

# INVESTIGACIÓN EN MARCHA

TESIS DOCTORAL  
CURSO 2023-24

**DOCTORADO EN  
MEDIO AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD**

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE



# OZONO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN EN AGUAS GRISES DE BAJA CARGA CONTAMINANTE EN SISTEMAS A PEQUEÑA ESCALA

Autor : Marco Díaz Huenchuan

Directora o director (es): Dra. María Belén Almendro Candel

Co-director: Dr. David Blanco Fernández (UTEM).

Tutor o tutora: Manuel Miguel Jordán Vidal

Departamento/Centro/Instituto: Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile (UTEM).



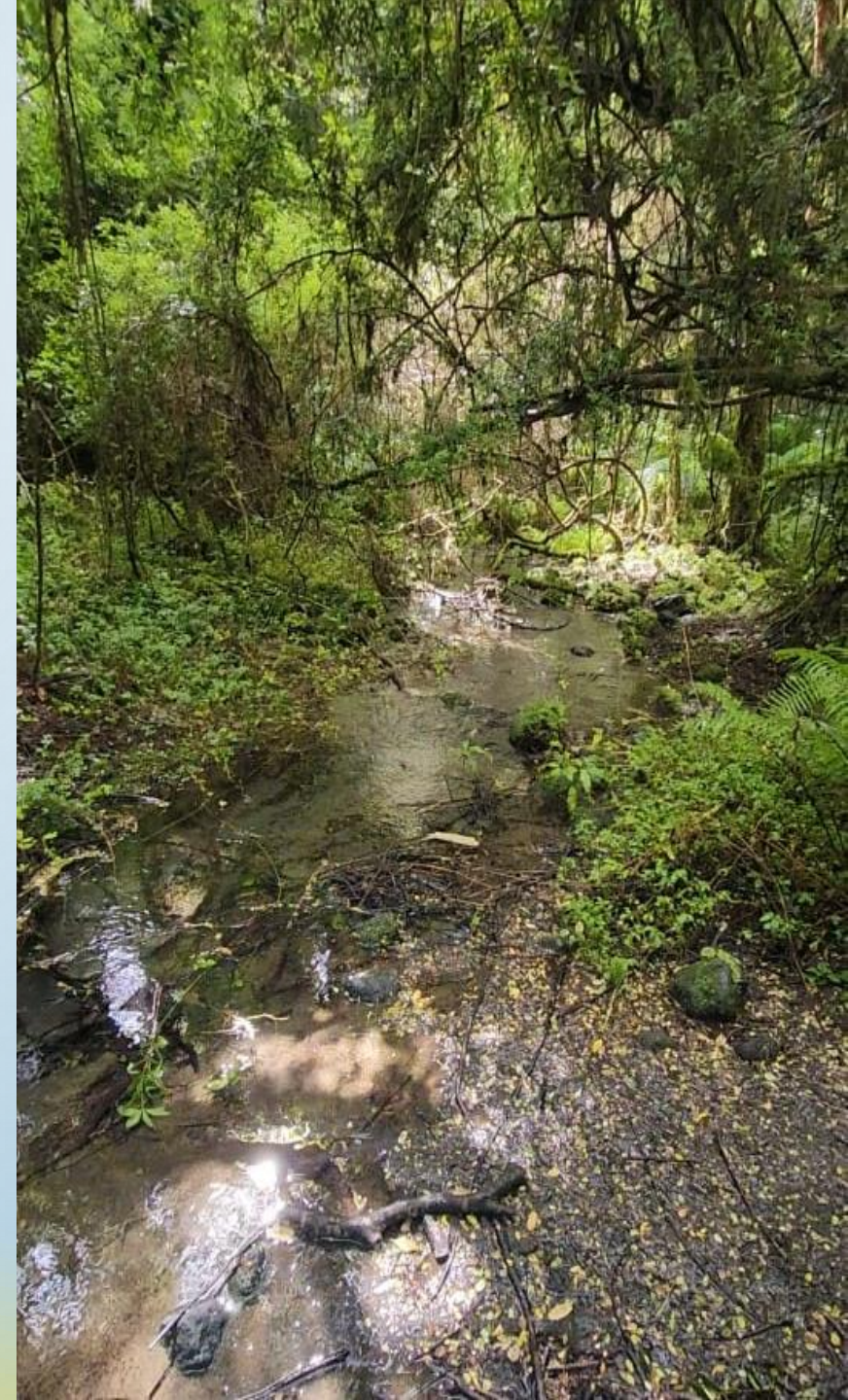
# INTRODUCCIÓN

## CONTEXTO

SOLO EL 2.5% DEL AGUA DE LA TIERRA ES DULCE Y SE ESPERA SU AGOTAMIENTO PARA 2050 DEBIDO AL AUMENTO DE LA DEMANDA (CRECIMIENTO POBLACIONAL, URBANIZACIÓN, CAMBIO CLIMÁTICO).

LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES SE HA VUELTO UNA PRIORIDAD EN ZONAS CON ESTRÉS HÍDRICO; EN USOS COMO RIEGO, DESCARGA DE INODOROS, ETC.

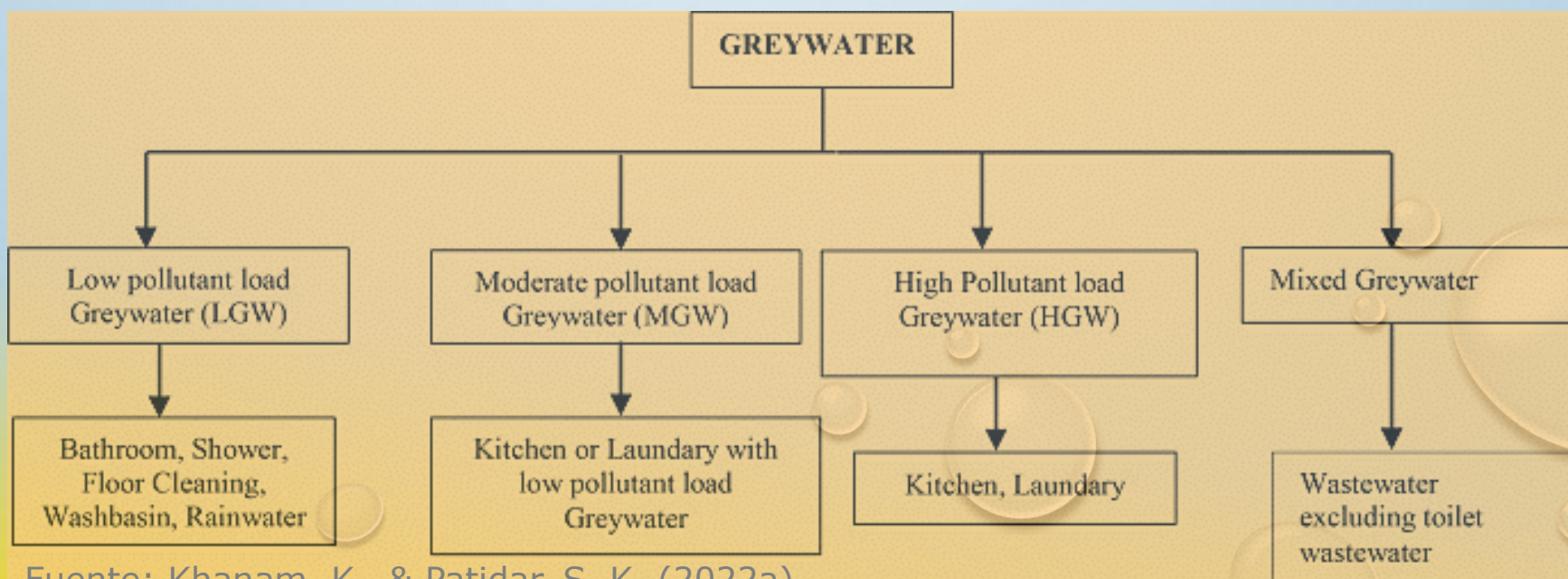
EL OZONO EN EL CONTEXTO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE Y LA DISPONIBILIDAD DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PRESENTA UNA CRECIENTE POPULARIDAD EN LOS ÚLTIMOS AÑOS.



# INTRODUCCIÓN

## AGUA GRIS

LAS AGUAS GRISES PROVIENEN DE ACTIVIDADES DOMÉSTICAS COMO EL LAVADO DE ROPA, PLATOS Y DUCHAS. EL AGUA GRIS DE BAJA CARGA TIENE NIVELES DE PATÓGENOS CONSIDERABLEMENTE MÁS BAJOS, DEFICIENTES EN MATERIA ORGÁNICA, DEBIDO A QUE NO HAY APORTES DE COCINA.



Fuente: Khanam, K., & Patidar, S. K. (2022a).

# INTRODUCCIÓN

## OZONO

VENTAJAS: POTENTE OXIDANTE Y DESINFECTANTE, EFICAZ EN LA REDUCCIÓN DE DQO, DBO, ETC., Y EN ELIMINACIÓN DE PATÓGENOS. ES MÁS EFICAZ QUE EL CLORO, SIN FORMACIÓN DE TOXINAS INDESEABLES.

GENERACIÓN Y EFICIENCIA: PRODUCIDO A PARTIR DE OXÍGENO, CON ALTA EFICACIA EN DESINFECCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS, ADAPTÁNDOSE A CONDICIONES DE PH. SE DESCOMPONE FÁCILMENTE EN OXÍGENO.

COMPUESTO	GENERAL	BACTERIAS	VIRUS	QUISTES
Ozono	++++	++++	+++	++
Cloro/hipoclorito	+++	++++	++	+
Dióxido cloro	+++	++++	++	+
Permanganato	++	+++	++	-

++++: muy bueno; +++: bueno; ++: regular; +: escaso; -: nulo

Fuente: Javier Doménech (2004).

	Mesófilos aerobios UFC/mL	Coliformes totales NMP/100mL	Coliformes fecales NMP/100mL
Antes de la ozonización	4.6 x 10 <sup>2</sup>	7.6 x 10 <sup>3</sup>	5.2 x 10 <sup>3</sup>
Después de la ozonización (τ = 5 minutos)			
Dosis (mg/L)	Cτ (mg.min/L)		
7	5	2.5 x 10 <sup>1</sup>	negativo
14	10	2.2 x 10 <sup>1</sup>	negativo
21	14	1.5 x 10 <sup>1</sup>	negativo

Fuente: Bataller, M., et al., (2005)

Log Inactivation,	Temperature, °C				
	≤1	5	10	15	20
2.0	0.90	0.60	0.50	0.30	0.25
3.0	1.40	0.90	0.80	0.50	0.40
4.0	1.80	1.20	1.00	0.60	0.50

Valores de Ct (mg·min/l) para inactivación de virus por ozono, pH 6 – 9

Fuente: USEPA WTM (2011)

Microorganismo	CT (mg/min/L) pH			
	6-7 Cloro libre	8-9 Cloramina	6-7 Dióxido de cloro	6-7 Ozono
<i>E. coli</i>	0.034-0.05	95-180	0.4-0.75	0.02
Polio virus	1.1-2.5	768-3740	0.2-6.7	0.1-0.2
Rotavirus	0.01-0.05	3800-6500	0.2-2.1	0.006-0.06
<i>Giardia lamblia</i> (quistes)	47-150	2200	26	0.5-0.6
<i>Giardia muris</i> (quistes)	30-630	1400	7.2-18.5	1.8-2.0
<i>Cryptosporidium parvum</i>	7200	7200*	78*	5-10*
<i>Cryptosporidium parvum</i> (1 °C)			200	10
<i>Cryptosporidium parvum</i> (22 °C)			120**	7**

Nota: temperatura: 25 °C; \* 1 log; \*\* 3.5 log

Fuente: Bataller, M., et al., (2010)

# INTRODUCCIÓN MICROORGANISMOS

LA EFICACIA ANTIMICROBIANA DEL OZONO YA SE HA ESTUDIADO PARA MUCHOS MICROORGANISMOS, INCLUIDAS BACTERIAS VEGETATIVAS, ESPORAS BACTERIANAS, VIRUS, LEVADURAS Y MOHOS. DADA LA GRAN VARIEDAD DE PATÓGENOS QUE PUEDEN COEXISTIR EN UNA MUESTRA DE AGUA, SON LOS INDICADORES FECALES LOS QUE PUEDEN ANALIZARSE DE MANERA MÁS RÁPIDA, SENCILLA Y ECONÓMICA.

# INTRODUCCIÓN

## PROBLEMA

- CONTAMINACIÓN:

LA PRESENCIA DE CONTAMINACIÓN EN LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPONE UNA AMENAZA PARA LA SALUD Y BIENESTAR DE LAS PERSONAS, PORQUE PUEDE SER EL ORIGEN DE UNA LARGA LISTA DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA, SIN MENCIONAR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

POR LO CUAL, ES CRUCIAL TRATAR LAS AGUAS SERVIDAS DE TODO TIPO ANTES DE REUTILIZARLAS PARA LOS PROPÓSITOS PROPUESTOS Y AUTORIZADOS.





# INTRODUCCIÓN

## OBJETIVOS

EVALUAR LA EFECTIVIDAD DEL OZONO ACUOSO EN LA DESINFECCIÓN DE AGUAS GRISES Y TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES.

OBTENER VALORES DE CONCENTRACIONES ÓPTIMAS, VOLÚMENES Y CAUDALES PARA DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE AGUAS GRISES.

RECOPILAR INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO Y PARÁMETROS DE EFICIENCIA EN LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES.



# MÉTODOS Y MATERIALES

PARA EL ESTUDIO, SE REVISÓ EXHAUSTIVAMENTE LA LITERATURA, INVESTIGACIONES, TESIS, REVISTAS Y LIBROS RELEVANTES SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES Y OZONO PARA TRATAMIENTO U/O DESINFECCIÓN.

1

Paso 1.  
Propiedades del ozono y método de inactivación de patógenos y contaminantes en sistemas de tratamiento.

2

Paso 2.  
Ozonización con generador de ozono y toma de lecturas de concentración para diferentes volúmenes.

3

Paso 3.  
Concentraciones para reducción de patógenos y tiempos de contacto para diferentes contaminantes.

4

Paso 4.  
Correspondencia a Ley de Henry y Transferencia de Masa.

5

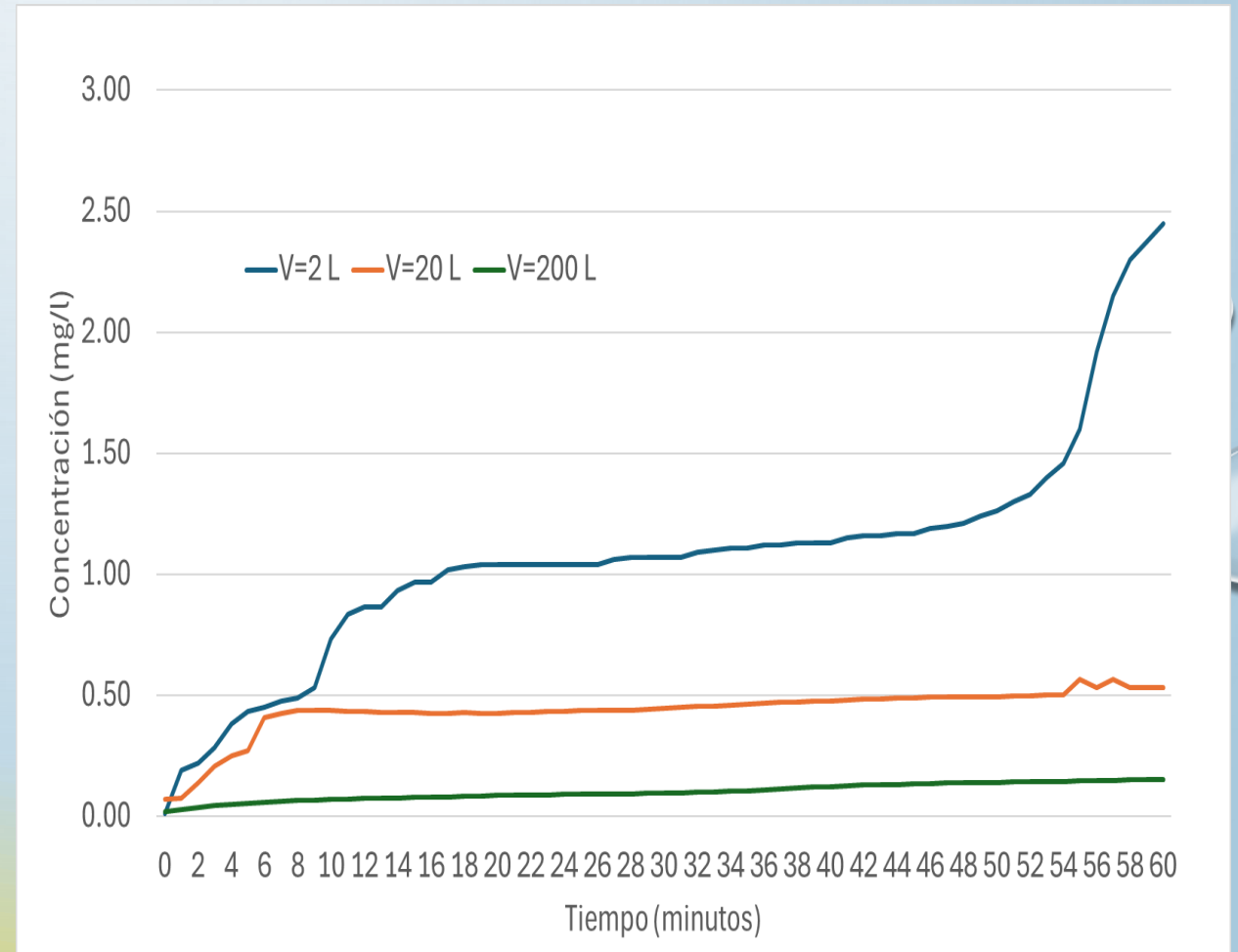
Paso 5.  
Efectividad en la eliminación coliformes y contaminantes presentes en las aguas grises.

# MÉTODOS Y MATERIALES



# DISCUSIÓN Y RESULTADOS

SON VARIOS LOS FACTORES QUE AFECTAN A LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE OZONO AL LÍQUIDO, PERO, TRAS UN TIEMPO DETERMINADO Y MANTENIENDO EL LÍQUIDO CUBIERTO POR UNA CAPA DE GAS A CONCENTRACIÓN CONSTANTE, SE PUEDE CONSIDERAR ALCANZADO UN EQUILIBRIO EN EL QUE LA CANTIDAD DE OZONO DISUELTO ES IGUAL A LA CANTIDAD DE OZONO QUE SE DESPRENDE. DE ESTA FORMA, MEDIANTE UN BURBUJEADO CONSTANTE, PODRÍAMOS CONSIDERAR ALCANZADO EL EQUILIBRIO EN MENOS DE 60 MINUTOS



# DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En equilibrio se calcula la Solubilidad de la Ley de Henry para determinar la cantidad de ozono disuelto en el agua, donde:

$$H^{cp}=0,00011 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}\text{Pa}^{-1}$$

...Recalculada a 13°C es

$$H^{cp}=0,00015 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}\text{Pa}^{-1}$$

Se aprecia un aumento de la solubilidad al bajar la temperatura.



Ahora recalculando la ley de Henry con el coeficiente de partición agua-aire  $H^{cc}=0,356$  (adimensional) y su inverso  $KH^{cc}=2.81$ , es coincidente con los valores de solubilidad y constantes apreciados en la literatura.

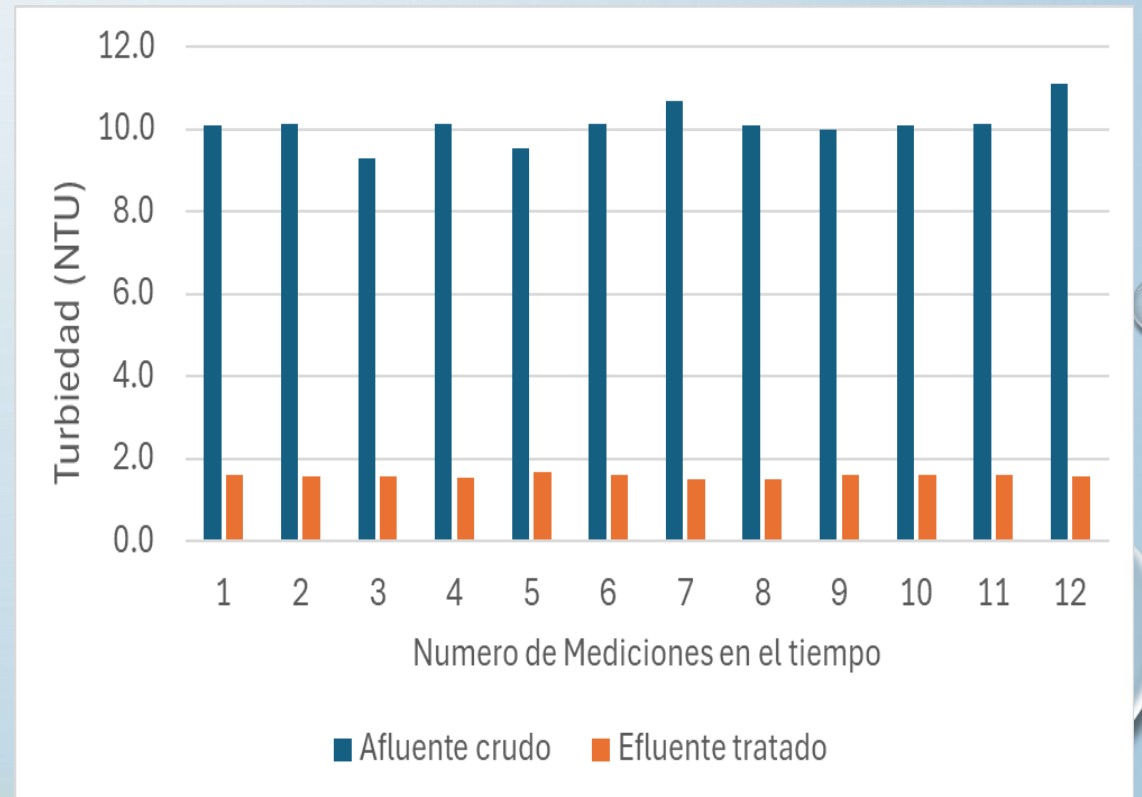
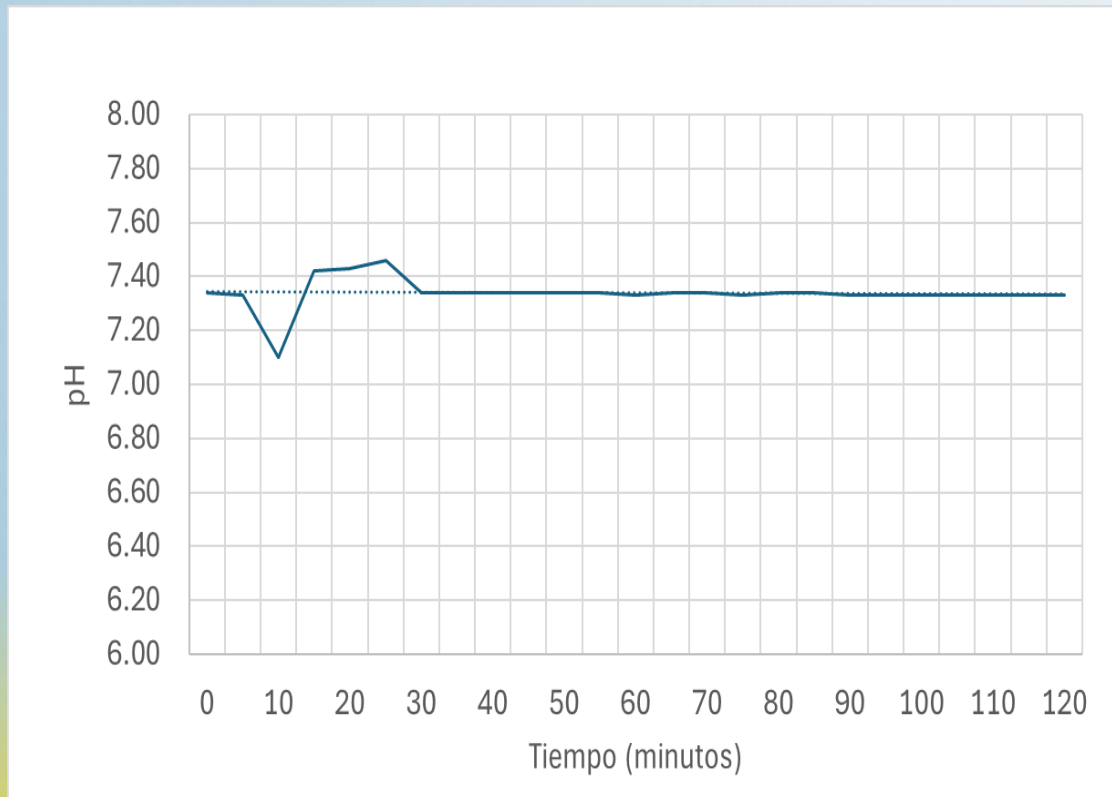


El valor de  $ca^*$  corresponde a 469 mV, el cual corresponde a 0.15 g/m<sup>3</sup> o mg/l de concentración en régimen estacionario y concentración molar de  $ca^*=0.00314$  mol/m<sup>3</sup> y despejando la concentración del gas del coeficiente de partición agua-aire, se obtiene  $cg=0,0088$  mol/m<sup>3</sup> o bien 0,42 g/m<sup>3</sup>, O UN  $Ct=12,6$  mg·min/l PARA 30 MINUTOS DE CONTACTO.

Con el monitoreo del sistema, durante la transferencia de masa del ozono al líquido y alcanzado el estado estacionario  $CL_{\infty}=CL^*=ca^*$ , se obtiene  $cg$ .



# DISCUSIÓN Y RESULTADOS



# DISCUSIÓN Y RESULTADOS

PARA PODER VERIFICAR LOS RESULTADOS MEDIDOS CON LOS INSTRUMENTOS Y, ADEMÁS, PODER OBTENER MÁS VALORES RELEVANTES PARA LA CALIDAD DEL AGUA, SE ANALIZAN MUESTRA EN LABORATORIO AUTORIZADO, EL CUAL REALIZA LOS ENSAYOS BAJO STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER ED.23RD 2017.

Parámetros	Uso urbano Norma	Riego para Usos Recreativos Norma		Riego ornamental	Agua gris cruda	Agua gris tratada
	Riego/Inodoros	Superficial	Subsuperficial			
pH	-	-	-	-	7,24	7,24
DBO <sub>5</sub> mgO <sub>2</sub> /l	10	30	50	70	10	<2
Sólidos suspendidos totales mg/l	10	30	50	70	33	<10
Cloro residual libre (mg/l)	0,5 ≤ x ≤ 2	0,5 ≤ x ≤ 2	-	-	-	-
Turbiedad UNT	5	10	-	30	4,8	1,7
Coliformes fecales NMP/100ml	10	200	1000	1000	2	<2

# CONCLUSIONES

**SE DEMUESTRA QUE EL OZONO ES EFECTIVO EN LA REDUCCIÓN DE MICROORGANISMOS Y TAMBIÉN EN CONTAMINANTES PRESENTES EN LAS AGUAS GRISES DE BAJA CARGA.**

**A PESAR DE QUE LA CONCENTRACIÓN DE SATURACION ALCANZADA EN AGUA NO ES MUY ALTA, EL TIEMPO QUE PUEDA ESTAR RETENIDO EL VOLUMEN DE AGUA, AUMENTA EL TIEMPO DE CONTACTO, LO QUE SE TRADUCE EN UN VALOR DE CT MUY ALTO. SE CONSIDERA MINIMO 60 MINUTOS DE OZONIZACIÓN, 40 MINUTOS DE RETENCIÓN Y UN VOLUMEN NO MAYOR A 200 LITROS.**

**SE REDUCEN LA TURBIEDAD Y SOLIDOS SUSPENDIDOS EN MAS DE UN 60% Y LA DBO<sub>5</sub> EN UN 80%. A PESAR DE CONTENER POCOS COLIFORMES FECALES POR SER AGUA GRIS DE BAJA CARGA PROVENIENTE DE LAVAMANOS, SE REDUCEN A VALORES INSIGNIFICANTES.**

# ACCIONES A FUTURO

SEGUIR INVESTIGANDO LA EFICIENCIA EN LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS GRISES DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS, COMO LO PUEDEN SER AGUAS DE MEDIA CARGA PROVENIENTE DE DUCHAS O MAQUINAS LAVADORAS DE ROPA.



ESTUDIAR OTROS USOS DEL OZONO ACUOSO COMO, POR EJEMPLO, LA DESINFECCIÓN MICROBIOLÓGICA DE SUELOS EN CULTIVOS ANTES DE LA SIEMBRA, SEGÚN LO CONTEMPLADO EN EL PLAN DE INVESTIGACIÓN





**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

# INVESTIGACIÓN EN MARCHA

TESIS DOCTORAL  
CURSO 2023-24



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

**DOCTORADO EN  
MEDIO AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD**

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE