadores de arena	Se cuenta con cinco baterías. Dos en la zona norte compuestas por: 2 lagunas aerobias MC + 3 lagunas aerobias MP + 1 laguna de sedimentación + 3 lagunas de pulimento y tres en la zona sur compuestas por 2 lagunas MC + 3 lagunas MP + 2 lagunas de sedimentación + 3 lagunas de pulimento. Cabe señalar que la batería 5 del sector sur se encuentra inoperativa por falla estructural.	Desinfección con cloro gas

MP: Lagunas aerobias de mezcla parcial
MC: Lagunas aerobias de mezcla completa

Dispositivos de vertimiento:

La PTAR San Bartolo cuenta con un emisor de aguas residuales tratadas de 1400mm de diámetro de hierro dúctil que descarga al río Lurín, aguas abajo de la PTAR Julio C. Tello. La PTAR Julio C. Tello cuenta con tubería de descarga de 14" de HDPE.

Registros de calidad:

Los registros de calidad de las aguas residuales crudas y tratadas se muestran en los cuadros N° 02 y N°03. Cabe señalarse que la PTAR San Bartolo y la PTAR Julio C Tello se encuentran en el registro único de proceso de adecuación progresiva (RUPAP). La PTAR San Bartolo con constancia N° 082 y la PTAR Julio C. Tello con constancia N° 061.





Equipo Gestión de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Memorando N° 670-2023-EG-PTAR

Cuadro N°02 – PTAR Julio C. Tello

PTAR JULIO C. TELLO														Fecha de Muestreo
pH		T (°C)		DB5 (mg/L)		DQO (mg/L)		SST (mg/L)		Apl (mg/L)		CT (MPN/100ml)		
Afluente	Effluente LPP 5.0-5.5	Afluente	Effluente LPP 0.8	Afluente	Effluente LPP + 200	Afluente	Effluente LPP + 200	Afluente	Effluente LPP + 150	Afluente	Effluente LPP + 20	Afluente	Effluente LPP + 20000	
7.70	6.94	27.8	26.1	227.00	76.00	202	117	45	11	10.00	0.00	3,400-07	3,000-07	04/01/2023
7.90	7.06	27.2	26.4	222.00	71.00	204	111	38	40	20.00	0.00	3,000-07	3,000-07	05/01/2023
7.80	7.70	27.7	26.3	199.00	73.00	199	111	31	179	10.00	0.00	3,000-07	3,000-07	06/01/2023
8.07	8.02	26.8	26.2	180.00	67.00	198	104	30	41	17.00	0.00	3,000-06	3,000-06	08/01/2023
8.02	7.48	26.0	27.0	144.00	66.00	181	88	30	37	22.00	0.00	3,000-07	3,000-07	09/01/2023
8.40	7.90	26.8	26.8	141.00	74.00	199	94	30	31	22.00	0.00	3,000-07	3,000-07	09/01/2023
8.60	7.97	27.2	27.2	105.00	74.00	191	91	29	9	20.00	0.00	3,000-07	3,000-07	09/01/2023

Cuadro N°03 – PTAR San Bartolo

PTAR SAN BARTOLO														Fecha de Muestreo
pH		T (°C)		DB5 (mg/L)		DQO (mg/L)		SST (mg/L)		Apl (mg/L)		CT (MPN/100ml)		
Afluente	Effluente LPP 5.0-5.5	Afluente	Effluente LPP 0.8	Afluente	Effluente LPP + 200	Afluente	Effluente LPP + 200	Afluente	Effluente LPP + 150	Afluente	Effluente LPP + 20	Afluente	Effluente LPP + 20000	
7.90	7.90	27.2	27.0	30.00	171.00	107	278	229	19	41.00	20.00	3,000-07	3,000-07	04/01/2023
7.84	8.44	26.4	27.2	120.00	199.00	114	279	189	47	44.00	20.00	3,700-07	3,400-07	11/01/2023
7.94	7.78	27.7	26.4	102.00	221.00	101	310	402	19	18.00	18.00	3,900-07	3,400-07	02/02/2023
7.64	7.88	27.4	26.2	204.00	79.00	114	174	150	24	40.00	18.00	3,400-06	3,000-07	20/04/2023
7.13	7.71	27.4	26.4	200.00	102.00	107	209	280	32	14.00	18.00	4,200-04	1,700-04	11/05/2023
7.12	7.62	26.2	26.2	178.00	70.00	206	194	214	40	18.00	18.00	5,400-07	5,400-07	24/06/2023
7.15	7.21	26.1	26.2	139.00	127.00	100	212	218	30	19.00	10.00	4,200-04	2,400-04	01/07/2023
7.40	7.33	27.0	26.3	214.00	104.00	106	241	204	19	21.00	7.00	3,200-04	5,200-04	22/08/2023
7.17	7.26	27.2	26.9	209.00	128.00	104	206	100	38	16.00	1.00	5,400-04	1,200-04	01/09/2023
7.18	7.67	24.7	26.1	138.00	97.00	104	107	104	18	40.00	10.00	5,400-07	5,400-07	10/09/2023
7.41	7.46	27.1	27.0	102.00	100.00	700	117	100	43	40.00	20.00	5,400-07	2,400-07	02/10/2023
7.12	7.68	26.7	26.1	108.00	120.00	104	104	219	34	41.00	15.00	5,400-04	5,400-04	01/10/2023
7.46	7.71	26.8	26.7	109.00	101.00	108	100	200	41	24.00	12.00	3,400-07	3,400-07	04/10/2023
7.23	7.27	26.2	27.8	201.00	120.00	140	240	148	41	13.00	14.00	1,700-07	1,300-07	02/01/2024
7.14	7.26	26.2	26.9	207.00	96.00	101	108	146	11	13.00	7.00	1,700-07	1,400-07	02/01/2024
7.05	7.41	26.5	26.9	208.00	80.00	104	111	11	23	40.00	18.00	2,800-04	1,700-04	04/04/2024
7.19	7.18	26.9	26.2	108.00	103.00	102	211	180	22	19.00	18.00	5,400-06	3,000-02	04/05/2024
7.21	7.31	26.8	26.8	204.00	107.00	108	211	134	23	13.00	12.00	5,200-06	3,200-04	04/06/2024
7.22	7.28	27.0	26.8	200.00	107.00	102	211	119	30	13.00	11.00	2,400-04	4,200-04	02/07/2024
6.91	7.48	27.4	26.2	201.00	117.00	107	211	107	24	13.00	4.00	3,000-04	1,700-04	21/08/2024
7.19	7.49	24.7	25.7	109.00	100.00	101	107	109	11	44.00	12.00	1,100-04	2,800-04	02/09/2024
7.26	7.48	24.6	25.7	174.00	101.00	104	101	120	18	101.00	0.00	1,100-04	1,200-04	05/09/2024
7.02	7.47	26.4	26.8	201.00	101.00	102	101	14	100	8.00	20.00	3,800-07	1,800-07	04/10/2024
7.07	7.07	27.1	26.1	100.00	109.00	101	101	104	41	11.00	18.00	3,800-04	1,100-04	01/12/2024
7.08	7.04	27.0	26.8	107.00	104.00	100	111	117	30	9.00	9.00	1,100-07	3,000-04	01/01/2025
7.11	7.04	27.8	26.6	100.00	100.00	101	101	179	10	41.00	7.00	5,400-07	3,000-04	14/01/2025
7.42	8.21	26.4	26.7	108.00	80.00	710	109	204	40	11.00	0.00	5,400-07	1,400-07	04/01/2025
7.13	7.11	26.8	26.1	107.00	100.00	102	109	101	30	20.00	0.00	5,200-04	2,200-04	11/04/2025
7.13	8.46	26.9	26.8	107.00	97.00	271	102	112	30	20.00	4.00	5,400-07	5,400-07	04/05/2025
7.48	8.46	26.8	26.0	107.00	104.00	714	100	140	11	11.00	0.00	5,400-04	3,400-04	01/06/2025
7.48	7.76	26.7	26.8	207.00	104.00	108	108	103	40	4.00	1.00	4,200-04	4,800-04	04/07/2025
7.11	7.17	27.4	26.9	100.00	101.00	101	171	106	11	22.00	0.00	1,200-07	1,200-04	01/08/2025
7.17	7.11	27.0	26.9	100.00	101.00	101	101	101	17	20.00	2.00	5,400-04	1,800-04	24/08/2025
7.22	7.17	27.4	26.1	100.00	101.00	101	101	101	10	10.00	10.00	3,000-04	4,200-04	24/08/2025
7.28	7.11	27.1	26.2	100.00	100.00	101	111	141	30	3.00	1.00	5,200-07	4,200-04	02/10/2025
6.70	7.09	26.0	26.2	271.00	90.00	104	200	140	30	8.00	1.00	2,400-04	2,200-04	04/10/2025
7.11	7.10	27.0	26.9	101.00	101.00	101	111	140	14	10.00	1.00	4,800-07	3,000-04	04/10/2025
7.28	7.41	26.7	26.5	100.00	101.00	100	101	101	41	1.00	1.00	5,400-07	4,200-04	06/10/2025
7.42	8.21	26.6	26.1	100.00	101.00	100	102	140	10	6.00	2.00	4,200-04	5,400-04	04/10/2025

Atentamente,



Carlos Tiznado Banda
Jefe Equipo Gestión de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (e)

cc.: GGAR / archivo.
csc



SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA



ISO 9001:2008
ISO 14001:2004
OHSAS 18001:2007
www.tuv.com
ID 910855240

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Carta N° **570**-2018-EGLA

Lima, **25 OCT. 2018**

Señora
Maryori Amanda Lázaro Díaz
Mz. U Lote 30
Punta Negra.-

Asunto: Atención a Solicitud de Acceso a la Información Pública – Ley N° 27806
Referencia: Solicitud de Acceso a la Información Pública del 19.10.2018 Reg. 153507

Es grato dirigirme a usted, con relación a su pedido de información efectuado con el documento de la referencia, a través del cual, y en mérito a la Ley N° 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, solicita información sobre la PTAR de San Bartolo, el proceso de operación, la descripción de sus componentes, sistema de tratamiento con el que viene trabajando actualmente, así como el caudal de operación. Asimismo, sobre la tubería de descarga hacia el río Lurín, también, requiere información a la PTAR de José Gálvez.

Al respecto, el Equipo Gestión de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Gerencia de Gestión de Aguas Residuales, ha puesto a su disposición la ficha técnica de las PTAR San Bartolo y José Gálvez, por lo que conforme a lo establecido en el artículo 12° del Reglamento de la Ley N° 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, dicha documentación, se remite escaneada al siguiente correo electrónico: 20130121@lamolina.edu.pe, de acuerdo a lo señalado en su solicitud, sin generar costo alguno.

Asimismo, con respecto a los caudales de tratamiento, el Equipo antes mencionado, informa lo siguiente:

PTAR	CAUDAL PROMEDIO ENERO-SETIEMBRE 2018 l/s
SAN BARTOLO	1,176.65
JOSÉ GALVEZ	80.16

Con relación a la tubería de descarga, el Equipo Gestión de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, informa que la PTAR San Bartolo vierte al río Lurín parte del caudal tratado a través de una tubería de hierro útil de 900 mm de diámetro.

Sin otro particular, me despido de usted,

Atentamente,

Maribel Cleza García
Funcionaria Responsable de la Entrega
de Información COP La Atarjea

*

OFICINA PRINCIPAL LA ATARJEJA:
Atarjeja Roxana Pradé 710 El Agustino - Central Telefónica 317 1000
Consultas e Informes - **AQUALINO** 317 1000

www.sedapal.com.pe

CENTROS DE SERVICIOS

Cusco: Av. Víctor Andrés Belaúnde Oeste Cuadra 5 - Urb. El Retablo
Cuzco: Av. Guardia Chiblica N° 1133
Iquitos: Av. Tingo María N° 600 - Cercado
San Juan de los Ríos: Av. Proceso de la Independencia N° 3305 - Centro Grande
Ite Yllari: Av. Nicolás Ayllón N° 2309
Serguillo: Av. Arqueólogo Este N° 1450
Ilo-Ilo: Av. Separadora Industrial N° 100 Ite. Seres

ANTECEDENTES

El 1996, el Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado PRONAP, perteneciente al Ministerio de la Presidencia, inició el desarrollo del proyecto: "Mejoramiento del Sistema de Alcantarillado de la Zona Sur de Lima Metropolitana" (MESIAS), el cual contempló la construcción de la PTAR San Bartolo.

El año 2003 se pone en marcha y funcionamiento la PTAR San Bartolo (Norte y Sur), sin embargo; fue recién el 23 de diciembre de 2007 que se dio inicio a sus operaciones.

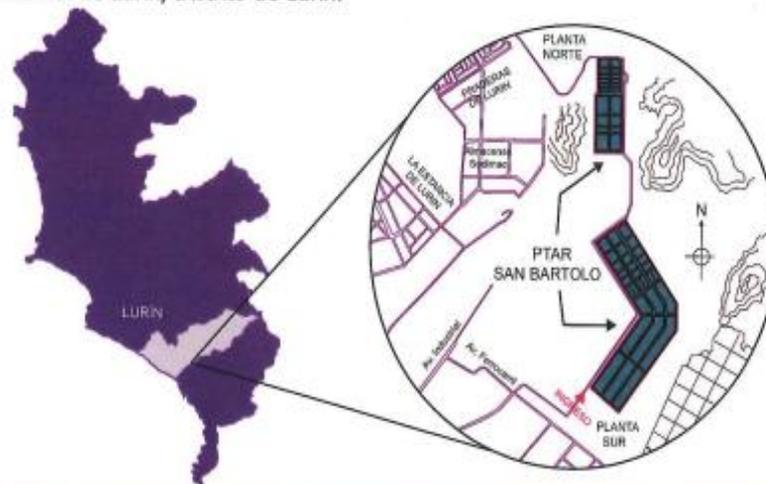
La planta fue proyectada para tratar 1,700 l/s de aguas servidas que provienen de los distritos de Ate Vitarte, Santa Anita y La Molina.

Sin embargo, como el diseño no contempló la actual carga orgánica de los desagües que llegan a la Planta (DBO diseño: 250mg/l, DBO actual: 370 mg/l), solo se puede alcanzar a tratar un caudal de 850 l/s, a fin de no afectar la eficiencia de tratamiento de la planta.

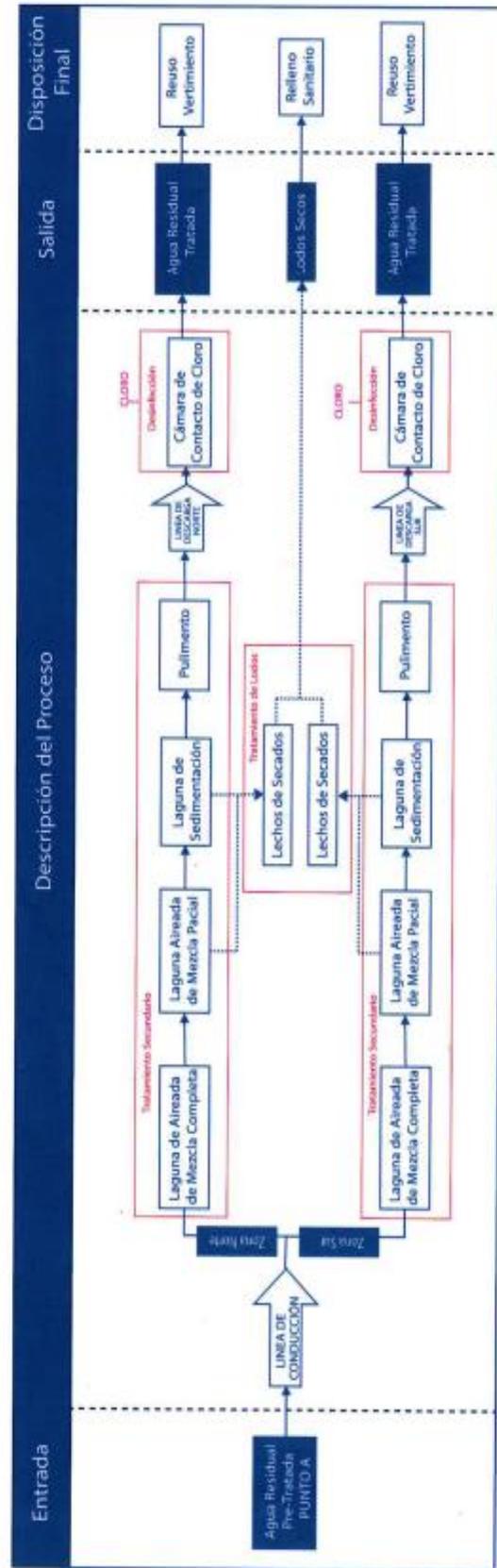
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	DESCRIPCIÓN
Área total (ha)	336,43
Entorno	Desértico
Tipo de Desagüe	Doméstico
Caudal de Diseño (l/s)	1700
Sistema de tratamiento	Lagunas Aireadas
Uso de Efluente	Vertimiento/Reuso

UBICACIÓN

Se encuentra ubicada a la altura del Km. 40 de la Autopista Panamericana Sur Antigua, entrando por la zona industrial de Lurín, Distrito de Lurín.



MAPA DE PROCESOS



Anexo 7: Información brindada por SENAMHI



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHI

UNIDAD DE ATENCION
AL CIUDADANO Y
GESTION DOCUMENTAL



Firma Digital
Firmado digitalmente por
PENARANDA BRICENO Tania Janet
FAU 20131369228 cod
Ejecutivo De Servicio De Atencion A
La Ciudadania(S)
Módulo: Por encargo
Fecha: 24/05/2023 13:48:04 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Jesús María, 24 de Mayo del 2023

CARTA N° D000052-2023-SENAMHI-UACGD

Señora
MARYORI AMANDA LAZARO DIAZ
maryorilazaro11@gmail.com
Jr. Huiracocha N° 2257
Jesús María

Asunto : Solicitud de Acceso a la Información Pública de ciudadana Maryori Amanda Lazaro Diaz

Referencia : Solicitud de Acceso a la Información Pública S/N de fecha 17 de mayo de 2023

Tengo el agrado de dirigirme a usted para expresarle mi cordial saludo y manifestarle que la información requerida al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, mediante el documento de la referencia, fue solicitada a la Dirección de Hidrología, quienes brindan respuesta a través del MEMORANDO N° D000203-2023-SENAMHI-DHI, en atención a su solicitud de información respecto a:

- **BUENOS DIAS, SOLICITO INFORMACION DEL HIDROGRAMA DE LA ESTACION ANTAPUCRO DEL RIO LURIN, DE LOS AÑOS 2022-2023**

En ese sentido, se trasladan los siguientes documentos:

- NOTA DE ELEVACION N° D000080-2023-SENAMHI-SPH
- ANTAPUCRO (Excel)

Atentamente,

Documento firmado digitalmente
TANIA JANET PENARANDA BRICENO
EJECUTIVO DE SERVICIO DE ATENCION A LA CIUDADANIA
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <http://stdvalidador.doc.senamhi.gob.pe:8080/validadorDocumental/Inicio/detalle.jsf> e ingresando la siguiente clave: 48GB2WJ



Jr. Cahide 785, Jesús María
Teléfono: (01) 654 1414
www.senamhi.gob.pe

HIDROGRAMA - ESTACIÓN ANTAPUCRO (RÍO LURÍN)									
Fecha	Q medio diario (m3/s)	Fecha	Q medio diario (m3/s)	Fecha	Q medio diario (m3/s)	Fecha	Q medio diario (m3/s)	Fecha	Q medio diario (m3/s)
1/01/2022	0.93	11/03/2022	16.63	19/05/2022	1.28	27/07/2022	0.27	4/10/2022	0.16
2/01/2022	1.23	12/03/2022	28.65	20/05/2022	1.32	28/07/2022	0.22	5/10/2022	0.15
3/01/2022	2.37	13/03/2022	29.67	21/05/2022	1.25	29/07/2022	0.15	6/10/2022	0.16
4/01/2022	2.56	14/03/2022	20.10	22/05/2022	1.18	30/07/2022	0.21	7/10/2022	0.15
5/01/2022	2.47	15/03/2022	14.71	23/05/2022	1.15	31/07/2022	0.17	8/10/2022	0.13
6/01/2022	4.65	16/03/2022	13.31	24/05/2022	1.14	1/08/2022	0.28	9/10/2022	0.13
7/01/2022	5.35	17/03/2022	8.58	25/05/2022	1.10	2/08/2022	0.25	10/10/2022	0.15
8/01/2022	3.78	18/03/2022	7.57	26/05/2022	1.24	3/08/2022	0.29	11/10/2022	0.15
9/01/2022	2.98	19/03/2022	6.86	27/05/2022	1.09	4/08/2022	0.34	12/10/2022	0.11
10/01/2022	2.58	20/03/2022	6.29	28/05/2022	0.99	5/08/2022	0.32	13/10/2022	0.11
11/01/2022	2.57	21/03/2022	6.27	29/05/2022	0.84	6/08/2022	0.34	14/10/2022	0.15
12/01/2022	2.38	22/03/2022	7.19	30/05/2022	1.07	7/08/2022	0.30	15/10/2022	0.13
13/01/2022	2.69	23/03/2022	6.74	31/05/2022	0.87	8/08/2022	0.29	16/10/2022	0.12
14/01/2022	3.09	24/03/2022	5.98	1/06/2022	0.88	9/08/2022	0.26	17/10/2022	0.11
15/01/2022	1.87	25/03/2022	6.58	2/06/2022	0.49	10/08/2022	0.29	18/10/2022	0.11
16/01/2022	2.30	26/03/2022	8.28	3/06/2022	1.07	11/08/2022	0.27	19/10/2022	0.11
17/01/2022	1.97	27/03/2022	8.38	4/06/2022	0.78	12/08/2022	0.25	20/10/2022	0.11
18/01/2022	3.06	28/03/2022	11.05	5/06/2022	0.79	13/08/2022	0.29	21/10/2022	0.12
19/01/2022	6.11	29/03/2022	12.18	6/06/2022	0.89	14/08/2022	0.27	22/10/2022	0.07
20/01/2022	5.86	30/03/2022	13.63	7/06/2022	1.05	15/08/2022	0.27	23/10/2022	0.02
21/01/2022	4.65	31/03/2022	17.32	8/06/2022	0.98	16/08/2022	0.23	24/10/2022	0.02
22/01/2022	6.03	1/04/2022	16.07	9/06/2022	1.09	17/08/2022	0.22	25/10/2022	0.02
23/01/2022	4.06	2/04/2022	13.55	10/06/2022	0.93	18/08/2022	0.26	26/10/2022	0.01
24/01/2022	3.69	3/04/2022	23.98	11/06/2022	1.06	19/08/2022	0.24	27/10/2022	0.01
25/01/2022	3.76	4/04/2022	18.02	12/06/2022	0.90	20/08/2022	0.26	28/10/2022	0.01
26/01/2022	3.43	5/04/2022	15.46	13/06/2022	0.87	21/08/2022	0.22	29/10/2022	0.01
27/01/2022	7.36	6/04/2022	13.55	14/06/2022	0.87	22/08/2022	0.23	30/10/2022	0.01
28/01/2022	11.68	7/04/2022	12.78	15/06/2022	0.89	23/08/2022	0.21	31/10/2022	0.01
29/01/2022	7.51	8/04/2022	11.87	16/06/2022	0.87	24/08/2022	0.20	1/11/2022	0.01
30/01/2022	7.22	9/04/2022	11.25	17/06/2022	0.85	25/08/2022	0.17	2/11/2022	0.01
31/01/2022	7.02	10/04/2022	11.32	18/06/2022	0.83	26/08/2022	0.18	3/11/2022	0.01
1/02/2022	5.65	11/04/2022	9.91	19/06/2022	0.64	27/08/2022	0.22	4/11/2022	0.01
2/02/2022	5.11	12/04/2022	9.15	20/06/2022	0.62	28/08/2022	0.23	5/11/2022	0.01
3/02/2022	4.59	13/04/2022	8.25	21/06/2022	0.50	29/08/2022	0.20	6/11/2022	0.01
4/02/2022	4.99	14/04/2022	7.87	22/06/2022	0.61	30/08/2022	0.17	7/11/2022	0.01
5/02/2022	6.43	15/04/2022	7.46	23/06/2022	0.65	31/08/2022	0.17	8/11/2022	0.01
6/02/2022	4.96	16/04/2022	6.51	24/06/2022	0.63	1/09/2022	0.15	9/11/2022	0.01
7/02/2022	5.48	17/04/2022	5.84	25/06/2022	0.65	2/09/2022	0.17	10/11/2022	0.01
8/02/2022	5.09	18/04/2022	5.30	26/06/2022	0.61	3/09/2022	0.17	11/11/2022	0.01
9/02/2022	7.57	19/04/2022	5.03	27/06/2022	0.65	4/09/2022	0.18	12/11/2022	0.01
10/02/2022	7.02	20/04/2022	5.07	28/06/2022	0.79	5/09/2022	0.18	13/11/2022	0.01
11/02/2022	9.71	21/04/2022	4.88	29/06/2022	0.51	6/09/2022	0.18	14/11/2022	0.00
12/02/2022	26.00	22/04/2022	4.80	30/06/2022	0.55	7/09/2022	0.14	15/11/2022	0.02
13/02/2022	17.86	23/04/2022	5.17	1/07/2022	0.47	8/09/2022	0.15	16/11/2022	0.02
14/02/2022	9.47	24/04/2022	4.28	2/07/2022	0.39	9/09/2022	0.18	17/11/2022	0.00
15/02/2022	6.80	25/04/2022	4.34	3/07/2022	0.36	10/09/2022	0.17	18/11/2022	0.01
16/02/2022	6.30	26/04/2022	4.10	4/07/2022	0.31	11/09/2022	0.15	19/11/2022	0.01
17/02/2022	10.52	27/04/2022	4.19	5/07/2022	0.24	12/09/2022	0.15	20/11/2022	0.01
18/02/2022	13.34	28/04/2022	4.18	6/07/2022	0.27	13/09/2022	0.16	21/11/2022	0.01
19/02/2022	10.79	29/04/2022	4.39	7/07/2022	0.20	14/09/2022	0.19	22/11/2022	0.01
20/02/2022	8.09	30/04/2022	3.96	8/07/2022	0.37	15/09/2022	0.17	23/11/2022	0.01
21/02/2022	8.56	1/05/2022	3.96	9/07/2022	0.41	16/09/2022	0.18	24/11/2022	0.01
22/02/2022	6.55	2/05/2022	3.88	10/07/2022	0.23	17/09/2022	0.21	25/11/2022	0.01
23/02/2022	6.37	3/05/2022	4.15	11/07/2022	0.18	18/09/2022	0.19	26/11/2022	0.01
24/02/2022	3.68	4/05/2022	4.24	12/07/2022	0.21	19/09/2022	0.16	27/11/2022	0.01
25/02/2022	6.86	5/05/2022	3.91	13/07/2022	0.44	20/09/2022	0.15	28/11/2022	0.01
26/02/2022	8.54	6/05/2022	2.65	14/07/2022	0.40	21/09/2022	0.16	29/11/2022	0.01
27/02/2022	8.69	7/05/2022	2.89	15/07/2022	0.28	22/09/2022	0.17	30/11/2022	0.01
28/02/2022	6.98	8/05/2022	2.69	16/07/2022	0.32	23/09/2022	0.14		
1/03/2022	9.21	9/05/2022	2.94	17/07/2022	0.18	24/09/2022	0.15		
2/03/2022	9.76	10/05/2022	2.56	18/07/2022	0.27	25/09/2022	0.15		
3/03/2022	19.89	11/05/2022	2.44	19/07/2022	0.27	26/09/2022	0.14		
4/03/2022	23.91	12/05/2022	2.09	20/07/2022	0.24	27/09/2022	0.15		
5/03/2022	18.47	13/05/2022	1.74	21/07/2022	0.21	28/09/2022	0.16		
6/03/2022	13.37	14/05/2022	2.09	22/07/2022	0.26	29/09/2022	0.15		
7/03/2022	13.53	15/05/2022	1.69	23/07/2022	0.19	30/09/2022	0.15		
8/03/2022	17.99	16/05/2022	1.88	24/07/2022	0.15	1/10/2022	0.13		
9/03/2022	20.14	17/05/2022	1.52	25/07/2022	0.21	2/10/2022	0.10		
10/03/2022	21.41	18/05/2022	1.29	26/07/2022	0.24	3/10/2022	0.16		



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHI

SUBDIRECCION DE
PREDICCION HIDROLOGICA



Firma Digital
Firmado digitalmente por SANTOS
VILLAR Darwin FAU 20131366028
hard
Especialista En Prediccion Hidrologica
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.07.2023 14:58:35 -05:00

*"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"*

Jesus Maria, 21 de Julio del 2023

NOTA DE ELEVACION N° D000106-2023-SENAMHI-SPH

A : **KAREN BEATRIZ LEON ALTUNA**
SUBDIRECTOR DE PREDICCION HIDROLOGICA

ASUNTO : **Solicitud de Acceso a la Información Pública de ciudadana Maryori
Amanda Lázaro Diaz**

REFERENCIA : PROVEIDO N° D000156-2023-SENAMHI-SPH (20JUL2023)

Tengo el agrado de dirigirme a usted, con relación a la referencia el suscrito adjunta al presente la información solicitada de caudales del río Lurín en la estación hidrológica Antapucro, del periodo diciembre 2022 – enero 2023. Por otro lado, recalcar que toda información actual comprende un periodo de evaluación y validación de 6 meses.

Atentamente,

Firmado Digitalmente
DARWIN SANTOS VILLAR
ESPECIALISTA EN PREDICCION HIDROLOGICA



Solicitud del hidrograma de la Estación Hidrológica Antapucro.



Figura N°1. Cuenca del río Lurín

Hidrograma de caudal del río Lurín periodo diciembre 2022 - enero 2023

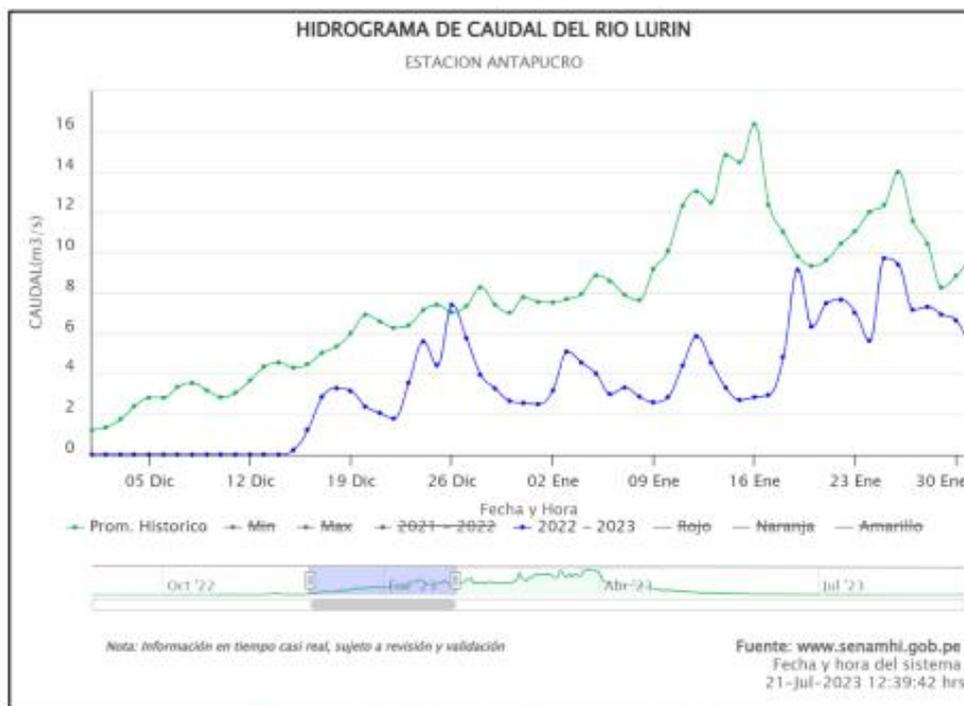


Figura N°2. Hidrograma de caudal medio diario del río Lurín

Datos Hidrologicos			
Cuerpo de Agua	Nombre de Estación	Fecha	Dato
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-01	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-02	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-03	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-04	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-05	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-06	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-07	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-08	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-09	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-10	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-11	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-12	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-13	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-14	0.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-15	0.24
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-16	1.23
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-17	2.86
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-18	3.29
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-19	3.15
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-20	2.38
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-21	2.06
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-22	1.79
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-23	3.55
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-24	5.59
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-25	4.42
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-26	7.40
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-27	5.76
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-28	3.95
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-29	3.28
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-30	2.66
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2022-12-31	2.55
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-01	2.50
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-02	3.18
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-03	5.09
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-04	4.55
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-05	4.01
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-06	2.99
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-07	3.32
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-08	2.87
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-09	2.59
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-10	2.85
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-11	4.41
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-12	5.86
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-13	4.55
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-14	3.31
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-15	2.71
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-16	2.85
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-17	2.95
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-18	4.84
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-19	9.13
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-20	6.33
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-21	7.49
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-22	7.66
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-23	7.02
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-24	5.64
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-25	9.71
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-26	9.40
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-27	7.16
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-28	7.31
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-29	6.93
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-30	6.64
RIO LURIN	ANTAPUCRO	2023-01-31	5.26

Anexo 8: Cálculo del caudal en la época seca y húmeda en la parte baja del río Lurín.

Para el cálculo del caudal del río Lurín, se utilizó el Método del flotador.

- Cálculo del área transversal:

Muestra	Punto A				Punto B				Área m2
	h1	h2	h3	a	h1	h2	h3	a	
Época Seca									
LU-01	0.03	0.07	0.04	5.54	0.05	0.09	0.03	5.69	0.290
LU-02	0.02	0.059	0.05	5.65	0.03	0.09	0.05	6.7	0.311
LU-03	0.05	0.065	0.05	5.9	0.06	0.1	0.023	6.43	0.358
LU-04	0.03	0.07	0.03	5	0.08	0.1	0.1	5.2	0.351
LU-05	0.38	0.42	0.26	9.7	0.34	0.49	0.37	9.73	3.045
Época Húmeda									
LU-01	0.39	0.63	0.4	10.96	0.42	0.51	0.42	10.71	5.004
LU-02	0.48	0.59	0.46	11.59	0.46	0.56	0.39	11.22	5.592
LU-03	0.63	0.72	0.38	9.6	0.57	0.81	0.41	10.23	5.820
LU-04	0.43	0.68	0.48	11.5	0.43	0.71	0.48	11.9	6.261
LU-05	0.53	0.72	0.46	12.23	0.45	0.68	0.56	12.5	7.006

- Cálculo del tiempo promedio:

Muestra	Margen derecho	Centro	Margen Izquierdo	Promedio
	T1	T2	T3	Tp
Época Seca				
LU-01	55.65	55.34	57.03	56.007
LU-02	58.12	60.45	62.23	60.267
LU-03	57.21	54.74	57.45	56.467
LU-04	55.64	53.03	55.76	54.810
LU-05	31.23	28.12	30.13	29.827
Época Húmeda				
LU-01	12.02	11.43	12.05	11.833
LU-02	12.34	13.04	14.25	13.210
LU-03	12.64	12.76	15.43	13.610
LU-04	15.37	12.98	15.3	14.550
LU-05	15.2	12.32	12.54	13.353

- Cálculo de la velocidad (m/s):

Muestra	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)
Época seca			
LU-01	10	56.007	0.179
LU-02	10	60.267	0.166
LU-03	10	56.467	0.177
LU-04	10	54.810	0.182
LU-05	10	29.827	0.335
Época Húmeda			
LU-01	10	11.833	0.845
LU-02	10	13.210	0.757
LU-03	10	13.610	0.735
LU-04	10	14.550	0.687
LU-05	10	13.353	0.749

- Cálculo del caudal (m³/s):

Muestra	Área (m²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m³/s)
Época seca			
LU-01	0.290	0.179	0.052
LU-02	0.311	0.166	0.052
LU-03	0.358	0.177	0.063
LU-04	0.351	0.182	0.064
LU-05	3.045	0.335	1.021
Época húmeda			
LU-01	5.004	0.845	4.228
LU-02	5.592	0.757	4.233
LU-03	5.820	0.735	4.276
LU-04	6.261	0.687	4.303
LU-05	7.006	0.749	5.247