

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS DE
TRATAMIENTO ENFOCADAS A LA ELIMINACIÓN DE VIRUS
PROCEDENTES DE RESIDUOS LÍQUIDOS
DOMÉSTICOS/MUNICIPALES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

MISHELL ESTEFANIA LIMAICO GUALPA

mishell.limaico@epn.edu.ec

DIRECTOR: PhD. CRISTINA ALEJANDRA VILLAMAR AYALA

cristina.villamar@usach.cl

CODIRECTOR: Msc. NATHALIA TESERA VALENCIA BONILLA

nathalia.valencia@epn.edu.ec

Quito, julio 2021

DECLARACION

Yo, Mishell Estefanía Limaico Gualpa, declaro que el presente trabajo es de mi autoría, la cual no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

MISHELL ESTEFANÍA LIMAICO GUALPA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Mishell Estefanía Limaico Gualpa, bajo nuestra supervisión.

**PhD. CRISTINA ALEJANDRA
VILLAMAR AYALA
DIRECTOR DEL TRABAJO**

**Msc. NATHALIA TERESA
VALENCIA BONILLA
CO-DIRECTOR DEL TRABAJO**

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios y madre Dolorosa por acompañarme, guiarme a lo largo de este camino tan arduo pero satisfactorio y nunca haberme soltado en los momentos difíciles, por haber escuchado siempre mis suplicas y por poder compartir este logro con los seres que más quiero.

A mis padres, Luis Limaico y Janeth Gualpa, por haberme apoyado en todo lo que estuvo a su alcance desde el primer momento, por haber confiado siempre en mí y darme ánimos en toda circunstancia por más difícil que fuese, por enseñarme el valor del esfuerzo diario y a nunca rendirse, por todos los esfuerzos que hicieron, hacen y seguirán haciendo día a día para mi bienestar. Por estar siempre junto a mí, cuidarme guiarme, consentirme, gracias por todo, los amo.

A mis hermanas Mafer y Pao, por ser mi apoyo, mi compañía y mis confidentes por preocuparse por mí y mi tesis, por las risas, llanto, alegrías, consejos que hemos compartido juntas, por acolitarme en mis travesuras.

A mi familia, Mami Bachi, Mami Lu, Ñaña Rosi, por el ejemplo que me han dado durante toda mi vida, por ser unas mujeres luchadoras, fuertes, independientes y sobre todo con un gran corazón y demostrarme que no se necesita de un hombre para salir adelante. A mis tíos y primos gracias por su apoyo en todo momento, por su alegría y por ser una familia muy unida y bonita que siempre se apoya en los momentos buenos y malos.

Al amor más grande que he tenido, Cristian Chávez, por haberme apoyado desde el momento en que nos conocimos, por darme ánimos, escucharme, comprenderme, por nunca intentar cambiarme y amarme como soy, por siempre querer verme feliz, cumpliendo mis sueños y celebrar como si fuesen tuyos, por ser mi amigo incondicional, ayudarme a mejorar como persona al hacerme entender mis errores, por consentirme en todos mis caprichos, gracias por llegar a mi vida y hacerme inmensamente feliz. Siempre estaré agradecida por haberte conocido y poder compartir contigo este logro. Te amo.

A mi mejor amigo, David Fernando, por toda tu ayuda, sincera y desinteresada, por escucharme y estar presente, apoyarme en las cosas académicas y personales, porque a lo largo de estos 6 años hemos construido una hermosa amistad que ha tenido altos y bajos pero siempre hemos estado juntos y deseándonos lo mejor, porque me has hecho reír muchas veces cuando estábamos tan estresados por los exámenes, por alegrarte más que yo cuando pase balance y energía luego de esa amanecida, gracias por eso y mucho más.

A mis grandes amigos Bernardo, Bryan, Verito y David Paúl, por ser unos excelentes amigos y personas, gracias por haberme apoyado en todo momento desde que nos conocimos ya sea en lo académico como en lo personal, siempre fueron generosos en todo sentido y por haber compartido muchos momentos lindos. A mis grandes amigas del cole, Jennifer (Lonche) y Mabe, porque a pesar de la distancia hemos podido estar en contacto y conversar de nuestra vida universitaria, por las pocas, pero chéveres salidas. A mi amiga Karen porque a pesar del tiempo siempre recibo un mensaje en cada cumpleaños.

A mi maestra de la infancia Srita. Anita Mina, por forjarme, ayudarme, guiarme y darme su cariño en mis primeros pasos estudiantiles. A Mery Quishpe, por enseñarme que una nota no determina lo aprendido. A la Ing. Amparito, que fue mi primera profesora mujer en la universidad y que siempre nos dio ánimos para seguir por más difícil que sea el camino, finalmente a la Ing. María Belén Aldás, quien ha sido una excelente maestra durante toda la carrera, tengo la satisfacción de haber cursado cuatro materias que son fundamentales para mi desenvolvimiento como futura ingeniera ambiental.

A mi tutora, Dra. Cristina Villamar académica de la Universidad de Santiago de Chile, quien dirige los proyectos Fondecyt 11190352 y 092118VA_POSTDOC, de los cuales formé parte y me ayudaron al desarrollo de mi proyecto de titulación, por su interés, tiempo, ayuda en todo momento y darme ánimos para culminarlo. A la Dra. Angela Plaza por su dedicación, tiempo, interés y revisión final de mi proyecto e titulación.

A mi co-tutora, Ing. Nathalia Valencia, por formar parte de mi tesis y ser una excelente docente durante mi preparación universitaria.

A mi Poli y a todos mis profesores, por enseñarme que las cosas difíciles tienen grandes recompensas y que ser Politécnico es un orgullo y no se trata de una carrera de velocidad sino de resistencia.

El Laboratorio de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias y Tecnología del Agua “Ko-Yaku”, quiere a partir del trabajo de cada un@ de sus integrantes rendir un justo reconocimiento a todo el personal médico que lucha diariamente por salvar vidas durante la pandemia del COVID-19. Además, queremos rendir un sentido homenaje a las personas que durante esta emergencia sanitaria han perdido su vida a causa del SAR-CoV-2. La ciencia, estamos segur@s finalmente encontrará una cura para combatir la enfermedad. No obstante, la prevención es la herramienta más eficaz, no sólo para evitar futuras crisis sanitarias, sino también mitigar la emergencia climática e hídrica que actualmente nos afecta.

La universalidad al acceso de agua segura y un ambiente libre de contaminación, esperamos sean relevados a “derechos constitucionales para la naturaleza”, mecanismo que permita protegerla, como el elemento vital y clave para evitar futuras crisis sanitarias, climáticas e hídricas.

Cristina Alejandra Villamar Ayala

Investigadora Responsable



Universidad de Santiago de Chile

Santiago, Chile

DEDICATORIA

A Dios y madre Dolorosa, porque sin su bendición no lo hubiese logrado.

A mi abuelito, Luis Alonso Limaico, por ser el mejor abuelito, porque sé que estas muy feliz por mis logros y aunque ya no estés junto a mí siempre te tengo presente, en esta ocasión tan especial te dedico mi trabajo que ha sido alcanzando con mucho esfuerzo, perseverancia como tú lo solías hacer. ¡Ya soy Ingeniera ¡

A mis padres, Luis Limaico y Janeth Gualpa, porque este logro también es suyo, porque han hecho todo lo posible por darme una educación de calidad, siempre se han esmerado para que pueda llegar hacer una gran profesional y me han dado todas las facilidades para poder lograrlo, por su inmenso cariño y por enseñarme a ser soñadora. A María Fernanda, mi hemanita, que siempre ha sido cariñosa y ha sido la persona que más pendiente ha estado del avance mi tesis,

A Cristián Chávez, por apoyarme en todo momento, en especial en el desarrollo de la tesis, siempre dándome ánimos y sugerencias respecto al tema. Sin duda este trabajo tiene tu coautoría jajajaja, eres un gran hombre, amigo y novio. My Heaven¡

A Gustavo Limaico, porque eres como un hermano mayor, que me vio crecer y me ayudó en muchas tareas de la escuela, colegio, compartimos muchos momentos bonitos, gracias por enseñarme a ser fuerte y te deseo lo mejor en tu vida.

A Pao Gualpa, por cuidarme en mis años de colegio y su cariño incondicional, por ser una de mis mejores amigas y siempre creer en mí, te quiero mucho.

A la familia Limaico Gualpa Collaguazo por el apoyo incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACION	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
INDICE DE TABLAS	X
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE ANEXOS.....	XIII
SIMBOLOGIA.....	XIV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVO	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3 ALCANCE	4
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPÍTULO 2.....	1
MARCO TEÓRICO	1
2.1. RESIDUOS LÍQUIDOS	1
2.1.1 GENERACIÓN	1
2.1.2 CLASIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN	1
2.1.3. PROBLEMÁTICA.....	9
2.2 VIRUS.....	10
2.2.1 DEFINICIÓN	10
2.2.2 ESTRUCTURA	11

2.2.3. CLASIFICACIÓN	12
2.2.4. ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS	15
2.2.5. COVID-19	17
2.2.6. BACTERIÓFAGOS COMO INDICADORES PARA CONTABILIZAR VIRUS EN PT-RL	18
2.3 TRATAMIENTOS DE RESIDUOS LÍQUIDOS.....	20
2.3.1 TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS	20
2.3.2 TECNOLOGÍAS NO ESPECÍFICAS	24
CAPÍTULO 3.....	28
METODOLOGÍA.....	28
3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN	28
3.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	30
3.2.1. VOSviewer: ANÁLISIS DE CO-OCURRENCIA.....	30
3.2.2. ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS (MATRIZ)	33
3.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	35
CAPÍTULO 4.....	38
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	38
4.1. METAANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	38
4.1.1 VOSviewer: VISUALIZACIÓN DE LA RED	38
4.1.2 VOSviewer: VISUALIZACIÓN DE SUPERPOSICIÓN	40
4.1.3.VOSviewer: VISUALIZACIÓN DE LA DENSIDAD DE ELEMENTOS	41
4.1.4. TEMPORALIDAD DEL ESTADO DEL ARTE.....	43
4.1.5. LOCALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	44
4.1.6. TIPOS DE TECNOLOGÍAS: ESPECÍFICAS (E) Y NO ESPECÍFICAS (NE).....	46
4.1.7. TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS (E).....	48
4.1.8. TECNOLOGÍAS NO ESPECÍFICAS (NE)	50
4.1.9. TIPOS DE RESIDUOS LÍQUIDOS	53
4.1.10. TIPOS DE VIRUS	54
4.1.11. CLASIFICACIÓN BALTIMORE DE VIRUS	56
4.2. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)	60
4.2.1. TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS Y NO ESPECÍFICAS.....	60
4.2.2. LODOS ACTIVADOS (LA), REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA (MBR), FILTRO PERCOLADOR (FP).....	62

4.2.3. NOROVIRUS, NOROVIRUS GI, NOROVIRUS GII.....	64
4.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP): PARÁMETROS DE CONTROL, OPERACIÓN Y RENDIMIENTO	66
4.3.1. CORRELACIONES POSITIVAS	68
4.3.2. CORRELACIONES NULAS	69
4.3.3. CORRELACIÓN NEGATIVA.....	70
4.3.4. ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DEL pH.....	71
4.3.5. ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DEL DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	72
4.3.6. ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).....	74
CAPÍTULO 5.....	77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1 CONCLUSIONES	77
5.2 RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación, características y contaminantes de los residuos líquidos	8
Tabla 2.2. Composición promedio de los residuos líquidos	9
Tabla 2.3. Enfermedades causadas por virus	16
Tabla 3.1. Criterios de selección de artículos científicos recopilados	28
Tabla 3.2. Principales opciones que ofrece el asistente de creación de mapas para crear un nuevo mapa.	31
Tabla 3.3. Análisis de las publicaciones científicas de acuerdo con los objetivos	33
Tabla 4.1. Eficiencias de parámetros de las Tecnologías No Específicas	51
Tabla 4.2. Clasificación Baltimore de los Virus analizados en artículos científicos de eliminación viral.....	58
Tabla 4.3. Clasificación Baltimore.	59
Tabla 4.4. Matriz de Componentes Principales	66
Tabla 4.5. Síntesis de los resultados en función de los objetivos planteados....	75

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1.</i> Estructura de virus desnudos y con envoltura	12
<i>Figura 2.2.</i> Simetría de los virus	12
Figura 2.3. Flujograma de las Plantas de Tratamiento de Residuos Líquidos.	20
<i>Figura 2.4.</i> Principio del biorreactor de membrana.	21
<i>Figura 2.5.</i> Esquema del Tratamiento con Luz Ultravioleta (UV)	23
<i>Figura 2.6.</i> Esquema del Tratamiento de Lodos Activados	24
<i>Figura 3.2.</i> Flujograma del Análisis de Varianza (ANOVA).....	36
<i>Figura 3.3.</i> Flujograma del Análisis de Componentes Principales (ACP).....	37
<i>Figura 4.1.</i> Mapa de visualización de la red de información científica de remoción viral durante el periodo 1983-2020 (n=389).....	38
<i>Figura 4.2.</i> Mapa de visualización de superposición de información científica de remoción viral durante el periodo 1983-2020 (n=389)	40
<i>Figura 4.3.</i> Mapa de visualización de la densidad de elementos de información científica de remoción viral durante el periodo 1983-2020 (n=389)	41
<i>Figura 4.4</i> Análisis porcentual de la temporalidad de artículos científicos revisados de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=69)	43
<i>Figura 4.5.</i> Análisis porcentual de la localización de artículos científicos revisados de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=79)	44
<i>Figura.4.6</i> Análisis porcentual del tipo de tecnologías “Tecnologías Específicas y No Específicas” de artículos científicos revisados de eliminación viral 1983 - 2020 (n=93)	46
<i>Figura 4.7.</i> Análisis porcentual de “Tecnologías Específicas” de artículos científicos revisados de eliminación viral desde el 1983 al 2020 (n=61).....	48
<i>Figura 4.8.</i> Análisis porcentual de “Tecnologías No Específicas” de artículos científicos revisados de eliminación viral desde el 1983 al 2020 (n= 32)	50

<i>Figura 4.9.</i> Análisis porcentual de “Tipos de Residuos Líquidos” de artículos científicos revisados de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=93).....	53
<i>Figura 4.10.</i> Análisis porcentual de “Virus y/o bacteriófagos” analizados en artículos científicos de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=117)	54
<i>Figura 4.11.</i> Análisis porcentual de la “Clasificación Baltimore de Virus” analizados en artículos científicos de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=19)	56
<i>Figura 4.12</i> Diagrama de cajas Tecnologías vs LRV (n=64)	60
<i>Figura 4.13.</i> Diagrama de Cajas de Nombres de Tecnologías vs LRV (n=55)	62
<i>Figura. 4.14.</i> Diagrama de cajas Virus vs LRV (n=34).....	64
<i>Figura 4.15.</i> Biplot de Componentes Principales de los parámetros de control, operación y rendimiento (n=52).....	67
<i>Figura 4.16</i> Correlaciones positivas entre las variables de control, operación y rendimiento (n=52).....	68
<i>Figura 4.17</i> Correlaciones nulas entre las variables de control, operación y rendimiento (n=52).....	69
<i>Figura 4.18</i> Correlaciones negativas entre las variables de control, operación y rendimiento (n=52).....	70
<i>Figura 4.19.</i> Eliminación viral en función del parámetro de control pH (n=52)	71
<i>Figura 4.20.</i> Eliminación viral en función del parámetro de rendimiento DQO (n=52)	73
<i>Figura 4.21.</i> Eliminación viral en función del parámetro de rendimiento SST (n=52)	74

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	99
BASE DE DATOS DEL ESTADO DEL ARTE DE ELIMINACION VIRAL EN RESIDUOS LÍQUIDOS	99
ANEXO 2	111
BASE DE DATOS DE ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DE LOS TIPOS DE TECNOLOGÍA Y VIRUS PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)	111
Anexo 2.1. Base de datos para el Análisis de Varianza en función de E y NE.	112
Anexo 2.2. Base de datos para el Análisis de Varianza en función de MBR, LA, FP.	114
Anexo 2.3. Base de datos para el Análisis de Varianza en función de NoV, Nov GI, NoV GII.	116
ANEXO 3	117
BASE DE DATOS DE ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL, OPERACIÓN Y RENDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ANOVA)	117
Anexo 3. Base de datos para el Análisis de Componentes Principales en función de los parámetros de control, operación y rendimiento.	118
ANEXO 4	120
ANÁLISIS DE VARIANZA: TEST DE SHAPIRO WILK-MODIFICADO, TEST F PARA IGUALDAD DE VARIANZAS, TEST NO PARAMÉTRICO DE KRUSKAL WALLIS, TEST PARAMÉTRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES BONFERRONI.	120

SIMBOLOGIA

Q: caudal

THR: Tiempo de Retención Hidráulica

pH: potencial de hidrógeno

DQOi: Demanda Química de Oxígeno inicial

DQOf: Demanda Química de Oxígeno final

SSTi: Sólidos Suspendidos Totales iniciales

SSTf: Sólidos Suspendidos Totales finales

LRV: Log Removal Values

E: Tecnologías Específicas

NE: Tecnologías No Específicas

CL: Cloración

UV: Luz Ultravioleta

COA-UF: Coagulación-Floculación

IEB: Ionización electro beam

IG: Ionización Gamma

LPMS: Membrana de baja presión

MBR: Reactor Biológico de membrana/Biorreactor de Membrana

MF: Microfiltración

OZ: Ozonización

SAT: Tratamientos de acuíferos

SAGS: Sistemas con Algas Galdiera Sulphuraria

UF: Ultrafiltración

FMC: Filtración con Membrana de cerámica.

5SB: 5-Stage Bardenpho

DHS: Esponjas colgantes de Flujo descendente

FP: Filtro percolador

HC: Humedales construidos

LA: Lodos Activados

LAe: Lagunas aeróbicas

SDAN: Sistemas de Digestión Anaeróbicas

UASB: Reactor anaeróbico de flujo ascendente

PS: Sistema de Estanques

HAdV: Adenovirus

AiV: Aichivirus

AsV: Astrovirus

EV: Enterovirus

HEP: Virus de la Hepatitis

NoV: Norovirus

NoV GI: Norovirus del genotipo GI

Nov GII: Norovirus del genotipo GII

PLM: Poliomavirus

PLV: Poliovirus

PMMoV: Virus del moteado del pimiento

SAV: Sapovirus

REO: Reovirus

RV: Rotavirus

TTV: Torque teno virus

SARS-CoV-2: síndrome respiratorio agudo grave 2

T4: Bacteriófago T4

MS2: Bacteriófago MS2

RESUMEN

La descarga de residuos líquidos municipales y/o domésticos en cuerpos de aguas superficiales, conlleva potenciales riesgos de salud pública, aún más cuando son reciclados/reusados con fines no potables como la agricultura. La evidencia actual, apunta a determinar que virus como el SARS-CoV-2 causantes de la enfermedad del COVID-19, son excretados y llegan a los residuos líquidos municipales/domésticos. Más aún, las Plantas de Tratamiento de Residuos Líquidos actuales, no consideran ni monitorean este tipo de micro-contaminantes. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar bibliométricamente la función de tecnologías específicas y no específicas aplicadas en el tratamiento de residuos líquidos para eliminación viral.

Para cumplir con el objetivo planteado se realizaron tres análisis, el primero fue el análisis del estado del arte (metaanálisis) empleado para determinar el alcance del estudio a través de la selección y organización de la información bibliográfica recopilada mediante plataformas científicas: Science Direct, Google Scholar, SCOPUS. Con el análisis de varianza (ANOVA) se evaluó de manera comparativa las tecnologías específicas y no específicas con base en los valores de eliminación viral en Plantas de Tratamiento de Residuos Líquidos (PT-RL). Por último, mediante el análisis de componentes principales (ACP) se establecieron las características operativas óptimas para la eliminación viral.

Los resultados revelaron que, de un total de 69 investigaciones científicas revisadas sobre eliminación viral, el 75% pertenecen a la última década con localización en el continente europeo y norteamericano. Los virus más estudiados para su remoción fueron: Norovirus (21%), Adenovirus (19%), Enterovirus (14%) y SARS-CoV-2 (14%). En cuanto a las tecnologías Específicas y No Específicas, estas presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en cuanto a la eliminación viral con valores de 1,86 y 1,05 LRV, respectivamente. Por otro lado, los Reactores Biológicos de Membrana (MBR) reportaron las mayores eficiencias de eliminación viral con una media de 1,89 LRV. Sin embargo, en comparación con la tecnología de Lodos Activados (no específica) no presentó diferencias significativas para el mismo fin, esto dependiendo de las condiciones operativas del sistema como concentración

del efluente, concentración de biomasa en el reactor, exceso de lodo generado. Finalmente cabe mencionar, que los mayores valores de remoción viral ocurren cuando el pH es ácido con valores entre 3,0 y 4,0. Las concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) en función de la eliminación viral (LRV) presentan correlaciones positivas ($r=1$), se alcanza remociones de 4,24 LRV con 765 mg/L de DQO y 4,13 mg/l de SST.

Palabras claves: Virus, Eliminación viral, Plantas de Tratamiento, Residuos Líquidos, Tecnologías específicas, Tecnologías no específicas.

ABSTRACT

The discharge of municipal and/or domestic wastewater into surface water bodies carries potential public health risks, even more so when they are recycled/reused for non-potable purposes, such as agriculture. Current evidence suggests that viruses such as SARS-CoV-2, which causes COVID-19 disease, are excreted into municipal/domestic wastewater. Moreover, the current Wastewater Treatment Plants do not consider or monitor this type of micro-pollutants. Therefore, the objective of this study was to analyze bibliometrically the role of specific and non-specific technologies applied in the wastewater treatment for viral removal.

The first was the analysis of the state of the art (meta-analysis) used to determine the scope of the study through the selection and organization of scientific information collected through scientific platforms: Science Direct, Google Scholar, SCOPUS. The variance analysis (ANOVA) was used to comparatively evaluate the specific and non-specific technologies based on the values of viral removal within Wastewater Treatment Plants. Finally, principal component analysis (PCA) was used to establish the optimal operating characteristics for viral elimination.

The results showed that, a total of 69 scientific investigations reviewed on viral removal, 75% belong to the last decade with localization in the European and North American continent. The most studied viruses for removal were Norovirus (21%), Adenovirus (19%), Enterovirus (14%) and SARS-CoV-2 (14%). As for the Specific and Non-Specific technologies, these presented significant differences ($p < 0.05$) in terms of viral removal with values of 1.86 and 1.05 LRV, respectively. On the other hand, Membrane Biological Reactors (MBR) reported the highest viral removal efficiencies with a mean of 1.89 LRV. However, in comparison with the activated sludge technology (non-specific), there were no significant differences for the same purpose, depending on the operating conditions of the system such as effluent concentration, biomass concentration in the reactor, excess sludge generated. Finally, it is worth mentioning that the highest values of viral removal occur when the pH is acidic with values between 3.0 and 4.0. The concentrations of Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solids (TSS) as a function of log viral

removal (LRV) present positive correlations ($r=1$), reaching removals of 4.24 LRV with 765 mg/L COD and 4.13 mg/l TSS.

Keywords: Virus, Virus removal, Treatment Plants, Wastewater, Specific technologies, Non-specific technologies

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El aumento del caudal de los residuos líquidos urbanos es cada día mayor debido al incremento poblacional, esto plantea un reto constante a las autoridades encargadas de su gestión (Ramón, 2010). Hoy en día, más de 4200 millones de personas en todo el mundo no pueden acceder a sistemas de saneamiento (Heller et al., 2020). En Ecuador, con 18 millones de habitantes, alrededor del 85,9% de la población tiene acceso a saneamiento básico, es decir, instalaciones intra-domiciliarias y pozo séptico en zonas rurales y servicio higiénico exclusivo conectado a la red alcantarillado en zonas urbanas (Molina et al., 2018).

Debido a la falta de disponibilidad del agua a nivel mundial, varios países se ven en la necesidad de reusarla/reciclarla, principalmente con fines urbanos no potables y riego de productos alimenticios (Prado et al., 2019). Para ello, es necesario cumplir con lineamientos nacionales o internacionales propuestos como por ejemplo la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) con el propósito de resguardar la salud pública y el ambiente (EPA, 2012). Ante este escenario, se hace hincapié en la inactivación microbiana, ya que es la causante de la muerte de 2 millones de personas por año, en su mayoría niños menores a 5 años, debido a las elevadas concentraciones presentes en los residuos líquidos, además poseen estructura compleja que les otorga alta resistencia en medios acuáticos y su dosis mínima infecciosa es muy baja (Bofill-Mas et al., 2005). La inactivación se refiere a la destrucción intencionada de un patógeno.

Cabe señalar, que pocos estados del mundo como California y Texas establecen normativa para la descarga o reutilización de residuos líquidos enfocándose en la eliminación viral. La legislación del Estado de California para el Proyecto de Reutilización de Aguas Subterráneas (GRRP), se requieren de 12 LRV para los virus y de 10 para los quistes de Giardia y Cryptosporidium, cuando las aguas residuales tratadas se utilizan para la recarga de aguas subterráneas destinadas a la reutilización potable indirecta (CSWRCB, 2015). Mientras en Texas se ha propuesto que las plantas de regeneración de agua alcancen un LRV de 12 para

los virus para la reutilización potable directa y ha asignado una reducción de 6 log₁₀ en el extremo superior de los virus mediante la desinfección UV combinada con un proceso de oxidación avanzada (TWDB, 2015)

Los virus son microorganismos latentes, con un genoma contenido dentro de una capa proteica, lo que les confiere una particular resistencia al tratamiento de residuos líquidos (Negroni & González, 2017) y son los principales causantes de enfermedades gastrointestinales y respiratorias. En 12 ciudades de Estados Unidos, se detectaron adenovirus, enterovirus, norovirus en residuos líquidos municipales tratados (Verbyla & Mihelcic, 2015). Cabe señalar que, algunos virus entéricos pueden causar infecciones cruzadas entre animales y humanos (Rosenberg, 2014), dando origen a las denominadas enfermedades virales zoonóticas emergentes (Verbyla & Mihelcic, 2015).

Como antecedente histórico de enfermedades zoonóticas se tiene la Peste Negra, la cual fue causada por la bacteria zoonótica *Yersinia pestis*, dicha enfermedad cobró la vida de hasta el 50% de la población europea entre los años 1347 y 1353 (Benedictow, 2011). Varios investigadores, detallan que la propagación estuvo ligada a la insalubridad y falta de obras hidráulicas sanitarias o la poca higiene de los habitantes (Benedictow, 2011). En los últimos 17 años, han surgido tres brotes importantes causados por coronavirus humanos. El primero denominado Síndrome Respiratorio Agudo Grave (SARS-CoV), que se originó en 2003 en China, infectó a 26 países. El segundo brote, ocurrió en 2012, conocido como Síndrome Respiratorio de Oriente Medio (MERS-CoV), infectando a 27 países con más de 2400 muertes (Carducci et al., 2020). El último, empezó en diciembre del 2019, siendo provocado por el virus SARS-CoV-2 en la ciudad de Wuhan, China, afectando a 188 países (La Rosa et al., 2020). Las cifras oficiales de la Organización Mundial de la Salud (OMS) indicaban que más de 18,3 millones de personas en todo el mundo se habían contagiado con este virus, contrayendo la enfermedad COVID-19 (Wang et al., 2020). Estudios en pacientes con COVID-19, han determinado que uno de los síntomas más recurrentes está relacionado con problemas gastrointestinales. Se ha diagnosticado la existencia del ARN viral de SAR-CoV-2 en muestras de heces de pacientes contagiados y también en plantas

de tratamiento de residuos líquidos, sin embargo, no se han considerado que sean infecciosas (Heller et al., 2020; Ramírez, 2020)

En países emergentes como Ecuador, los residuos líquidos transitan por los sistemas de alcantarillado y generalmente son descargados a cuerpos de agua superficial. Los análisis efectuados en matrices acuosas (residuos líquidos), han reportado concentraciones virales, cuantificadas para SARS-CoV-2 y adenovirus humano, en valores que fluctúan entre 10^5 a 10^6 cg/l (copias genómicas/litro) (Guerrero-Latorre et al., 2020). Es importante destacar que la información sobre la persistencia de los coronavirus en los residuos líquidos puede ser relevante, sobre todo en poblaciones vulnerables, en donde el acceso a servicios de saneamiento adecuados es una gran limitante.

Dentro de estas plantas convencionales, existen tecnologías enfocadas principalmente a la eliminación de sólidos (cribado, sedimentación), materia orgánica (lodos activados, biofiltros, reactores anaerobios, etc.) y algunos patógenos (cámaras de contacto, lagunas de maduración, etc.). Este último proceso, está enfocado principalmente a la eliminación de coliformes. No obstante, en Plantas de Tratamiento de Residuos Líquidos, se ha detectado que las tecnologías utilizadas sobre todo en su última etapa, no logran la total eliminación de virus (Díaz et al., 2012). Entre las tecnologías específicas, más utilizadas en la eliminación de patógenos, está la desinfección por cloración, cuya eliminación de *E.coli* es del 100% con dosis de 8 y 30 mg/L de NaClO y tiempos de contacto de 5 minutos (Tree et al., 2003). Sin embargo, es cada vez menos empleada, ya que puede producir trihalometanos que son cancerígenos. Además, su eficiencia de eliminación de protozoarios y parásitos intestinales es deficiente (Carvajal et al., 2017). En efecto, se ha optado por otras tecnologías como la desinfección por ozono, cuya eliminación de coliformes, virus y bacterias llega al 99% con dosis de 10 mg/L y tiempos de exposición de 10 minutos (Rojas & Orta de Velásquez, 2002).

Otra tecnología, es la desinfección usando luz ultravioleta, que registra eficiencias hasta del 99,9% para coliformes fecales (Rojas & Orta de Velásquez, 2002). Mientras que, las lagunas de estabilización muestran eliminación de agentes patógenos entre el 90% hasta del 99%, dependiendo de las variables operativas del sistema (Romero, 2005). Tecnologías no específicas, y muy usadas dentro de

estas plantas, que incluso pueden ser la última etapa de las mismas son los lodos activados. Estas tecnologías favorecen la formación de flóculos, donde patógenos pueden formar parte y ser retenidos, siendo por tanto sólo eliminados mediante estabilización de los lodos de purga, utilizando por ejemplo canchas de secado y alcanzando eficiencias de hasta el 98,5% en coliformes fecales (Cota & Ponce, 2008).

1.2 OBJETIVO

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar en forma comparativa distintas tecnologías de tratamiento enfocadas a la eliminación de virus procedentes de residuos líquidos domésticos/municipales, mediante el análisis del estado del arte y evaluación estadística de información científica, con el fin de establecer qué tecnologías y qué características operativas favorecen la eliminación viral.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el estado del arte respecto al tratamiento viral de residuos líquidos domésticos/municipales, mediante la recopilación y sistematización de información científica, con el fin de identificar tecnologías de tratamiento y tipos de virus estudiados.
- Evaluar en forma comparativa tecnologías específicas y no específicas, enfocadas en el tratamiento de virus procedentes de residuos líquidos, mediante análisis estadístico de varianza respecto a la eficacia en la eliminación de virus, con el fin de identificar niveles de tratamiento y tecnologías asociadas.
- Determinar la influencia de factores operativos que favorezcan el tratamiento de virus procedentes de residuos líquidos, mediante análisis estadístico correlativo de variables operativas y de rendimiento en tecnologías de tratamiento, con el fin de establecer las características operativas óptimas.

1.3 ALCANCE

El proyecto tiene como finalidad evaluar el estado del arte de la eliminación viral en Plantas de Tratamiento de Residuos Líquidos mediante el análisis de metadatos,

varianza y componentes principales. De esta manera se puede comparar la eficiencia de remoción viral entre tecnologías específicas y no específicas y a su vez establecer las condiciones operativas óptimas.

Los resultados obtenidos servirán de base para seleccionar tecnologías específicas y no específicas más apropiadas que aborden la problemática de reutilización del recurso agua sin ocasionar problemas de salud públicas. No obstante, esta información puede ser útil para estudios posteriores que sean llevados a la parte experimental, ya que, en la actualidad el tratamiento de residuos líquidos debe ser pensado como una herramienta de transformación de la contaminación a subproductos valorables como aguas tratadas seguras con fines agrícolas.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, existe un interés creciente en el uso de agua reciclada proveniente principalmente de residuos líquidos municipales (Verbyla & Mihelcic, 2015) para múltiples fines, incluyendo el riego, agua de procesos (refrigeración/calderas) y otras aplicaciones no potables. Además, ha aumentado la reutilización potable indirecta y directa como consecuencia de la alta demanda de agua en zonas urbanas densamente pobladas y la degradación de los recursos hídricos que están asociados a los cambios climáticos (Prado et al., 2019).

Para reutilizar el recurso agua, es necesario analizar la carga viral que posee, debido a la presencia de virus. Los virus entéricos son los causantes de más de 20 millones de casos de enfermedades gastrointestinales y más de 50 millones de casos de enfermedades respiratorias. Se originan como consecuencia de nadar, bañarse y comer productos limpiados con aguas superficiales contaminadas con residuos líquidos (Shuval, 2003), lo cual refleja el ineficiente tratamiento de residuos líquidos.

Las enfermedades emergentes también son un problema importante como el COVID-19 causado por el virus SARS-CoV-2 que está siendo analizado y aunque se han reportado muestras con ARN viral en los sistemas de alcantarillado, este no es infeccioso (Gormley et al., 2020). Sin embargo, países como España, Italia,

Francia, China, USA, continúan tomando y analizando muestras como evidencias para comprender el comportamiento de la transmisión del virus. De esta manera pretenden vigilar la circulación viral, facilitar la detección temprana en regiones con vigilancia clínica limitada, y como posible herramienta de alerta temprana para el brote de COVID-19 (Orive et al., 2020).

En este sentido, el presente trabajo tiene como finalidad obtener información sobre la eliminación viral en las plantas de tratamientos de residuos líquidos convencionales y no convencionales mediante la recopilación sistemática de información científica. Además de conocer sobre la seguridad del uso de residuos líquidos tratados, la cual es pensada desde su calidad microbiológica y el potencial de las tecnologías específicas (enfocadas particularmente a la eliminación de agentes patógenos por ejemplo rayos ultravioleta, ozonización, cloración, etc) y no específicas (son aquellas que ayudan a la remoción de agentes patógenos, pero no es su principal objetivo, por ejemplo, lodos activados) para su tratamiento.

Los sistemas convencionales constan de tratamiento primario, secundario y en algunos casos terciario, la implementación de este último representa elevados costos (Beascoechea et al., 2011), ya que remueve contaminantes específicos. Las tecnologías generalmente empleadas son ozonización, rayos ultravioletas, cloración, entre otras (Fernández et al., 2005). Los sistemas no convencionales son aquellos que tienen un bajo consumo energético en comparación a los sistemas convencionales, lo cual reduce sus costos y son una opción para el tratamiento descentralizado de residuos líquidos domésticos (Fernández et al., 2005; Beascoechea et al., 2011).

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. RESIDUOS LÍQUIDOS

Los residuos líquidos, son vertidos generados por el hombre como producto de sus actividades domésticas, comerciales e industriales, poseen concentraciones de sustancias orgánicas, inorgánicas, tóxicas y agentes patógenos dependiendo de su origen (Feléz & Pujol, 2009). En el caso de las zonas urbanas son recogidas por el sistema de alcantarillado para luego ser transportadas a las Plantas de Tratamiento de Residuos Líquidos (PT-RL), por el contrario, en las zonas rurales son descargas directamente a cuerpos de agua en su mayoría (Fernández et al., 2005).

2.1.1 GENERACIÓN

En el planeta existen 1,4 mil millones de km³ agua de los cuales solo el 0,003% está compuesto por agua dulce accesible para el consumo humano (Hsien et al., 2019). Se estima que el 70% es empleado en la agricultura, entre 20-50% para el sector industrial y tan solo el 10% se utiliza para las actividades domésticas (Arteaga et al., 2019). Se entiende que en los últimos años el consumo de agua ha aumentado por el crecimiento poblacional y como consecuencia también incrementaron las descargas de residuos líquidos, aproximadamente del 80% al 95% de estos residuos no son tratados antes de su descarga al cuerpo de agua (Bokova et al., 2017). Por las razones expuestas, la reutilización y el reciclaje del agua juegan un papel importante para evitar el deterioro del recurso y asegurar su permanencia para futuras generaciones (Hsien et al., 2019).

2.1.2 CLASIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN

En cuanto a la clasificación de los residuos líquidos se basa principalmente en las concentraciones de materia orgánica, inorgánica, sustancias tóxicas, es decir, en su composición, que a su vez se relaciona íntimamente con el origen de puntos de descarga, como se indica en la Tabla 2.1. (Romero, 2005).

Tabla 2.1. Clasificación, características y contaminantes de los residuos líquidos

Residuo Líquido	Origen	Características	CONTAMINANTES						
			SS	MOB	Nutrientes	AP	MONB	Metales	SID
Municipales	Viviendas, industrias, aguas pluviales	-Composición y carga contaminante homogénea. -Carga contaminante menor a en comparación a residuos líquidos domésticos e industriales. -El caudal es relativamente constante.	CM	CM	CM	CM	CB	CB	SD
Domésticas	Viviendas	-Carga contaminante mayor que residuos líquidos municipales. -Depuración sencilla, se emplea sistemas no convencionales descentralizados.	CA	CA	CA	CA	CB	CB	CM
<Industriales	Industrias	-Caudal y carga contaminante no continuas. -Carga contaminante depende de la industria. -Depuración complicada -Residuo líquido industrial.	CV	CV	CV	CB	CV	CA	CV
Pecuarias	Ganaderías	-Composición similar a los residuos líquidos domésticos, con mayor concentración. -Depuración complicada. -Residuo líquido industrial.	CA	CA	CA	CA	CB	CB	CM
Hospitalarias	Hospitales, laboratorios.	-Descargas directas (sin tratamiento) a los sistemas de alcantarillado -Su tratamiento es indispensable para evitar problemas de salud pública.	SD	SD	SD	SD	CA (fármacos)	SD	SD

SS: Sólidos Suspendidos **MOB:** Materia orgánica biodegradables **AP:** Agentes patógenos **MONB:** Materia orgánica no biodegradables **SID:** Sólidos inorgánicos disueltos **CA:** Concentración Alta **CM:** Concentración Media **CB:** Concentración Baja **CV:** Concentración Variables **SD:** Sin Datos

Fuente: (Fernández et al., 2005; Espigares García & Pérez, 1985; Metcalf & Eddy, 1996; Zambrano & Saltos, 2009; Beltrán et al., 2019).

Elaborado por: Mishell Limaico

Tabla 2.2. Composición promedio de los residuos líquidos

Parámetros	Residuos Líquidos			
	Municipales ¹	Domésticos ²	Pecuarios ³	Hospitalarios ⁴
pH	7,2	-	8,12	6,7
ST (mg/L)	700	225	7500	412
DQO (mg/L)	500	625	380	310
DBO ₅ (mg/L)	210	255	116	46
Agentes patógenos	-	10 ⁷ N°/100MI Coliformes totales	>10 ⁴ UFC/100MI Coliformes	3,1x10 ⁶ UFC/100mL Coliformes fecales

Fuente: (¹Crites & Tchobanoglous, 2000; ²Bokova et al., 2017; ³Arias et al., 2010; ⁴Grisales et al., 2012)

Elaborado por: Mishell Limaico

Se debe tomar en cuenta que los valores reportados han sido obtenidos en trabajos experimentales, es decir, han tenido diferentes condiciones locales, como caudal, temperatura y procedencia.

2.1.3. PROBLEMÁTICA

El agua dulce es un recurso limitado y un número creciente de cuencas hidrográficas puede verse afectadas por la escasez de agua debido al cambio climático, la urbanización, la sobrepoblación y el uso del suelo (Fry et al., 2008). Se conoce que más del 80% de los residuos líquidos son descargados directamente sin previo tratamiento a cuerpos hídricos, causando graves conflictos ambientales y de salud pública (OMS, 2019).

Los residuos líquidos presentan altas concentraciones de materia orgánica y varían dependiendo de su origen, lo que incide en la reducción del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua receptores ocasionando alteraciones en la reproducción de las especies de peces y macroinvertebrados (Dávila et al., 2020). Cuando son descargadas en sistemas lénticos aumentan en exceso los nutrientes (fósforo y nitrógeno) dando lugar a la eutrofización, el cual, es un proceso que deteriora la calidad del agua al disminuir la penetración solar y proliferar la producción de algas

que poco a poco desplazan la vegetación nativa además reducen el calado del cuerpo de agua ocasionando a largo plazo la pérdida total o parcial del mismo (Tejedor et al., 2019).

Los residuos líquidos sin tratamiento son empleados como agua de riego para la agricultura, ya que contiene nitrógeno, fósforo y materia orgánica, lo que mejora la calidad del suelo al aumentar su fertilidad, sin embargo, también agentes patógenos peligrosos para la salud humana y se considera como la principal fuente de contaminación alimentaria (Ledesma et al., 2013).

La disponibilidad del agua se ve afectada por múltiples razones, en consecuencia, es importante evaluar los residuos líquidos por su potencial de reutilización en aplicaciones no potables, como agua de riego, agua de procesos industriales y mejora del medio ambiente en entornos urbanos, siempre y cuando exista regularización para garantizar la salud humana (Verbyla et al, 2013a).

El factor económico es decisivo en el tratamiento de residuos líquidos, los países en vías de desarrollo no cuentan con apoyo financiero para invertir en tecnologías que mejoren la eliminación de contaminantes específicos, ni siquiera cuentan con plantas de tratamiento en las zonas altamente pobladas, que a largo plazo afecta a la economía local en las actividades de pesca, ganadería, incluso en la agricultura, los productos no poseen las condiciones óptimas para ser consumidos por lo cual son desechados, caso contrario, son los causantes de enfermedades gastrointestinales que perjudican a más de 1800 millones de personas al año (Raschid-Sally & Jayakody, 2008).

2.2 VIRUS

2.2.1 DEFINICIÓN

Los virus son partículas infecciosas capaces de replicarse únicamente dentro de células vivas denominadas células hospederas, las cuales les proporcionan energía e intermediarios metabólicos, por lo tanto, no son considerados como microorganismos vivos, por el contrario, son parásitos intracelulares obligados. Poseen un genoma de ácido nucleico (ARN o ADN) y proteínas que codifica las funciones necesarias para su replicación dentro de célula hospedera este proceso se conoce como infección (Louten, 2016).

2.2.2 ESTRUCTURA

La mayoría de los virus tienen tamaños que varían entre 0,02 y 0,3 μm , es decir, son más pequeños que las células procariotas (Madigan et al., 2015).

Los virus a pesar de su gran diversidad en tamaños, formas y ciclos de vida en general están compuestos básicamente de tres estructuras:

- **Cápsida:** Es la cubierta protectora compuesta por uno o varios tipos diferentes de proteínas denominadas capsómeros, es fuerte pero ligeramente flexible y en combinación con su pequeño tamaño, la cápside es físicamente muy difícil de romper y protege suficientemente el ácido nucleico en su interior (Madigan et al., 2015). Juntos, el ácido nucleico y la cápside forman la nucleocápside del virión (Figura 2.1). Entre las formas más conocidas están la icosaédrica, helicoidales y compleja (Figura 2.2).

Su principal función además de proteger el genoma participa en el reconocimiento de los receptores y otorga la simetría viral (Louten, 2016).

- **Ácido nucleico (ADN/ARN):** Es el material genético, que constituye a los virus, contiene la información genética y está a cargo de la capacidad infecciosa del virus. A diferencia de las células eucariotas, solo pueden tener un tipo de ácido nucleico, ya sea monocatenario o bicatenario (Negroni & González, 2017).
- **Envoltura:** Es una membrana lipoproteica que casi siempre se deriva de la membrana plasmática, aunque algunas veces también puede provenir del retículo endoplásmico de la célula, del complejo de Golgi o incluso de la membrana nuclear dependiendo del virus (Negroni & González, 2017). En su mayoría los virus carecen de envoltura y se conocen como virus desnudos (Figura 2.1). Sus principales funciones son la protección de la nucleocápside, la adherencia a los receptores celulares y la antigenicidad (Louten, 2016).

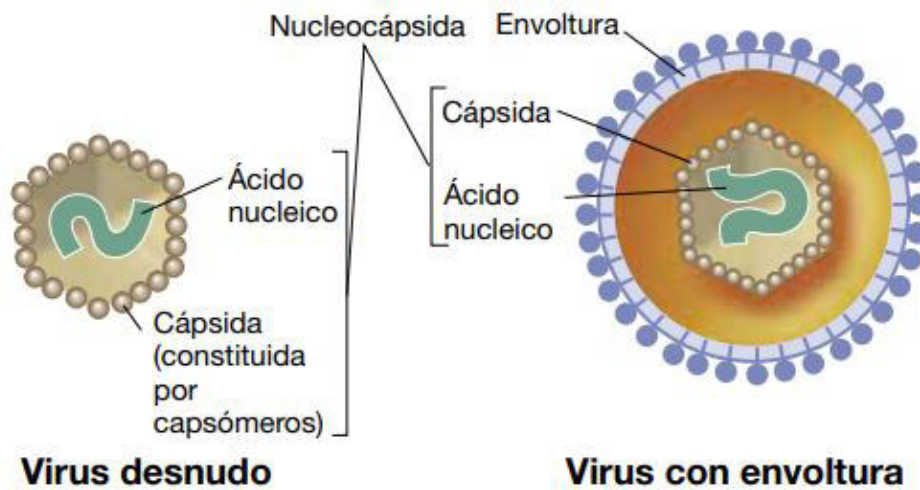


Figura. 2.1. Estructura de virus desnudos y con envoltura

Fuente: (Madigan et al., 2015).

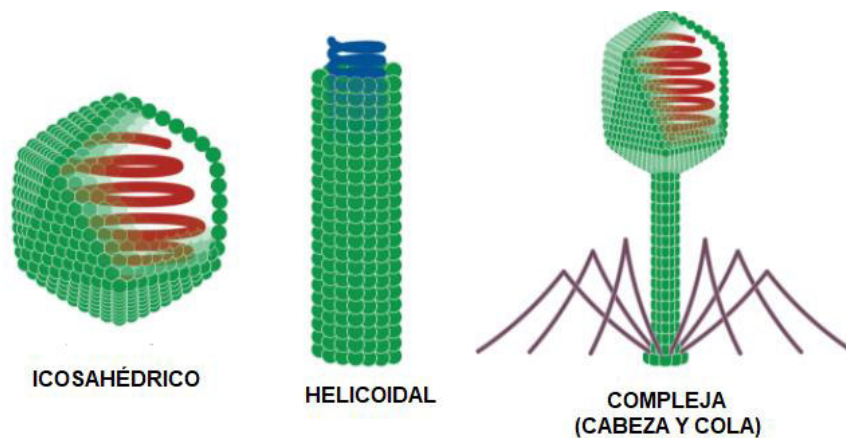


Figura. 2.2. Simetría de los virus

Fuente: (Negroni & González, 2017).

2.2.3. CLASIFICACIÓN

La clasificación de los virus se encuentra exclusivamente a cargo del Comité Internacional de Taxonomía de Virus (ICTV) desde 1966, debido a la variedad de virus y formas de clasificarlos, como el tamaño del virión, la estructura de la cápside, el tipo de ácido nucleico, las propiedades físicas, la especie de huésped o la enfermedad que causan, etc. (Louten, 2016). El ICTV utiliza jerarquías taxonómicas para clasificarlos basándose en una serie de diferentes características

con la intención de categorizar los virus más similares entre sí. En la actualidad, las tecnologías del ADN permiten secuenciar los genomas víricos con relativa rapidez y facilidad, lo que permite a los científicos comparar las secuencias de ácido nucleico de dos virus para determinar su grado de parentesco.

La clasificación es de vital importancia porque permite a los investigadores revelar información sobre los virus recién descubiertos comparándolos con otros similares y estudiar el origen de los virus y su evolución a lo largo del tiempo. Sin embargo, la clasificación de los virus no es sencilla: en la actualidad existen más de 2800 especies virales diferentes con propiedades muy distintas (Louten, 2016; Prasad & Schmid, 2012).

En un principio se categorizaron los virus en función de su tropismo, por ejemplo, virus respiratorios, entérico o neurotrópicos, sin embargo, actualmente la Clasificación Baltimore es la más usada y está avalada por el ICTV. Es importante señalar que los virus, al no estar vivos, pertenecen a un sistema completamente distinto que no entra en el árbol de la vida. Si bien los virus se clasifican en términos de taxones, sólo se clasifican mediante el orden, la familia, el género y la especie (Alonso et al., 2018).

El sistema de clasificación de Baltimore clasifica los virus en función del tipo de genoma de ácido nucleico y de la estrategia de replicación del virus. El sistema también divide los virus de ARN monocatenario en los de cadena positiva (+) y los de cadena negativa (-), en cuanto a la replicación el ARN de cadena positiva puede traducirse inmediatamente en proteínas; por tanto, el ARN mensajero (ARNm) de la célula es de cadena positiva. El ARN de cadena negativa (también de sentido o cadena negativos) no se puede traducir en proteínas; primero tiene que transcribirse en ARN de cadena positiva (Madigan et al., 2015).

Baltimore también tuvo en cuenta los virus que son capaces de transcribir en sentido inverso, o crear ADN tras de una plantilla de ARN, algo que las células no son capaces de hacer. En conjunto, las siete clases son:

- **Grupo I: Virus ADN bicatenario**

Son aquellos virus cuyo material genético está compuesto por ADN de doble cadena y se replica usando una ADN polimerasa dependiente del ADN, sin usar ARN como intermediario durante la replicación (Shaffer, 2019).

Ejemplos: Adenoviridae, Herpesviridae, Papovirida, también se incluyen la mayoría de bacteriófagos.

- **Grupo II: Virus ADN monocatenario**

El material genético de estos virus está compuesto por una cadena sencilla de ADN, es decir, presentan una sola cadena de nucleótidos y se replican utilizando la enzima ADN polimerasa, cabe señalar que no utilizan ARN como intermediario durante el proceso de replicación. Las investigaciones referentes a este grupo no son tan amplias en comparación a los otros grupos (Shaffer, 2019).

Ejemplos: Parvoviridae, Anelloviridae, Circoviridae,

- **Grupo III: Virus ARN bicatenario**

Los virus de este grupo presentan ARN de cadena doble en su material genético, se replican en el citoplasma y no dependen de enzimas polimerasas de las células del huésped, en comparación con los virus ADN. Una particularidad es el amplio rango de huéspedes que pueden llegar a infectar como humanos, animales, plantas, hongos, bacterias (Shaffer, 2019).

Ejemplos: Rotavirus, Rheoviridae y Birnaviridae.

- **Grupo IV: Virus ARN monocatenario positivo**

Son los virus que cuyo material genético está constituido por ácido ribonucleico (ARN) de cadena sencilla de sentido positivo y no se replican utilizando ADN intermedio. Los virus ARN positivos son idénticos al ARNm viral y por consiguiente tienen la posibilidad de ser traducidos rápidamente por la célula huésped, en cuanto a la replicación, ocurren principalmente en el citoplasma y no depende del periodo celular como en los virus ADN (Shaffer, 2019).

Ejemplos: Hepatitis, Mosaico del Tabaco, SARS, fiebre amarilla, entre otros.

- **Grupo V: Virus ARN monocatenario negativo**

Son los virus que contienen como material genético ARN de cadena sencilla de sentido negativo. En su replicación ocurre en el citoplasma o en el núcleo, no se utiliza ADN como intermediario. El ARN viral (-) es complementario del ARNm y por consiguiente debería transformarse en ARN (+) por una ARN polimerasa previo a la traducción (Shaffer, 2019).

Ejemplo: Ébola, Rabia, Gripe, Rhabdoviridae, entre otros.

- **Grupo VI: Virus ARN monocatenario retrotranscrito**

Son los virus con ARN de cadena simple, en la célula huésped el genoma se replica por medio de transcripción inversa, es decir, el ADN se forma a partir del molde del ARN. El ADN comúnmente se integra en el genoma del huésped, como en el caso de los retrovirus y pseudovirus, donde es replicado y transcrito por el huésped (Shaffer, 2019).

Ejemplo: VIH-SIDA, Metaviridae y Pseudoviridae.

- **Grupo VII: Virus ADN bicatenario retrotranscrito**

Son aquellos virus cuyo material genético está compuesto por ADN de doble cadena, y se replica a través de transcripción inversa en la célula del huésped mediante el ARNm o el ARN pre-genómico, es decir, mediante la formación del ARN en consecuencia del molde de ADN (Shaffer, 2019).

Ejemplo: Hepatitis B, Mosaico de la coliflor.

2.2.4. ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS

En 2010, la Organización Mundial de la Salud (OMS) informó que 600 millones de enfermedades y 420000 muertes fueron causadas por 31 patógenos transmitidos por los alimentos lavados con agua superficiales sin tratamiento en todo el mundo, y el 40% de las enfermedades se produjeron en niños menores a 5 años de edad (Jiang et al., 2020).

Se estima que existen 10^{10} partículas virales por litro de aguas superficiales, que en la mayoría de casos están contaminadas con residuos líquidos debido a la falta de tratamiento previo a su descarga en cuerpos de agua naturales y eventualmente

ocasionan problemas de salud pública y es una limitante para el uso, explotación y reciclaje del recurso agua (Espinosa et al., 2004).

El agua es un medio de propagación de numerosas patologías causadas por bacterias, virus, protozoos, entre otros. Sin embargo los virus son los más peligrosos, ya que permanecen activos de semanas a meses en el medio acuático a pesar de no ser su hábitat natural en vista de su resistencia en condiciones poco favorables como cambios bruscos de pH y temperatura (OMS, 2019).

Los virus entéricos y envueltos son los principales responsables de la transmisión de enfermedades, aunque su estructura y comportamiento es distinto, poseen la capacidad de multiplicarse en el intestino de los seres humanos dando origen a enfermedades gastrointestinales, hepatitis, respiratorias, infecciones del sistema nervioso central (Bofill-Mas et al., 2005). Los virus entéricos transmitidos por el agua más relevantes son Norovirus, Enterovirus, Hepatitis A, Adenovirus. Por otro lado, los virus envueltos más comunes pertenecen a la familia Coronaviridae como por ejemplo SARS CoV, MESR-CoV y SARS-CoV-2 este último es el causante de la enfermedad COVID-19 (Hata et al., 2020). En la Tabla 2.3, se presenta las enfermedades causadas por los virus más comunes.

Tabla 2.3. Enfermedades causadas por virus

VIRUS	ENFERMEDADES ASOCIADAS	TIPOLOGÍA
Adenovirus	Conjuntivitis, infecciones respiratorias, urinarias, gastroenteritis, enfermedades neurológicas.	Entéricos
Aichivirus	Gastroenteritis	Entéricos
Astrovirus	Gastroenteritis	Entéricos
Enterovirus	Gastroenteritis, conjuntivitis	Entéricos
Hepatitis	Hepatitis	Entéricos
Norovirus	Gastroenteritis	Entéricos
Poliomavirus	Leucoencefalopatía multifocal progresiva	Entéricos
Poliovirus	Infecciones del Sistema Nervioso, Poliomiélitis parálítica.	Envueltos
Sapovirus	Gastroenteritis	Entéricos

Reovirus	Infecciones respiratorias y gastrointestinales leves	Entéricos
Rotavirus	Gastroenteritis	Entéricos
Torque Teno Virus	Infecciones hepáticas	Entéricos
Síndrome Respiratorio Agudo Severo	COVID, COVID-19, MERS-CoV	Envueltos

Fuente: (Bofill-Mas et al., 2005; Espinosa et al., 2004; Jiang et al., 2020)

Elaborado por: Mishell Limaico

2.2.5. COVID-19

El virus SARS-CoV-2 corresponde a la familia *Coronaviridae*, consiste en un grupo de virus con envoltura y genoma de ARN monocatenario. Los virus pertenecientes a esta familia causan varias de enfermedades con diferentes niveles de gravedad desde una gripe común hasta los síndromes agudos respiratorios como MERS-CoV y SARS-CoV (Kitajima et al., 2020).

El virión del Coronavirus es envolvente, esférico con un diámetro de 120 nm. Las proteínas de la envoltura intervienen en varios aspectos del ciclo vital del virus, como el ensamblaje, la formación de la envoltura y la patogénesis haciéndolos más resistentes a las condiciones ambientales en comparación con otros agentes patógenos (Liu, 2020).

El COVID-19 se originó en Wuhan, China en diciembre del 2019 y se convirtió en pandemia y por ende en emergencia de salud pública. El SARS-CoV-2, se transmite de persona a persona por contacto directo. Sin embargo, dado que el SARS-CoV-2 como también los otros coronavirus, se ha detectado en las heces no sólo de pacientes sintomáticos sino también de asintomáticos, existe la posibilidad de la transmisión fecal-oral mediante residuos líquidos (La Rosa et al., 2020). Los síntomas reportados de los pacientes de COVID-19 son tos seca, fiebre, problemas pulmonares, dolores de cabeza, fatiga y problemas gastrointestinales en su minoría (Zambrano, M et al., 2020).

Cada vez hay más pruebas de los síntomas gastrointestinales causados por el SARS-CoV-2 en los contagiados, y de la incidencia de ARN viral no sólo en las heces de los pacientes, sino también en la red de alcantarillado (Ramírez, 2020).

Como antecedente, en 2003, el SARS-CoV se detectó en las heces de pacientes infectados y, durante un brote en un complejo residencial de Hong Kong, se sospechó la transmisión por residuos líquidos (Kitajima et al., 2020).

Varias investigaciones señalan la detección molecular del SARS-CoV-2 en los Países Bajos, Estados Unidos, Francia y Australia en residuos líquidos no tratados con concentraciones medias de 106 copias por litro. Por otro lado, el estudio realizado en Francia detectó ARN de SARS-CoV-2 en residuos líquidos tratados también, con concentraciones de hasta 105 copias por litro (Orive et al., 2020). Sin embargo, no indican la presencia de partículas virales infecciosas, esto se debe a que el virus muestra una alta sensibilidad a procesos de cloración y se inactiva más rápido que los virus entéricos en el agua. La temperatura es otro factor influyente, a 23°C el poder infeccioso disminuye rápidamente (Ramírez, 2020).

Uno de los principales retos en la detección o cuantificación del SARS-CoV-2 en muestras de residuos líquidos es la falta de un protocolo optimizado y estandarizado. Los datos disponibles actualmente también son limitados para efectuar una estimación cuantitativa del riesgo microbiano para las vías de exposición al SARS-CoV-2. Sin embargo, los enfoques basados en modelos tienen un papel potencial para reducir el impacto negativo del actual brote viral, y los parámetros de Evaluación Cuantitativa del Riesgo Microbiológico (QMRA, por sus siglas en inglés) obtenidos de estudios anteriores sobre virus respiratorios relevantes ayudan a informar las evaluaciones de riesgo del SARS-CoV-2. La comprensión sobre el papel fundamental de los residuos líquidos en la propagación del virus está limitada en gran medida por las lagunas de conocimiento sobre su aparición, persistencia y eliminación en los residuos líquidos. Es urgente seguir investigando para establecer metodologías de vigilancia de residuos líquidos y comprender las implicaciones de la presencia del SARS-CoV-2 en ellos (Bellizzi et al., 2020; Liu, 2020; Quilliam et al., 2020; J. Wang et al., 2020).

2.2.6. BACTERIÓFAGOS COMO INDICADORES PARA CONTABILIZAR VIRUS EN PT-RL

Los bacteriófagos son organismos inanimados que infectan y destruyen a las bacterias, están constituidos de una cápsula proteica que envuelve el material genético (ADN o ARN) y algunos casos también presenta cola como por ejemplo

del Bacteriófago T4 (Madigan et al., 2015). Estos microorganismos se multiplican dentro de las células huésped mediante el uso de la maquinaria biosintética de las bacterias, son considerados como sistemas modelos para comprender el comportamiento de los virus animales (Prasad & Schmid, 2012).

Además, los bacteriófagos son tan resistentes como los virus entéricos en los entornos acuáticos y tienen un modo de replicación, una estructura, una composición y un tamaño similares (De Luca et al., 2013). Muestran una mayor resistencia al tratamiento de depuración que los indicadores bacterianos convencionales, por lo que representan un mecanismo práctico para calcular la eficacia de la eliminación microbiana mediante tratamientos de residuos líquidos (Arraj et al., 2005; Zanetti et al., 2007). Los métodos para su detección y recuento son sencillos, rápidos, baratos y no requieren confirmación, lo cual facilita el análisis de eliminación viral en PTARs (Amarasiri et al., 2017).

Debido a la problemática actual, varios países requieren de la reutilización de los residuos líquidos, sin embargo, para lograr este objetivo se necesita conocer la eficiencia de remoción viral en la Plantas de Tratamiento, los virus entéricos son uno de los patógenos más infecciosos presentes en el agua y cuantificar cada especie representa un problema debido a los procedimientos complicados y costosos, para lo cual, se ha optado por emplear bacteriófagos como sustitutos de los virus debido a la naturaleza bien caracterizada de las cepas y la presencia de protocolos establecidos para la cuantificación (Amarasiri et al., 2017).

Los resultados de la enumeración de bacteriófagos pueden obtenerse en 12 horas con técnicas más sencillas, a diferencia de las técnicas de enumeración de virus entéricos que requieren más tiempo, coste y mano de obra, así mismo algunas investigaciones señalan que la concentración de bacteriófagos en residuos líquidos es similar o mayor que las concentraciones de virus entéricos.

Por otro lado, varios estudios han argumentado los inconvenientes de los bacteriófagos de ser un indicador adecuado de validación y monitoreo para la eliminación del virus entérico en el tratamiento de residuos líquidos. El inconveniente más crítico es la incapacidad de obtener siempre una clara correlación entre los valores de Log Removal Values o LRV de los bacteriófagos y el virus entérico humano (Hmaied et al., 2015).

2.3 TRATAMIENTOS DE RESIDUOS LÍQUIDOS

Ante la problemática actual de disposición de agua para uso de la vida diaria, comercio, servicios e industrias, las autoridades gubernamentales requieren aprovechar al máximo al recurso hídrico mediante plantas de tratamiento que permitan una reutilización del agua y abastecer las necesidades locales, sin afectar la disponibilidad a de futuras generaciones (Ramón, 2010).

Los tratamientos de residuos líquidos se agrupan en operaciones y procesos unitarios, en el pre-tratamiento y tratamiento primario se utilizan métodos fisicoquímicos, con el objetivo de remover residuos sólidos. El tratamiento secundario emplea métodos biológicos para eliminación de materia orgánica y el tratamiento terciario o avanzado se utilizan métodos combinados para remover contaminantes específicos como nutrientes, agentes patógenos (virus), metales pesados, contaminantes emergentes (fármacos), como se evidencia en la Figura 2.3 (Rojas, 2002).

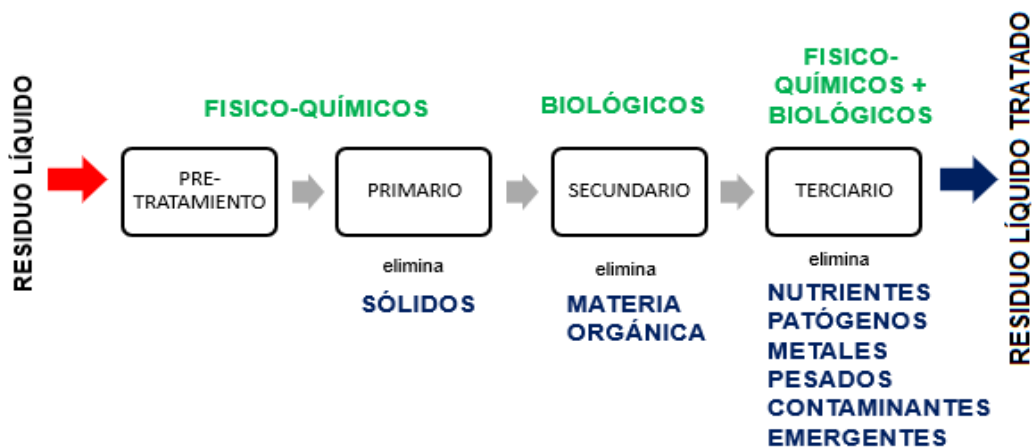


Figura 2.3. Flujograma de las Plantas de Tratamiento de Residuos Líquidos.

Fuente: (Romero, 2005; Fernández et al., 2005)

2.3.1 TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS

2.3.1.1 Reactor Biológico de Membrana (MBR)

El biorreactor de membrana es una tecnología de tratamiento de residuos líquidos que logra la separación de sólidos mediante la combinación de una membrana de permeabilidad selectiva con un proceso biológico, como se muestra en la Figura 2.4 (Judd, 2008). Por lo tanto, los sólidos son eliminados por la membrana, en lugar

de un proceso de sedimentación secundario. Las membranas tienen un tamaño de poro relativamente pequeño (0,03 a 0,40 μm), lo que permite la exclusión física de una gran variedad de microorganismos (Purnell et al., 2016). El resultado es la mejoría significativa de la calidad del residuo líquido tratado tanto en DQO, DBO y eliminación de virus en comparación al tratamiento convencional. (Ruiqing et al., 2013).

Existen dos tipos de MBR en función de su configuración: MBR sumergida y MBR con circulación.

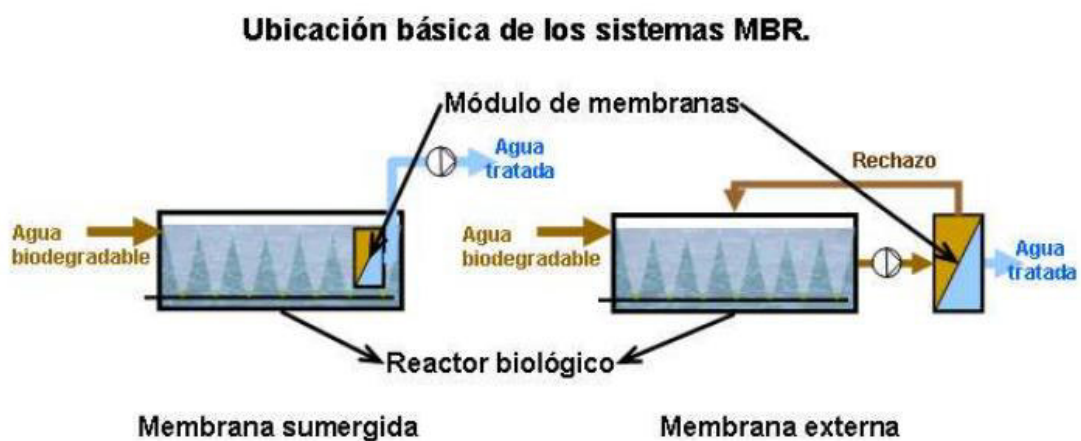


Figura 2.4. Principio del biorreactor de membrana.

Fuente: (Judd, 2008)

En cuanto a los parámetros de diseño, se estima que los MBR funcionan con: Tiempo de retención hidráulica (TRH) entre 0,5-8,0 horas, concentraciones de 8000- 15000 mg/L de sólidos solubles, carga contaminantes de 0,01-0,15 kg DBO₅/kg SSLM*día, caudales de 2,36 -648000 m³/día, es decir, se puede emplear en cualquier lugar (Judd, 2008).

La importancia comercial de esta tecnología es considerable, con aplicaciones en el tratamiento de residuos líquidos municipales e industriales, debido a sus elevados niveles de remoción de virus de 1,5-7,0 LRV, ha sido tomado en cuenta para procesos de reutilización de residuos líquidos, ya que los costes de fabricación de las membranas y de los procesos de membranas siguen bajando y la normativa medioambiental es cada vez más estricta (Judd, 2008).

2.3.1.2 Cloración

La cloración de residuos líquidos se lleva a cabo mediante el suministro de dióxido de cloro, hipoclorito de sodio o cloro gaseoso. Es un proceso muy efectivo en eliminar microorganismos patógenos como coliformes totales, fecales del agua, sin embargo es deficiente en la eliminación de virus, los principales causantes de enfermedades de transmisión hídrica (Olmedo, 2008). El propósito principal de este tratamiento es mitigar problemas de salud pública.

Para fines de desinfección se ha sugerido una dosis de 1 mg/l de cloro residual, después de 20 minutos de contacto (Rojas & Orta de Velasquez, 2002). Uno de los beneficios de la cloración es la reducción de coliformes de hasta un 99% (Davis, 1977). Con respecto a la eliminación viral alcanza valores de 1,28 -2,5 LRV en combinación con otras tecnologías.

Entre sus principales aplicaciones se tiene la desinfección de superficies, alimentos en concentraciones mínimas y sobre todo de agua potable y residuos líquidos antes de ser descargados a cursos de agua (García, 2006). Para asegurar que el recurso hídrico sea microbiológicamente seguro se debe considerar los efectos negativos en la salud humana producidos por los subproductos de la aplicación del cloro (Olmedo, 2008).

2.1.3.3 Rayos UV

La radiación ultravioleta (UV) daña los ácidos nucleicos y las proteínas de los microorganismos, inhibiendo la replicación/transcripción del genoma y alterando la estructura de las proteínas, por tanto, impide que los agentes patógenos se repliquen y ocasionen infecciones en el huésped, como se evidencia en la Figura 2.5 (Wigginton et al., 2012; Qiu et al., 2018). Esta tecnología se ha utilizado cada vez más para la inactivación de patógenos en los efluentes de residuos líquidos.

En comparación con la desinfección química (cloración y ozonización), tiene numerosas ventajas, como inexistencia de subproductos peligrosos para la salud, no es corrosiva, es sencilla de instalar y tiene facilidad de funcionamiento (Qiu et al., 2018).

La sensibilidad de los microorganismos (virus, bacterias y protozoos) a la luz UV varía en función de una serie de factores bióticos (enzimas de reparación de ADN,

contenido de timina) y abióticos (temperatura, pH, salinidad, espectro de la luz UV, dosis) (Velásquez & Rodríguez, 2014). Sin embargo, los virus enterovirus como los adenovirus son más resistentes a los rayos UV.

Referente a los parámetros de diseño, se conoce que la dosificación mínima es de $16000 \mu\text{Ws}/\text{cm}^3$ y las lámparas deben ser reemplazadas después de 8500 horas es decir, aproximadamente un año de uso, además se requiere revisar continuamente la funda de cuarzo donde se adhieren las impurezas, para mayor información revisar la norma NSF 55 y la guía DHEW (Wright & Cairns, 1998).

Para alcanzar una inactivación de agentes patógenos de 1 a 3 LRV se requieren dosis de 3 y $45 \text{ mWs}/\text{cm}^2$ respectivamente (Velásquez & Rodríguez, 2014). Referente a la eliminación de adenovirus (HAdV) se alcanzan valores entre 1,5-2,78 LRV (Qiu et al., 2018)

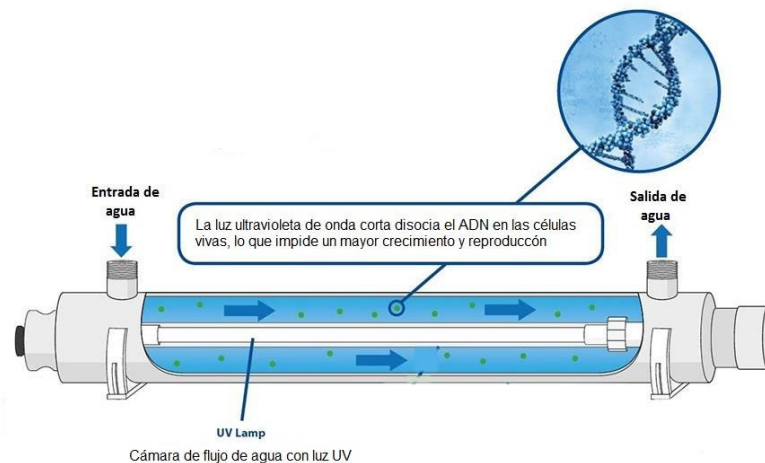


Figura 2.5. Esquema del Tratamiento con Luz Ultravioleta (UV)

Fuente: (Velásquez & Rodríguez, 2014)

2.1.3.4 Ozonificación

El ozono es un potente agente oxidante, reacciona rápidamente con el agua y genera varios tipos de radicales libres e iones como HO, HO_2 , O^- , O_2^- que oxidan compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en los residuos líquidos. La letalidad del O_3 contra los agentes patógenos en especial los virus es ampliamente conocida, este compuesto reacciona con los ácidos nucleicos del genoma viral inhibiendo su

replicación/transcripción (Kong et al., 2021). Los productos resultantes son altamente reactivos (Velásquez & Rodríguez, 2014).

La ozonización tienen muchas aplicaciones industriales principalmente en el tratamiento de agua potable y residuos líquidos, específicamente para remoción de color, olor, pesticidas, metales y microorganismos (virus) (Bayarri et al., 2021). Respecto a los parámetros de diseño son dosis, tiempo de contacto, demanda de ozono y tipo de agua, tener en consideración que dependen del objetivo deseado (Rojas & Orta de Velasquez, 2002).

Para alcanzar eficiencias de remoción de 1,52 y 4 LRV de *E.coli* se emplean dosis de 3mg/L O₃ y 2mg/L de O₃, con tiempos de contacto de 20 y 5 minutos respectivamente (Velásquez & Rodríguez, 2014). El bacteriófago MS2 alcanzó una reducción de 5LRV con una concentración de 1,18 mgO₃/mg COD (carbono orgánico disuelto) con un tiempo de contacto de 3 horas (King et al., 2020).

2.3.2 TECNOLOGÍAS NO ESPECÍFICAS

2.3.2.1 Lodos Activados

Es el método de tratamiento biológico de residuos líquidos más aplicado, funciona con biomasa bacteriana en suspensión conocido como licor mezclado, es el causante de la eliminación de los contaminantes (Figura 2.6). En función del diseño y de la aplicación determinada, una planta de tratamiento de residuos líquidos (PT-RL) con tecnología de lodos activados puede conseguir la eliminación de nitrógeno, fósforo y sustancias de carbono orgánico (Méndez et al., 2004).

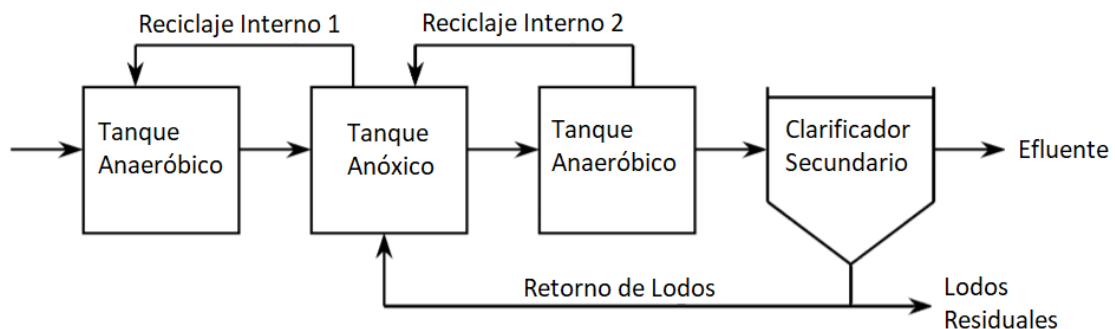


Figura 2.6. Esquema del Tratamiento de Lodos Activados

Fuente: Gernaey et al., 2004

El proceso de lodos activados se ha aplicado ampliamente para el tratamiento de residuos líquidos domésticos, municipales e industriales, debido a su alta eficiencia, flexibilidad operativa, posibilidad de eliminación de nutrientes, entre otras ventajas. Sin embargo, presenta algunas desventajas como: el alto nivel de mecanización, los elevados costes de construcción y explotación, el funcionamiento sofisticado y la necesidad de tratar una cantidad considerable de lodos (Sperling et al., 2001).

Para el diseño de la PT-RL se debe tomar en consideración las concentraciones de DBO del afluente, sólidos suspendidos volátiles (SSV) de entrada, sólidos totales (ST) de entrada y los sólidos suspendidos totales (SST) de entrada, todos los parámetros se encuentran en función del caudal (Sperling et al., 2001),

En residuos líquidos presentan valores de 2,7 a 4,3 LRV de eliminación viral (Sidhu et al., 2018).

2.3.2.2. Sistemas de Digestión Anaerobia (DA)

Los sistemas DA son utilizados ampliamente para el tratamiento de residuos líquidos, sólidos urbanos, estiércol del ganado, residuos alimentarios y los lodos de depuradora (Jiang et al., 2020). Debido a sus principales ventajas: bajo costo en instalaciones (sin suministro de oxígeno), disminución en la demanda energética, menor producción de lodos en comparación con tecnologías aerobias, son sistemas compactos que ocupan menor espacio de terreno a diferencia de los sistemas de lagunaje (Crombet et al., 2016).

Entre sus desventajas están; mayor tiempo de retención hidráulica (TRH), tiempos adicionales de aclimatación, funcionan con bajos caudales, es decir, imposibilitan el tratamiento de grandes cantidades de residuos líquidos (Crombet et al., 2016).

En estos sistemas, los patógenos están expuestos a un entorno complejo. las eficiencias de inactivación de los patógenos pueden verse afectadas por varios factores, incluyendo los tipos de patógenos, las condiciones de operación, los productos intermedios y los sustratos (Matheri et al., 2017). Estos factores pueden determinar la cantidad de salidas de energía, y se necesita una optimización para obtener beneficios mutuos de la recuperación de energía y la inactivación de

patógenos (Matheri et al., 2017). En residuos líquidos presentan valores de 1,6 a 6 LRV de eliminación viral (Jiang et al., 2020).

2.3.2.3 Sistema de Estanques

Son embalses relativamente poco profundos, estabilizan y tratan residuos líquidos mediante procesos naturales impulsados por la luz solar, la proliferación y depuración de la flora biológica. Son una de las tecnologías de tratamiento más frecuentes en el mundo, sobre todo para las pequeñas ciudades y las comunidades en desarrollo (Symonds et al., 2014).

Hay muchos tipos de estanques (estanques de algas de alta tasa, estanques aireados); sin embargo, una configuración común consiste en un estanque facultativo seguido de uno o más estanques de maduración (Symonds et al., 2014). Los estanques facultativos suelen estar diseñados para reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y los sólidos suspendidos totales (SST), mientras que los estanques de maduración están diseñados para eliminar los patógenos (Maynard et al., 1999)

Mientras que algunos sistemas de depuración utilizan desinfectantes químicos para la reducción de patógenos, muchos se basan en mecanismos naturales que son complejos y poco conocidos (especialmente para la eliminación de virus). Investigaciones anteriores han demostrado que los sistemas que consisten en un estanque facultativo seguido de dos estanques de maduración pueden proporcionar una eliminación de indicadores bacterianos superior a 4 LRV (Verbyla et al., 2016). El rendimiento se ve afectado por la acumulación de lodos, por lo tanto, es necesario comprender que los patógenos en los lodos se han acumulado durante años sin ser eliminados (Verbyla et al., 2016).

2.3.2.4 Filtros Percoladores

La tecnología del filtro percolador se basa en la oxidación biológica de los contaminantes contenidos en los residuos líquidos (Osuolale & Okoh, 2017). El medio del filtro percolador proporciona una superficie para el crecimiento de bacterias y otros microorganismos que se alimentan de los contaminantes orgánicos de los residuos líquidos, y luego utiliza el oxígeno del aire para convertirlos en subproductos inocuos (ENEXIO 2H Water Technologies, 2014).

Reducen la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en los sistemas carbonosos, la DBO y el amoníaco en los sistemas combinados carbonosos y nitrificantes, y los filtros nitrificantes para reducir el amoníaco (Osuolale & Okoh, 2017).

Los filtros percoladores, contruidos originalmente con medios de roca o piedra, han demostrado ser sencillos de manejar, fiables, energéticamente eficientes y capaces de lograr un tratamiento exitoso. La versión moderna de los filtros percoladores utiliza el medio filtrante de plástico estructurado en cruz (Ramalho, 2015). Para su diseño se debe considerar la carga volumétrica que oscila entre 0,2-1,0 ($\text{kg} \cdot \text{DBO}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{día}$) y la carga hidráulica con valores de 2 hasta 30 ($\text{m}^2 / \text{m}^2 \cdot \text{día}$), dependiendo del caudal a tratar y del tipo de filtro (Ramalho, 2015).

Esta tecnología tiene una larga historia de proporcionar soluciones fiables, eficientes y rentables para una amplia gama de tratamiento de residuos líquidos industriales y municipales. Presenta valores de LRV entre 0,1-1,4 para eliminación de virus (Schmitz et al., 2016) .

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

La metodología de la presente tesis se efectuó en dos etapas: Fuentes de información y Análisis de la información. Primero se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo del estado del arte: “Eliminación viral de residuos líquidos”, con base en redes de información bibliográfica. A continuación, descritas:

3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

Los datos fueron recolectados con base en información científica bibliográfica, a través del método metaanálisis, el cual, es ampliamente conocido y aplicado en estudios médicos e ingenieriles como lo son los realizados por Amarasiri et al. (2017) y Nordgren et al. (2009), entre otros, con el objetivo de sintetizar información relevante de un acopio de investigaciones y seleccionar las publicaciones científicas más adecuadas para el desarrollo del presente trabajo (Urrútia & Bonfill, 2010).

La selección de papers se realizó utilizando los motores de búsqueda científicos más utilizados como Google Scholar, ScienceDirect, PubMed, entre otros. Los artículos relevantes, publicados antes de junio del 2020, se obtuvieron utilizando palabras claves como: “eficiencia de remoción viral” (viral removal efficiency), “plantas de tratamiento” (wastewater treatment), “remoción viral” (viral removal), “virus” (viruses), entre otras. Como primer resultado se consiguió una recopilación de 70017 artículos, que se dividieron en 4 secciones: artículos de revisión, artículos de investigación, enciclopedia, capítulos de libros y otros.

Posteriormente, se llevó a cabo una investigación sistemática específica, el conjunto de datos recopilados en la fase previa se segregó con base en los criterios descritos en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Criterios de selección de artículos científicos recopilados

CRITERIO DE INVESTIGACIÓN	VARIABLE	LÍMITE
Tipo de Publicación	Libros /Publicaciones Científicas/Tesis/Revistas	Publicaciones Científicas
Temporalidad	Año de publicación	1983 – 2020

Idioma	Idioma	Inglés
Estado de la publicación	Aceptada / Publicada	Publicada
Tipo de estudio	A gran escala/ Experimental/Piloto	A gran escala/ Experimental/Piloto
Tipo de agua	Potable/ Residual/ Subterránea	Residuo líquido
Tipo de Agentes Patógenos	Virus/Bacterias/ Protozoos/ Helmintos/ Bacteriófagos	Virus/ Bacteriófagos
Unidades de Remoción viral	NMP/100ml - gc/mL- gc/L - UFC/L – LRV	Log Removal Values (LRV)

Elaborado por: Mishell Limaico

Los tipos de publicaciones enfocadas a la eliminación viral en residuos líquidos fue muy variado, por esa razón los resultados se limitaron a estudios de publicaciones científicas, las cuales presentaban más confiabilidad en la comunidad científica (Urrútia & Bonfill, 2010). Para la temporalidad fueron considerados estudios realizados desde el año 1983 hasta la actualidad. En cuanto al criterio de idioma fueron tomados en cuenta los artículos científicos únicamente en inglés, para facilitar la recopilación de datos y minimizar el error que existe al traducir de otros idiomas. Otro criterio de inclusión fue el estado de las publicaciones, existen varias publicaciones en borrador (*proof*) de la publicación final, sin embargo, para elevar la veracidad de la información del estudio fueron consideradas aquellas publicaciones aceptadas y publicadas en revistas científicas.

Referente a los criterios de aceptación del contenido de los estudios, para el tipo de estudios fueron aceptaron todas las publicaciones de carácter experimental, a gran escala o piloto. Con relación al tipo de agua se seleccionaron aquellos artículos científicos que analizaban muestras **de residuos líquidos (agua residual)**, sin importar su clasificación.

Los criterios más importantes para seleccionar la base de datos fueron: tipos de agentes patógenos y unidades de remoción viral, ya que, varios estudios presentaban valores de remoción bacteriológica usando coliformes totales, coliformes fecales, huevos de helmintos, entre otros. Estos indicadores son menos resistentes a los procesos de tratamiento del agua en comparación a los virus y no son considerados como indicadores de remoción viral por su estructura y comportamiento en el ambiente. En lo que concierne a las unidades de remoción,

las publicaciones en su mayoría presentaron concentraciones iniciales o finales de virus en varias unidades como MPN/100ml, cg/ml, UFC/l, por lo tanto, no fue factible realizar una comparación, razón por la cual, se seleccionaron los estudios que tenían valores de remoción con unidades de Log Removal Values (LRV). A excepción de los artículos del SARS-CoV-2, ya que es un tema reciente y por la pandemia no existen investigaciones en campo.

Finalmente, se filtraron las publicaciones con los criterios de selección detallados previamente, se escogieron **69 artículos de investigación** que se relacionaron con el tratamiento de residuos líquidos y eliminación viral para el estado del arte.

3.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.2.1. VOSviewer: ANÁLISIS DE CO-OCURRENCIA.

VOSviewer es un software que tiene como finalidad de construir, visibilizar y navegar mapas basados en metadatos (Jan Van Eck & Waltman, 2020). Elabora redes de artículos, revistas científicas, investigadores, países y? palabras, los cuales, son conectados mediante enlaces de coautoría, cocitación, citación, co-ocurrencia, entre otros (Galvez, 2018).

Para efecto del presente trabajo se utilizó el **análisis de co-ocurrencia**, se define como las apariciones conjuntas de dos términos independientes dentro una o varias publicaciones referentes al mismo tema de estudio con la finalidad de comprender, visualizar la información científica disponible en la red (Galvez, 2018; Det Udomsap & Hallinger, 2020).

- Creación de mapas en función de metadatos:

Primero se elaboró una red de información científica bibliográfica con base en los archivos de la plataforma virtual SCOPUS.

La base de datos se obtuvo a través de la búsqueda de los términos **“wastewater treatment of virus removal”** durante el periodo de análisis 1983 al 2020. Para obtener la información más adecuada al tema de investigación se utilizaron criterios de inclusión tales como: periodo (1983-2020), área temática (Ciencias Ambientales e Ingeniería), tipo de acceso a la información (público), dando como resultado **389**

datos. La base de datos se exportó con el método CSV, en formato Excel y posteriormente, se abrió con el Programa VOSviewer.

Una vez ingresada la base de datos en el programa VOSviewer, se procedió a elaborar los mapas con la ayuda del “The Create Map wizard”. En la Tabla 3.2, se muestra un resumen de las principales opciones que ofrece The Create Map wizard. En la Figura 3.1, se indica el procedimiento que se empleó para la elaboración de mapas en VOSviewer del presente trabajo.

Tabla 3.2. Principales opciones que ofrece el asistente de creación de mapas para crear un nuevo mapa.

TIPO DE DATOS	FUENTE DE DATOS	ENLACES	ARTÍCULOS
Datos de la red	Archivos VOSviewer, GML y Pajek		Autores Organizaciones Países
		Co- autoría	
		Co- ocurrencia	Palabras claves
	Ficheros de bases de datos bibliográficos (SCOPUS).		Documentos Fuentes Autores Organizaciones Países
Datos bibliográficos	Ficheros del gestor de referencias.	Citación	
	Interfaces de programación de aplicaciones (APIs)	Acoplamiento bibliográfico	Documentos Fuentes Autores Organizaciones Países
		Co- citación	Referencias Fuentes Autores citados
Datos de Texto	Archivos de VOSviewer Ficheros de base de datos Archivos del gestor de referencias Interfaces de programación de aplicaciones (APIs)	Co- ocurrencia	Términos

Nota: los ítems subrayados son los utilizados en la elaboración de los mapas del presente trabajo

Fuente: (Jan Van Eck & Waltman, 2020)

Elaborado: Mishell Limaico

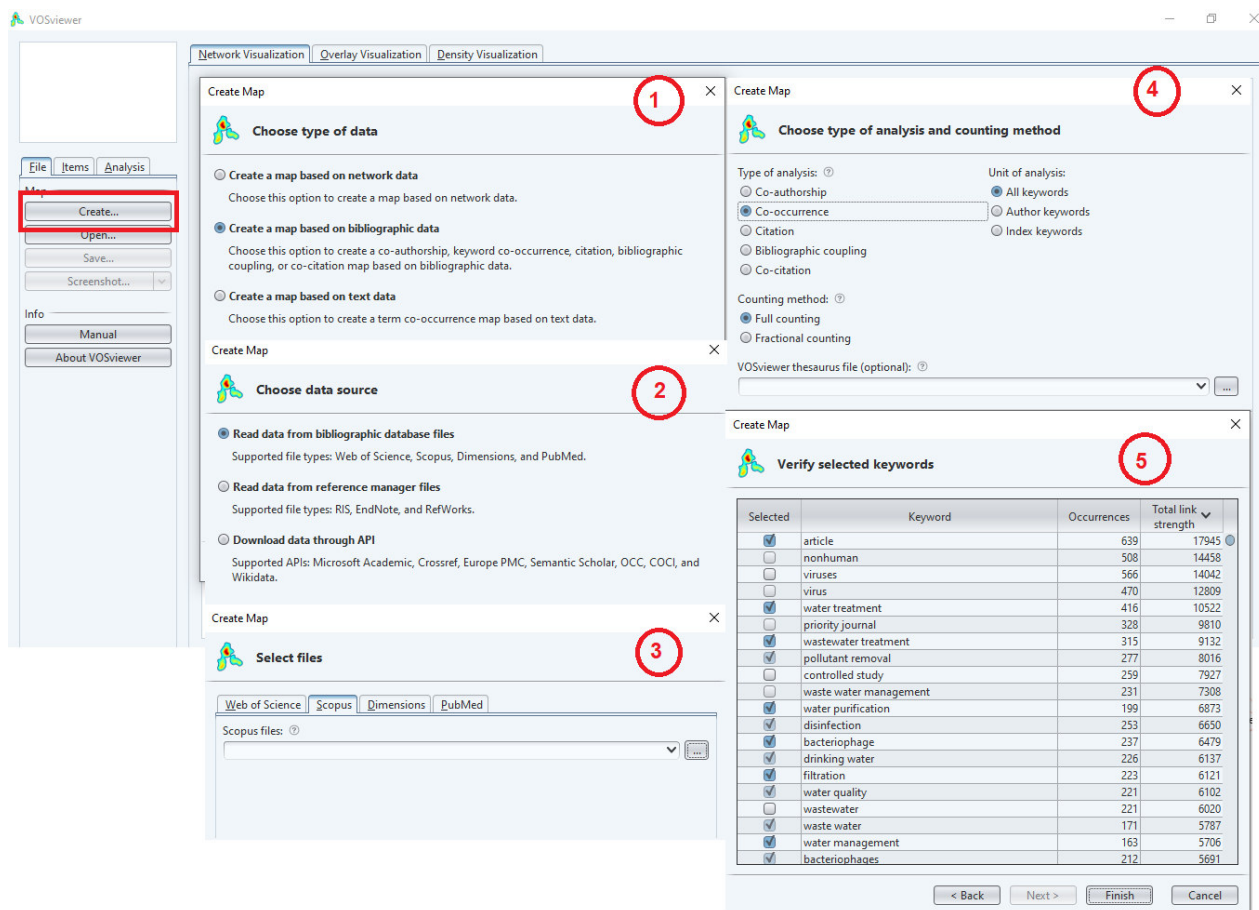


Figura 3.1. Procedimiento para elaboración Mapas de co-ocurrencia en VOSviewer

Elaborado por: Mishell Limaico

Al finalizar con el procedimiento descrito, en el panel principal, se crearon tres mapas: el primero fue el mapa de visualización de red, donde los elementos estaban señalizados por su etiqueta en forma de círculos de distintos tamaños dependiendo de la importancia y co-ocurrencia en varios artículos científicos del mismo tema. (Jan Van Eck & Waltman, 2020). El segundo, fue el mapa de visualización de la superposición, el cual, es bastante similar al primero. Los elementos tienen puntuaciones por defecto, los colores van del azul (puntuación más baja) al verde y al amarillo (puntuación más alta). Por último, el mapa de visualización de la densidad, donde cada ítem tiene un color que indica la densidad de elementos en ese punto (Jan Van Eck & Waltman, 2020).

3.2.2. ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS (MATRIZ)

Una vez seleccionadas las publicaciones, se revisó exhaustivamente cada una de ellas y se elaboró una matriz con información cualitativa y cuantitativa como: año de publicación, ubicación, zona de muestreo, nombre de tecnología, tipo de tecnología (específica y no específica), tipo de residuo líquido, parámetros de control (pH y temperatura), operación (caudal y tiempo de retención hidráulica) y rendimiento (DQO, SST, indicadores bacteriológicos), esto último basado principalmente en la eliminación virus y/o bacteriófagos (Log Removal Values - LRV) (Carvajal et al., 2017). (ANEXO 1)

Luego, se completó la base de datos, para las variables cuantitativas se realizó un promedio de los datos conseguidos de cada estudio, con excepción de los valores de LRV para no perder información.

El Log Removal Values (LRV) se obtiene mediante la ecuación:

$$LRV = \log \left(\frac{\text{Concentración inicial}}{\text{concentracipon final}} \right) \quad [3.1]$$

Sin embargo, para el desarrollo de esta investigación únicamente se escogieron los datos obtenidos experimentalmente de cada estudio, es preciso señalar que en ningún momento se calculó este valor. En función de los valores registrados se pudo establecer comparaciones de la eficiencia de eliminación viral entre tipos de tecnologías.

Finalmente, se procedió a procesar y graficar la información de cada publicación de acuerdo con los objetivos propuestos, como se indica en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Análisis de las publicaciones científicas de acuerdo con los objetivos

OBJETIVOS	CRITERIO	ANÁLISIS	Nº DATOS	SOFTWARE
Establecer el estado del arte respecto al tratamiento viral de residuos líquidos domésticos/municipales.	Co ocurrencia	– Mapas de visualización de red, sobreposición y densidad de elementos	n= 389	VOSviewer
	Años de las publicaciones	Temporalidad de artículos científicos	n= 69	
	Lugar de las publicaciones	Localización de artículos científicos	n= 79	Excel/ InfoStat
	Clasificación de las	Tipos de Tecnologías: Específicas y No Específicas	n= 93	

	tecnologías de remoción viral	Tecnologías Específicas (E)	n=61	
		Tecnologías Específicas (NE)	No n= 32	
	Clasificación de residuos líquidos	Tipos de Residuos Líquidos	n=93	
	Clasificación de Virus/ bacteriófagos	Tipos de Virus	N=117	
		Clasificación de Virus	Baltimore N=19	
		Normalidad	n=64	
		Homogeneidad	n=55	
		Varianza	n=34	
Evaluar en forma comparativa tecnologías específicas y no específicas , enfocadas en el tratamiento de virus procedentes de residuos líquidos.	Eficiencia de Remoción viral (LRV)	Diagrama de Cajas Tecnologías vs LRV	n= 64	InfoStat
		Diagrama de Cajas Nombres de Tecnologías vs LRV	n=55	
		Diagrama de Cajas Virus vs LRV	n= 34	
Determinar la influencia de factores operativos que favorezcan el tratamiento de virus procedentes de residuos líquidos, con el fin de establecer las características operativas óptimas .	Parámetros de control, operación y rendimiento	Análisis de Componentes Principales		Origin Pro 2019b
		Diagrama de Cajas de THR vs LRV	n=52	InfoStat
		Diagrama de Cajas de pH vs LRV		
		Diagrama de Cajas de DQOi vs LRV		
		Diagrama de Cajas de SSTi vs LRV		

Elaborado por: Mishell Limaico

Para cada análisis se utilizó diferentes números de datos (n°), como se muestra en la Tabla 3.3. En el objetivo 1, para el análisis de co-ocurrencia se utilizaron metadatos de la plataforma SCOPUS por su compatibilidad con el programa VOSviewer. Con respecto al estado del arte, fueron emplearon datos en función de los años, lugares, tecnologías, residuos líquidos y virus de cada publicación. Varias investigaciones fueron realizadas en diferentes lugares, con distintos tipos de microorganismos, residuos líquidos y sobre todo tipos de tecnologías, por esta razón para cada gráfica se utilizó distintas bases de datos.

En el objetivo 2, de la base inicial de datos, fueron seleccionados aquellos que presentaban valores de caudal (Q), tiempo de retención hidráulica (THR) y eficiencia de remoción viral (LRV), dando como resultado 64 datos. Los mismos que fueron examinados mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) con la finalidad de conocer si existe o no diferencias significativas entre las variables relacionadas, los resultados fueron representados mediante Diagramas de Cajas.

En el Objetivo 3, fueron seleccionados aquellos datos que presentaban valores en los parámetros de control, operación y rendimiento, sin embargo, únicamente 52 datos cumplieron con este requisito, por lo cual, se efectuó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para determinar cuáles variables analizadas estaban relacionadas con la eliminación viral en residuos líquidos.

3.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1.2.3.1 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

La base de datos para realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) estaba conformada por 64 datos, los cuales fueron procesados y analizados en el programa estadístico InfoStat 2020. Al ser datos recopilados de estudios donde se realizaron diferentes metodologías, fue necesario someterlos a un proceso de normalización previo a su comparación estadística.

Los datos fueron analizados con base en tres muestras: “Tipo de tecnología”, “Nombre de tecnología” y “Tipos de Virus”. Las muestras se dividieron en submuestras para realizar el análisis de varianza (ANOVA), en donde el número de datos de cada submuestra debía ser mayor o igual a 10 ($n \geq 10$).

Para el estudio de “**Tipo de Tecnología**”, los datos de LRV fueron sometidos al análisis de varianza con respecto a las submuestras categorizadas previamente (Específica (E) y No Específica (NE)). Se determinó la normalidad aplicando el Test de Shapiro-Wilks modificado, ya que, el número de datos de las submuestras (E Y NE) son menores a 50 (Figura 3.2). Una vez comprobada la normalidad de los datos, se procedió a analizar la homocedasticidad mediante el Test F para igualdad de varianzas, que contrasta la hipótesis de igualdad de varianzas de dos poblaciones.

Los datos incumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza (homocedasticidad), por lo cual, son considerados como datos No Paramétricos y fueron sometidos al Test Kruskal y Wallis con un nivel de significancia del $\alpha = 0,05$, el cual, compara las esperanzas de 2 o más distribuciones sin necesidad de realizar el supuesto de que los términos de error se distribuyen normalmente.

El mismo procedimiento se empleó para el análisis de varianza de la muestra “**Tipos de Virus**” con sus respectivas submuestras: Norovirus (NoV), Norovirus GI (NoV GI), Norovirus GII (NoV GII).

Para el análisis de varianza de la muestra “**Nombre de Tecnologías**” se realizó el estudio con los datos de LRV y las submuestras: Filtro Percolador (FP), Lodos Activados (LA) y Reactores Biológicos de Membrana (MBR) mediante la aplicación del Test de Shapiro Wilks y Prueba F para la normalidad y homocedasticidad respectivamente (Figura 3.2). Los datos cumplieron con los dos supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza (homocedasticidad), por lo cual, son considerados como datos Paramétricos y fueron sometidos al **Test de Bonferroni**, debido a que los datos del presente estudio son pareados, es decir, cuando los individuos o sujetos que componen las muestras son los mismos (Romero, 2013).

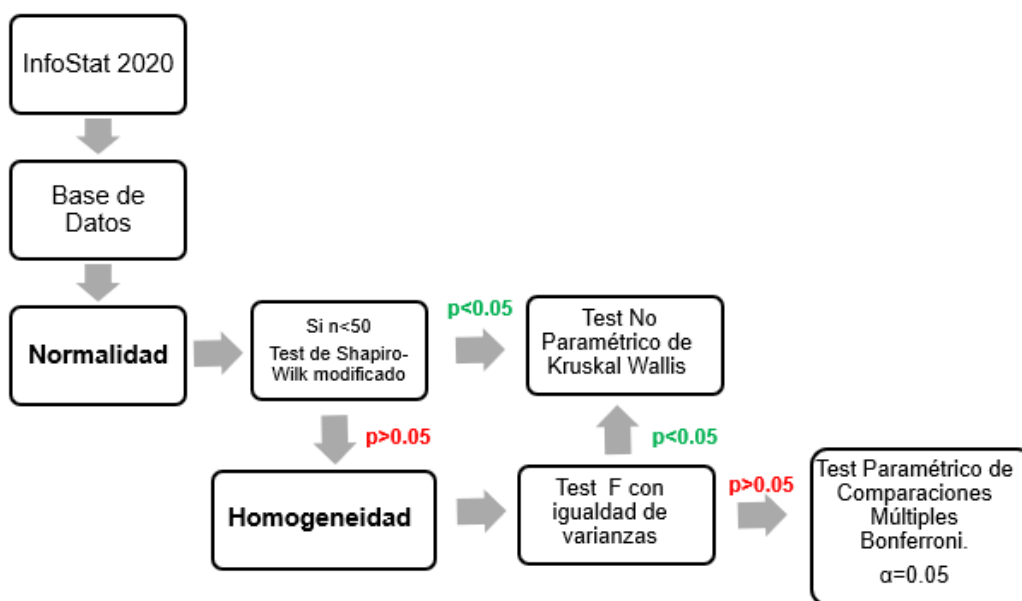


Figura 3.2. Flujograma del Análisis de Varianza (ANOVA)

Elaborado por: Mishell Limaico

1.2.3.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El Análisis de Componentes Principales (ACP) sintetiza la complejidad de espacios muestrales (reducción de dimensionalidad), formando, un nuevo conjunto de variables, con mínimas pérdidas de información y explicar si existe algún tipo de correlación entre las mismas (Balzarini et al., 2008). Este método fue escogido porque no requiere una distribución de probabilidad específica para su análisis. La base de datos empleada para este análisis contiene 53 datos que luego fueron analizados en OriginPro 2019b.

El software OriginPro 2019b mediante la herramienta ACP transformó los datos originales en componentes principales, luego generó una matriz, y un biplot en dos dimensiones (PC 1 y PC 2), donde la información se condensó y fue expresada en forma gráfica (Figura 3.3).

Para determinar la correlación entre las variables de caudal (Q), tiempo de retención hidráulica (TRH), pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO) inicial y final, Sólidos Suspendidos Totales (SST) inicial y final y Log Removal Values (LRV), el biplot del ACP fue analizado a través del círculo de correlaciones de la siguiente manera: $\Theta = 0^\circ$ (correlación positiva), $\Theta = 90^\circ$ (no hay correlación) y $\Theta = 180^\circ$ (correlación negativa), además se graficaron Diagramas de Cajas entre las variables que presentaban correlaciones positivas fuertes.

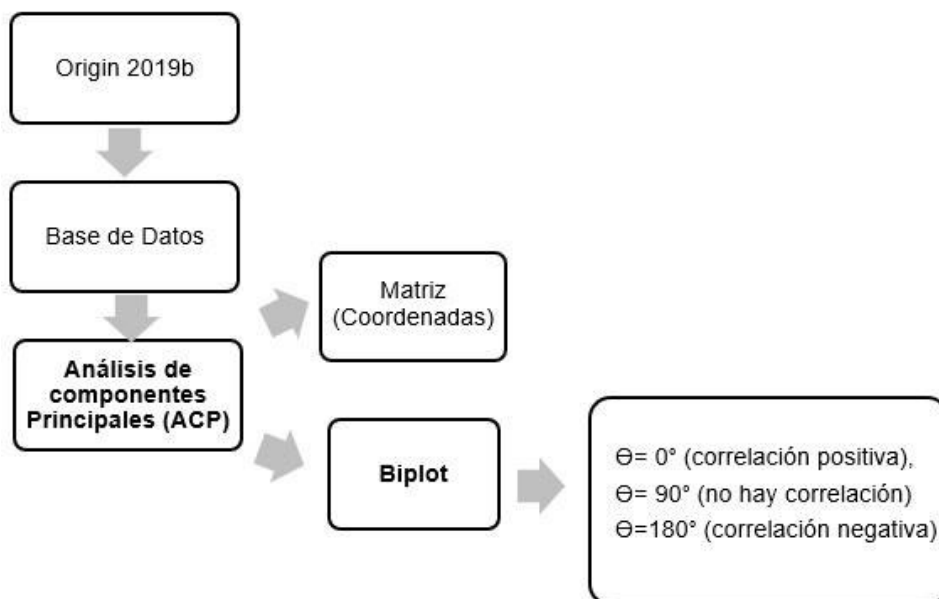


Figura 3.3. Flujograma del Análisis de Componentes Principales (ACP)

Elaborado por: Mishell Limaico

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. METAANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

La base de datos recopilada del estado del arte de eliminación viral en residuos líquidos, con forme a lo estipulado en la metodología, Capítulo 3, de la presente tesis se encuentra especificada en el ANEXO 1. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos.

4.1.1 VOSviewer: VISUALIZACIÓN DE LA RED

El mapa de visualización de la red con información de eliminación viral en residuos líquidos durante el periodo 1983-2020 se presenta en la Figura 4.1

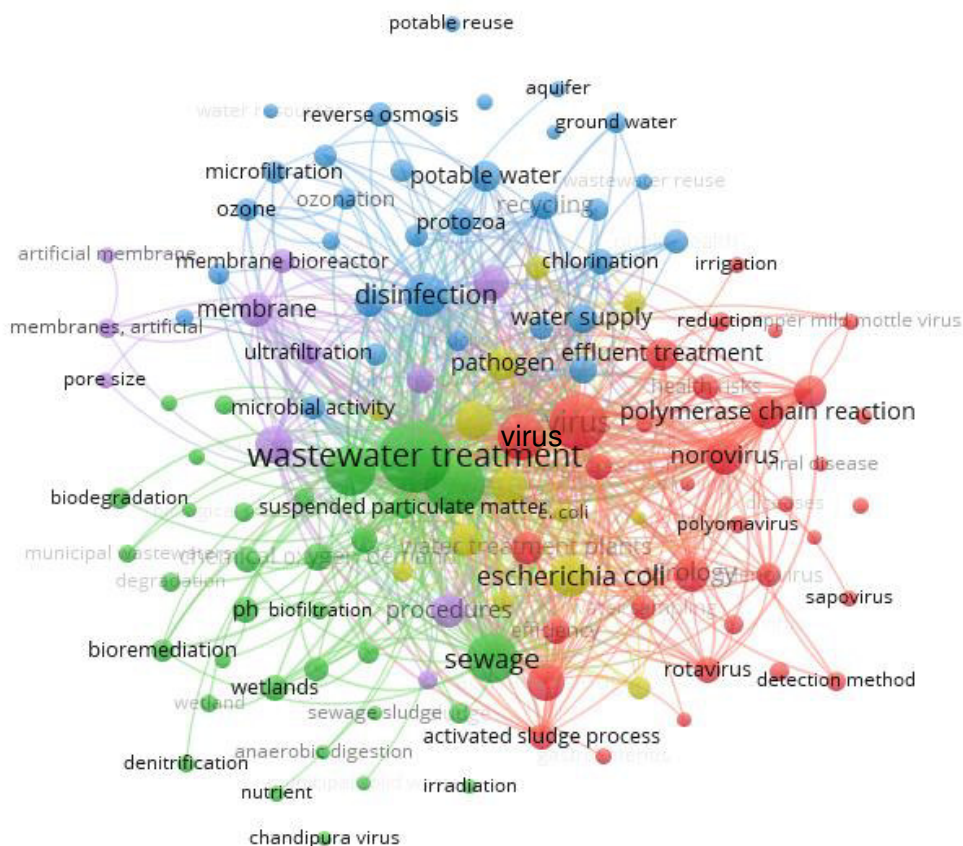


Figura 4.1. Mapa de visualización de la red de información científica de remoción viral durante el periodo 1983-2020 (n=389)

Elaborado por: Mishell Limaico

La Figura 4.1 está formada por 123 ítems (palabras claves) agrupados en 5 conjuntos que están representados por cada color. Esta agrupación de colores está basada en patrones de co-ocurrencia entre varias palabras claves de la base de datos obtenida en SCOPUS.

El color verde asocia los términos referentes a plantas de tratamiento de residuos líquidos, dentro de este conjunto las palabras claves con mayor relevancia son “wastewater treatment” y “sewage”, que se simbolizan con el tamaño de los círculos. El color rojo, agrupa a los términos de virología, siendo la palabra “virus” la más relevante del conjunto. El conjunto azul, representa los términos relacionados con la desinfección del agua, si bien, no existen términos con mayor importancia como en los otros conjuntos, se destacan las expresiones “desinfection” y “chlorination”, El conjunto morado, agrupa los términos referentes a tecnologías de remoción viral, en donde las palabras claves que resaltan son “biorreactor” y “membrana”. Finalmente, el color amarillo representa a los términos relacionados con agentes patógenos, en donde se destaca la palabra “*Escherichia coli*”.

Al visualizar el mapa se puede observar que ciertas palabras están más cerca unas de otras, lo cual, representa la probabilidad de co-ocurrencia dentro de una misma publicación.

los niveles de co-ocurrencia, amarillo para baja co-ocurrencia, celeste para media co-ocurrencia y azul oscuro para alta ocurrencia.

El conjunto amarillo se destaca en los bordes del mapa, los términos “chandipura virus”, irradiation, aquifer, “potable reuse”, “pepper mild mottle virus”, presentan co-ocurrencias de 8, 8, 9, 10 y 10, respectivamente.

Por otro lado, el conjunto celeste está representado por las palabras claves wetlands, pH, virology, *Escherichia coli*, ozonization, microbial activity con co-ocurrencias de 25, 27, 52, 74, 17 y 24, respectivamente.

Finalmente, el conjunto azul obscuro se sobresale en la zona central del mapa con las palabras claves “wastewater treatment”, “virus” y “sewage con 268, 185 y 114 co-ocurrencias, respectivamente.

Con base en las Figuras 4.2 y 4.3 se determina que las palabras claves con baja co-ocurrencia son aquellas que están presentes en los artículos científicos más recientes.

4.1.4. TEMPORALIDAD DEL ESTADO DEL ARTE

La temporalidad del estado del arte con información de eliminación viral en residuos líquidos durante el periodo 1983-2020 se presenta en la Figura 4.4

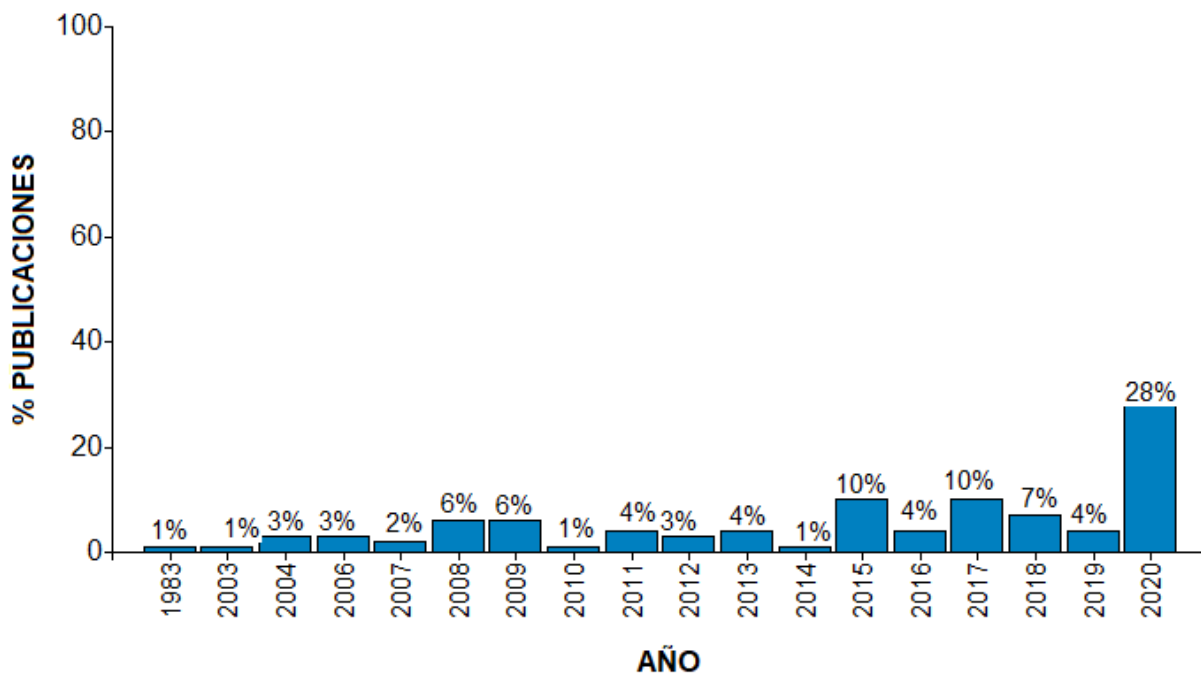


Figura. 4.4 Análisis porcentual de la temporalidad de artículos científicos revisados de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=69)

Elaborado por: Mishell Limaico

El periodo de tiempo estudiado comprende desde 1983 al 2020, con un total de 69 publicaciones, como se observa en la Figura 4.4. Las investigaciones sobre eliminación viral han aumentado en forma lineal con un máximo número de publicaciones correspondiente al 28% en el 2020.

Al clasificar la información se observa que las primeras investigaciones datan de los años 80. Sin embargo, no es hasta el 2003 que este tema comienza a tener relevancia principalmente a nivel científico, se presume que tiene relación con la aparición de la primera enfermedad del Síndrome Respiratorio Agudo Grave (SARS-CoV). El 24% del total de las publicaciones, corresponden al periodo 2003-2010; mientras que, el 75% pertenecen a la última década (2011-2020). Esta cifra se atribuye a los nuevos lineamientos establecidos, a partir del 2012, por entidades internacionales que buscan solucionar de alguna manera los mayores desafíos ambientales como la conservación de los recursos hídricos, agotamiento de

recursos naturales, calentamiento global, sobrepoblación, entre otros. (Symonds et al., 2014). En el 2020 existe el mayor número de publicaciones registradas, esto se debe a la aparición de la nueva cepa del coronavirus (SARS CoV-2) que se convirtió en pandemia. Esto, con el fin de conocer el comportamiento del virus en residuos líquidos, su afectación en la salud pública y sus variantes, los investigadores han realizado varios análisis principalmente en los residuos líquidos hospitalarios (Kumar et al., 2020; Amirian, 2020).

El alto porcentaje de artículos y publicaciones recientes, fortalece la credibilidad del análisis empleado en la siguiente tesis y demuestra que las investigaciones de carácter científico, van de la mano con los problemas ambientales, sociales y económicos que a traviesa la humanidad.

4.1.5. LOCALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

La localización del estado del arte con información de eliminación viral en residuos líquidos durante el periodo 1983-2020 se presenta en la Figura 4.5.

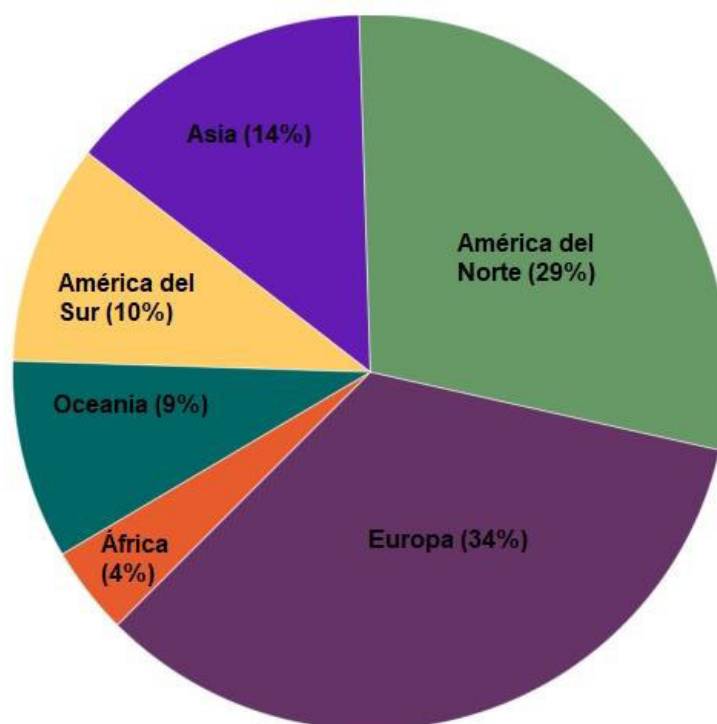


Figura. 4.5. Análisis porcentual de la localización de artículos científicos revisados de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=79)

Elaborado por: Mishell Limaico

La Figura 4.5, señala la ubicación de los estudios publicados sobre eliminación viral durante el periodo 1983-2020, con un total de 79 datos. El continente con mayor porcentaje de publicaciones es Europa con 34%, seguido de Norteamérica, Asia, Sudamérica con 29, 14, 10% de las publicaciones, respectivamente. Mientras que, en los continentes de Oceanía y África representan los porcentajes más bajos.

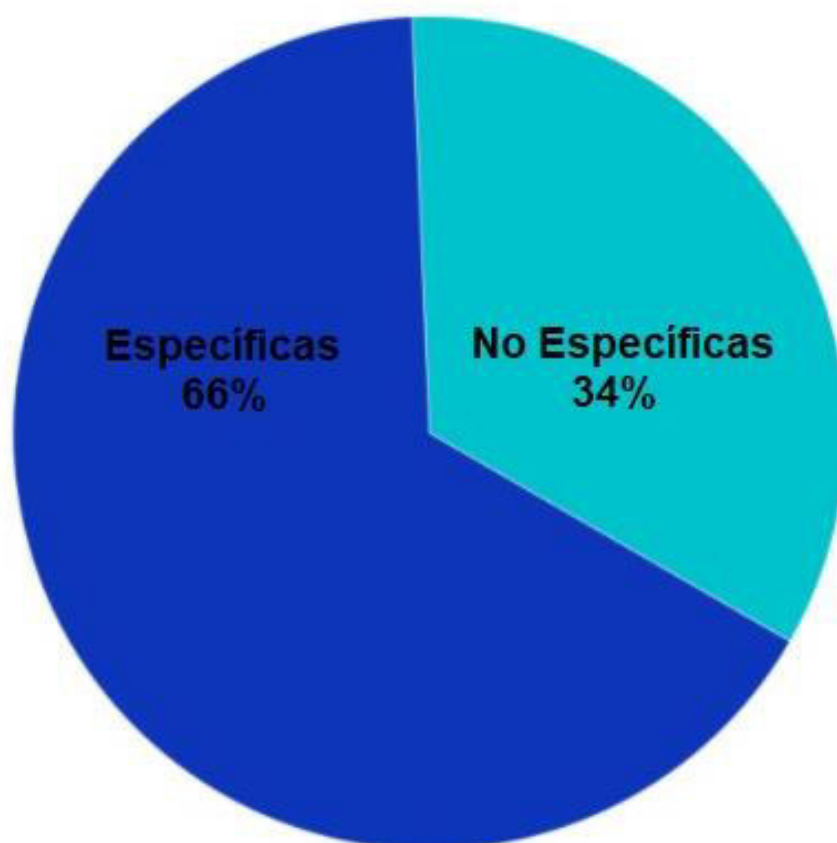
América del Norte como Europa, están constituidos por países con los PIB más altos del mundo como Alemania, USA, Reino Unido, Canadá, entre otros. En sus políticas públicas dan prioridad a la educación, investigación científica y temas ambientales, lo cual se evidencia en el número de publicaciones científicas.

Se destaca que África, a pesar de ser un continente con pocos recursos económicos, en donde los índices de desigualdad son los más altos, también ha invertido en investigación científica, debido a la alta tasa de mortalidad infantil por enfermedades de transmisión hídrica, se estima que entre 35 y 270 de cada 1000 niños menores a 5 años mueren por enfermedades de transmisión hídrica (Ferro et al., 2009). En cuanto a América del Sur que representa el 10% del total de estudios, corresponden a países como Chile, Uruguay, Bolivia y Brasil.

Con base en los resultados, se puede asociar la disponibilidad de recursos económicos y las políticas públicas ambientales con el porcentaje de publicaciones científicas.

4.1.6. TIPOS DE TECNOLOGÍAS: ESPECÍFICAS (E) Y NO ESPECÍFICAS (NE)

Los tipos de tecnologías (Específicas y No Específicas) empleadas en las plantas de residuos líquidos (PT-RL), para la eliminación viral durante el periodo 1983-2020 se presenta en la Figura 4.6.



NOTA:

NE: Tecnologías No Específicas

E: Tecnologías Específicas

Figura.4.6. Análisis porcentual del tipo de tecnologías “Tecnologías Específicas y No Específicas” de artículos científicos revisados de eliminación viral 1983 - 2020 (n=93)

Elaborado por: Mishell Limaico

La información referente a los tipos de tecnologías empleadas para eliminación viral a nivel mundial es muy variada. En algunos artículos científicos, se analizó la remoción de virus con dos tipos de tecnologías ya sea de forma comparativa o simultánea, dando un total de 93 datos, de los cuales el 66% pertenecen a

tecnologías específicas (E) y el 34% a no específicas (NE), como se puede observar en la Figura 4.6.

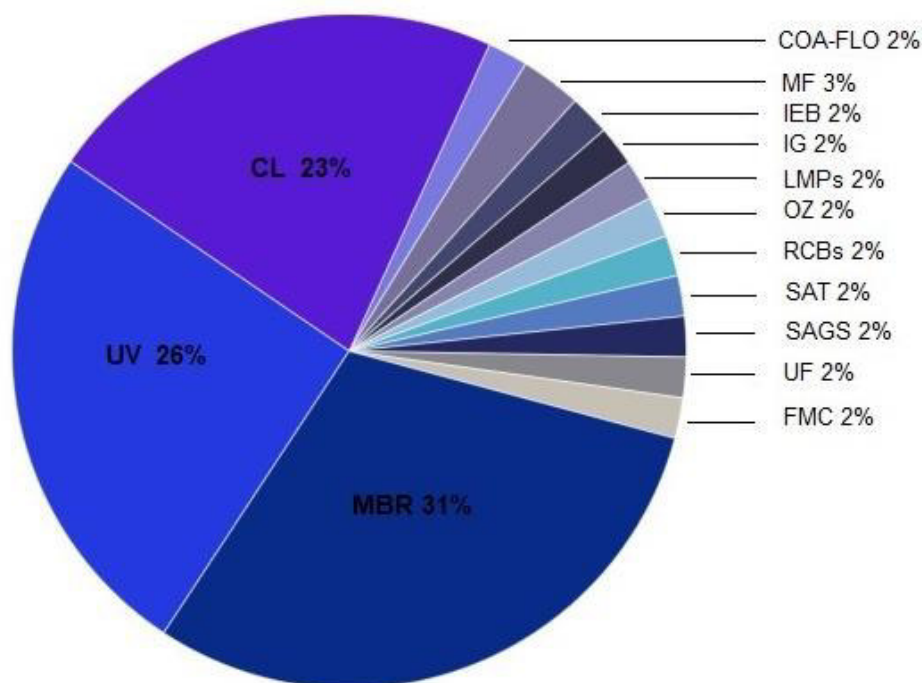
Las tecnologías clasificadas en **Específicas**, son aquellas enfocadas particularmente a la eliminación de agentes patógenos, y las **No Específicas**, ayudan a la eliminación de agentes patógenos, pero no es su principal objetivo. En la Figura 4.6 se puede apreciar que existe una importante diferencia porcentual del 32% entre tecnologías Específicas (E) y No Específicas (NE), ya que, en su mayoría, los artículos científicos revisados son de carácter experimental.

Esto refleja, el interés actual de la comunidad científica en desarrollar, analizar e implementar nuevas tecnologías de remoción viral en plantas de tratamiento de residuos líquidos (PT-RL), para aumentar su eficiencia. Es probable, que estos estudios avancen en la medida que se de la necesidad de reutilizar el agua de manera segura y eficaz (Gomila et al., 2008).

En las figuras 4.7 y 4.8 se podrá entender de mejor manera las tecnologías que comprenden las categorías E y NE.

4.1.7. TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS (E)

Los tipos de tecnologías Específicas empleadas en las plantas de residuos líquidos (PT-RL) para la eliminación viral durante el periodo 1983-2020 se presenta en la Figura 4.7.



NOTA:

MBR: Reactor de Membrana

CL: Cloración

UV: Luz Ultravioleta

COA-FLO: Coagulación- Floculación

MF: Microfiltración

IEB: Ionización electro beam

IG: Ionización Gamma

LMPs: Membrana de baja de presión

OZ: Ozonización

RCBs: Contactador biológico rotatorio

SAT: Soil aquifer treatment

SAGS: Sistema con Algas *Galdiera Sulphuraria*

UF: Ultrafiltración

FMC: Filtración con Membrana de Cerámica

Figura. 4.7. Análisis porcentual de “Tecnologías Específicas” de artículos científicos revisados de eliminación viral desde el 1983 al 2020 (n=61)

Elaborado por: Mishell Limaico

La Figura 4.7, indica que la tecnología Reactor Biológico de Membrana (MBR), ha sido la más analizada con un porcentaje del 31%, seguida de las tecnologías de Cloración (CL) con 23% y de lámparas de Luz Ultravioleta (UV) con 26% de un conjunto de 61 datos.

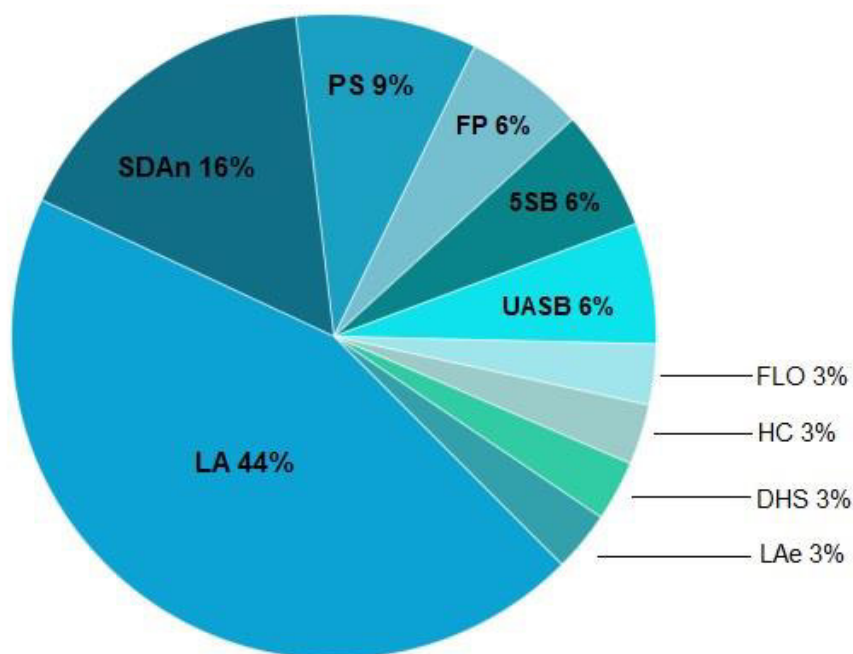
Cabe destacar, que existen 14 tipos de tecnologías específicas analizadas en los distintos artículos científicos revisados, en su mayoría son tecnologías nuevas que se encuentran en fase experimental o piloto. Su implementación a gran escala, depende del análisis costo-beneficio, además de los subproductos que generan. Por ejemplo, la cloración ha sido un método utilizado ampliamente en todo el mundo, sin embargo, su aplicación ha cesado debido a la generación de trihalometanos, cloraminas, ácidos haloacéticos, entre otros, que son cancerígenos en concentraciones mínimas (Reyes et al., 2016).

La tecnología de Luz Ultravioleta (UV) es una de las alternativas para reducir el riesgo de generación de productos tóxicos, además presenta mejores resultados que la cloración para inactivar agentes patógenos, tiene eficiencias de remoción viral y bacteriológicas del 99,99% (Rojas & Orta de Velasquez, 2002). Su principal inconveniente, es el costo que tiene su implementación, lo cual, es una limitante en países con bajos recursos económicos.

La tecnología MBR, se está convirtiendo en la mejor opción cuando se requiere conseguir un efluente de alta calidad, con un bajas concentraciones de contaminantes químicos y con eficiencias de remoción del 90 al 99 % de bacterias y virus. Al igual que la tecnología UV, no genera subproductos y su principal limitante es el costo de implementación (Martínez et al., 2008).

4.1.8. TECNOLOGÍAS NO ESPECÍFICAS (NE)

Los tipos de tecnologías No Específicas empleadas en las plantas de residuos líquidos (PT-RL) para la eliminación viral durante el periodo 1983-2020 se presenta en la Figura 4.8.



NOTA:

LA: Lodos Activados

SDAn: Sistemas de Digestión Anaerobia

PS: Sistemas de Estanques

FP: Filtro de Percolador

5SB: 5-Stage Bardenpho

UASB: Reactor anaeróbico de flujo ascendente

FLO: Floculación

HC: Humedales Construidos

DHS: Esponjas colgantes de Flujo Descendente

LAe: Lagunas aeróbicas

Figura 4.8. Análisis porcentual de “Tecnologías No Específicas” de artículos científicos revisados de eliminación viral desde el 1983 al 2020 (n= 32)

Elaborado por: Mishell Limaico

Como se puede observar en la Figura 4.8, la tecnología No Específica de Lodos Activados (LA), es la más analizada en los artículos científicos seleccionados con un porcentaje del 44%, seguida de los Sistemas de Digestión Anaerobia (SDAn) con 16% y los Sistemas de Estanques (PS), que representan el 9% de un total de 32 datos.

Cabe resaltar que la tecnología LA, tiene una diferencia importante del 28% en comparación a las demás tecnologías No Específicas, ya que los Lodos Activados ha estado en funcionamiento desde 1914 en Inglaterra y se han expandido por todo

el mundo. Conforme ha transcurrido el tiempo, se han realizado mejoras dependiendo de las necesidades de cada tratamiento. Actualmente, sigue siendo la tecnología más aplicada, por ejemplo, en México el 56% del total de las Plantas de Tratamiento usan esta tecnología (Catarina, 2019). Aunque tienen elevados costos de mantenimiento y operación, son económicas en comparación a otras tecnologías en etapa experimental. Estas alcanzan eficiencia de eliminación de virus y bacterias superiores al 90 y 98,5%, respectivamente en condiciones óptimas (Goswami & Pugazhenth, 2020).

A diferencia de las tecnologías específicas, los resultados corresponden a planes piloto o a gran escala, generalmente son los sistemas convencionales empleados para tratamiento de residuos líquidos en grandes ciudades. Además, por su tiempo en la industria se tiene más información referente al funcionamiento, costes de operación y mantenimiento.

Los Sistemas de Digestión Anaerobia, representan el 16% del total de estudios, principalmente por su bajo consumo energético y producción de lodo. Estas tecnologías en condiciones de ausencia de oxígeno, remueven materia orgánica hasta en un 80%. Sin embargo, la calidad del efluente no se compara con la obtenida de un tratamiento con Lodos Activados, basándose en las eficiencias de DBO, DQO, SST (Acosta & Obaya, 2005).

Tabla 4.1. Eficiencias de parámetros de las Tecnologías No Específicas

Parámetro	Unidades	Lodos Activados	Sistemas de Digestión Anaerobia	Filtros Percoladores
DQO	%	80-95	65-80	65-85
DBO ₅	%	80-95	65-80	65-85
SS	%	80-90	60-70	60-85
VIRUS	LRV	2,7-4,3	1,2-6,0	0,1-1,4

Fuente: Romero, 2005; Sidhu et al., 2018; Nordgren et al., 2009; Jiang et al., 2020.

Elaborado por: Mishell Limaico

Como se evidencia en la Tabla 4.1, los valores de eliminación de virus tienen distintos rangos en cada tecnología empleada, esto se debe a, en primer lugar los

valores reportados de los filtros percoladores se obtuvieron experimentalmente en Suecia, país donde las temperaturas varía entre -6°C a 22°C , sabiendo esto, también se conoce que un factor decisivo para la inactivación viral es la temperatura, sobre los 22°C

La Tabla 4.1 indica los parámetros de rendimiento de cada tecnología no específica, se observan diferencias relevantes en la eliminación viral, esto se debe principalmente a la variable de **temperatura**. El autor Cádiz et al. (2001) señala que los virus entéricos se inactivan entre 22 a 28°C con pH ácido a partir de 8 h. En el caso de los lodos activados se emplean reactores aerobios que alcanzan temperaturas superiores a los 20°C y los sistemas de digestión anaerobios funcionan con temperaturas de 35°C aproximadamente (Acosta & Obaya, 2005). Mientras tanto los filtros precoladores se encuentran en función de la temperatura ambiente, además los valores reportados corresponden a un estudio realizado por Nordgren et al. (2009) en Suecia donde las temperaturas oscilan entre -6°C a 22°C .

4.1.9. TIPOS DE RESIDUOS LÍQUIDOS

Los tipos de residuos líquidos analizados en las plantas de residuos líquidos (PT-RL) para la eliminación viral durante el periodo 1983-2020 se presenta en la Figura 4.9.

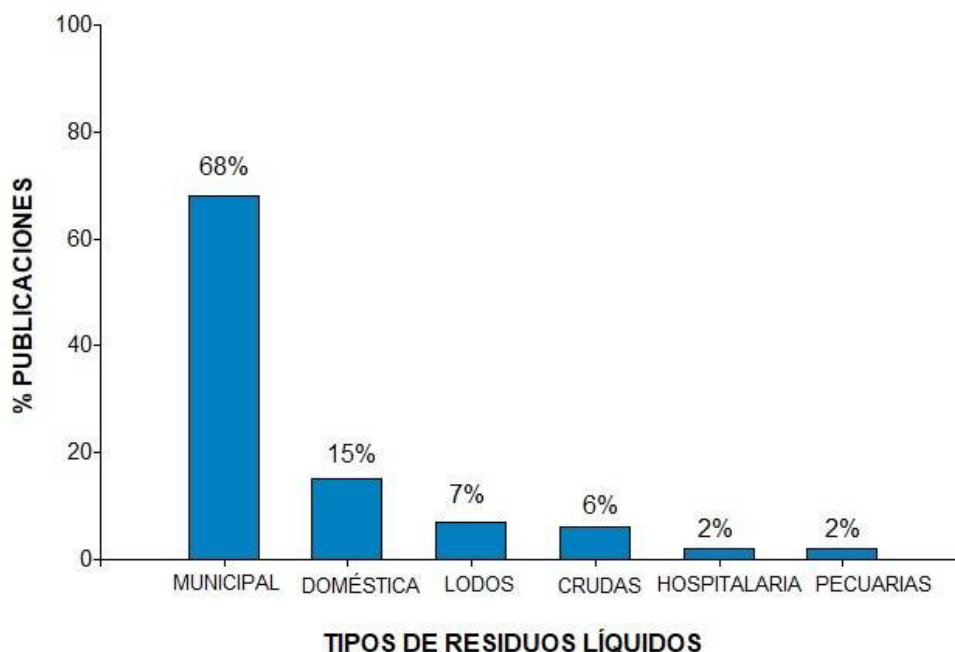


Figura 4.9. Análisis porcentual de “Tipos de Residuos Líquidos” de artículos científicos revisados de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=93)

Elaborado por: Mishell Limaico

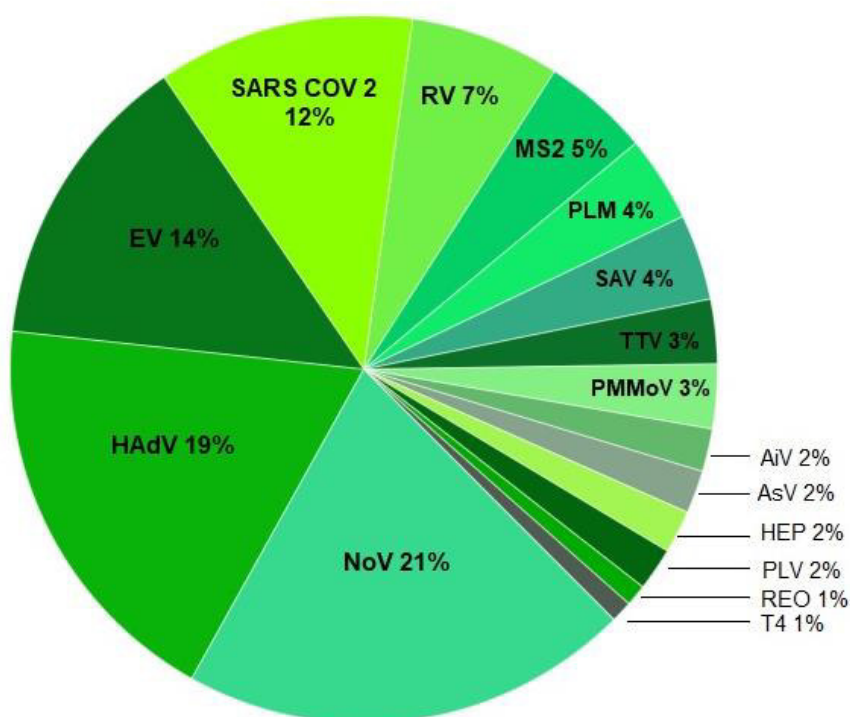
La Figura 4.9. señala los tipos de residuos líquidos analizados en los artículos científicos escogidos en el periodo 1983-2020, dando un total de 93 datos. Los resultados evidencian que, el 68% corresponde a residuos líquidos municipales, el 15% a domésticos y 17% restante se reparte en lodos, residuos líquidos pecuarios, hospitalarios y crudos. Es importante destacar que, existe una diferencia significativa del 53% entre los residuos líquidos municipales y domésticos. La diferencia se explica porque en su mayoría las muestras analizadas fueron tomadas de Plantas de Tratamiento de Residuos Líquidos (PT-RL) de grandes ciudades en zonas urbanas tales como California, Arizona, Roma, Estocolmo, Pisa, Sao Paulo, Tokio, entre otras, en donde suelen tener sistemas combinados de alcantarillado. Es decir, se mezcla aguas lluvias, domésticas e industriales en diferentes composiciones. Por otro lado, las aguas domésticas hacen alusión a lugares más pequeños principalmente de zonas rurales. El tipo de residuo líquido tiene una

estrecha relación con la concentración de contaminantes presentes en los residuos líquidos, esta información es fundamental para determinar los tratamientos de depuración.

El presente trabajo se encuentra enfocado al análisis de remoción viral en residuos líquidos domésticos y municipales, lo cual, se encuentra acorde a los artículos científicos revisados, de esta manera aumenta la validez de los resultados, ya que los datos de residuos líquidos y domésticos forman el 83% del total de la base de datos.

4.1.10. TIPOS DE VIRUS

Los tipos de virus analizados en las plantas de residuos líquidos (PT-RL) para la eliminación viral durante el periodo 1983-2020 se presenta en la Figura 4.10.



NOTA:

NoV: Norovirus
HAdV: Adenovirus
EV: Enterovirus
RV: Rotavirus
PLM: Poliomavirus
SAV: Sapovirus
TTV: Torque Teno Virus
AiV: Aichi Virus

PMMoV: Virus del moteado del pimiento
SARS COV-2: Síndrome Respiratorio Agudo Grave
AsV: Astrovirus
HEP: Hepatitis
PLV: Poliovirus
REO: Reovirus
T4: Bacteriófago T4
MS2: Bacteriófago MS2

Figura. 4.10. Análisis porcentual de “Virus y/o bacteriófagos” analizados en artículos científicos de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=117)

Elaborado por: Mishell Limaico

Al tabular la información sobre virus y/o bacteriófagos analizados en publicaciones de eliminación viral durante el periodo 1983-2020, se observa en la Figura 4.10, que el género Norovirus (NoV) representa el 21% del total de datos, seguido del género Adenovirus (HAdV) con 19%, Enterovirus (EV) con 14% y SARS- CoV-2 con un 12%.

La aparición de los géneros Norovirus, Adenovirus y Enterovirus datan de los años 50, y conforme ha ido avanzando el tiempo se han descubierto nuevas variantes. Actualmente, se conoce que existen 4 grupos de genotipos para los Norovirus; mientras que, los adenovirus y enterovirus presentan más de 100 y 71 serotipos, respectivamente. Se resalta el interés de la comunidad científica en estudiar estos géneros, ya que son los principales causantes de enfermedades gastrointestinales y respiratorias, afectando con mayor frecuencia a niños menores de 5 años de niveles socioeconómicos bajos (Bofill-Mas et al., 2005).

Cabe destacar, que en 4° lugar se encuentra el SARS- CoV-2 con 12% en comparación a los otros virus anteriormente mencionados, este último apareció en diciembre del 2019, dando origen a la enfermedad COVID-19, la cual se ha convertido en un problema grave de salud pública a nivel mundial.

El COVID-19 tuvo su auge en el 2020, a un año de su aparición ha cobrado la vida de 3 millones de personas aproximadamente. Al igual que los adenovirus, enterovirus y norovirus siguen apareciendo nuevas cepas, por esta razón, se han incentivado los estudios enfocados al comportamiento en las instalaciones de alcantarillado y plantas de tratamiento de residuos líquidos. Esto con el objetivo, de comprender de mejor manera la dinámica de la transmisión del virus, y vigilar la circulación viral con la finalidad de facilitar la detección temprana en regiones con altas índices de contagios (Orive et al., 2020).

4.1.11. CLASIFICACIÓN BALTIMORE DE VIRUS

La clasificación Baltimore de los de virus analizados en las plantas de residuos líquidos (PT-RL) para la eliminación viral durante el periodo 1983-2020 se presenta en la Figura 4.11.

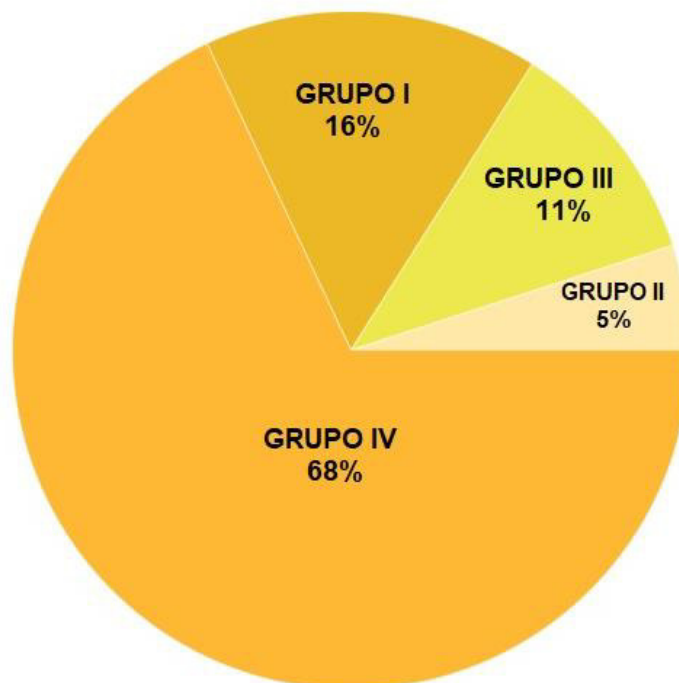


Figura. 4.11. Análisis porcentual de la “Clasificación Baltimore de Virus” analizados en artículos científicos de eliminación viral desde 1983 al 2020 (n=19)

Elaborado por: Mishell Limaico

La Figura 4.11 indica la clasificación Baltimore de los virus y bacteriófagos presentes en los estudios revisados de eliminación viral. Al procesar la información se evidencia que el 68% corresponde al grupo IV, es decir, los virus están compuestos por **ARN monocatenario**, sin envoltura o con envoltura, de simetría icosaédrica o helicoidal. Dentro de este grupo se encuentran Norovirus, Enterovirus y SARS-CoV-2 (Shaffer & Khetrapal, 2019).

El grupo I representa el 16%, se identifica por presentar **ADN bicatenario**, sin envoltura y simetría icosaédrica o compleja, dentro de este grupo se encuentra los Adenovirus (HAdV), Poliomasvirus (PLM) y los Bacteriófagos T4 (Madigan et al., 2015). El 11% pertenece al grupo III, los virus de este grupo poseen **ARN bicatenario**, sin envoltura con simetría icosaédrica, por ejemplo, los Reovirus

(REO) y Rotavirus (RV). Finalmente, el porcentaje más bajo, 5% pertenece al grupo II, o sea, los virus que están formados por ADN monocatenario, sin envoltura, con simetría icosaédrica, aquí pertenece el Torque Teno Virus (TTV) (Shaffer & Khetrupal, 2019).

En los grupos IV y I se encuentran los virus con mayor porcentaje de publicaciones de eliminación viral, debido a los problemas de salud pública que han generado en distintas épocas. Este factor, se encuentra relacionado con la forma de replicación de los virus. El grupo IV tiene la capacidad de ser traducidos directamente por los ribosoma, es decir, su replicación viral es más rápida; mientras que, el grupo I depende de las características del huésped (Taroco et al., 2008).

En los últimos años, se ha evidenciado el incremento del interés por estudiar el comportamiento y eliminación de los virus en residuos líquidos, ya que la dosis mínima infecciosa de los virus es muy baja; además, del agotamiento de recursos hídricos por la sobrepoblación y viendo como alternativa el reciclaje del agua sin causar problemas de salud pública (Symonds et al., 2014).

Tabla 4.2. Clasificación Baltimore de los Virus analizados en artículos científicos de eliminación viral

VIRUS O BACTERIÓFAGO	ABREVIATURA	ENVOLTURA		SIMETRÍA			CADENA		ÁCIDO NUCLEICO		CLASIFICACIÓN
		Con Envoltura	Sin En voltura	Esféricos (icosaedrica)	Bastón (helicoidal)	Compleja (cola y cabeza)	Monocatenario	Bicatenario	ADN	ARN	BALTIMORE
Adenovirus	HAdV		X	X				X	X		I
Aichivirus	AiV		X	X			X			X	IV
Astrovirus	AsV		X	X			X			X	IV
Enterovirus	EV		X	X			X			X	IV
Hepatitis	HEP		X	X			X			X	IV
Norovirus	NoV		X	X			X			X	IV
Poliomavirus	PLM		X	X				X	X		I
Poliovirus	PLV	X		X			X			X	IV
Pepper mild mottle virus	PMMoV	X			X		X			X	IV
Sapovirus	SAV		X	X			X			X	IV
Reovirus	REO		X	X				X		X	III
Rotavirus	RV		X	X				X		X	III
Torque Teno Virus	TTV		X	X			X		X		II
Síndrome Respiratorio Agudo Severo	SARS-COV-2	X		X			X			X	IV
Bacteriófago MS2	MS2	X		X			X			X	IV
Bacteriófago T4	T4		X			X		X	X		I

Fuente: (Taroco et al., 2008; Baltimore, 1971)

Elaborado: Mishell Limaico

En la Tabla 4.2 se puede observar que los 16 tipos de virus analizados en los artículos científicos, han sido organizados en función a 4 categorías: presencia de envoltura, simetría, tipo de cadena y ácido nucleico para finalmente asignarles un grupo del I al IV con base en la clasificación Baltimore.

La clasificación Baltimore, cataloga a los virus con base en su tipo de genoma y replicación viral, existiendo siete grupos y cada uno presenta características específicas, explicadas a continuación:

Tabla 4.3. Clasificación Baltimore.

GRUPO	TIPO DE GENOMA	ABREVIATURA	REPLICACIÓN VIRAL	ENVOLTURA	SIMETRÍA
I	ADN bicatenario	ADNbc	ADNbc _ ADNbc	SI /NO	Icosaédrica/ Compleja
II	ADN monocatenario	ADNmc	ADNmc → ADNbc → ADNmc	NO	Icosaédrica
III	ARN bicatenario	ARNbc	ARNbc → ARNmc+ → ARNbc	NO	Icosaédrica
IV	ARN monocatenario positivo	ARNmc+	ARNmc+ → ARNmc- → ARNmc+	SI/NO	Icosaédrica/ Helicoidal
V	ARN monocatenario negativo	ARNmc-	ARNmc- → ARNmc+ → ARNmc-	SI	Helicoidal
VI	ARN monocatenario retrotranscrito	ARNmcRT	ARNmc+ → ARN/ADN → ADNbc → ARNmc+	SI	Icosaédrica
VII	ADN bicatenario retrotranscrito	ADNbcRT	ADNbc → ARNmc+ → ARN/ADN → ADNbc	SI	Icosaédrica

Fuente: (Baltimore, 1971)

Elaborado: Mishell Limaico

4.2. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

La base de datos recopilada del estado del arte de eliminación viral en residuos líquidos utilizadas para el análisis de varianza de la presente tesis se encuentra especificada en el ANEXO 2. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos.

4.2.1. TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS Y NO ESPECÍFICAS

Las eficiencias alcanzadas en cada tipo de tecnologías son representadas por LRV, estos datos fueron analizados mediante análisis de varianza para comparar cual de ellas alcanza mayores niveles de remoción viral y si los resultados concuerdan con información bibliográfica.

El análisis de varianza de la eliminación viral en plantas de residuos líquidos (PT-RL) que alcanzan las tecnologías Específicas (E) y No específicas (NE) se presenta en la Figura 4.12.

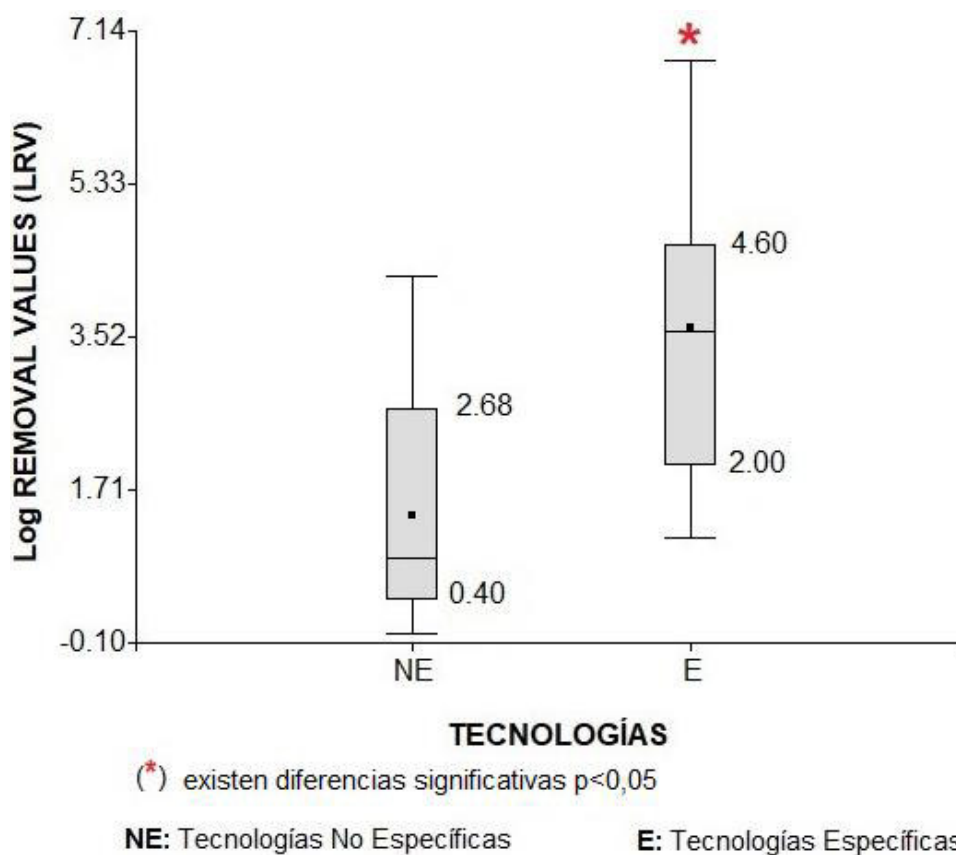


Figura 4.12 Diagrama de cajas Tecnologías vs LRV (n=64)

Elaborado: Mishell Limaico

La Figura 4.12, ilustra la evaluación de remoción viral en función de “**Tecnologías No Específicas (NE)**” y “**Tecnologías Específicas (E)**”. El análisis de varianza se realizó con un total de 64 datos. Como se evidencia en el Diagrama de Cajas, la distribución de datos de Log Removal Values (LRV), para las tecnologías Específicas (E) se encuentra entre 2,00 y 4,60; mientras que, las tecnologías No Específicas (NE) presentan datos entre 0,40 y 2,68.

Cabe señalar, que valor máximo de remoción viral (6,80) pertenece a la muestra de las tecnologías específicas (E) y el valor mínimo de LRV (0,00), es para tecnologías no específicas (NE). Este factor, se debe a que las E tienen como principal objetivo la eliminación de virus; mientras que, las NE se enfocan en la disminución de materia orgánica y cumplir con parámetros de descarga acorde la legislación vigente.

El Test no paramétrico Kruskal y Wallis determinaron que, los valores de eliminación viral de NE y E presentan diferencias significativas ($p < 0,0001$), como también que E presenta mayores niveles de remoción viral, con valores medios de 1,86 LRV, en comparación con NE que presenta una media de remoción viral de 1,05 LRV.

4.2.2. LODOS ACTIVADOS (LA), REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA (MBR), FILTRO PERCOLADOR (FP)

El análisis de varianza de la eliminación viral en plantas de residuos líquidos (PT-RL) que alcanzan las tecnologías de lodos activados, reactor biológico de membrana y filtro percolador se presenta en la Figura 4.13.

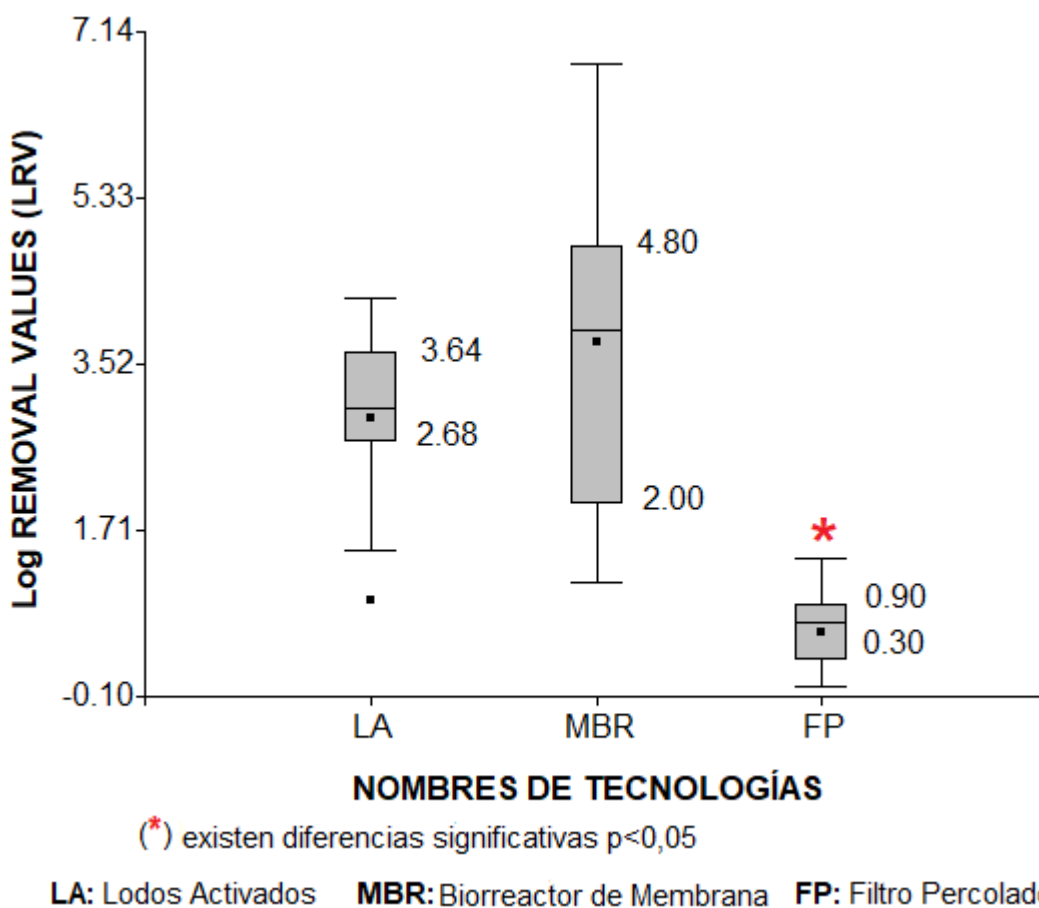


Figura 4.13. Diagrama de Cajas de Nombres de Tecnologías vs LRV (n=55)

Elaborado por: Mishell Limaico

La Figura 4.13, señala la evaluación de remoción viral en función de las Tecnologías “**Lodos Activados (LA)**, **Biorreactor de Membrana (MBR)** y **Filtro Percolador (FP)**”. El análisis de varianza se realizó con un total de 55 datos. Como se evidencia en el Diagrama de Cajas, el **Filtro Percolador (FP)** presenta una distribución de datos de remoción viral entre 0,30 y 0,90. Los **Lodos Activados (LA)** una distribución entre 2,68 y 3,64, y por último los **Biorreactores Membrana**

(**MBR**) una distribución entre 2,00 y 4,80. El valor máximo de remoción viral es de 6,80 dado por **MBR**, el valor mínimo es de 0,00 correspondiente a **FP**.

El Test Paramétrico de Comparaciones Múltiples Bonferroni, determinó que los valores de eliminación viral entre FP y LA presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$), al igual que FP y MBR; mientras que, las tecnologías LA y MBR no presentan diferencias significativas. Además, señala que MBR es la tecnología con mayor eficiencia de eliminación viral con un valor de 1,89 LRV, seguido de LA con una media de 1,68 LRV y finalmente FP con 0,70 LRV.

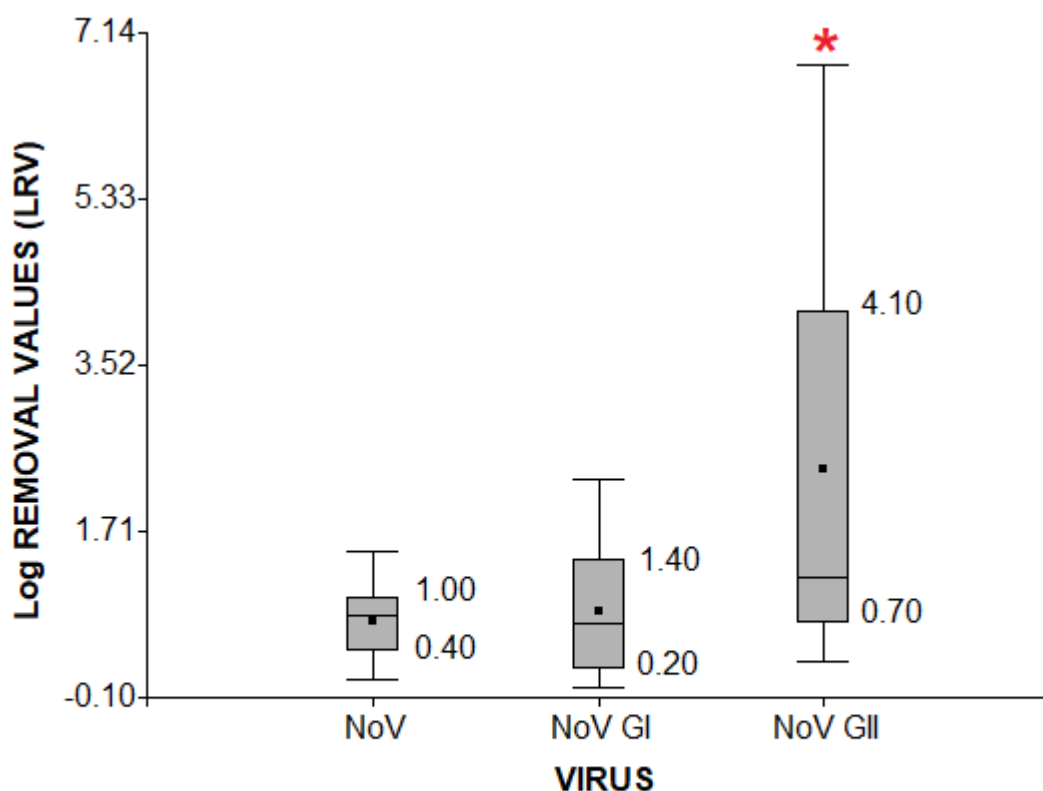
La tecnología de Lodos Activados (LA) y los filtros percoladores (FP) a pesar de ser tecnologías No Específicas, presentan una diferencia considerable de remoción viral entre sí como se muestra en la Figura 4.13. En cambio en relación con la tecnología MBR, que es Específica, y se supondría que la diferencia de remoción viral debería ser mayor, esto no sucede. Si bien MBR sigue presentando una distribución de datos con mayores LRV, la diferencia de ambas no es muy significativa. Se debe destacar los importantes valores de LRV obtenidos por los lodos activados, a pesar de ser una tecnología antigua y de bajo costo, tiene mejores valores de LRV que los filtros percoladores.

Los autores Kuo et al. (2010), Purnell et al. (2016) y Casabuena et al. (2019), en sus respectivas publicaciones, señalan que los resultados de eliminación viral con Bioreactores de Membrana son mayores a 6 LRV en adenovirus y novirus. Sin embargo, los investigadores Ottoson et al. (2006), indican valores de eliminación viral entre 0,65-1,47 LRV. Esta diferencia de datos, se da en gran medida por las condiciones de la membrana como tamaño del poro, material, carga, suciedad irreversible, entre otros (Amarasiri et al., 2017). Estas condiciones físicas y operativas en los MBR, ha generado una amplitud en el rango de distribución de datos de LRV. Según Chaudhry et al. (2015), la capa de la torta formada en la superficie de la membrana y la suciedad irreversible influencia la variación en los LRV. La eficiencia del paso de las partículas depende del grosor de la capa de la torta y la obstrucción de los poros de membrana. Sin embargo, con el avance de la tecnología, se han experimentado con nuevos materiales y diferentes condiciones operativas que mejoran los resultados.

Referente a Lodos Activados, Francy et al. (2012), expone que esta tecnología en conjunto con cloración o lámparas UV alcanzan valores de 5,13 LRV. Sin embargo, la mediana de LRV de coliformes fecales, enterococos, colifagos específicos F, colifagos somáticos, adenovirus, enterovirus y norovirus era mayor en el tratamiento secundario de residuos líquidos municipales para las plantas MBR que para las plantas secundarias convencionales. Por otro lado, Schmitz et al., 2016, muestra valores de remoción viral de 1,7 y 2,8 para Poliomavirus y Norovirus GII, respectivamente, esto empleando filtros percoladores, como tratamiento terciario para reducir concentraciones de nitrógeno (Nordgren et al., 2009).

4.2.3. NOROVIRUS, NOROVIRUS GI, NOROVIRUS GII.

El análisis de varianza de eliminación viral en plantas de residuos líquidos (PT-RL) con respecto a los norovirus, norovirus GI, norovirus GII, se presenta en la Figura 4.14.



(*) existen diferencias significativas $p < 0,05$

NoV: Norovirus **NoV GI:** Norovirus Grupo I **NoV GII:** Norovirus Grupo II

Figura. 4.14. Diagrama de cajas Virus vs LRV (n=34)

Elaborado por: Mishell Limaico

En la Figura 4.14, se observa la evaluación de remoción viral en función de “**Norovirus (NoV), Norovirus GI (NoV GI), y Norovirus GII (NoV GII)**”. El análisis de varianza se realizó con un total de 34 datos. Como se evidencia en el Diagrama de Cajas, la distribución de datos de Log Removal Values (LRV), para NoV se encuentra entre 0,4 y 1,0 LRV. NoV GII presenta una distribución entre 0,2 y 1,4 LRV, por último, la distribución de NoV GII está comprendido entre 0,7 y 4,1. El valor máximo de LRV es de 6,80 correspondiente a NoV GII y el valor mínimo es de 0,00 para NoV GI.

Con respecto a los virus, el genotipo NoV GII es el más común, ya que, es el causante entre el 75 y el 90% de todos los brotes relacionados con gastroenteritis aguda y suele propagarse a través de la contaminación de los residuos líquidos (Gallimore et al., 2007) Los resultados obtenidos concuerdan con la información del autor (Nordgren et al., 2009), reforzando la validez de los mismos. En esta publicación, se indica que la reducción del virus tuvo lugar a ritmos similares en la decantación primaria, y en los lodos activados en combinación con la decantación secundaria y se vieron influenciados por las estaciones del año en Suecia.

4.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP): PARÁMETROS DE CONTROL, OPERACIÓN Y RENDIMIENTO

La base de datos recopilada del estado del arte de eliminación viral en residuos líquidos utilizadas para el análisis de componente principales de la presente tesis se encuentra especificada en el ANEXO 3. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos.

Tabla 4.4. Matriz de Componentes Principales

VARIABLE	SIMBOLO	Coefficientes de PC1	Coefficientes de PC2
Caudal	Q	0.39575	-0.18493
Tiempo de Retención Hidráulica	TRH	-0.19808	0.54735
Potencial de Hidrógeno	pH	0.03243	-0.54558
Demanda Química de Oxígeno afluente	DQO _a	0.39232	0.25115
Demanda Química de Oxígeno efluente	DQO _e	0.4398	0.07478
Sólidos Suspendidos Totales afluente	SST _a	0.42753	0.04067
Sólidos Suspendidos Totales efluente	SST _e	0.42472	-0.23446
Log Removal Values	LRV	0.30428	0.4932

Elaborado por: OriginPro 2019b

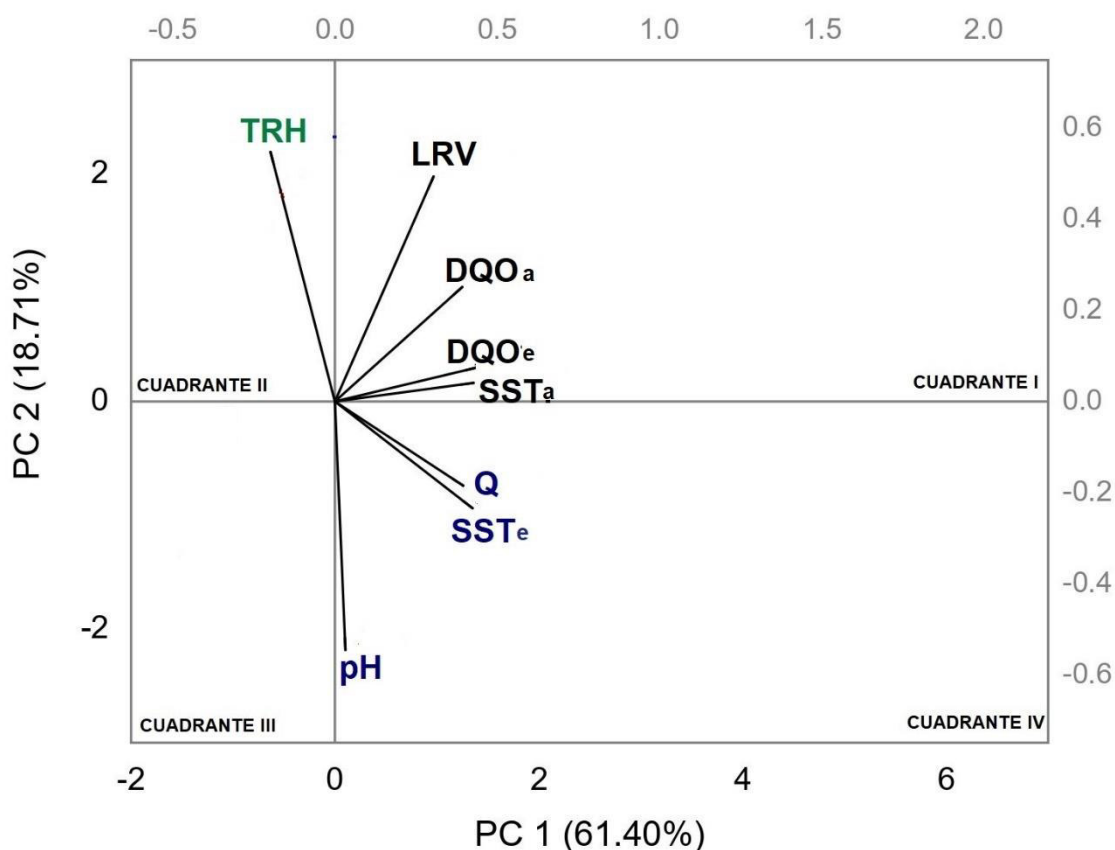


Figura 4.15. Biplot de Componentes Principales de los parámetros de control, operación y rendimiento (n=52)

Elaborado por: Mishell Limaico

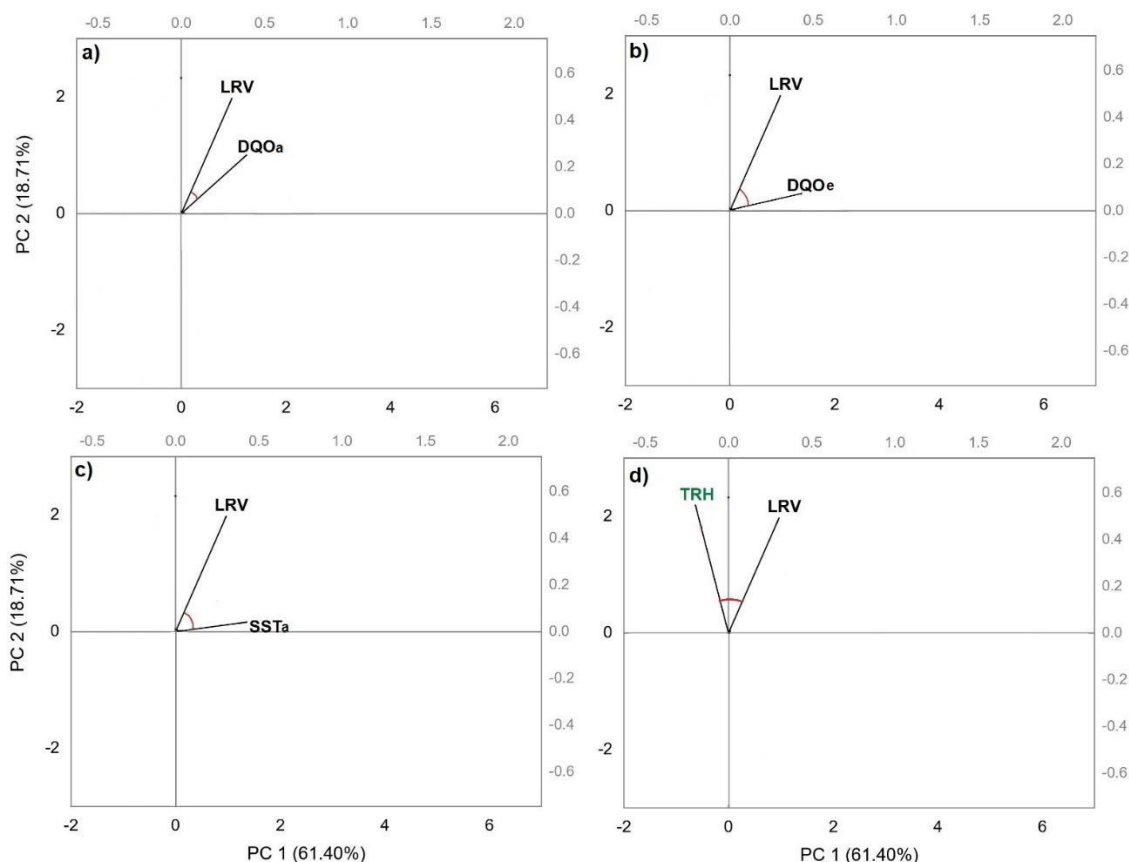
La Figura 4.15 muestra que los componentes principales de la Dimensión 1 (PC1) y Dimensión 2 (PC 2), representa el 61,4% y 18,7% de los datos originales, respectivamente. Es decir, la inercia acumulada o varianza explicada del ACP es del 80,1%, es un factor clave para determinar la validez del análisis y resultados. También, se observa agrupamientos entre las variables en función de los cuadrantes del biplot.

Cada variable se encuentra representado con un vector, sus coordenadas se observan en la Tabla 4.4 y en la Figura 4.15. En el cuadrante I, se agruparon los parámetros de LRV, DQO_a, DQO_e, SST_a, en el cuadrante IV se encuentran los parámetros de Q, SST_e, pH; mientras que, en el cuadrante II solo se observa el TRH.

A continuación, se presentan las correlaciones positivas, nulas y negativas existentes entre parámetros de control, operación y rendimiento.

4.3.1. CORRELACIONES POSITIVAS

Las correlaciones positivas obtenidas mediante el análisis de componentes principales (ACP) entre los parámetros de control, operación y rendimiento se presenta en la Figura 4.16.



DQO_a: Demanda Química de Oxígeno (afluente) **DQO_e:** Demanda Química de Oxígeno (efluente) **LRV:** Log Removal Values **SST_a:** Sólidos Suspendidos Totales (afluente) **TRH:** Tiempo de Retención Hidráulica

a) Correlación DQO_a vs LRV b) Correlación DQO_e vs LRV c) Correlación SST_a vs LRV d) Correlación TRH vs LRV

Figura 4.16 Correlaciones positivas entre las variables de control, operación y rendimiento (n=52)

Elaborado por: Mishell Limaico

En la Figura 4.16 se observan los parámetros que presentan correlaciones positivas con la variable de eliminación viral (LRV), en función al ángulo entre vectores. Si el ángulo entre los vectores es menor a 90° representa una correlación positiva, es decir, la correlación es cercana a 1, y mientras más cercano sea el ángulo a 0° más fuerte será la correlación entre variables. Por lo tanto, los parámetros de DQO_a, DQO_e, TRH y SST_a son los que presentan correlaciones positivas con

relación al LRV, esto significa que si una de las variables aumenta también aumenta la eliminación viral.

Las correlaciones positivas fuertes están dadas por la DQOa vs LRV y THR vs LRV, como se evidencia en la Figuras 4.16a y 4.16d. Cabe señalar, que la única variable de rendimiento que influye en la eliminación viral, es la demanda química de oxígeno. El tiempo de retención hidráulico también presenta correlación positiva. Sin embargo, los autores Jiang et al. (2020) y Romeu & Borrás, (2018) expresaron, con base en sus resultados, que el TRH y la composición del sustrato no son factores significativos para la inactivación de patógenos; mientras que, la temperatura y los productos intermedios son mecanismos reales de inactivación en sistemas de digestión anaerobia, a pesar que se tiene una relación positiva con el % de sólidos suspendidos volátiles no existe evidencia que infiera en la eliminación viral (Balaguer et al., 2011), razón por la cual, este parámetro no fue considerado como factor influyente.

4.3.2. CORRELACIONES NULAS

Las correlaciones nulas obtenidas mediante el análisis de componentes principales (ACP) entre los parámetros de control, operación y rendimiento se presenta en la Figura 4.17.

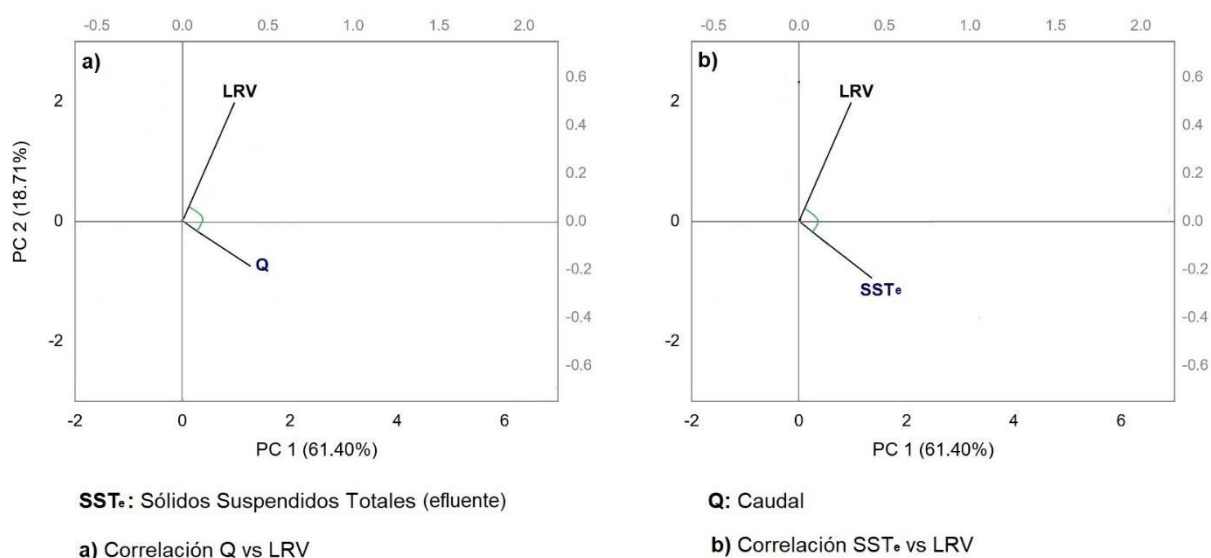


Figura 4.17 Correlaciones nulas entre las variables de control, operación y rendimiento (n=52)

Elaborado por: Mishell Limaico

En la Figura 4.17, se observan las correlaciones nulas que presentan los parámetros de Caudal (Q) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) con respecto a la eliminación viral (LRV). En función del ángulo que se forma entre los vectores que representan a dichas variables. Cuando se forma un ángulo igual o próximo a 90° quiere decir que no existe correlación.

Los parámetros que no tienen correlación con el LRV son el caudal (Q) y los sólidos suspendidos totales del efluente (SST_{efluente}), como se indica en las Figuras 4.17a y 4.17b. Esto significa, que el aumento y disminución de estos parámetros no influye en la eliminación viral de los residuos líquidos. El caudal, es una variable de operación independiente fundamental para el diseño de las plantas de tratamiento de residuos líquidos, por lo tanto, es correcto el resultado obtenido.

4.3.3. CORRELACIÓN NEGATIVA.

La correlación negativa obtenida mediante el análisis de componentes principales (ACP) entre los parámetros de control, operación y rendimiento se presenta en la Figura 4.18.

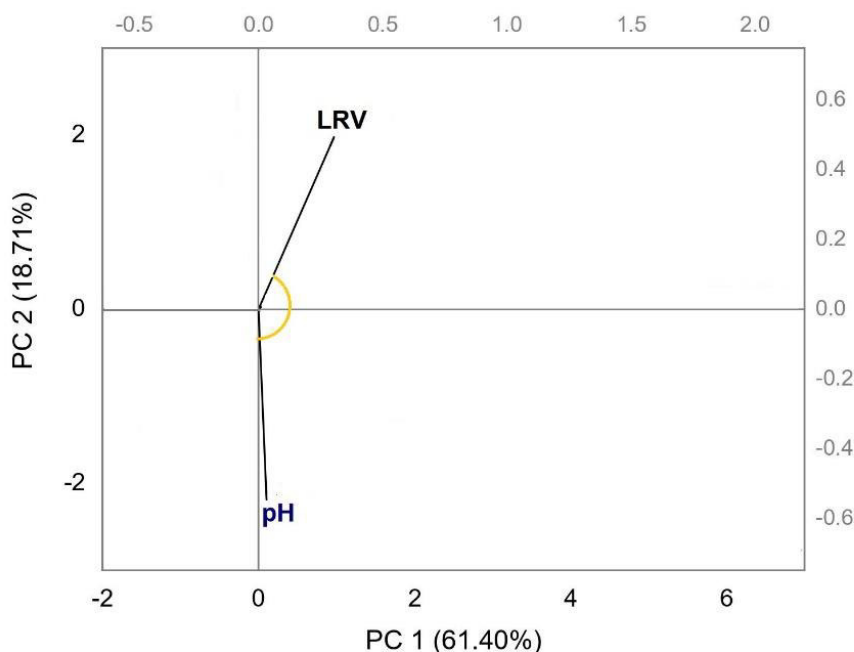


Figura 4.18 Correlaciones negativas entre las variables de control, operación y rendimiento (n=52)

Elaborado por: Mishell Limaico

Como se evidencia en la Figura 4.18, el parámetro que presenta una correlación negativa con respecto al LRV es el pH, ya que el ángulo entre los vectores es mayor a los 90°. El ángulo mientras más se acreque a los 180° la correlación negativa es más fuerte y tiende a -1. Es decir, cuando el pH disminuye, el valor de LRV aumenta. Según Carducci & Verani, 2013, el pH y la morfología de los virus son de los parámetros más importantes para inactivación de patógenos, también indica que en pH neutros no existe eliminación viral.

4.3.4. ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DEL pH

La relación existente entre el parámetro de control, pH y la eficiencia de eliminación viral (LRV) con su respectiva línea de tendencia, ecuación y diagrama de cajas se presenta en la Figura 4.19.

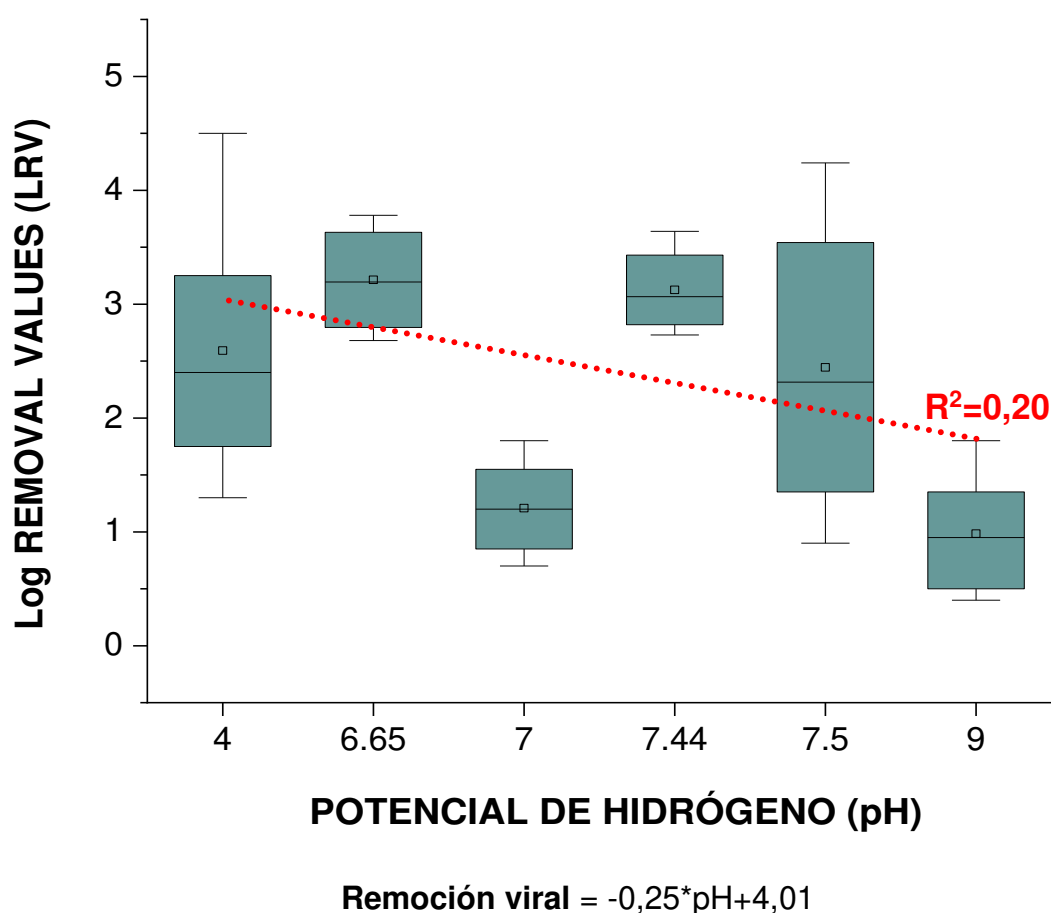


Figura 4.19. Eliminación viral en función del parámetro de control pH (n=52)

Elaborado por: Mishell Limaico

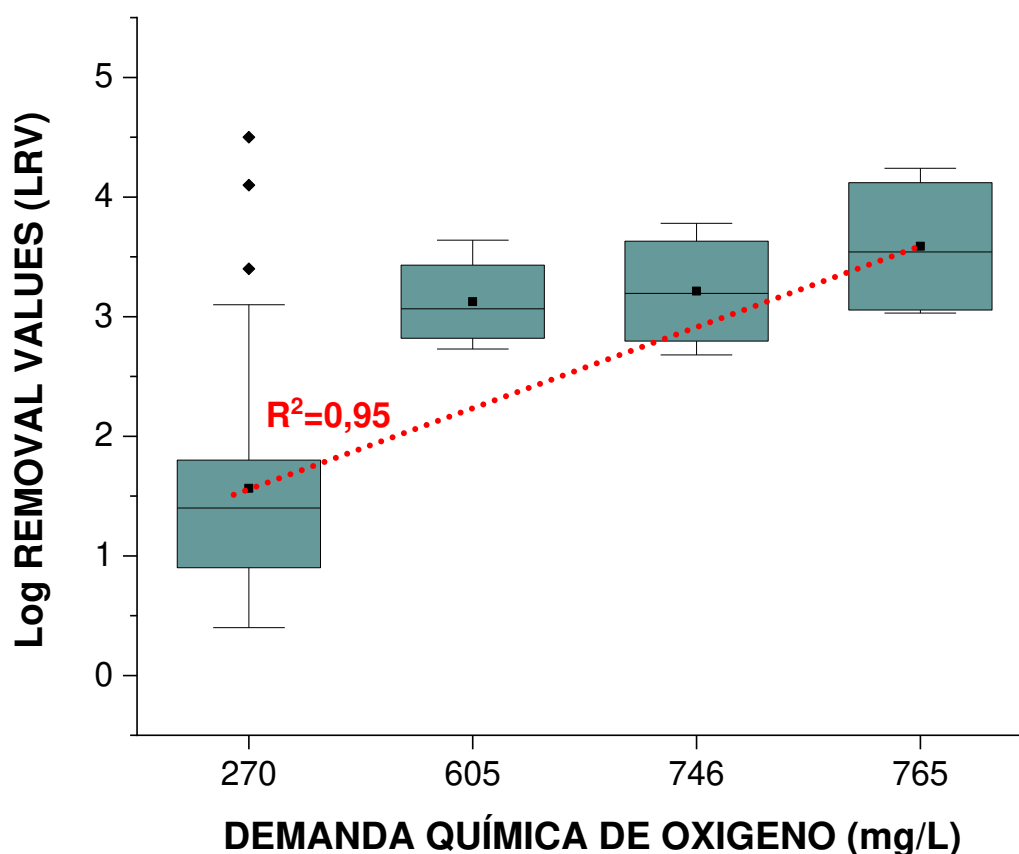
La Figura 4.19, indica la relación lineal entre remoción viral (LRV) y el parámetro de control pH, la misma que presenta un coeficiente de regresión lineal de 0,20. Con base en el gráfico se determina, correlación positiva existente entre estas variables, es decir, cuando el pH aumenta, el LRV disminuye.

Además, se muestra que el LRV con respecto al pH, no tiene una tendencia marcada, los valores máximos de remoción viral pertenecen a los pH ácidos (4,00) con un valor de 4,5 LRV y pH neutro (7,50) con 4,24 LRV; mientras que, los valores mínimos son para los pH 7,00 y 9,00 con 0,7 y 0,4 LRV respectivamente.

La investigación realizada por Miura et al., (2018) evidencia que el pH sí influye en la adsorción viral a las partículas. El licor mixto de (SSV) fue modificado con pH de 9, 7, y 4 para determinar la inactivación viral de las cepas de NoV GII, dando como resultados 0,8; 1,6 y 2,5 LRV, respectivamente. Esto significa que la eliminación viral es efectiva en pH ácidos, los resultados se atribuyen a la teoría de ganancia de cargas positivas. A igual que Cádiz et al. (2001) expone que el pH ácido (3,0) conjuntamente con elevadas temperatura pueden llegar alcanzar valores de hasta 6 LRV. Por lo cual, son considerados los principales factores de eliminación viral en residuos líquidos; mientras que, el pH neutro favorece el crecimiento bacteriológico.

4.3.5 ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DEL DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La relación existente entre el parámetro de rendimiento, demanda química de oxígeno inicial (DQO) y la eficiencia de eliminación viral (LRV) con su respectiva línea de tendencia, ecuación y diagrama de cajas se presenta en la Figura 4.20.



$$\text{Remoción viral} = 0,004 * \text{DQO} + 0,60$$

Figura 4.20. Eliminación viral en función del parámetro de rendimiento DQO (n=52)

Elaborado por: Mishell Limaico

La Figura 4.20, ilustra la relación lineal entre Log Removal Values (LRV) y el parámetro de rendimiento DQO con un coeficiente de regresión lineal de 0,95. Ambas variables son directamente proporcionales, es decir, cuando aumenta la Demanda Química de Oxígeno, también aumenta el LRV. Los resultados concuerdan con los obtenidos en el Análisis de Componentes Principales (ACP), donde indican que DQO y LRV tienen correlación de 1.

En el Diagrama de Cajas, se observa que el máximo valor de remoción viral se da cuando es DQO es de 765 mg/L y a partir de 600 mg/L los valores de eliminación son mayores a 2,5 LRV. Debido a que, al existir una mayor demanda química de oxígeno, la materia orgánica tiene una mayor concentración, los virus llegan a los residuos líquidos mediante materia orgánica excretada en las heces, por ende, al

existir más carga viral en una alta DQO, la correlación entre el DQO y la LRV es positiva y fuerte.

4.3.6. ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

La relación existente entre el parámetro de rendimiento, sólidos suspendidos totales (SST) y la eficiencia de eliminación viral (LRV) con su respectiva línea de tendencia, ecuación y diagrama de cajas se presenta en la Figura 4.21.

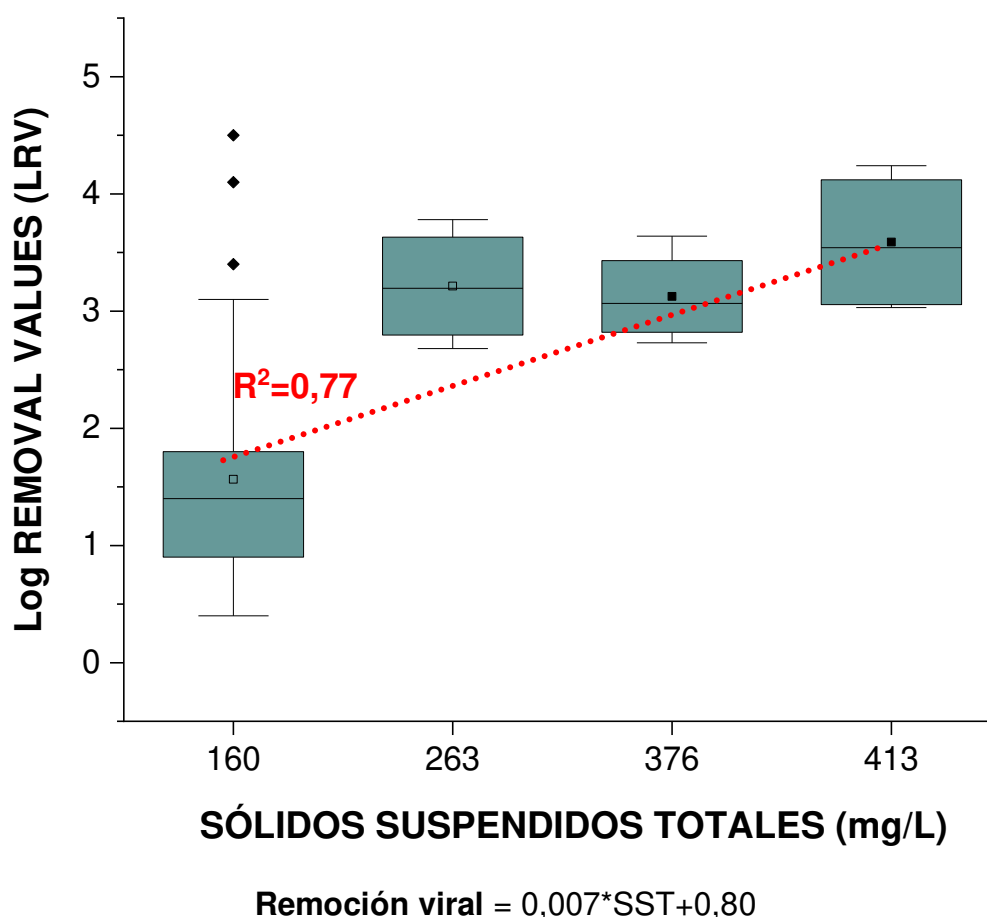


Figura 4.21. Eliminación viral en función del parámetro de rendimiento SST (n=52)

Elaborado por: Mishell Limaico

En la Figura 4.21, se observa la regresión lineal entre los Sólidos Suspendidos Totales y Log Removal Vales, con un coeficiente de 0,77. Entre ambas variables, existe una regresión lineal positiva y una correlación de 1 como se evidencia en la

Figura 4.16c. Es decir, que si aumenta la concentración de SST aumenta la eliminación viral.

La Figura 4.21, muestra una tendencia lineal de aumento, los valores máximos de remoción viral pertenecen a la concentración de 413 mg/L de SST; mientras que, los valores más bajos son para las concentraciones de 160 mg/L, a partir de 263 mg/L la remoción viral está por encima de 2,5 LRV.

Con base en bibliografía, se establece que los virus se adhieren a partículas con diámetros superiores a 0,3 μm y éstas al quedar suspendidas remueven altas cantidades de virus en tratamientos con lodos activados. Sin embargo, va a depender en gran medida del buen mantenimiento de la instalación de depuración (Hejkal et al., 1981)

El resumen de los resultados obtenidos en el desarrollo de la tesis, se presentan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Síntesis de los resultados en función de los objetivos planteados.

OBJETIVOS	CRITERIO	RESULTADOS
1. Establecer el estado del arte respecto al tratamiento viral de residuos líquidos domésticos/municipales	Co – ocurrencia	Wastewater treatment, sewage viruses
	Temporalidad	2010-2020
	Localización	Europa
	Clasificación de las tecnologías	Tecnologías Específicas (E)
	Clasificación de residuos líquidos	Residuos Líquidos Municipales
	Virus/ bacteriófagos	Norovirus
2.Evaluar en forma comparativa tecnologías específicas y no específicas , enfocadas en el tratamiento de virus procedentes de residuos líquidos.	Clasificación Baltimore	Grupo IV
	Tecnologías	Tecnologías Específicas (E)
	Nombre de Tecnologías	Reactor Biológico de Membrana (MBR)

Virus	Norovirus GII
<p>3.Determinar la influencia de factores operativos que favorezcan el tratamiento de virus procedentes de residuos líquidos, con el fin de establecer las características operativas óptimas.</p>	<p>Correlación positiva: DQO SST</p> <hr/> <p>Parámetros de control, operación y rendimiento</p> <p>Correlación negativa: pH</p>

Elaborado por: Mishell Limaico

NOTA:

- En el objetivo 1, los resultados indican los criterios con mayor incidencia dentro los artículos científicos seleccionados.
- En los objetivos 2 y 3, los resultados indican los criterios con los cuales se obtienen mayores niveles de remoción viral.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con base en los resultados del estado del arte se concluye que el 75% de los 69 artículos científicos recopilados forman parte del periodo 2010-2020, con énfasis en el 2020 debido al brote del SARS-CoV-2. Europa y América del Norte son los continentes que publicaron mayor cantidad de artículos científicos con 34 y 29% respectivamente. El 68% de los residuos líquidos son de origen municipal. Las tecnologías Específicas (E) representan al 66% y las No Específicas (NE) al 34%, el Biorreactor de Membrana (MBR) es la tecnología específica más aplicada con un 31%. Mientras los Lodos Activados, representan el 44% de las NE. En cuanto a los virus, el grupo IV de la clasificación Baltimore representa el 68% de 19 diferentes tipos de virus, la norovirus, enterovirus y SARS-CoV-2 pertenecen a este grupo.
- Las tecnologías específicas (E) presentan diferencias significativas y por ende mayores niveles de remoción viral en residuos líquidos en comparación con las tecnologías no específicas (NE). El reactor de membrana (**MBR**) es la tecnología específica más eficiente para remoción viral con una media de 1,89, sin embargo, la tecnología de Lodos Activados (**LA**) presenta buenos niveles de LRV con una media de 1,68, es decir, no es significativamente distinta de la tecnología MBR. El virus con la mayor tasa de eliminación es el Norovirus GII (NoV GII), por otro lado, el SARS-CoV- 2 puede ser eliminado por la tecnología específica MBR, ya que, comparte la misma morfología de los norovirus (NoV) y sus genotipos GI y GII (Taroco et al., 2008).
- Las variables que influyen la remoción viral con correlación positiva, son los sólidos totales suspendidos (SST) y la demanda química de oxígeno (DQO), es decir, mientras mayor sea la concentración de DQO y de SST mayor será la remoción viral. Por el contrario el parámetro de caudal no tiene relación alguna con el LRV, ya que este depende principalmente del volumen de descarga y tamaño de la población. Con base en los resultados obtenidos y la bibliografía revisada se

determina que el factor que realmente influye en la inactivación de virus es el pH ácido y las elevadas temperatura que en conjunto pueden llegar a alcanzar 6 LRV.

- Según el análisis comparativo realizado en la presente tesis, se acepta la hipótesis propuesta, ya que tecnologías específicas como el MBR, tienen la capacidad de reducir la carga viral de ciertos virus en residuos líquidos, mientras que algunas tecnologías no específicas como los Lodos Activados, también tienen la capacidad de reducir la carga viral a pesar de no ser su función principal en residuos líquidos, los niveles de eficacia entre las tecnologías específicas y no específicas varían significativamente, así como también el tipo de virus a degradar.

5.2 RECOMENDACIONES

Para complementar este estudio se recomienda realizar el análisis comparativo en función del rango de caudal que emplean las plantas de tratamiento de residuos líquidos debido a la alta variabilidad del caudal cuando se trata de sectores rurales y urbanos, así como también, analizar en base al nivel de experimentación (gran escala, piloto, laboratorio).

Se recomienda realizar el análisis comparativo de tipos de tecnologías basándose en la localización del muestreo de residuos líquidos, puesto que los factores climáticos locales, influyen en la remoción viral y no es factible comparar las condiciones climáticas de países tropicales con los nórdicos, donde además influyen los factores socioeconómicos y culturales.

Se recomienda investigar sobre la remoción viral en las plantas de tratamiento de residuos líquidos y en los cuerpos hídricos importantes del Ecuador, donde se descargan directamente los residuos líquidos. La falta de información en nuestro país es una limitante para poder comprender cual es la situación actual de los virus en las instalaciones de alcantarillado y depuración de residuos líquidos y cuál es su afectación en la salud pública y en las poblaciones más vulnerables.

Para realizar metaanálisis se requiere de una gran cantidad de información científica que no es de acceso público, a pesar de usar aplicaciones como SCI-HUB, información relevante para la realización de este proyecto no pudo ser obtenido, por lo tanto, se recomienda que la institución adquiera nexos con plataformas científicas para la recopilación de datos sin restricciones y que el aprendizaje no sea cuestión de dinero.

La investigación en este ámbito es relevante en todo el mundo y Ecuador no se queda atrás, a pesar de ser un país privilegiado en recursos hídricos, el mal manejo de estos recursos disminuye su calidad, es necesario analizar la viabilidad del reciclaje de residuos líquidos como alternativa para riego, agricultura o paisajismo sin presentar problemas en la salud pública.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y., & Obaya, M. (2005). La Digestión Anaerobia. Aspectos Teóricos. Parte I. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, XXXIX, 35–48. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- Ahmed, W., Angel, N., Edson, J., Bibby, K., Bivins, A., O'Brien, J. W., Choi, P. M., Kitajima, M., Simpson, S. L., Li, J., Tscharke, B., Verhagen, R., Smith, W. J. M., Zaugg, J., Dierens, L., Hugenholtz, P., Thomas, K. V., & Mueller, J. F. (2020). First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Science of the Total Environment*, 728, 138764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>
- Alonso, C., Borca, M., Dixon, L., Revilla, Y., Rodriguez, F., & Escribano, J. (2018). ICTV virus taxonomy profile: Asfarviridae. *Journal of General Virology*, 99(5), 613–614. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.001049>
- Amarasiri, M., Kitajima, M., Nguyen, T. H., Okabe, S., & Sano, D. (2017). Bacteriophage removal efficiency as a validation and operational monitoring tool for virus reduction in wastewater reclamation: Review. *Water Research*, 121, 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.035>
- Amirian, E. S. (2020). Potential fecal transmission of SARS-CoV-2: Current evidence and implications for public health. *International Journal of Infectious Diseases*, 95, 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.04.057>
- Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., & Hernández, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, 74, 12–22. <https://doi.org/10.23850/22565035.5>
- Arteaga, M., Taquichiri, M., & Duran, J. (2019). Análisis del reuso de aguas residuales en bolivia. *Ciencia Sur*, 5, 10–14.
- Bailey, E. S., Casanova, L. M., Simmons, O. D., & Sobsey, M. D. (2018). Tertiary treatment and dual disinfection to improve microbial quality of reclaimed water for potable and non-potable reuse. *Sci. Total Environ*, 630, 379–388.

- Balaguer, E., Cuartas, B., & Mendoza, J. (2011). *Estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulico en un reactor biológico secuencial (SBR) de depuración de aguas residuales procedentes de una tenería y optimización de la fase de sedimentación.*
- Baltimore, D. (1971). Expresión de genomas de virus animales. In *Revisiones Bacteriológicas* (3rd ed., pp. 235–241).
- Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J., & Robledo, C. (2008). *Infostat. Manual del Usuario.* (Editorial Brujas (ed.)).
- Bausum, H., Schaub, S., Rose, W., & Gibbs, P. (1983). *Enteric Virus Removal in Wastewater Treatment Lagoon Systems.*
- Bayarri, B., Cruz-Alcalde, A., López-Vinent, N., Micó, M., & Sans, C. (2021). Can ozone inactivate SARS-CoV-2? A review of mechanisms and performance on viruses. *Journal of Hazardous Materials*, 415, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125658>
- Beascochea, E., Muñoz, J., & Fernández de la Mora, M. (2011). Fitosistemas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades. *Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas En Flotación.*, 31–60.
- Bellizzi, S., Panu Napodano, C. M., Fiamma, M., & Ali Maher, O. (2020). Drought and COVID-19 in the Eastern Mediterranean Region of the WHO. *Public Health*, 183, 46–47. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2020.04.032>
- Beltrán, A., Escudero, M., Córdova, S., & Rosero, C. (2019). Monitoreo microbiológico para la gestión ambiental de Aguas Residuales Hospitalarias. *Ciencia Digital*, 3(3.4.), 342–353. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4..882>
- Benedictow, O. (2011). *La Peste Negra. La historia completa.* (Akal (ed.)).
- Bofill-Mas, S., Clemente-Casares, P., Albiñana-Giménez, N., De Porta, C. M. M., Gonfa, A. H., & Llop, R. G. (2005). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista Espanola de Salud Publica*, 79(2), 253–269. <https://doi.org/10.1590/s1135-57272005000200012>

- Bokova, I., Ryder, G., & Uhlenbrook, S. (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017. Aguas residuales: el recurso no explotado. In *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura* (Vol. 3). http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Cádiz, A., Castellano, M., Rodríguez, D., Reina, R., Hernández, J., Rodríguez, A., & Moya, A. (2001). Inactivación viral en el Intacglobín por el pH y la temperatura. *Vaccimonitor*, *10*(2), 19–24.
- Carducci, A., Battistini, R., Rovini, E., & Verani, M. (2009). Viral removal by wastewater treatment: Monitoring of indicators and pathogens. *Food and Environmental Virology*, *1*(2), 85–91. <https://doi.org/10.1007/s12560-009-9013-x>
- Carducci, A., Federigi, I., Dasheng, L., Julian R, T., & Marco, V. (2020). Making waves: Coronavirus detection, presence and persistence in the water environment: State of the art and knowledge needs for public health. *Water Research*, *179*, 115907. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115907>
- Carducci, A., Morici, P., Pizzi, F., Battistini, R., Rovini, E., & Verani, M. (2008). Study of the viral removal efficiency in a urban wastewater treatment plant. *Water Science and Technology*, *58*(4), 893–897. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.437>
- Carducci, A., & Verani, M. (2013). Effects of Bacterial, Chemical, Physical and Meteorological Variables on Virus Removal by a Wastewater Treatment Plant. *Food and Environmental Virology*, *5*(1), 69–76. <https://doi.org/10.1007/s12560-013-9105-5>
- Carvajal, G., Roser, D. J., Sisson, S. A., Keegan, A., & Khan, S. . (2017). Bayesian belief network modelling of chlorine disinfection for human pathogenic viruses in municipal wastewater. *Water Res*, *109*, 144–154.
- Casabuena, A. L., Shi, H., Yin, Z., Xagorarakis, I., & Tarabara, V. V. (2019). Human adenovirus 40 removal in sidestream membrane bioreactor. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, *145*(5), 1–6.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001525](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001525)

Catarina, C. S. (2019). *Incytu_19-028*. 52(55).

Chaudhry, R. M., Nelson, K. L., & Drewes, J. E. (2015). Mechanisms of pathogenic virus removal in a full-scale membrane bioreactor. *Environmental Science and Technology*, 49(5), 2815–2822. <https://doi.org/10.1021/es505332n>

Cota, A., & Ponce, C. (2008). *Eliminacion de Bacterias Patógenas en Lodos Residuales Durante el Secado Solar*. 24(4), 161–170.

Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones*.

Crombet, S., Abalos, A., Rodríguez, S., & Pérez, N. (2016). Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 49–56. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57715>

CSWRCB. (2015). *Regulations Related to Recycled Water. California*. http://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/%0Adrinkingwater/documents/lawbook/RWregulations_20150716.pdf%0A

Dávila, T., Gallardo, C., Villamar, C., & Aldás, M. (2020). *Propuesta de Diseño de un Biofiltro Híbrido para el Tratamiento de Aguas Grises del Campamento Minero Bonanza*. Escuela Politécnica Nacional.

Davis, E. (1977). Bacterias de las Aguas Residuales Municipales Capaces De Sobrevivir La Cloración. *Boletín de La Oficina Sanitaria Panamericana*, 82(5), 419–427.

De Luca, G., Sacchetti, R., Leoni, E., & Zanetti, F. (2013). Removal of indicator bacteriophages from municipal wastewater by a full-scale membrane bioreactor and a conventional activated sludge process: Implications to water reuse. *Bioresource Technology*, 129, 526–531. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.113>

Delanka-Pedige, H. M. K., Cheng, X., Munasinghe-Arachchige, S. P., Abeywardana-Arachchige, I. S. A., Xu, J., Nirmalakhandan, N., & Zhang, Y. (2020). Metagenomic insights into virus removal performance of an algal-based

- wastewater treatment system utilizing *Galdieria sulphuraria*. *Algal Research*, 47(December 2019), 101865. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101865>
- Det Udomsap, A., & Hallinger, P. (2020). A bibliometric review of research on sustainable construction, 1994–2018. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 254). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120073>
- Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (2012). *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México*.
- ENEXIO 2H Water Technologies. (2014). *A Guide to Trickling Filter Wastewater Treatment*. <https://2hwatertechnologies.co.uk/trickling-filter-guide>
- EPA. (2012). Guidelines for water reuse. In *Guidelines for water reuse* (Issue September).
- Espigares García, M., & Pérez, J. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Aguas Residuales y composición*.
- Espinosa, A., Arias, C., & Mazari, M. (2004). Virus en sistemas acuáticos e implicaciones en salud pública. *Hidrobiológica*, 14(2), 166–178.
- Farahbakhsh, K., & Smith, D. W. (2004). Removal of coliphages in secondary effluent by microfiltration - Mechanisms of removal and impact of operating parameters. *Water Research*, 38(3), 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.018>
- Feléz, M., & Pujol, O. (2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Fernández, J., Beascochea, E., Muñoz, J., & Curt, M. (2005). Componentes de los sistemas convencionales de depuración de aguas residuales. In *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación* (pp. 31–58). <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos Manual/Cap%EDtulos 3 a 4.pdf>
- Ferro, G., Logares, C., & Roitman, M. (2009). Water, health and social cost/benefit

- analysis. *Munich Personal RePEc Archive*, 5(16618), 1–18.
- Fox, R., & Stuckey, D. (2015). MS-2 and T4 phage removal in an anaerobic membrane bioreactor (AnMBR): Effect of gas sparging rate. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 90(3), 384–390. <https://doi.org/10.1002/jctb.4586>
- Francy, D. S., Stelzer, E. A., Bushon, R. N., Brady, A. M. G., Williston, A. G., Riddell, K. R., Borchardt, M. A., Spencer, S. K., & Gellner, T. M. (2012). Comparative effectiveness of membrane bioreactors, conventional secondary treatment, and chlorine and UV disinfection to remove microorganisms from municipal wastewaters. *Water Research*, 46(13), 4164–4178. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.04.044>
- Fry, L., Mihelcic, J., & Watkins, D. (2008). Water and nonwater-related challenges of achieving global sanitation coverage. *Environmental Science and Technology*, 42(12), 4298–4304. <https://doi.org/10.1021/es7025856>
- Gallimore, C., Iturriza-Gomara, Xerry, J., Adigwe, J., & Gray, J. J. (2007). Inter-seasonal diversity of norovirus genotypes: Emergence and selection of virus variants. *Archives of Virology*, 152(7), 1295–1303. <https://doi.org/10.1007/s00705-007-0954-9>
- Galvez, C. (2018). Análisis de co-palabras aplicado a los artículos muy citados en Biblioteconomía y Ciencias de la Información (2007-2017). *Transinformação*, 30(3), 277–286. <https://doi.org/10.1590/2318-08892018000300001>
- García, M. (2006). Virus en aguas de consumo. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 6(6), 173–189. http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510159f5f2fa3_Hig.Sanid.Ambient.6.173-189%282006%29.pdf
- Gernaey, K., Van Loosdrecht, M., Henze, M., Lind, M., & Jørgensen, S. (2004). Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: State of the art. *Environmental Modelling and Software*, 19(9), 763–783. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.03.005>
- Gomila, M., Solis, J. J., David, Z., Ramon, C., & Lalucat, J. (2008). Comparative reductions of bacterial indicators, bacteriophage-infecting enteric bacteria and

- enteroviruses in wastewater tertiary treatments by lagooning and UV-radiation. *Water Science and Technology*, 58(11), 2223–2233. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.584>
- Gonçalves, J., Koritnik, T., Mioč, V., Trkov, M., Bolješič, M., Berginc, N., Prosenc, K., Kotar, T., & Paragi, M. (2020). Detection of SARS-CoV-2 RNA in hospital wastewater from a low COVID-19 disease prevalence area. *Science of the Total Environment*, 143226. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143226>
- Gonzales-Gustavson, E., Rusiñol, M., Medema, G., Calvo, M., & Girones, R. (2019). Quantitative risk assessment of norovirus and adenovirus for the use of reclaimed water to irrigate lettuce in Catalonia. *Water Research*, 153, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.070>
- Gormley, M., Aspray, T., & Kelly, D. (2020). COVID-19: mitigating transmission via wastewater plumbing systems. *The Lancet Global Health*, 8(5), e643. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30112-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30112-1)
- Goswami, K. P., & Pugazhenthii, G. (2020). Credibility of polymeric and ceramic membrane filtration in the removal of bacteria and virus from water: A review. *Journal of Environmental Management*, 268, 2–18.
- Grisales, D., Ortega, J., & Rodriguez, T. (2012). Removal of organic matter and toxicity in hospital wastewaters by ozone. *Dyna*, 79(173), 109–115.
- Guerrero-Latorre, L., Ballesteros, I., Villacrés-Granda, I., Granda, M. G., Freire-Paspuel, B., & Ríos-Touma, B. (2020). SARS-CoV-2 in river water: Implications in low sanitation countries. *Science of the Total Environment*, 743, 140832. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140832>
- Guerrero-Latorre, L., Romero, B., Bonifaz, E., Timoneda, N., Rusiñol, M., Girones, R., & Rios-Touma, B. (2018). Quito's virome: Metagenomic analysis of viral diversity in urban streams of Ecuador's capital city. *Science of the Total Environment*, 645, 1334–1343. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.213>
- Gurung, K., Ncibi, M. C., & Sillanpää, M. (2017). Assessing membrane fouling and the performance of pilot-scale membrane bioreactor (MBR) to treat real municipal wastewater during winter season in Nordic regions. *Science of the Total Environment*, 579, 1289–1297.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.122>

- Haramoto, E., Katayama, H., Oguma, K., Yamashita, H., Tajima, A., Nakajima, H., & Ohgaki, S. (2006). Seasonal profiles of human noroviruses and indicator bacteria in a wastewater treatment plant in Tokyo, Japan. *Water Science and Technology*, *54*(11–12), 301–308. <https://doi.org/10.2166/wst.2006.888>
- Haramoto, E., Malla, B., Thakali, O., & Kitajima, M. (2020). First environmental surveillance for the presence of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and river water in Japan. *Science of the Total Environment*, *737*, 140405. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140405>
- Hata, A., Hara-Yamamura, H., Meuchi, Y., Imai, S., & Honda, R. (2020). Detection of SARS-CoV-2 in wastewater in Japan during a COVID-19 outbreak. *Science of the Total Environment*, *xxxx*, 143578. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143578>
- Hejkal, T. W., Wellings, F. M., Lewis, A. L., & LaRock, P. A. (1981). Distribution of viruses associated with particles in wastewater. *Applied and Environmental Microbiology*, *41*(3), 628–634. <https://doi.org/10.1128/aem.41.3.628-634.1981>
- Heller, L., Mota, C., & Greco, D. (2020). COVID-19 faecal-oral transmission: Are we asking the right questions? *Science of the Total Environment*, *729*, 138919. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138919>
- Hewitt, J., Leonard, M., Greening, G. E., & Lewis, G. D. (2011). Influence of wastewater treatment process and the population size on human virus profiles in wastewater. *Water Research*, *45*(18), 6267–6276. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.029>
- Hmaied, F., Keskes, S., Jebri, S., Amri, I., Yahya, M., Loisy-Hamon, F., Lebeau, B., & Hamdi, M. (2015). Removal of Rotavirus and Bacteriophages by Membrane Bioreactor Technology from Sewage. *Current Microbiology*, *71*(5), 540–545. <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0882-y>
- Hsien, C., Low, J., Chung, S., & Tan, D. (2019). Quality-based water and wastewater classification for waste-to-resource matching. *Resources, Conservation and Recycling*, *151*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104477>

- Huang, H., Young, T. A., Schwab, K. J., & Jacangelo, J. G. (2012). Mechanisms of virus removal from secondary wastewater effluent by low pressure membrane filtration. *Journal of Membrane Science*, 409–410, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.12.050>
- Jacangelo, J. G., Loughran, P., Petrik, B., Simpson, D., & McIlroy, C. (2003). Removal of enteric viruses and selected microbial indicators by UV irradiation of secondary effluent. *Water Sci. Technol*, 47(9), 193–198.
- Jan Van Eck, N., & Waltman, L. (2020). *VOSviewer Manual*. Erasmus Universiteit Rotterdam.
- Jiang, Y., Xie, S. H., Dennehy, C., Lawlor, P. G., Hu, Z. H., Wu, G. X., Zhan, X. M., & Gardiner, G. E. (2020). Inactivation of pathogens in anaerobic digestion systems for converting biowastes to bioenergy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109654>
- Judd, S. (2008). The status of membrane bioreactor technology. *Trends in Biotechnology*, 26(2), 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2007.11.005>
- Katayama, H., Haramoto, E., Oguma, K., Yamashita, H., Tajima, A., Nakajima, H., & Ohgaki, S. (2008). One-year monthly quantitative survey of noroviruses, enteroviruses, and adenoviruses in wastewater collected from six plants in Japan. *Water Research*, 42(6–7), 1441–1448. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.029>
- King, J. F., Szczuka, A., Zhang, Z., & Mitch, W. A. (2020). Efficacy of ozone for removal of pesticides, metals and indicator virus from reverse osmosis concentrates generated during potable reuse of municipal wastewaters. *Water Research*, 176, 115744. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115744>
- Kitajima, M., Ahmed, W., Bibby, K., Carducci, A., Gerba, C. P., Hamilton, K. A., Haramoto, E., & Rose, J. B. (2020). SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. *Science of The Total Environment*, 139076. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139076>
- Kobayashi, N., Oshiki, M., Ito, T., Segawa, T., Hatamoto, M., Kato, T., Yamaguchi, T., Kubota, K., Takahashi, M., Iguchi, A., Tagawa, T., Okubo, T., Uemura, S.,

- Harada, H., Motoyama, T., Araki, N., & Sano, D. (2017). Removal of human pathogenic viruses in a down-flow hanging sponge (DHS) reactor treating municipal wastewater and health risks associated with utilization of the effluent for agricultural irrigation. *Water Research*, *110*, 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.10.054>
- Kong, J., Lu, Y., Ren, Y., Chen, Z., & Chen, M. (2021). The virus removal in UV irradiation, ozonation and chlorination. *Water Cycle*, *2*(March), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2021.05.001>
- Kumar, M., Kuroda, K., & Dhangar, K. (2020). The most eagerly awaited summer of the Anthropocene: A perspective of SARS-CoV-2 decay and seasonal change. *Groundwater for Sustainable Development*, *11*(336), 100400. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100400>
- Kuo, D. H. W., Simmons, F. J., Blair, S., Hart, E., Rose, J. B., & Xagorarakis, I. (2010). Assessment of human adenovirus removal in a full-scale membrane bioreactor treating municipal wastewater. *Water Research*, *44*(5), 1520–1530. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.039>
- La Rosa, G., Bonadonna, L., Lucentini, L., Kenmoe, S., & Suffredini, E. (2020). Coronavirus in water environments: Occurrence, persistence and concentration methods - A scoping review. *Water Research*, *179*, 115899. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115899>
- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodriguez, C., & Delgado, A. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista Ciencia Agronomica*, *44*(3), 419–425. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000300002>
- Lee, S., Ihara, M., Yamashita, N., & Tanaka, H. (2017). Improvement of virus removal by pilot-scale coagulation-ultrafiltration process for wastewater reclamation: Effect of optimization of pH in secondary effluent. *Water Research*, *114*, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.017>
- Liu, L. (2020). Emerging study on the transmission of the Novel Coronavirus (COVID-19) from urban perspective: Evidence from China. *Cities*, *103*(April), 102759. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102759>

- Lizasoain, A., Tort, L. F. L., García, M., Gillman, L., Alberti, A., Leite, J. P. G., Miagostovich, M. P., Pou, S. A., Cagliaio, A., Razsap, A., Huertas, J., Berois, M., Victoria, M., & Colina, R. (2018). Human enteric viruses in a wastewater treatment plant: evaluation of activated sludge combined with UV disinfection process reveals different removal performances for viruses with different features. *Letters in Applied Microbiology*, *66*(3), 215–221. <https://doi.org/10.1111/lam.12839>
- Louten, J. (2016). Virus Structure and Classification. In *Essential Human Virology*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800947-5.00002-8>
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D., & Stahl, D. (2015). Genómica, genética y virología. In *Biología de los microorganismos* (Vol. 4, Issue 14). <http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>
- Marti, E., Monclús, H., Jofre, J., Rodríguez-Roda, I., Comas, J., & Balcázar, J. L. (2011). Removal of microbial indicators from municipal wastewater by a membrane bioreactor (MBR). *Bioresource Technology*, *102*(8), 5004–5009. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.068>
- Martínez, I., Fernández, I., Blanco, L., & Hernández, V. (2008). *Biorreactores de Membrana*.
- Matheri, A., Ndiweni, S., Belaid, M., Muzenda, E., & Hubert, R. (2017). Optimising biogas production from anaerobic co-digestion of chicken manure and organic fraction of municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *80*(May), 756–764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.068>
- Maynard, H., Ouki, S., & Williams, S. (1999). Tertiary lagoons: A review of removal mechanisms and performance. *Water Research*, *33*(1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00198-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00198-5)
- Medema, G., Heijnen, L., Elsinga, G., Italiaander, R., & Brouwer, A. (2020). Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in Sewage and Correlation with Reported COVID-19 Prevalence in the Early Stage of the Epidemic in the Netherlands. *Environmental Science and Technology Letters*, *7*(7), 511–516. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00357>
- Méndez, L., Miyashiro, V., Rojas, R., Cotrado, M., & Carrasco, N. (2004).

- Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Lodos Activados a Escala De Laboratorio. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 7(14), 74–83.
- Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. (Tercera). Mc Graw Hill.
- Miura, T., Okabe, S., Nakahara, Y., & Sano, D. (2015). Removal properties of human enteric viruses in a pilot-scale membrane bioreactor (MBR) process. *Water Research*, 75, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.046>
- Miura, T., Schaeffer, J., Le Saux, J. C., Le Mehaute, P., & Le Guyader, F. S. (2018). Virus Type-Specific Removal in a Full-Scale Membrane Bioreactor Treatment Process. *Food and Environmental Virology*, 10(2), 176–186. <https://doi.org/10.1007/s12560-017-9330-4>
- Molina, A., Pozo, M., & Serrano, J. (2018). *Agua, saneamiento e higiene: medición de los ODS en Ecuador*.
- Montemayor, M., Costan, A., Lucena, F., Jofre, J., Muñoz, J., Dalmau, E., Mujeriego, R., & Sala, L. (2008). The combined performance of UV light and chlorine during reclaimed water disinfection. *Water Science and Technology*, 57(6), 935–940. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.206>
- Morrison, C. M., Betancourt, W. Q., Quintanar, D. R., Lopez, G. U., Pepper, I. L., & Gerba, C. P. (2020). Potential indicators of virus transport and removal during soil aquifer treatment of treated wastewater effluent. *Water Research*, 177, 115812. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115812>
- Negrón, M., & González, M. (2017). Virus: Generalidades. In *Generalidades de Microbiología* (pp. 69–80).
- Nemudryi, A., Nemudraia, A., Wiegand, T., Surya, K., Buyukyoruk, M., Cicha, C., Vanderwood, K., Wilkinson, R., & Wiedenheft, B. (2020). Temporal Detection and Phylogenetic Assessment of SARS-CoV-2 in Municipal Wastewater. *Cell Reports Medicine*, 1(6), 100098. <https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2020.100098>
- Nordgren, J., Matussek, A., Mattsson, A., Svensson, L., & Lindgren, P. E. (2009). Prevalence of norovirus and factors influencing virus concentrations during one

- year in a full-scale wastewater treatment plant. *Water Research*, 43(4), 1117–1125. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.11.053>
- O'Brien, E., Munir, M., Marsh, T., Heran, M., Lesage, G., Tarabara, V., & Xagorarakis, I. (2017). Diversity of DNA viruses in effluents of membrane bioreactors in Traverse City, MI (USA) and La Grande Motte (France). *Water Research*, 111, 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.014>
- Olmedo, M. (2008). Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro . Efectos sobre la salud. *Hig. Sanid. Ambient.*, 8, 335–342.
- OMS. (2019). Guías Para El Saneamiento Y La Salud. In *Organización mundial de salud*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330097/9789243514703-spa.pdf>
- Orive, G., Lertxundi, U., & Barcelo, D. (2020). Early SARS-CoV-2 outbreak detection by sewage-based epidemiology. *Science of the Total Environment*, 732, 139298. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139298>
- Osuolale, O., & Okoh, A. (2017). Human enteric bacteria and viruses in five wastewater treatment plants in the Eastern Cape, South Africa. *Journal of Infection and Public Health*, 10(5), 541–547. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2016.11.012>
- Ottoson, J., Hansen, A., Björleinius, B., Norder, H., & Stenström, T. A. (2006). Removal of viruses, parasitic protozoa and microbial indicators in conventional and membrane processes in a wastewater pilot plant. *Water Research*, 40(7), 1449–1457. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.039>
- Peccia, J., Zulli, A., Brackney, D., Grubaugh, N., Kaplan, E., Casanovas-Massana, A., Ko, A., Malik, A., Wang, D., Wang, M., Warren, J., Weinberger, D., Arnold, W., & Omer, S. (2020). Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics. *Nature Biotechnology*, 38(10), 1164–1167. <https://doi.org/10.1038/s41587-020-0684-z>
- Petrinca, A., Donia, D., Pierangeli, A., Gabrieli, R., Degener, A., Bonanni, E., Diaco, L., Cecchini, G., Anastasi, P., & Divizia, M. (2009). Presence and environmental

- circulation of enteric viruses in three different wastewater treatment plants. *Journal of Applied Microbiology*, 106(5), 1608–1617. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.04128.x>
- Prado, T., de Castro Bruni, A., Barbosa, M. R. F., Garcia, S. C., de Jesus Melo, A. M., & Sato, M. I. Z. (2019). Performance of wastewater reclamation systems in enteric virus removal. *Science of the Total Environment*, 678, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.435>
- Prasad, B., & Schmid, M. (2012). *Viral Molecular Machines: Principles of Virus Structural Organization* (Vol. 726). <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0980-9>
- Purnell, S., Ebdon, J., Buck, A., Tupper, M., & Taylor, H. (2016). Removal of phages and viral pathogens in a full-scale MBR: Implications for wastewater reuse and potable water. *Water Research*, 100, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.013>
- Qiu, Y., Lee, B. E., Neumann, N., Ashbolt, N., Craik, S., Maal-Bared, R., & Pang, X. L. (2015). Assessment of human virus removal during municipal wastewater treatment in Edmonton, Canada. *Journal of Applied Microbiology*, 119(6), 1729–1739. <https://doi.org/10.1111/jam.12971>
- Qiu, Y., Li, Q., Lee, B., Ruecker, N., Neumann, N., Ashbolt, N., & Pang, X. (2018). UV inactivation of human infectious viruses at two full-scale wastewater treatment plants in Canada. *Water Research*, 147, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.057>
- Quilliam, R. S., Weidmann, M., Moresco, V., Purshouse, H., O'Hara, Z., & Oliver, D. M. (2020). COVID-19: The environmental implications of shedding SARS-CoV-2 in human faeces. *Environment International*, 140, 105790. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105790>
- Ramalho, R. (2015). *Filtros percoladores* (Centro de Investigación & D. T. del A. (CIDTA) (eds.)).
- Ramírez, J. (2020). *COVID-19 en aguas residuales y potables: análisis de la situación actual*.
- Ramón, V. (2010). Infraestructura Sustentable: Las Plantas de Tratamiento de

- Aguas Residuales. *Quivera*, 12(2), 58–69.
- Randazzo, W., Truchado, P., Cuevas-Ferrando, E., Simón, P., Allende, A., & Sánchez, G. (2020). SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area. *Water Research*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115942>
- Raschid-Sally, L., & Jayakody, P. (2008). *Drivers and Characteristics of Wastewater Agriculture in Developing Countries: Results from a Global Assessment* (International Water Management Institute (ed.)).
- Reyes, G., Vicencio, M., & Loredo, A. (2016). USO DEL CLORO EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS: DESINFECCIÓN Y FORMACIÓN DE SUBPRODUCTOS [Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango]. In *Tesis*. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/16124>
- Rimoldi, S., Stefani, F., Gigantiello, A., Polesello, S., Comandatore, F., Mileto, D., Maresca, M., Longobardi, C., Mancon, A., Romeri, F., Pagani, C., Moja, L., Gismondo, M., & Salerno, F. (2013). Presence and vitality of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Rojas, N., & Orta de Velasquez, T. (2002). Avances en la desinfección de aguas residuales para eliminar huevos de helmintos y otros microorganismos. In *Ingeniería Sanitaria Ambiental*.
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales* (Vol. 1, Issue 1).
- Romero, J. (2005). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. (Marcombo (ed.)).
- Romeu, P., & Borrás, L. (2018). *Efecto del Tiempo de Retención Hidráulico sobre la Dinámica Poblacional en un Reactor Anaerobio de Membranas para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Rosenberg, R. (2014). *Detecting the emergence of novel, zoonotic viruses*

pathogenic to humans. 1–11. [https://doi.org/http:// dx.doi.org/10.1007/s00018-014-1785-y](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s00018-014-1785-y).

- Ruiqing, L., Mosiman, D., & T., N. (2013). Mechanisms of MS2 bacteriophage removal by fouled ultrafiltration membrane subjected to different cleaning methods. *Environmental Science and Technology*, *47*(23), 13422–13429. <https://doi.org/10.1021/es403426t>
- Schmitz, B. W., Kitajima, M., Campillo, M. E., Gerba, C. P., & Pepper, I. L. (2016). Virus reduction during advanced bardenpho and conventional wastewater treatment processes. *Environmental Science and Technology*, *50*(17), 9524–9532. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01384>
- Shaffer, C. (2019). El sistema de clasificación de Baltimore. *News-Medical*, 1–5. <https://www.news-medical.net/life-sciences/The-Baltimore-Classification-System.aspx>.
- Shaffer, C., & Khetrpal, A. (2019). El Sistema de clasificación de Baltimore. *News Medical Life Sciences*, 1–5.
- Shuval, H. (2003). Estimating the global burden of thalassogenic diseases: Human infectious diseases caused by wastewater pollution of the marine environment. In *Journal of Water and Health* (Vol. 1, Issue 2). <https://doi.org/10.2166/wh.2003.0007>
- Sidhu, J. P. S., Sena, K., Hodgers, L., Palmer, A., & Toze, S. (2018). Comparative enteric viruses and coliphage removal during wastewater treatment processes in a sub-tropical environment. *Science of the Total Environment*, *616–617*, 669–677. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.265>
- Simmons, F., Kuo, D., & Xagorarakis, I. (2011). Removal of human enteric viruses by a full-scale membrane bioreactor during municipal wastewater processing. *Water Research*, *45*(9), 2739–2750. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.02.001>
- Sperling, M., Freire, V., & Chernicharo, C. (2001). Performance evaluation of a USB — Activated sludge system treating municipal wastewater Performance evaluation of a UASB – activated sludge system treating municipal wastewater. *Water Science and Technology*, *43*(11), 323–328.

- Symonds, E. M., Verbyla, M. E., Lukasik, J. O., Kafle, R. C., Breitbart, M., & Mihelcic, J. R. (2014). A case study of enteric virus removal and insights into the associated risk of water reuse for two wastewater treatment pond systems in Bolivia. *Water Research*, *65*, 257–270. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.07.032>
- Taghipour, F. (2004). Ultraviolet and ionizing radiation for microorganism inactivation. *Water Research*, *38*(18), 3940–3948. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.016>
- Taroco, R., Seija, V., & Vignoli, R. (2008). *Temas de Bacteriología y Virología Médica*. (Tercera). Oficina del libro FEFMUR.
- Tejedor, J., Villamar, C., & Aldás, M. (2019). *Estudio del Comportamiento de Eisenia Foetida y Schoenoplectus californicus en Biofiltros de Cáscara de Maní para el Tratamiento de Agua Residual Doméstica*. Escuela Politécnica Nacional.
- Tree, J., Adams, M., & Lees, D. (2003). Chlorination of indicator bacteria and viruses in primary sewage effluent. *Environment Microbiology*, *69*, 2038–2043.
- TWDB. (2015). *Direct potable reuse resource document* (Vols. 1–2, Issue 1248321508). http://www.twdb.texas.gov/publications/reports/contracted_reports/doc/1248321508_Vol1.pdf
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). *Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones y metaanálisis* (Vol. 135, Issue 11). <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Velásquez, D., & Rodríguez, A. (2014). *Desinfección de agua residual hospitalaria aplicando ozono, ozono/UV y UV*. 1–9. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11359>
- Verbyla, M. E., Iriarte, M. M., Mercado Guzmán, A., Coronado, O., Almanza, M., & Mihelcic, J. R. (2016). Pathogens and fecal indicators in waste stabilization pond systems with direct reuse for irrigation: Fate and transport in water, soil and crops. *Science of the Total Environment*, *551–552*, 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.159>

- Verbyla, Matthew E., & Mihelcic, J. R. (2015). A review of virus removal in wastewater treatment pond systems. *Water Research*, 71(860), 107–124. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.031>
- Wang, H., Sikora, P., Rutgersson, C., Lindh, M., Brodin, T., Björlenius, B., Larsson, D. G. J., & Norder, H. (2018). Differential removal of human pathogenic viruses from sewage by conventional and ozone treatments. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(3), 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.012>
- Wang, J., Shen, J., Ye, D., Yan, X., Zhang, Y., Yang, W., Li, X., Wang, J., Zhang, L., & Pan, L. (2020). Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. *Environmental Pollution*, 262, 114665.
- Wen, Q., Tutuka, C., Keegan, A., & Jin, B. (2009). Fate of pathogenic microorganisms and indicators in secondary activated sludge wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, 90(3), 1442–1447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.09.002>
- Wigginton, K., Pecson, B., Sigstam, T., Bosshard, F., & Kohn, T. (2012). Virus inactivation mechanisms: Impact of disinfectants on virus function and structural integrity. *Environmental Science and Technology*, 46(21), 12069–12078. <https://doi.org/10.1021/es3029473>
- Wright, H. B., & Cairns, W. L. (1998). Original: inglés LUZ ULTRAVIOLETA. 1, 1–28. http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/LUZ_ULTRAVIOLETA.pdf
- Wu, F., Zhang, J., Xiao, A., Gu, X., Lee, L., Armas, F., & Kauffman, K. (2020). crossm SARS-CoV-2 Titers in Wastewater Are Higher than Expected. *MSystems*, 5(4), 1–9.
- Wurtzer, S., Marechal, V., Mouchel, J., Maday, Y., Teyssou, R., Richard, E., Almayrac, J., & Moulin, L. (2020). *Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679>
- Zambrano, C., & Saltos, X. (2009). *DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS*

SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL COMPUESTO POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- Zambrano, M., Ruano, M., & Sanchez, L. (2020). Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of the Total Environment*, 728, 138813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138813>
- Zhang, K., & Farahbakhsh, K. (2007). Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: Implications to water reuse. *Water Research*, 41(12), 2816–2824. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.010>

ANEXO 1

**BASE DE DATOS DEL ESTADO DEL ARTE DE ELIMINACION VIRAL EN
RESIDUOS LÍQUIDOS**

ANEXO 1. Base de datos del Estado del Artes de Eliminación Viral en Residuos Líquidos de los artículos científicos recopilados.

Referencia	Año	País	Continente	Tipo de residuos Líquidos	Nombres de tecnologías	Tecnologías específicas	Tecnologías no específicas	Virus/ bacteriófagos
(Bausum et al., 1983)	1983	Estados Unidos	AN	Cruda				Enterovirus
(Jacangelo et al., 2003)	2003	Nueva Zelanda	OC	Municipales	UV	X		Adenovirus Enterovirus
(Farahbakhsh & Smith, 2004)	2004	Canadá	EU	Municipal	MF	X		Bacteriófagos
(Taghipour, 2004)	2004	Reino Unido	EU	Municipal	IEB IG	X X		MS2 T4
(Ottoson et al., 2006)	2006	Suecia	EU	Municipal	LA MBR UASB	X	X X	Enterovirus Norovirus

(Haramoto et al., 2006)	2006	Japón	AS	Municipal	CL	X		Norovirus GI Norovirus GII Bacteriófago Bacterias
(Zhang & Farahbakhsh, 2007)	2007	Canadá	AN	Municipal	CL RBCr	X		Bacteriófagos
(Gomila et al., 2008)	2008	España	EU	Municipal	UV LAe	X	X	Virus entéricos
(Montemayor et al., 2008)	2008	España	EU	Municipal	UV CL	X X		Bacteriófagos
(Carducci et al., 2008)	2008	Italia	EU	Municipal	LA CL	X	X	Adenovirus Human torque teno virus (TTV) Bacteriófagos Norovirus GI Norovirus GII Enterovirus Adenovirus
(Katayama et al., 2008)	2008	Japón	AS	Municipal	CL	X		Norovirus Norovirus GI Norovirus GII
(Nordgren et al., 2009)	2009	Suecia	EU	Municipal	LA FP	X X		Norovirus Norovirus GI Norovirus GII

(Carducci et al., 2009)	2009	Italia	EU	Municipal	LA CL	X	X	Adenovirus Human torque teno virus (TTV) Bacteriófagos
(Wen et al., 2009)	2009	Australia	OC	Municipal	LA		X	MS2 Poliovirus
(Petrinca et al., 2009)	2009	Italia	EU	Doméstica	LA CL	X	X	Enterovirus Bacteriófagos Bacterias
(Kuo et al., 2010)	2010	Estados Unidos	AN	Municipal	MBR	X		Adenovirus
(Simmons et al., 2011)	2011	Estados Unidos	AN	Municipales	MBR	X		Enterovirus Norovirus GII Adenovirus
(Marti et al., 2011)	2011	España	EU	Doméstica	MBR	X		Bacteriófagos
(Hewitt et al., 2011)	2011	Nueva Zelanda	OC	Municipal Doméstica	FP LA PS	X X X		Adenovirus Enterovirus

(Huang et al., 2012)	2012	Estados Unidos	AN	Lodos	LPMs	X		Poliovirus
(Francy et al., 2012)	2012	Estados Unidos	AN	Municipal	MBR UV LA	X X	X	Adenovirus Enterovirus Norovirus Bacterias Bacteriófagos
(Ruiqing et al., 2013)	2013	Estados Unidos	AN	Municipal	MBR	X		MS2
(De Luca et al., 2013)	2013			Domésticas	LA MBR	X	X	Bacteriófagos
(Carducci & Verani, 2013)	2013	Italia	EU	Municipal	LA CL	X	X	Adenovirus Norovirus Bacteriófagos
(Symonds et al., 2014)	2014	Bolivia	ADS	Municipal	PS UASB		X X	Enterovirus Norovirus Rotavirus Pepper mild mottle virus
(Fox & Stuckey, 2015)	2015	Reino Unido	EU	Municipal	MBR	X		MS2 T4

(Chaudhry et al., 2015)	2015	Estados Unidos	AN	Municipal	MBR	X		Adenovirus Norovirus
(Miura et al., 2015)	2015	Japón	AS	Doméstica	MBR	X		Enterovirus Norovirus GII Sapovirus
(Matthew E. Verbyla & Mihelcic, 2015)	2015	Australia Israel Reino Unido Chile	EU AS EU ADS	Municipal	PS		X	Virus entéricos
(Hmaied et al., 2015)	2015	Túnez	AF	Pecuarías	MBR LA	X	X	Norovirus GI Rotavirus Bacteriófagos
(Qiu et al., 2015)	2015	Canadá	AN	Municipal	UF LA UV CL	X X X	X	Norovirus Rotavirus Sapovirus Astrovirus Adenovirus Enterovirus Poliomavirus JC
(Purnell et al., 2016)	2016	Reino Unido	EU	Municipales	MBR	X		Norovirus Adenovirus

(Schmitz et al., 2016)	2016	Estados Unidos	AN	Municipales	LA FP 5SB		X X X	Pepper mild mottle virus Aichi virus Norovirus GI, GII, GIII Enterovirus Sapovirus Rotavirus Adenovirus Poliovirus
(M. E. Verbyla et al., 2016)	2016	Bolivia	ADS	Municipal	PS		X	Bacteriófagos Bacterias
(Kobayashi et al., 2017)	2017	Japón	AS	Municipal	DHS	X		Aichi virus Norovirus GII, GI, GIV Enterovirus Sapovirus Astrovirus Hepatitis Rotavirus RV Adenovirus Norovirus GI, GII
(Gurung et al., 2017)	2017	Finlandia	EU	Municipal	MBR			
(Lee et al., 2017)	2017	Japón	AS	Municipales	COA-FLO UF	X	X	MS2

(Osuolale & Okoh, 2017)	2017	Sudáfrica	AF	Municipal	LA FP		X X	Rotavirus
(O'Brien et al., 2017)	2017	Estados Unidos Francia	AN EU	Municipal	LA MBR	X	X	
(Amarasiri et al., 2017)	2017	Estados Unidos	AN	Municipal	MBR	X		F colifago MS2 T4
(Sidhu et al., 2018)	2018	Australia	OC	Municipal	LA		X	Adenovirus Poliomavirus Human torque teno virus (TTV) norovirus GI norovirus GII rotavirus sapovirus astrovirus enterovirus adenovirus reovirus Rotavirus Sapovirus Norovirus
(Qiu et al., 2018)	2018	Canadá	AN	Municipal	UV	X		
(Miura et al., 2018)	2018	Francia	EU	Municipal	MBR	X		

(Wang et al., 2018)	2018	Suecia	EU	Municipales	OZ LA	X	X	Adenovirus
(Guerrero-Latorre et al., 2018)	2018	Ecuador	ADS	Crudas				Adenovirus Bacterias
(Lizasoain et al., 2018)	2018	Uruguay	ADS	Doméstica	UV	X		Rotavirus Adenovirus
(Prado et al., 2019)	2019	Brasil	ADS	Lodos	MBR CL	X X		Adenovirus Poliomavirus Rotavirus
(Casabuena et al., 2019)	2019	Estados Unidos	AN	Municipal	MBR	X		Adenovirus
(Gonzales-Gustavson et al., 2019)	2019	España	EU	Municipal	CL FLO UV HC	X X	X X	Adenovirus Norovirus GII
(King et al., 2020)	2020	Estados Unidos	AN	Municipal	OZ	X		Bacteriófago MS2

(Jiang et al., 2020)	2020	Reino Unido Estados Unidos Irlanda China	EU AN AS	Lodos	SDAn			X	Poliovirus
(Morrison et al., 2020)	2020	Estados Unidos	AN	Lodos	SAT		X		Adenovirus Enterovirus Pepper mild mottle virus (PMMoV)
(Goswami & Pugazhenth, 2020)	2020	India	AS	Domésticas	FMC		X		Bacteriófagos Bacterias
(Delanka-Pedige et al., 2020)	2020	Estados Unidos	AN	Municipal	LA CL SAGS		X X		Enterovirus Norovirus GI Bacteriófagos
(Ahmed et al., 2020)	2020	Australia	OC	Crudas					SARS-CoV-2
(Hata et al., 2020)	2020	Japón	AS	Municipal					SARS-CoV-2
(Gonçalves et al., 2020)	2020	Eslovenia	EU	Hospitalarias					SARS-CoV-2

(Peccia et al., 2020)	2020	Estados Unidos	AN	Lodos			SARS-CoV-2
(Wurtzer et al., 2020)	2020	Francia	EU	Municipal Cruda			SARS-CoV-2
(Wu et al., 2020)	2020	Estados Unidos	AN	Domésticas			SARS-CoV-2
(Nemudryi et al., 2020)	2020	Estados Unidos	AN	Municipal			SARS-CoV-2
(Medema et al., 2020)	2020	Países Bajos	EU	Municipal			SARS-CoV-2
(Guerrero-Latorre et al., 2020)	2020	Ecuador	ADS	Cruda			SARS-CoV-2
(Haramoto et al., 2020)	2020	Japón	AS	Lodos			SARS-CoV-2
(La Rosa et al., 2020)	2020	Italia	EU	Municipal			SARS-CoV-2
(Randazzo et al., 2020)	2020	España	EU	Municipal	CL UV	X X	SARS-CoV-2

(Rimoldi et al., 2013)	2020	Italia	EU	Cruda				SARS-CoV-2
(J. Wang et al., 2020)	2020	China	AS	Hospitalarias	MBR	X		SARS-CoV-2
					CL	X		

Elaborado por: Mishell Limaico

ANEXO 2

**BASE DE DATOS DE ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DE LOS TIPOS
DE TECNOLOGÍA Y VIRUS PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)**

Anexo 2.1. Base de datos para el Análisis de Varianza en función de E y NE.

Nº Datos	TIPO DE TECNOLOGÍA	LRV [Log10 REMOVAL]	RAIZ_LRV	Q (m ³ /d)	TRH (h)
1	E	2,81	1,68	28000	14,1
2	E	2,27	1,51	28000	14,1
3	E	3,69	1,92	28000	14,1
4	E	1,79	1,34	18,96	19
5	E	1,14	1,07	18,96	19
6	E	4,1	2,02	16,56	11,5
7	E	6,3	2,51	16,56	11,5
8	E	3,5	1,87	16,56	11,5
9	E	4,8	2,19	16,56	11,5
10	E	4,1	2,02	16,56	11,5
11	E	6,8	2,61	16,56	11,5
12	E	3,9	1,97	5700	10
13	E	5,5	2,35	5700	10
14	E	4,6	2,14	5700	10
15	E	5,7	2,39	5700	10
16	E	1,94	1,39	2,52	35
17	E	1,82	1,35	2,52	35
18	E	3,02	1,74	2,52	35
19	E	2	1,41	1800	36
20	E	3	1,73	1800	36
21	NE	1	1,00	345600	8
22	NE	0,7	0,84	345600	8
23	NE	0,6	0,77	345600	8
24	NE	0,9	0,95	345600	8
25	NE	0,4	0,63	345600	8
26	NE	0,1	0,32	345600	8
27	NE	0,1	0,32	345600	8
28	NE	1,4	1,18	345600	8
29	NE	0,7	0,84	345600	8
30	NE	0,7	0,84	345600	8
31	NE	0,2	0,45	345600	8

32	NE	0,9	0,95	345600	8
33	NE	0,3	0,55	345600	8
34	NE	0	0,00	345600	8
35	NE	0	0,00	345600	8
36	NE	1,2	1,10	345600	8
37	NE	1,2	1,10	345600	8
38	NE	0,8	0,89	345600	8
39	NE	0,7	0,84	345600	8
40	NE	0,7	0,84	345600	8
41	NE	0,3	0,55	345600	8
42	NE	0,3	0,55	345600	8
43	NE	0,3	0,55	345600	8
44	NE	1,67	1,29	24	27
45	NE	0,95	0,97	24	27
46	NE	1,5	1,22	345600	8
47	NE	2,91	1,71	150000	8
48	NE	3,64	1,91	150000	8
49	NE	2,73	1,65	150000	8
50	NE	3,22	1,79	150000	8
51	NE	2,68	1,64	65000	55
52	NE	3,48	1,87	65000	55
53	NE	2,91	1,71	65000	55
54	NE	3,78	1,94	65000	55
55	NE	3,08	1,75	15500	37
56	NE	4	2,00	15500	37
57	NE	3,03	1,74	15500	37
58	NE	4,24	2,06	15500	37
59	NE	1,6	1,26	1000	1440
60	NE	0,7	0,84	1000	1440
61	NE	0,6	0,77	1000	1440
62	NE	0,45	0,67	22,32	5,4
63	NE	0,2	0,45	750	240
64	NE	1	1,00	2730	240

Elaborado por: Mishell Limaico

Anexo 2.2. Base de datos para el Análisis de Varianza en función de MBR, LA, FP.

Nº DATOS	NOMBRE (TECNOLOGÍAS)	TIPO DE TECNOLOGÍA	LRV [Log10 REMOVAL]	RAIZ_LRV	Q (m ³ /d)	TRH (h)
1	MBR	E	1,79	1,34	18,96	19
2	MBR	E	1,14	1,07	18,96	19
3	MBR	E	4,1	2,02	16,56	11,5
4	MBR	E	6,3	2,51	16,56	11,5
5	MBR	E	3,5	1,87	16,56	11,5
6	MBR	E	4,8	2,19	16,56	11,5
7	MBR	E	4,1	2,02	16,56	11,5
8	MBR	E	6,8	2,61	16,56	11,5
9	MBR	E	3,9	1,97	5700	10
10	MBR	E	5,5	2,35	5700	10
11	MBR	E	4,6	2,14	5700	10
12	MBR	E	5,7	2,39	5700	10
13	MBR	E	1,94	1,39	2,52	35
14	MBR	E	1,82	1,35	2,52	35
15	MBR	E	3,02	1,74	2,52	35
16	MBR	E	2	1,41	1800	36
17	MBR	E	3	1,73	1800	36
18	FP	NE	1	1,00	345600	8
19	FP	NE	0,7	0,84	345600	8
20	FP	NE	0,6	0,77	345600	8
21	FP	NE	0,9	0,95	345600	8
22	FP	NE	0,4	0,63	345600	8
23	FP	NE	0,1	0,32	345600	8
24	FP	NE	0,1	0,32	345600	8
25	FP	NE	1,4	1,18	345600	8
26	FP	NE	0,7	0,84	345600	8
27	FP	NE	0,7	0,84	345600	8
28	FP	NE	0,2	0,45	345600	8

29	FP	NE	0,9	0,95	345600	8
30	FP	NE	0,3	0,55	345600	8
31	FP	NE	0	0,00	345600	8
32	FP	NE	0	0,00	345600	8
33	FP	NE	1,2	1,10	345600	8
34	FP	NE	1,2	1,10	345600	8
35	FP	NE	0,8	0,89	345600	8
36	FP	NE	0,7	0,84	345600	8
37	FP	NE	0,7	0,84	345600	8
38	FP	NE	0,3	0,55	345600	8
39	FP	NE	0,3	0,55	345600	8
40	FP	NE	0,3	0,55	345600	8
41	LA	NE	1,67	1,29	24	27
42	LA	NE	0,95	0,97	24	27
43	LA	NE	1,5	1,22	345600	8
44	LA	NE	2,91	1,71	150000	8
45	LA	NE	3,64	1,91	150000	8
46	LA	NE	2,73	1,65	150000	8
47	LA	NE	3,22	1,79	150000	8
48	LA	NE	2,68	1,64	65000	55
49	LA	NE	3,48	1,87	65000	55
50	LA	NE	2,91	1,71	65000	55
51	LA	NE	3,78	1,94	65000	55
52	LA	NE	3,08	1,75	15500	37
53	LA	NE	4	2,00	15500	37
54	LA	NE	3,03	1,74	15500	37
55	LA	NE	4,24	2,06	15500	37

Elaborado por: Mishell Limaico

Anexo 2.3. Base de datos para el Análisis de Varianza en función de NoV, Nov GI, NoV GII.

N° DATOS	VIRUS	LRV [Log10 REMOVAL]	RAIZ_LRV	Q (m ³ /d)	TRH (h)
1	NoV	1,14	1,07	18,96	19
2	NoV	1	1,00	345600	8
3	NoV	0,7	0,84	345600	8
4	NoV	0,6	0,77	345600	8
5	NoV	0,9	0,95	345600	8
6	NoV	0,4	0,63	345600	8
7	NoV	0,1	0,32	345600	8
8	NoV	0,1	0,32	345600	8
9	NoV	0,95	0,97	24	27
10	NoV	1,5	1,22	345600	8
11	NoV GI	2,27	1,51	28000	14,1
12	NoV GI	1,82	1,35	2,52	35
13	NoV GI	1,4	1,18	345600	8
14	NoV GI	0,7	0,84	345600	8
15	NoV GI	0,7	0,84	345600	8
16	NoV GI	0,2	0,45	345600	8
17	NoV GI	0,9	0,95	345600	8
18	NoV GI	0,3	0,55	345600	8
19	NoV GI	0	0,00	345600	8
20	NoV GI	0	0,00	345600	8
21	NoV GII	3,69	1,92	28000	14,1
22	NoV GII	4,1	2,02	16,56	11,5
23	NoV GII	6,8	2,61	16,56	11,5
24	NoV GII	4,6	2,14	5700	10
25	NoV GII	5,7	2,39	5700	10
26	NoV GII	3,02	1,74	2,52	35
27	NoV GII	1,2	1,10	345600	8
28	NoV GII	1,2	1,10	345600	8
29	NoV GII	0,8	0,89	345600	8
30	NoV GII	0,7	0,84	345600	8
31	NoV GII	0,7	0,84	345600	8
32	NoV GII	0,3	0,55	345600	8
33	NoV GII	0,3	0,55	345600	8
34	NoV GII	0,3	0,55	345600	8

Elaborado por: Mishell Limaico

ANEXO 3

**BASE DE DATOS DE ELIMINACIÓN VIRAL EN FUNCIÓN DE LOS
PARÁMETROS DE CONTROL, OPERACIÓN Y RENDIMIENTO PARA EL
ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ANOVA)**

Anexo 3. Base de datos para el Análisis de Componentes Principales en función de los parámetros de control, operación y rendimiento.

CAUDAL (m ³ /L)	TRH (h)	pH	DQOi (mg/L)	DQOf (mg/L)	STTi (mg/L)	STTf (mg/L)	LRV
150000	8	7,44	605	50,3	376	15,3	2,91
150000	8	7,44	605	50,3	376	15,3	3,64
150000	8	7,44	605	50,3	376	15,3	2,73
150000	8	7,44	605	50,3	376	15,3	3,22
65000	55	6,65	746	42,5	263	4,09	2,68
65000	55	6,65	746	42,5	263	4,09	3,48
65000	55	6,65	746	42,5	263	4,09	2,91
65000	55	6,65	746	42,5	263	4,09	3,78
15500	37	7,5	765	43,6	413	7,74	3,08
15500	37	7,5	765	43,6	413	7,74	4
15500	37	7,5	765	43,6	413	7,74	3,03
15500	37	7,5	765	43,6	413	7,74	4,24
1800	36	7,5	270	17	160	2,3	1,5
1800	36	7,5	270	17	160	2,3	1,6
1800	36	7,5	270	17	160	2,3	1,2
1800	36	7,5	270	17	160	2,3	0,9
1800	36	9	270	17	160	2,3	1,3
1800	36	9	270	17	160	2,3	1,6
1800	36	9	270	17	160	2,3	1,8
1800	36	9	270	17	160	2,3	0,4
1800	36	9	270	17	160	2,3	0,7
1800	36	9	270	17	160	2,3	0,8
1800	36	9	270	17	160	2,3	0,6
1800	36	9	270	17	160	2,3	0,4
1800	36	9	270	17	160	2,3	0,4
1800	36	9	270	17	160	2,3	1,4
1800	36	9	270	17	160	2,3	1,3
1800	36	9	270	17	160	2,3	1,1
1800	36	7	270	17	160	2,3	0,7
1800	36	7	270	17	160	2,3	1,7

1800	36	7	270	17	160	2,3	1,4
1800	36	7	270	17	160	2,3	0,7
1800	36	7	270	17	160	2,3	1,3
1800	36	7	270	17	160	2,3	1,6
1800	36	7	270	17	160	2,3	0,8
1800	36	7	270	17	160	2,3	1
1800	36	7	270	17	160	2,3	1,1
1800	36	7	270	17	160	2,3	0,9
1800	36	7	270	17	160	2,3	1,5
1800	36	7	270	17	160	2,3	1,8
1800	36	4	270	17	160	2,3	1,4
1800	36	4	270	17	160	2,3	2,3
1800	36	4	270	17	160	2,3	2,3
1800	36	4	270	17	160	2,3	1,3
1800	36	4	270	17	160	2,3	2,7
1800	36	4	270	17	160	2,3	2,5
1800	36	4	270	17	160	2,3	1,9
1800	36	4	270	17	160	2,3	3,1
1800	36	4	270	17	160	2,3	3,4
1800	36	4	270	17	160	2,3	1,6
1800	36	4	270	17	160	2,3	4,1
1800	36	4	270	17	160	2,3	4,5

Elaborado por: Mishell Limaico

ANEXO 4

**ANÁLISIS DE VARIANZA: TEST DE SHAPIRO WILK-MODIFICADO, TEST F
PARA IGUALDAD DE VARIANZAS, TEST NO PARAMÉTRICO DE KRUSKAL
WALLIS, TEST PARAMÉTRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES
BONFERRONI.**

Tabla 4.1 Análisis de Normalidad con Test de Shapiro Wilks- modificado**Shapiro-Wilks (modificado)**

TIPO DE TECNOLOGÍA	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
E	RAIZ_LRV	20	1.86	0.43	0.95	0.6096
NE	RAIZ_LRV	44	1.05	0.55	0.92	0.0241

Elaborado por: InfoStat, 2020

NOTA: Si $p > 0.05$ es normal, por lo tanto, la submuestra NE **no cumplen** con la normalidad.

Tabla 4.2 Test No Paramétrico de Kruskal Wallis.**Prueba de Kruskal Wallis**

Variable	TIPO DE TECNOLOGÍA	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
RAIZ_LRV	E	20	1.86	0.43	1.90	22.16	<0.0001
RAIZ_LRV	NE	44	1.05	0.55	0.95		

Elaborado por: InfoStat, 2020

NOTA: Si $p < 0.05$ significa que las **diferencias** entre las medianas **son significativas**.

Tabla 4.3 Análisis de Normalidad con Test de Shapiro Wilks- modificado**Shapiro-Wilks (modificado)**

NOMBRE (TECNOLOGÍAS)	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
FP	RAIZ_LRV	23	0.70	0.33	0.91	0.1167
LA	RAIZ_LRV	15	1.68	0.30	0.88	0.0848
MBR	RAIZ_LRV	17	1.89	0.46	0.93	0.4369

Elaborado por: InfoStat, 2020

NOTA: Si $p > 0.05$ es normal, por lo tanto, todas las submuestras cumplen con la normalidad.

Tabla 4.4 Análisis de la homogeneidad de varianza con Prueba F para igualdad de varianzas**Prueba F para igualdad de varianzas**

Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	Var(1)	Var(2)	F	p	prueba
RAIZ_LRV	{FP}	{LA}	23	15	0.11	0.09	1.14	0.8123	Bilateral
RAIZ_LRV	{FP}	{MBR}	23	17	0.11	0.21	0.51	0.1375	Bilateral
RAIZ_LRV	{LA}	{MBR}	15	17	0.09	0.21	0.44	0.1318	Bilateral

Elaborado por: InfoStat, 2020

NOTA: Si $p > 0.05$ es homogénea, por lo tanto, todas las submuestras **sí cumplen** con la homogeneidad de varianza.

Tabla 4.5 Test Paramétrico de Comparaciones Múltiples Bonferroni.

Test:Bonferroni Alfa=0.05 DMS=0.30418

Error: 0.1342 gl: 52

NOMBRE (TECNOLOGÍAS)	Medias	n	E.E.	
FP	0.70	23	0.08	A
LA	1.68	15	0.09	B
MBR	1.89	17	0.09	B

Elaborado por: InfoStat, 2020

NOTA: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 4.6 Análisis de Normalidad con Test de Shapiro Wilks- modificado.

Shapiro-Wilks (modificado)

VIRUS O BACTERIOGAFOS	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
NoV	RAIZ_LRV [Log10 REMOVAL]	10	0.81	0.31	0.89	0.2714
NoV GI	RAIZ_LRV [Log10 REMOVAL]	10	0.77	0.52	0.92	0.4661
NoV GII	RAIZ_LRV [Log10 REMOVAL]	14	1.37	0.73	0.85	0.0372

Elaborado por: Infostat, 2020

NOTA: Si $p > 0.05$ es normal, por lo tanto, la submuestra NoV GII **no cumplen** con la **normalidad**.

Tabla 4.7 Test No Paramétrico de Kruskal Wallis.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	VIRUS O BACTERIOGAFOS	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
RAIZ_LRV [Log10 REMOVAL]	NoV	10	0.81	0.31	0.89	4.22	0.1200
RAIZ_LRV [Log10 REMOVAL]	NoV GI	10	0.77	0.52	0.84		
RAIZ_LRV [Log10 REMOVAL]	NoV GII	14	1.37	0.73	1.10		

Elaborado por: InfoStat, 2020

NOTA: Si $p > 0.05$ significa que las diferencias entre las medias no son significativas.