



Desinfección del Agua

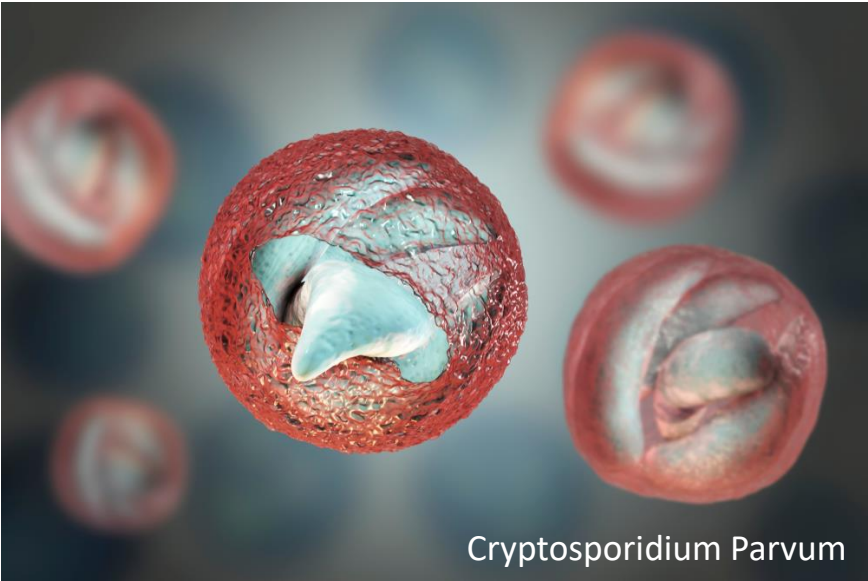
Para Consumo Humano

Introducción

¿Qué es desinfección del agua?

- La desinfección del agua para uso humano tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua. (Wiki)
- Actividad que consiste en eliminar gran parte de los microorganismos patógenos que viven en las superficies del dispositivo **y/o cuerpos de agua**. (OMS)
- Tiene como objetivo la eliminación **y/o** la desactivación de microbios patógenos.

Patógenos transmitidos por el agua



Tipo Enfermedad	Acción	Patógenos Causantes	
Gastrointestinal	Ingestión (bebida)	Bacterias	<ul style="list-style-type: none">• Campylobacter spp.• E. Coli.• Salmonella spp.• Shigella spp.• Vibrio Cholerae• Yersinia spp.
		Virus	<ul style="list-style-type: none">• Adenovirus• Astrovirus• Enterovirus• Hepatitis A• Hepatitis E• Rotavirus
		Protozoos/Helminos	<ul style="list-style-type: none">• Cryptosporidium Parvum• Dracunculus Medinensis• Entamoeba Histolytica• Giardia Intestinalis• Toxoplasma Gondi
Respiratorio	Inhalación/aspiración (aerosoles)	<ul style="list-style-type: none">• Legionella Pneumophila• Micobacteria (no tuberculosa)• Naegleria Fowleri• Diversas infecciones virales• Otros agentes en situaciones de alta exposición	
Piel, membrana mucosa, heridas, ojos	Contacto (baño)	<ul style="list-style-type: none">• Acanthamoeba spp.• Aeromonas spp.• Micobacteria (no tuberculosa)• Pseudomona aeruginosa• Schistosoma Mansoni	

Métodos de Desinfección del Agua

Métodos Físicos

Procesos físicos a los cuales es sometida el agua para eliminar o inactivar los patógenos:

- Luz ultravioleta
- Rayos gamma/Radiación electromagnética
- **Sonido**
- Calor
- Sedimentación/Filtración (purificador)
- **Fotocatálisis (físico-químico)**

Métodos Químicos

Aplicación de un componente químico en el agua para destruir los patógenos:

- Halógenos (Cloro, Yodo, Bromo, Flúor)
- Metales (Cobre, Plata)
- Ozono
- Permanganato
- Sales de Amonio
- Peróxido de hidrógeno

Métodos Físicos

Desinfección del Agua

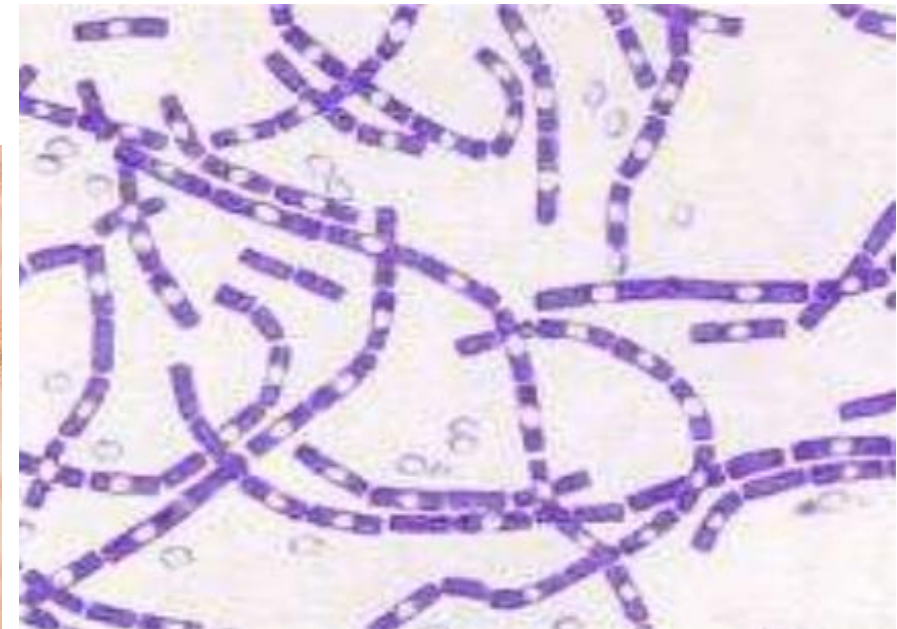
Procesos de Sedimentación



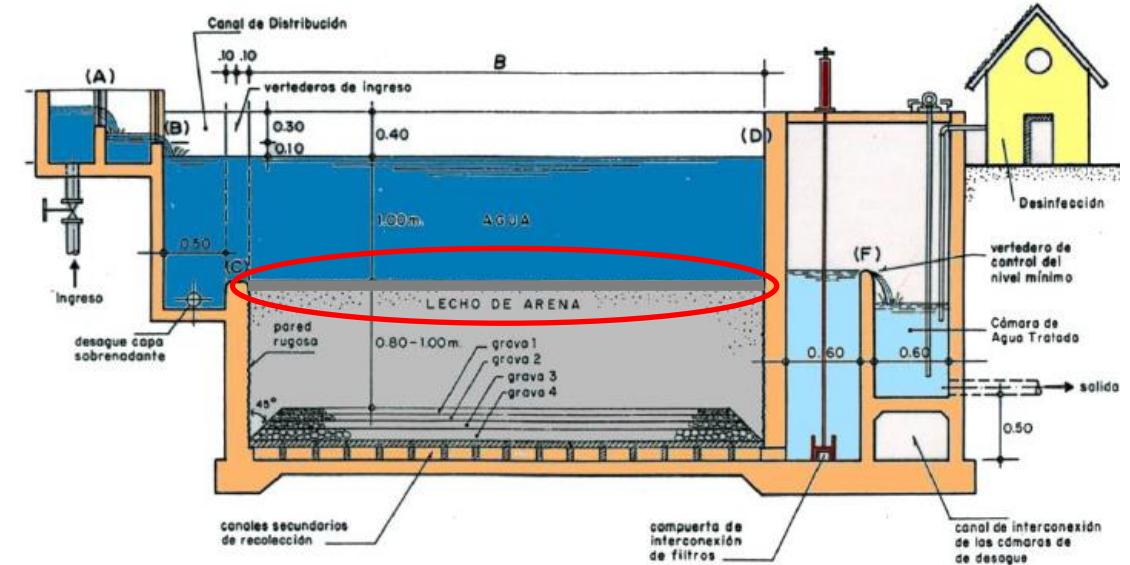
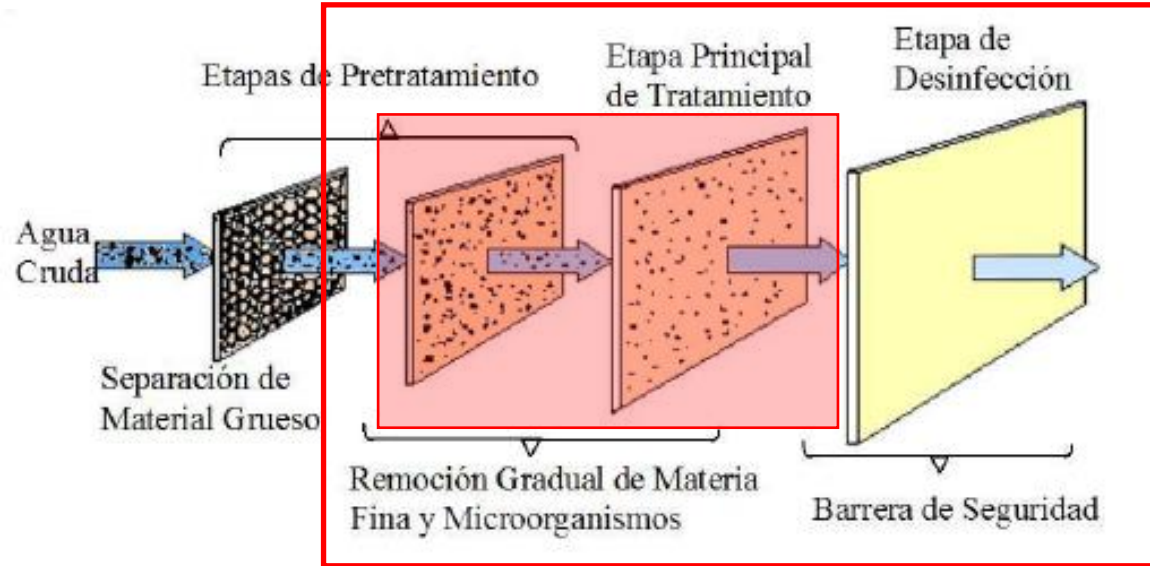
Ciertos patógenos pueden ser removidos mediante la sedimentación...

..., como ser:

- Bacterias esporuladas
- Helmintos



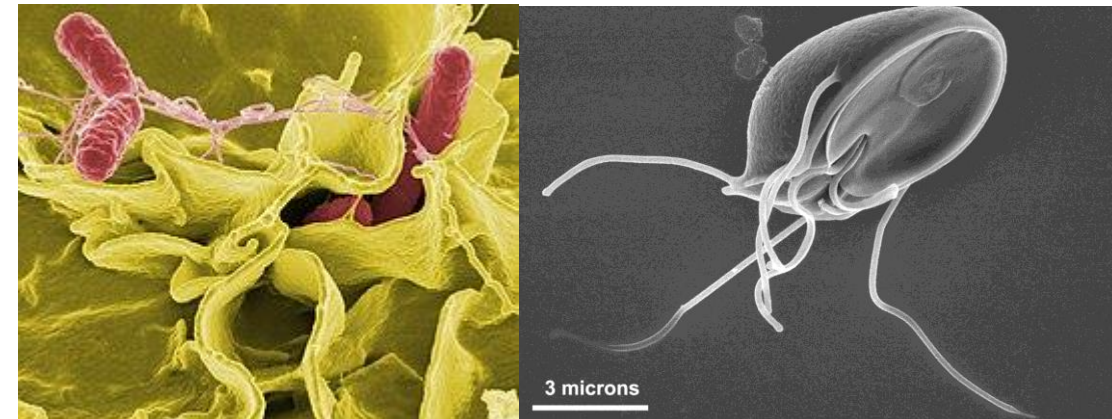
Procesos de Filtración



Con el desarrollo de la capa biológica remueve patógenos de gran tamaño con una eficiencia entre 96% a 98%

Patógenos que remueve:

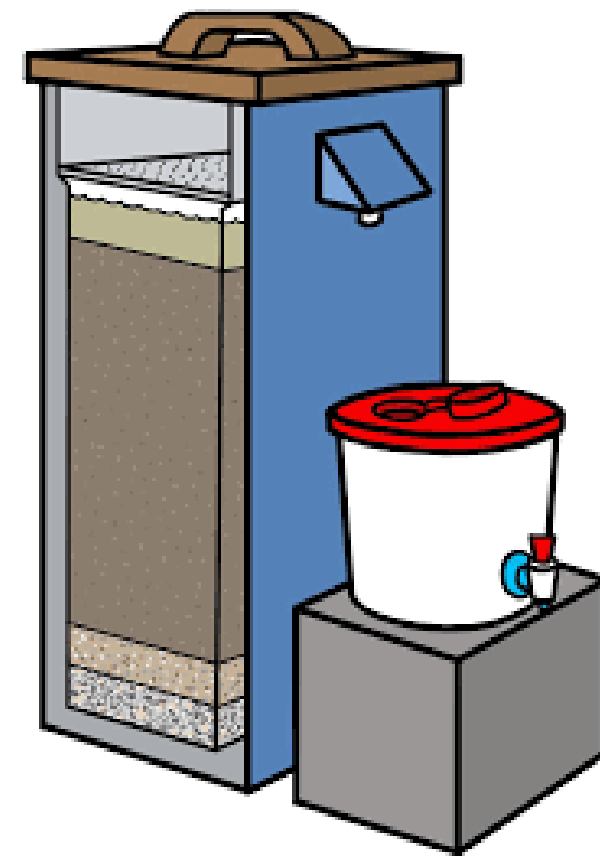
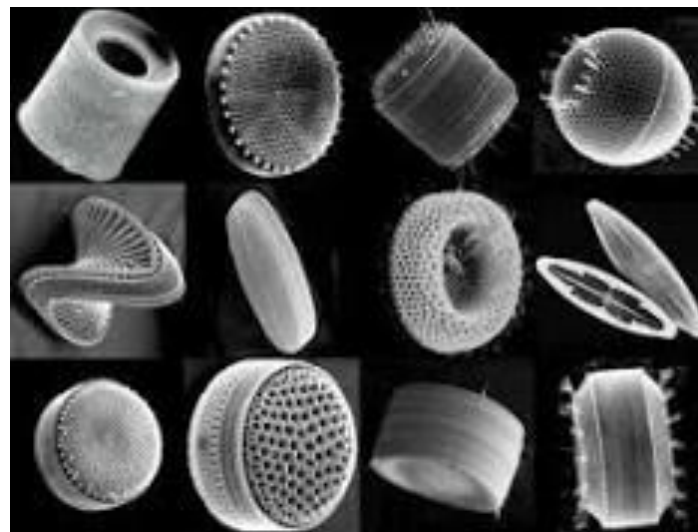
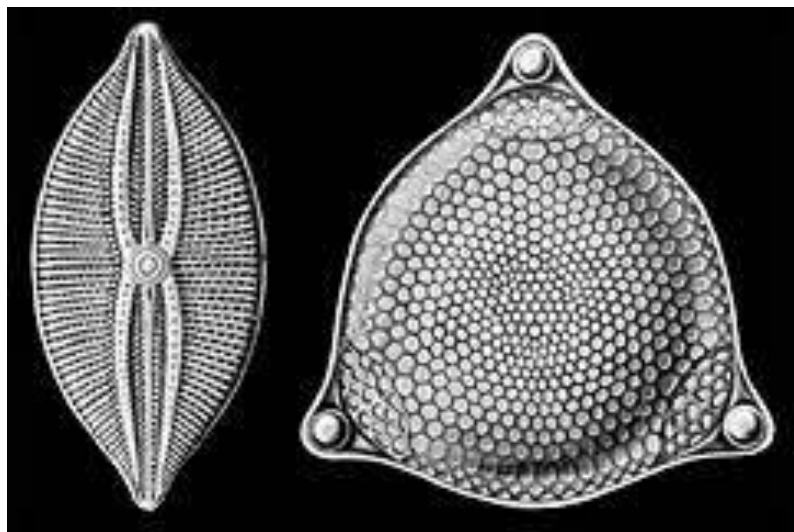
- Bacterias esporuladas
- Protozoos
- Helmintos



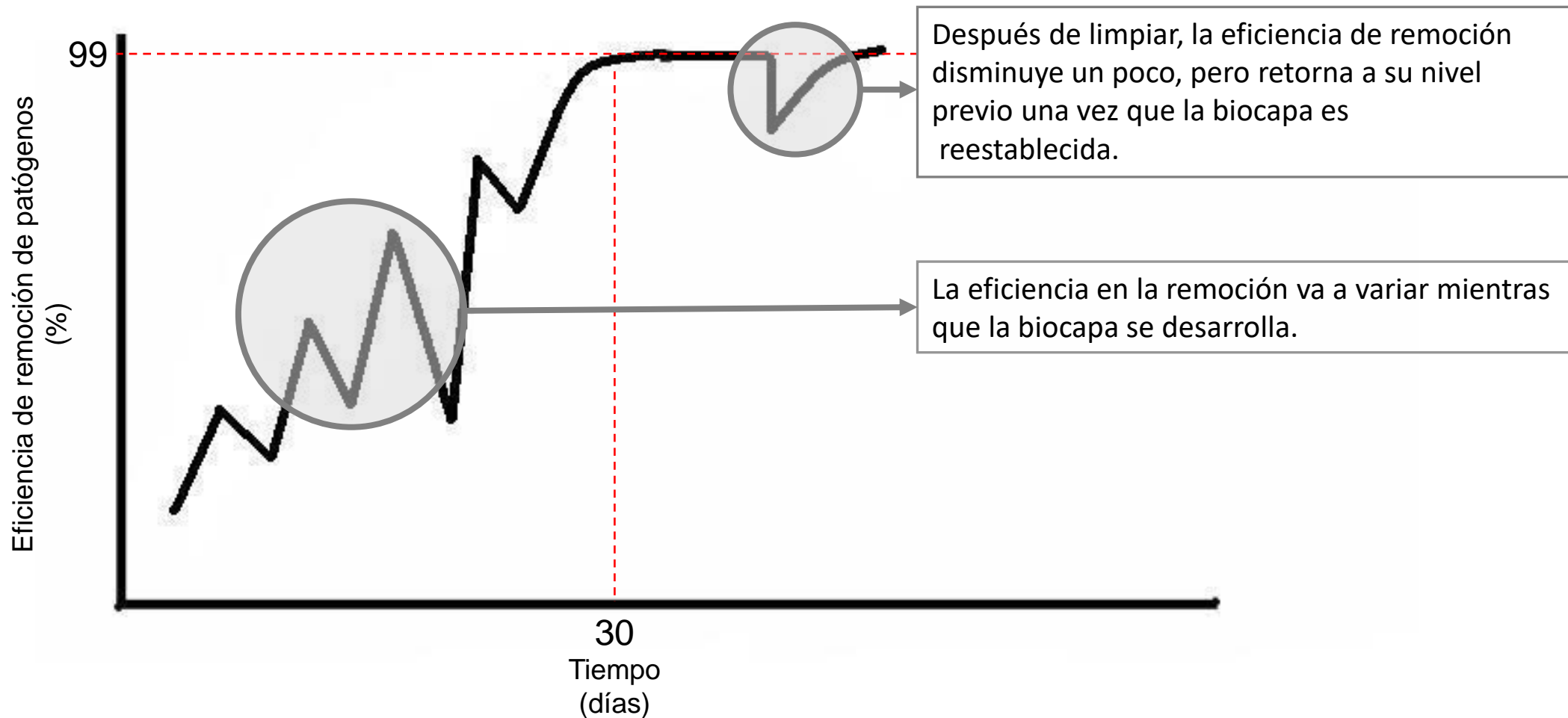
Desarrollo de la Biocapa por CAWST (www.cawst.org)

Tipos de Microorganismos

1. Bacteria – microorganismos primarios
2. Diatomeas – forma de bacilo o coco

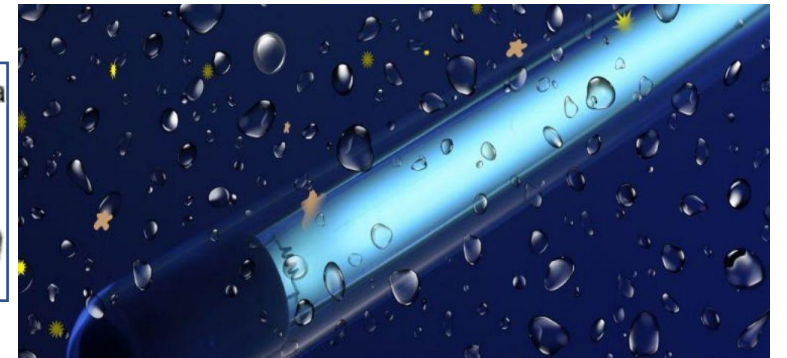
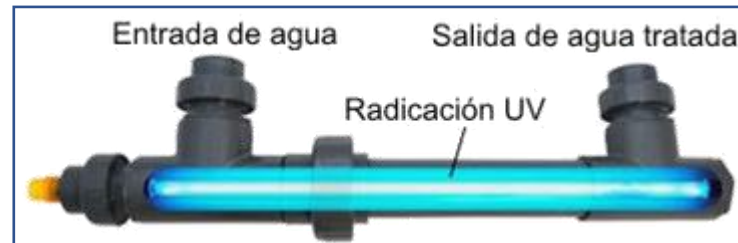
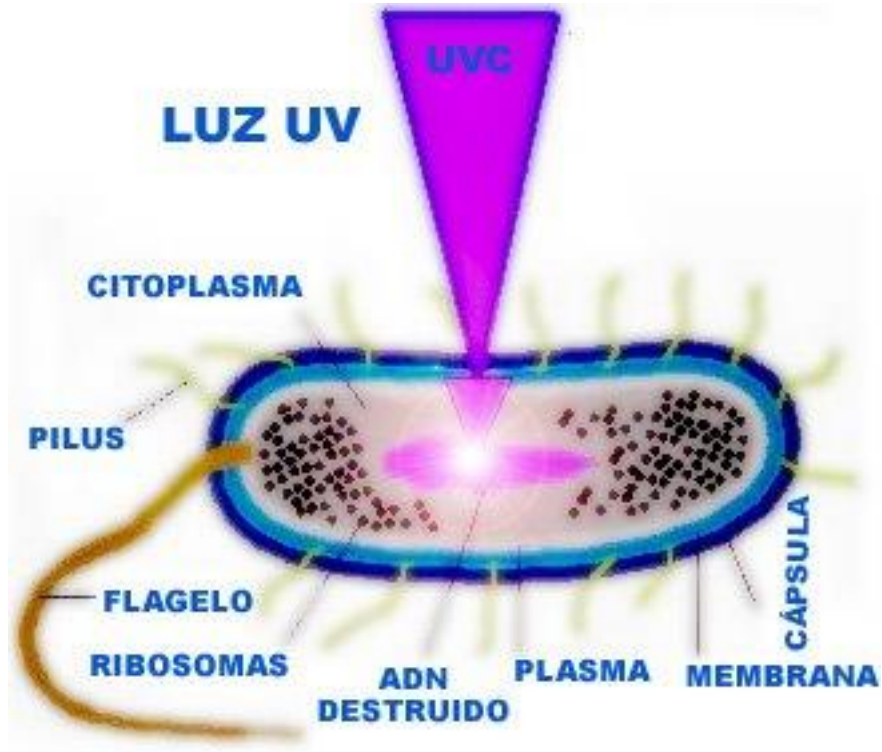


Eficiencia de la Biocapa



Radiación Electromagnética (Luz Ultravioleta, Rayos X, Rayos Gamma)

- Inhibe, inactiva (o desactiva) los patógenos destruyendo su sistema reproductivo



Desinfección por Calor

- El mejor método para eliminar las bacterias del agua y poder beberla.
- Recomendable para la desinfección a nivel domiciliario, aun si presenta contenido de materia orgánica.
- Para garantizar su desinfección, se recomienda ebullición vigorosa de todo el líquido durante uno a tres minutos.
- Buena practica, almacenar el agua en el mismo recipiente en el que se hirvió.
- El elevado costo de este proceso más lo poco práctico en aplicarlo a grandes volúmenes de agua, lo limita solo a nivel casero.
- No proporciona protección contra la reinfección.



Desinfección por Calor

Elimina los siguientes patógenos:

Patógeno	Temperatura/Tiempo	Notas
Vibrio cholerae	55 °C después de 15 minutos	descubierto por Kitasato Shibasaburo (1889)
Bacillus typhosus	56 °C después de 10 minutos	descubierto por George Miller Sternburg (1887)
Bacillus coli (E. coli)	60 °C después de 10 minutos	descubierto por Friedrich Loeffler (1886)
Dysentery bacilli	60 °C después de 10 minutos	descubierto por Runge & O'Brien (1924)
Streptococci	60 °C después de 30 minutos	descubierto por Ayers & Johnson (1918)

Patógeno	Tiempo	Temperatura
SARS-CoV-2	indetectable en una superficie después de 14 días	A 22 °C
	indetectable en una superficie después de 2 días	A 37 °C
	indetectable en una superficie después de 30 minutos	A 56 °C
	indetectable en una superficie después de 5 minutos	A 70 °C

Métodos Químicos

Desinfección del Agua

Halógenos

- Son muy reactivos produciendo la reacción redox (red: reducción, ox: oxidación)
- Redox: es un intercambio de electrones en 2 o más elementos del compuesto.
- El elemento que se oxida gana oxígeno (equivalente a perder electrones), y el elemento que se reduce pierde oxígeno (equivalente a ganar electrones)
- Las reacciones redox pueden ser:
 - Rápidas: estas generan mucha calor por su acción acelerada
 - Lentas: estas no generan mucha calor

- Halógenos: en griego, "formadores de sales".
- Los Halógenos se encuentran situados en el grupo 17 de la tabla periódica.
- Los elementos incluidos dentro de este grupo son: flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br), yodo (I) y astato (At).

1 1A 2 2A 13 3A 14 4A 15 5A 16 6A 17 7A 18 0

H Li Be B C N O F Ne

Na Mg Al Si P S Cl Ar

K Ca Sc Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn Ga Ge As Se Br Kr

Rb Sr Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I Xe

Cs Ba Lu Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po At Rn

Fr Ra Lr Rf Db Sg Bh Hs Mt Uun Uuu Uub Uuq Uuh Uuo

La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb

Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No

17 VIIA

F

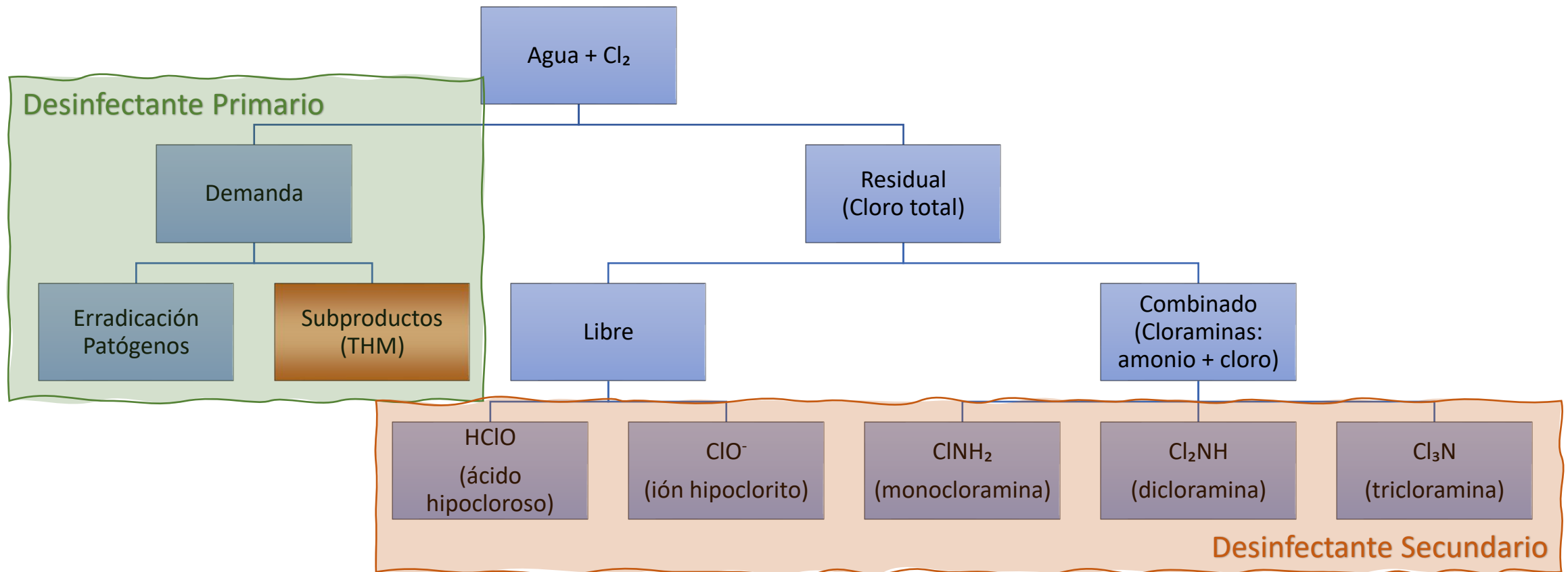
Cl

Br

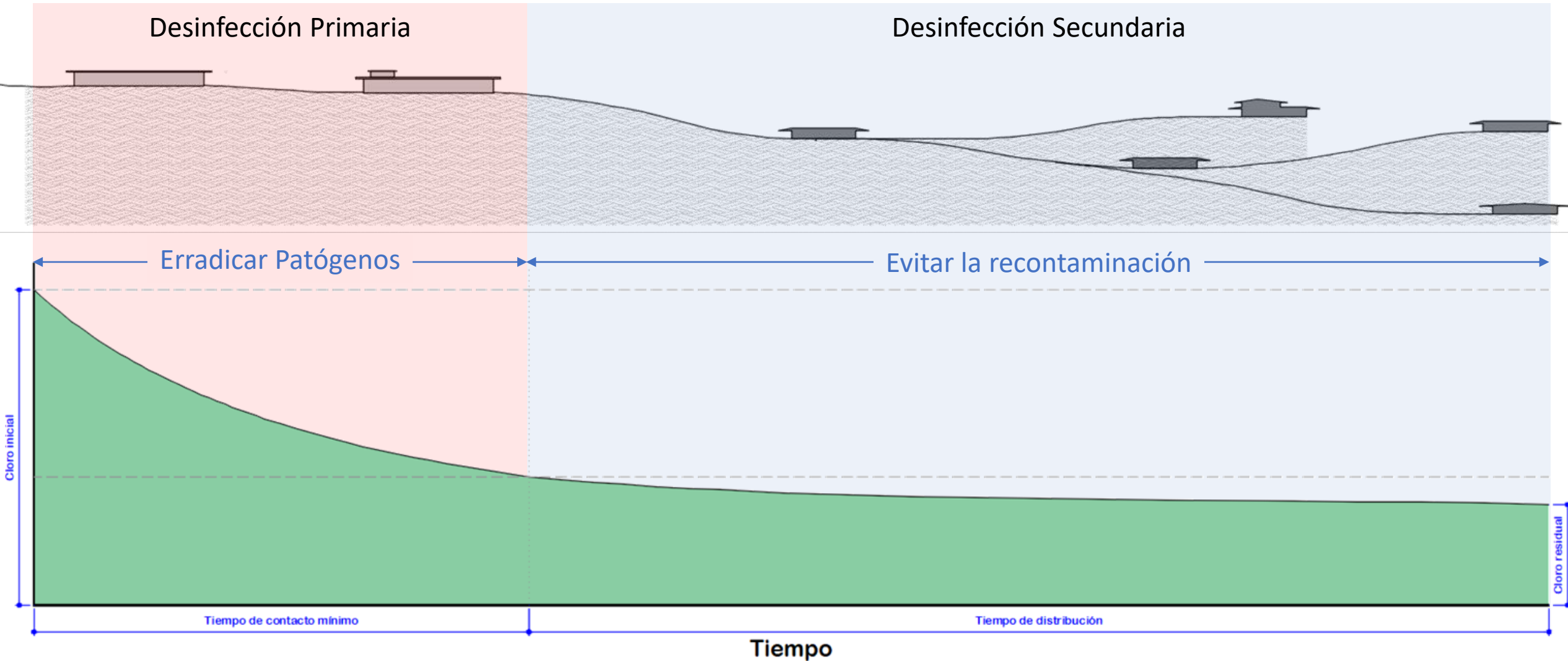
I

At

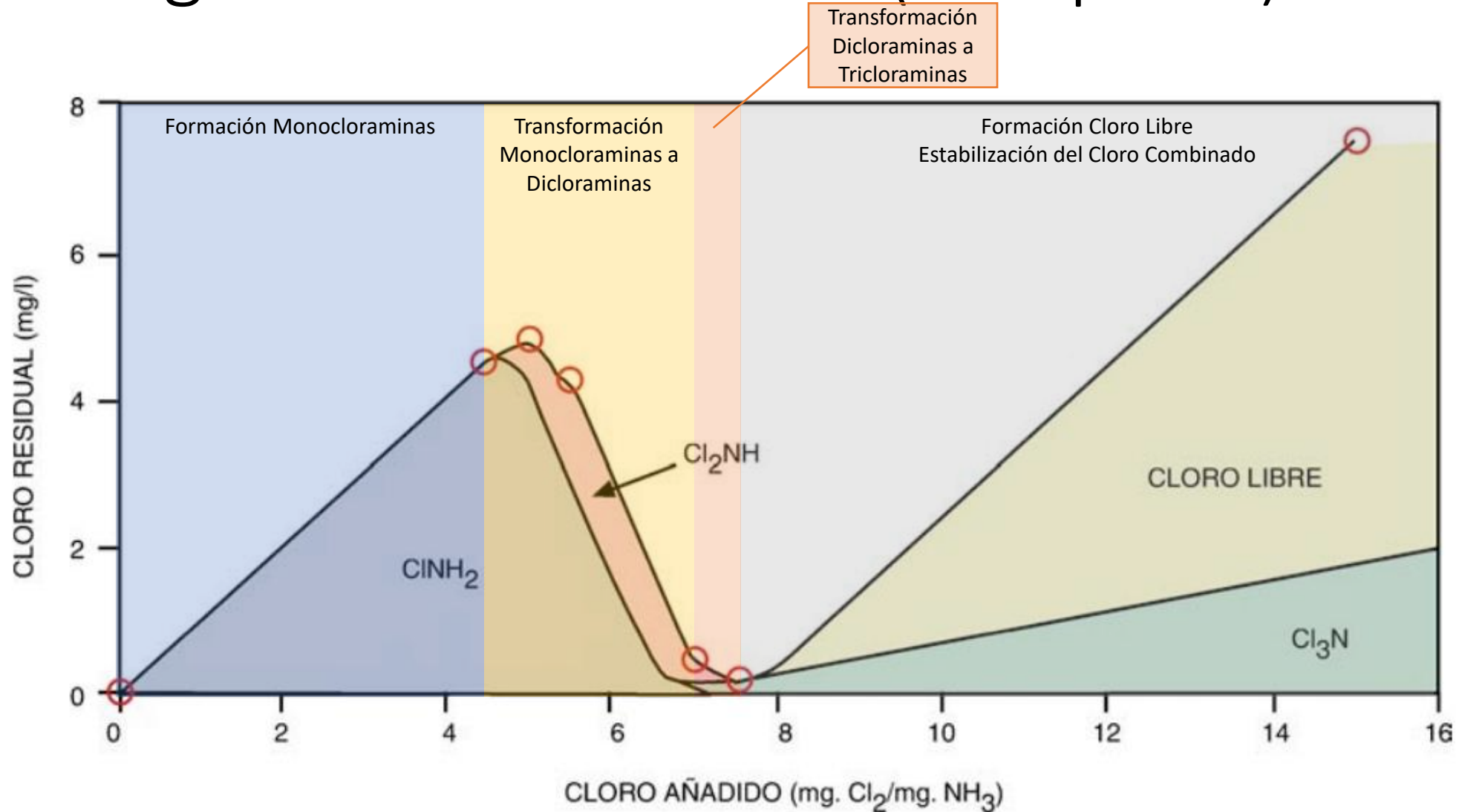
Halógenos: Reacciones del Cloro en el Agua



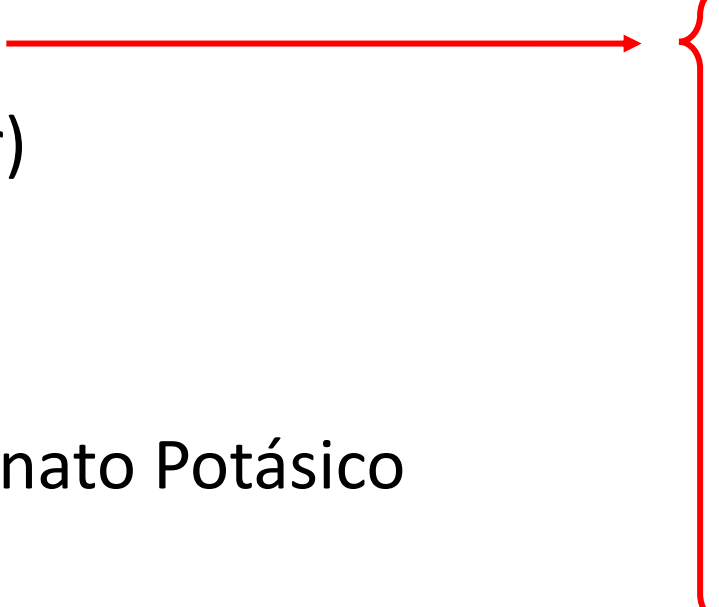
Desinfección Primaria y Secundaria



Halógenos: Punto Crítico (o Ruptura)



Diversos Productos Redox

- Cloro (Cl)
 - Bromo (Br)
 - Yodo (I)
 - Ozono
 - Permanganato Potásico
- 
- Hipoclorito de Calcio/Sodio
 - Dióxido de Cloro
Clorito de Sodio + Ácido Clorhídrico
($\text{NaClO}_2 + \text{HCl}$)
 - Cloraminas
Amoníaco + Ácido Hipocloroso
($\text{NH}_3 + \text{HClO}$)

Diversos Productos Redox

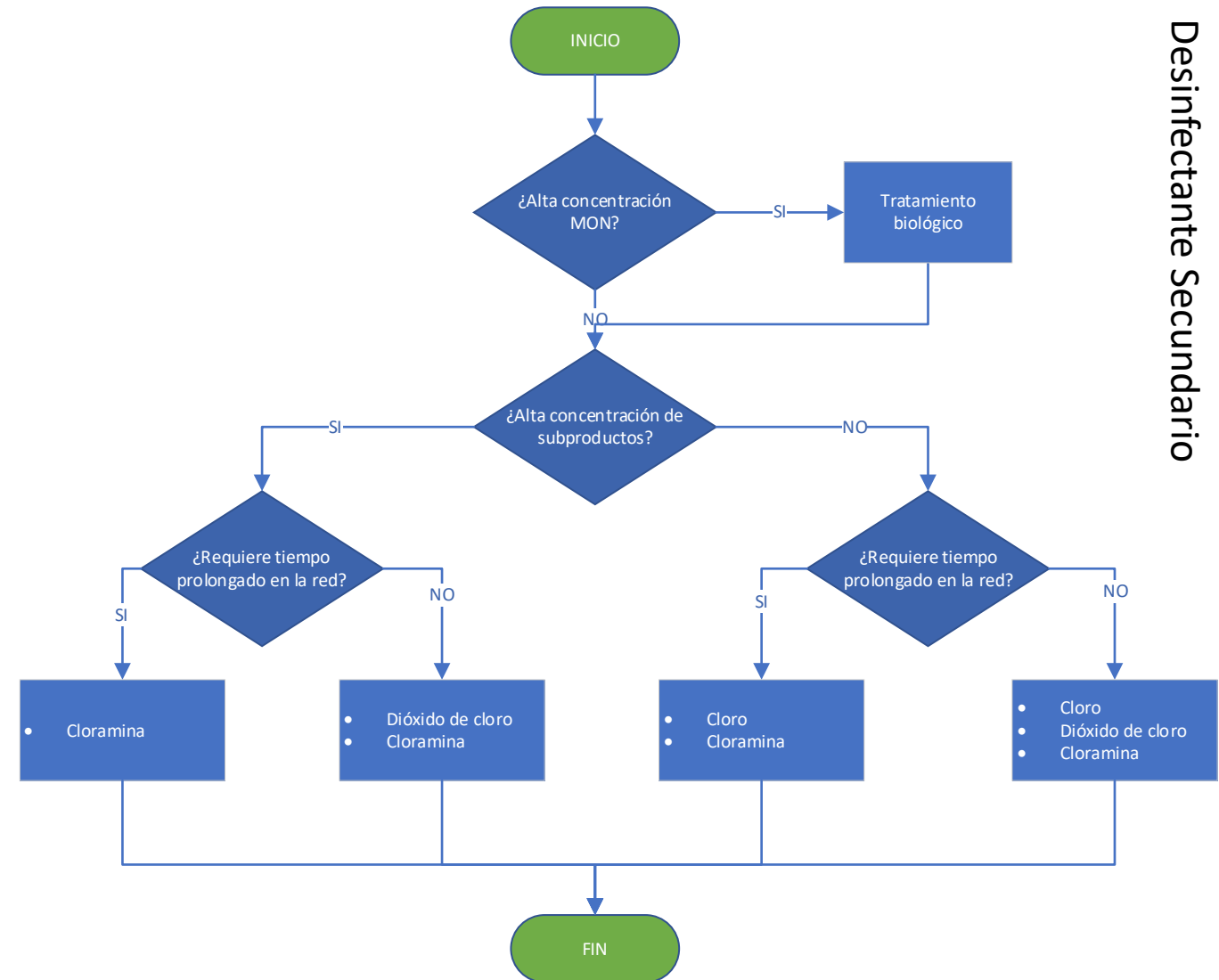
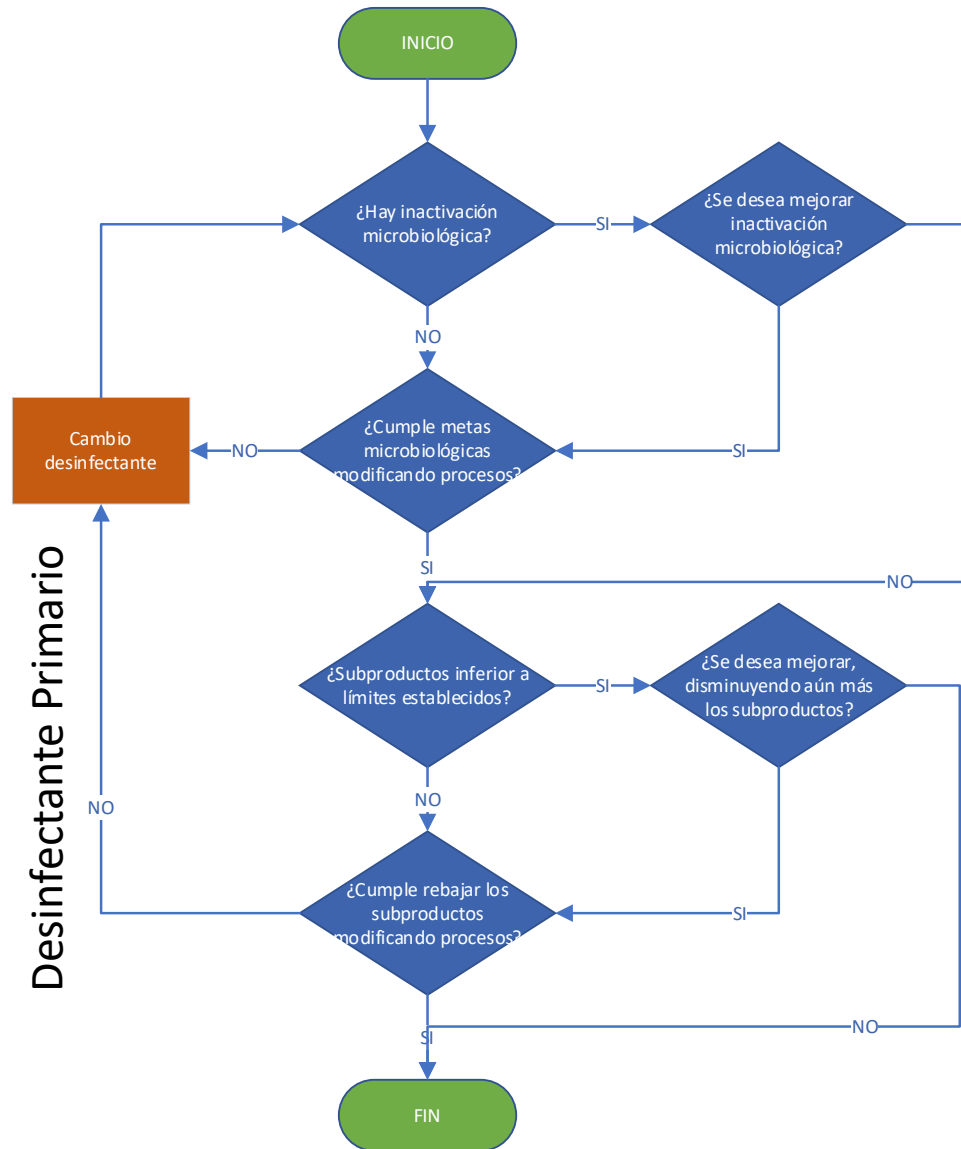
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISTINTOS PRODUCTOS EMPLEADOS EN LA OXIDACIÓN/DESINFECCIÓN		
PRODUCTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CLORO	<ul style="list-style-type: none"> Más utilizado y conocido. Oxida al hierro, sulfuros y algo más limitado al manganeso. (útil para la eliminación de estos compuestos en el proceso de filtración - precloración) Lo anterior, mejora la reducción del color, olor y sabor. A la vez, mejora los procesos de coagulación y filtración. Es muy efectivo como biocida. Proporciona efecto residual. Elimina el amonio, previa transformación en cloramina. 	<ul style="list-style-type: none"> Forma subproductos halogenados (THM). Por lo anterior, en ciertos casos. puede provocar problemas de olor y sabor. El cloro gas es peligroso y corrosivo. Por lo anterior, se requiere instalaciones para neutralizar las fugas de gas. Con el hipoclorito sódico, se degrada en el tiempo y al estar sometido a la luz. Es menos efectivo a pH alto.
DIÓXIDO DE CLORO	<ul style="list-style-type: none"> Oxida con facilidad al hierro, manganeso y sulfuros. No genera subproductos halogenados (si está bien generado). Es más efectivo que el cloro y las cloraminas para inactivación de virus: Cryptosporidium y Giardia. Mejora los procesos de coagulación y filtración. Elimina olores y sabores procedentes de algas y compuestos fenólicos. Su efectividad está poco influenciada por el pH. Proporciona efecto residual. 	<ul style="list-style-type: none"> Forma otros subproductos como cloritos y cloratos. La generación no apropiada, como exceso de cloro, puede formar subproductos halogenados. No reacciona con el amoníaco, por lo cual no lo elimina. El gas es explosivo en una concentración del 10% en el aire. Por lo anterior, tiene que ser generado in situ.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISTINTOS PRODUCTOS EMPLEADOS EN LA OXIDACIÓN/DESINFECCIÓN		
PRODUCTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CLORAMINAS	<ul style="list-style-type: none"> No forman, como hace el cloro, subproductos clorados. Más estables como residual, especialmente la mono cloramina, y de mayor duración en el tiempo que el cloro y el dióxido de cloro. No reaccionan con la mayor parte de compuestos orgánicos que suelen causar olores y sabores. Protegen la red en abastecimientos extensos contra recrecimientos bacterianos. Son fáciles de preparar. 	<ul style="list-style-type: none"> No oxidan al hierro, manganeso y sulfuros. Tienen menor poder de desinfección que el cloro, dióxido de cloro u ozono. El exceso de amoníaco puede originar en la red problemas de nitrificación. Las mono cloramina es menos efectiva como desinfectante a pH alto. Tienen que ser, generalmente, generadas in situ. Puede originar algunos subproductos como ácido dicloro acético y cloruro de cianógeno.
OZONO	<ul style="list-style-type: none"> Oxida al hierro, manganeso y sulfuros. Es más efectivo que el dióxido de cloro y cloraminas en la inactivación de virus: Cryptosporidium y Giardia. Elimina y controla los problemas de olor, sabor y color. No forma subproductos halogenados. Requiere una concentración y tiempo de contacto menor para su labor de desinfección. Su efectividad no está influida por el pH. 	<ul style="list-style-type: none"> Puede producir subproductos, como bromatos, aldehídos y ácidos. Requiere gran cantidad de energía en su generación, así como equipos más costosos. Es muy corrosivo y tóxico. Puede formar óxido nítrico y ácido nítrico que causaran corrosiones en los equipos. No proporciona efecto residual en la red. Desaparece con rapidez del agua, especialmente a altos pH y temperatura. Tiene que ser generado in situ.
PERMANGANATO POTÁSICO	<ul style="list-style-type: none"> Oxida y elimina materias orgánicas precursoras de subproductos. Oxida sustancias que causan problemas de sabor y olor. Es fácil de aplicar en cuanto a las instalaciones requeridas. No forma los subproductos de los demás oxidantes. 	<ul style="list-style-type: none"> Puede teñir el agua de un ligero color rosado si se dosifica en exceso. Requiere largo tiempo de contacto. Es tóxico e irritante a la piel. No es un gran desinfectante.

Diversos Productos Redox

Producto	Nivel de Desinfección	Oxida Hierro (Fe), Sulfuros (S^{2-}), Manganeso (Mn) (* mejora color, olor, sabor * mejora coagulación, filtración)	Efecto Residual	Elimina Amonio (NH_4^+)	Subproductos				Instalaciones especializadas	Efectividad pH alto	Observaciones
					Trihalometanos (THM) (produce olor y sabor)	Cloritos, Cloratos	Ácido dicloro acético, Cloruro de cianógeno	Bromatos, aldehídos, ácidos			
Cloro	Alto	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	Más utilizado y conocido, se degrada en el tiempo y sometido a la luz.
Dióxido de Cloro	Muy Alto	Si	Si	No	No (bien generado) Si (mal generado)	Si	No	No	Si	Si	Es explosivo en concentraciones del 10%, por lo que se debe generar in situ.
Cloraminas	Medio	No	Si+	Si	No	Si	Si	No	Si	No	Fácil preparación, se recomienda generarla in situ.
Ozono	Excelente	Si	No		No	No	No	Si	Si	Si	Debe ser generada in situ, altos costos de energía y equipo, muy corrosivo y tóxico.
Permanganato Potásico	Bajo	Si			No	No	No	No			Fácil de aplicar, puede teñir el agua, tóxico e irritante a la piel.

Halógenos: Selección Método Desinfección



Halógenos: Medida de Desinfección

Concentración – Tiempo (CT)

- Es el producto de la concentración residual que debe tener el agua a un determinado tiempo de contacto
- Mantener dicha concentración al tiempo indicado, implica un determinado porcentaje de remoción de patógenos (% , grado o log de inactivación patógena)
- CT es afectado por:
 - Tipo de patógeno
 - Tipo de desinfectante
 - pH
 - Temperatura
 - Cloro residual
 - Porcentaje o grado de inactivación patógena

Halógenos: Medida de Desinfección

Comparación Valores CT para la inactivación del 99% (2 log) de los microorganismos a una temperatura de 5°C

Tipo de microorganismo	Cloro libre (pH 6-7)	Cloraminas (pH 8-9)	Dióxido de cloro (pH 6-7)	Ozono (pH 6-7)
<i>Bacteria E. Coli</i>	0.034 – 0.05	95 - 180	0.4 – 0.75	0.02
<i>Polio Virus 1</i>	1.1 – 2.5	768 - 3740	0.2 – 6.7	0.1 – 0.2
Rotavirus	0.01 – 0.05	3806 - 6476	0.2 – 2.1	0.006 – 0.06
Bacteriófago	0.08 – 0.18	-	-	-
<i>Giardia Lambia Quiste</i>	47 – 150	-	-	0.5 – 0.6
<i>Giardia Muris Quiste</i>	30 - 630	-	7.2 – 18.5	1.8 – 2.0 ^a
Cryptosporodium Parvum	7200 ^b	7200 ^c	78 ^b	5 - 10 ^c

a: 3-log (99.9%), pH 6 ~ 9

b: pH = 7, 25°C

c: pH = 7, 1-log (90%), 25°C

Este es el microorganismo
razonablemente resistente

Este es el desinfectante
más potente

Halógenos: Medida de Desinfección

Tipo microorganismo

Tipo desinfectante

Temperatura

Valores CT para la inactivación de quistes de Giardia con cloro libre a 20°C

Cloro residual (mg/l)	pH	≤ 6.0						6.5						7.0						7.5					
		Log inactivación						Log inactivación						Log inactivación						Log inactivación					
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
≤ 0.4	CT requerido (min mg/l)	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%
0.6		6	12	18	24	30	36	7	15	22	29	37	44	9	17	26	35	43	52	10	21	31	41	52	62
0.8		6	13	19	25	32	38	8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54	11	21	32	43	53	64
1.0		7	13	20	26	33	39	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55	11	22	33	44	55	66
1.2		7	13	20	26	33	39	8	16	24	31	39	47	9	19	28	37	47	56	11	22	34	45	56	67
1.4		7	13	20	27	33	40	8	16	24	32	40	48	10	19	29	38	48	57	12	23	35	46	58	69
1.6		7	14	21	27	34	41	8	16	25	33	41	49	10	19	29	39	48	58	12	23	35	47	58	70
1.8		7	14	21	28	35	42	8	17	25	33	42	50	10	20	30	39	49	59	12	24	36	48	60	72
2.0		7	14	22	29	36	43	9	17	26	34	43	51	10	20	31	41	51	61	12	25	37	49	62	74
2.2		7	15	22	29	37	44	9	17	26	35	43	52	10	21	31	41	52	62	13	25	38	50	63	75
2.4		7	15	22	29	37	44	9	18	27	35	44	53	11	21	32	42	53	63	13	26	39	51	64	77
2.6		8	15	23	30	38	45	9	18	27	36	45	54	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78
2.8	CT requerido (min mg/l)	8	15	23	31	38	46	9	18	28	37	46	55	11	22	33	44	55	66	13	27	40	53	67	80
3.0		8	16	24	31	39	47	9	19	28	37	47	56	11	22	34	45	56	67	14	27	41	54	68	81
		8	16	24	31	39	47	10	19	29	38	48	57	11	23	34	45	57	68	14	28	42	55	69	83
Cloro residual (mg/l)	pH	8.0						8.5						≥ 9.0											
		Log inactivación						Log inactivación						Log inactivación						Log inactivación					
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
≤ 0.4	CT requerido (min mg/l)	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%
0.6		12	25	37	49	62	74	15	30	45	59	74	89	18	35	53	70	88	105	12	25	37	49	62	74
0.8		13	26	39	51	64	77	15	31	46	61	77	92	18	36	55	73	91	109	13	26	39	51	64	77
1.0		13	26	40	53	66	79	16	32	48	63	79	95	19	38	57	75	94	113	14	27	41	54	68	81
1.2		14	27	41	54	68	81	16	33	49	65	82	98	20	39	59	78	98	117	14	28	42	55	69	83
1.4		14	28	42	55	69	83	17	33	50	67	83	100	20	40	60	80	100	120	14	28	43	57	71	85
1.6		14	28	43	57	71	85	17	34	52	69	86	103	21	41	62	82	103	123	15	29	44	58	73	87
1.8		15	29	44	58	73	87	18	35	53	70	88	105	21	42	63	84	105	126	15	30	45	59	74	89
2.0		15	30	45	59	74	89	18	36	54	72	90	108	22	43	65	86	108	129	15	30	46	61	76	91
2.2		15	30	46	61	76	91	18	37	55	73	92	110	22	44	66	88	110	132	16	31	47	62	78	93
2.4		16	31	47	62	78	93	19	38	57	75	94	113	23	45	68	90	113	135	16	32	48	63	79	95
2.6	CT requerido (min mg/l)	16	32	48	63	79	95	19	38	58	77	96	115	23	46	69	92	115	138	16	32	49	65	81	97
2.8		16	32	49	65	81	97	20	39	59	78	98	117	24	47	71	94	118	141	17	33	50	66	83	99
3.0		17	34	51	67	84	101	20	40	60	79	99	119	24	48	72	95	119	143	17	34	51	67	84	101

pH del Agua

Grado inactivación

Concentración residual

Halógenos: Medida de Desinfección

Valores CT para la inactivación de quistes de Giardia con cloro libre a 15°C

Cloro residual (mg/l)	pH	≤ 6.0						6.5						7.0						7.5					
	Log inactivación	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
		68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%
≤ 0.4	CT requerido (min mg/l)	8	16	25	33	41	49	10	20	30	39	49	59	12	23	35	47	58	70	14	28	42	55	69	83
0.6		8	17	25	33	42	50	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86
0.8		9	17	26	35	43	52	10	20	31	41	51	61	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88
1.0		9	18	27	35	44	53	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90
1.2		9	18	27	36	45	54	11	21	32	43	53	64	13	25	38	51	63	76	15	31	46	61	77	92
1.4		9	18	28	37	46	55	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78	16	31	47	63	78	94
1.6		9	19	28	37	47	56	11	22	33	44	55	66	13	26	40	53	66	79	16	32	48	64	80	96
1.8		10	19	29	38	48	57	11	23	34	45	57	68	14	27	41	54	68	81	16	33	49	65	82	98
2.0		10	19	29	39	48	58	12	23	35	46	58	69	14	28	42	55	69	83	17	33	50	67	83	100
2.2		10	20	30	39	49	59	12	23	35	47	58	70	14	28	43	57	71	85	17	34	51	68	85	102
2.4		10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86	18	35	53	70	88	105
2.6		10	20	31	41	51	61	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88	18	36	54	71	89	107
2.8		10	21	31	41	52	62	12	25	37	49	62	74	15	30	45	59	74	89	18	36	55	73	91	109
3.0		11	21	32	42	53	63	13	25	38	51	63	76	15	30	46	61	76	91	19	37	56	74	93	111
Cloro residual (mg/l)	pH	8.0						8.5						≥ 9.0											
	Log inactivación	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
		68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%						
≤ 0.4	CT requerido (min mg/l)	17	33	50	66	83	99	20	39	59	79	98	118	23	47	70	93	117	140						
0.6		17	34	51	68	85	102	20	41	61	81	102	122	24	49	73	97	122	146						
0.8		18	35	53	70	88	105	21	42	63	84	105	126	25	50	76	101	126	151						
1.0		18	36	54	72	90	108	22	43	65	87	108	130	26	52	78	104	130	156						
1.2		19	37	56	74	93	111	22	45	67	89	112	134	27	53	80	107	133	160						
1.4		19	38	57	76	95	114	23	46	69	91	114	137	28	55	83	110	138	165						
1.6		19	39	58	77	97	116	24	47	71	94	118	141	28	56	85	113	141	169						
1.8		20	40	60	79	99	119	24	48	72	96	120	144	29	58	87	115	144	173						
2.0		20	41	61	81	102	122	25	49	74	98	123	147	30	59	89	118	148	177						
2.2		21	41	62	83	103	124	25	50	75	100	125	150	30	60	91	121	151	181						
2.4		21	42	64	85	106	127	26	51	77	102	128	153	31	61	92	123	153	184						
2.6		22	43	65	86	108	129	26	52	78	104	130	156	31	63	94	125	157	188						
2.8		22	44	66	88	110	132	27	53	80	106	133	159	32	64	96	127	159	191						
3.0		22	45	67	89	112	134	27	54	81	108	135	162	33	65	98	130	163	195						

Halógenos: Medida de Desinfección

Que es?

Valores CT para la inactivación de quistes de Giardia con cloro libre a 10°C

Cloro residual (mg/l)	pH	≤ 6.0						6.5						7.0						7.5					
	Log inactivación	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
		68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%
≤ 0.4	CT requerido (min mg/l)	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88	17	35	52	69	87	104	21	42	63	83	104	125
0.6		13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90	18	36	54	71	89	107	21	43	64	85	107	128
0.8		13	26	39	52	65	78	15	31	46	61	77	92	18	37	55	73	92	110	22	44	66	87	109	131
1.0		13	26	40	53	66	79	16	31	47	63	78	94	19	37	56	75	93	112	22	45	67	89	112	134
1.2		13	27	40	53	67	80	16	32	48	63	79	95	19	38	57	76	95	114	23	46	69	91	114	137
1.4		14	27	41	55	68	82	16	33	49	65	82	98	19	39	58	77	97	116	23	47	70	93	117	140
1.6		14	28	42	55	69	83	17	33	50	66	83	99	20	40	60	79	99	119	24	48	72	96	120	144
1.8		14	29	43	57	72	86	17	34	51	67	84	101	20	41	61	81	102	122	25	49	74	98	123	147
2.0		15	29	44	58	73	87	17	35	52	69	87	104	21	41	62	83	103	124	25	50	75	100	125	150
2.2		15	30	45	59	74	89	18	35	53	70	88	105	21	42	64	85	106	127	26	51	77	102	128	153
2.4		15	30	45	60	75	90	18	36	54	71	89	107	22	43	65	86	108	129	26	52	79	105	131	157
2.6		15	31	46	61	77	92	18	37	55	73	92	110	22	44	66	87	109	131	27	53	80	107	133	160
2.8		16	31	47	62	78	93	19	37	56	74	93	111	22	45	67	89	112	134	27	54	82	109	136	163
3.0		16	32	48	63	79	95	19	38	57	75	94	113	23	46	69	91	114	137	28	55	83	111	138	166
Cloro residual (mg/l)	pH	8.0						8.5						≥ 9.0											
	Log inactivación	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0						
		68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%	68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%						
≤ 0.4	CT requerido (min mg/l)	25	50	75	99	124	149	30	59	89	118	148	177	35	70	105	139	174	209						
0.6		26	51	77	102	128	153	31	61	92	122	153	183	36	73	109	145	182	218						
0.8		26	53	79	105	132	158	32	63	95	126	158	189	38	75	113	151	188	226						
1.0		27	54	81	108	135	162	33	65	98	130	163	195	39	78	117	156	195	234						
1.2		28	55	83	111	138	166	33	67	100	133	167	200	40	80	120	160	200	240						
1.4		28	57	85	113	142	170	34	69	103	137	172	206	41	82	124	165	206	247						
1.6		29	58	87	116	145	174	35	70	106	141	176	211	42	84	127	169	211	253						
1.8		30	60	90	119	149	179	36	72	108	143	179	215	43	86	130	173	216	259						
2.0		30	61	91	121	152	182	37	74	111	147	184	221	44	88	133	177	221	265						
2.2		31	62	93	124	155	188	38	75	113	150	188	225	45	90	136	181	226	271						
2.4		32	63	95	127	158	190	38	77	115	153	192	230	46	92	138	184	230	276						
2.6		32	65	97	129	162	194	39	78	117	156	195	234	47	94	141	187	234	281						
2.8		33	66	99	131	164	197	40	80	120	159	199	239	48	96	144	191	239	287						
3.0		34	67	101	134	168	201	41	81	122	162	203	243	49	97	146	195	243	292						

Halógenos:

Grado de Inactivación Patógena

Log inactivación	Porcentaje remoción
0.0	0.00000 %
0.1	20.56718 %
0.2	36.90427 %
0.3	49.88128 %
0.4	60.18928 %
0.5	68.37722 %
0.6	74.88114 %
0.7	80.04738 %
0.8	84.15107 %
0.9	87.41075 %
1.0	90.00000 %
1.5	96.83772 %
2.0	99.00000 %
2.5	99.68377 %
3.0	99.90000 %
3.5	99.96838 %
4.0	99.99000 %
4.5	99.99684 %
5.0	99.99900 %
5.5	99.99968 %
6.0	99.99990 %
6.5	99.99997 %
7.0	99.99999 %



$$n = -\log\left(1 - \frac{P}{100}\right)$$

$$P = 100(1 - 10^{-n})$$

Log inactivación	Porcentaje remoción
0.0	0 %
0.5	68.37722 %
1.0	90 %
2.0	99 %
3.0	99.9 %
4.0	99.99 %
5.0	99.999 %
6.0	99.9999 %
7.0	99.99999 %

Giardia

Virus

Halógenos:

Grado de Inactivación Patógena

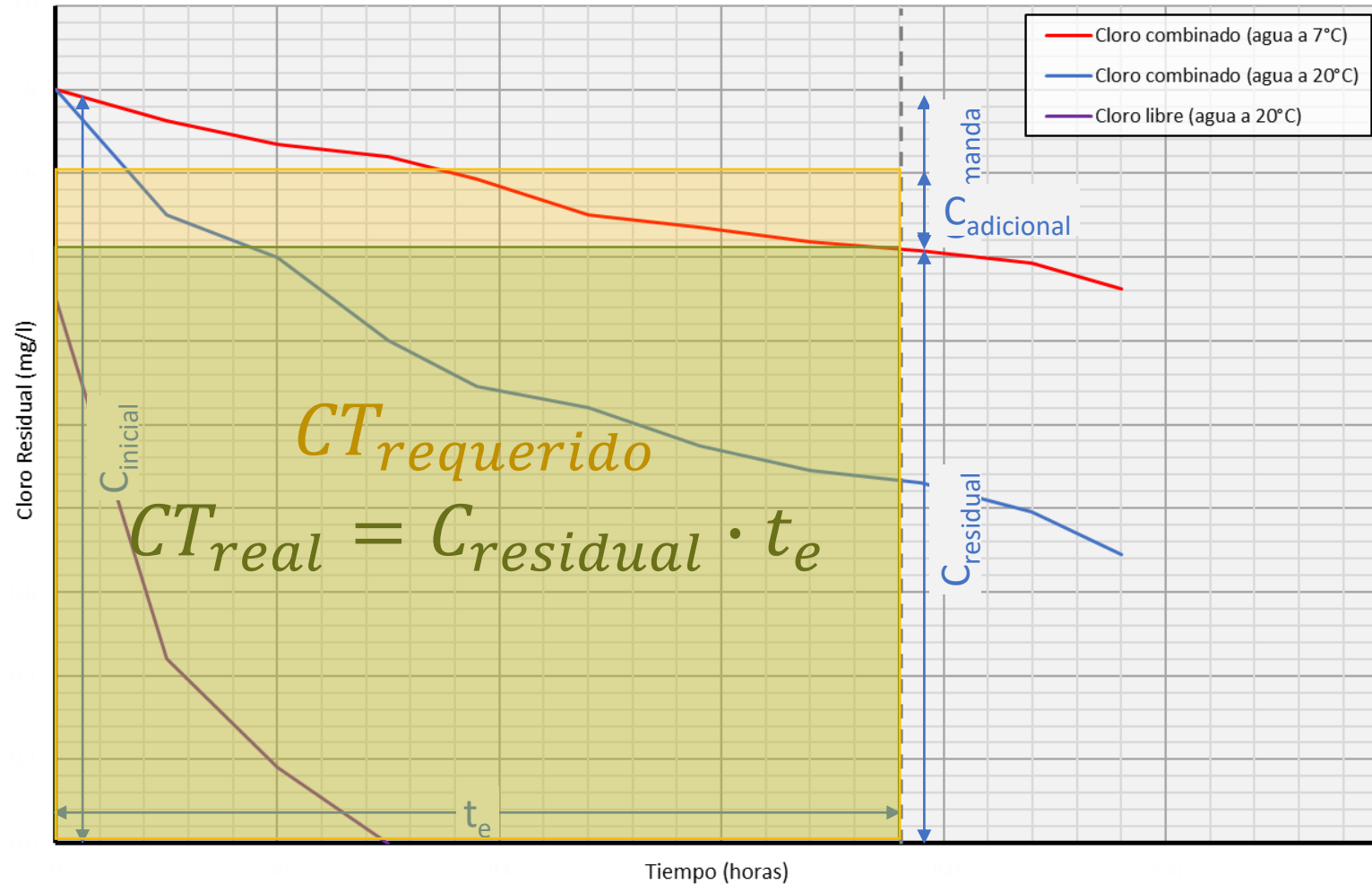
Lo anterior implica que todo proceso que reduzca patógenos puede expresarse en log de inactivación.

Sin embargo, se recomienda realizar las mediciones pertinentes para determinar su grado de inactivación correspondiente

Créditos de tratamiento (log inactivación)		
Tratamiento	Tipo Patógeno	
	Giardia	Virus
Convencional	2.5	2.0
Filtración directa	2.0	1.0

Referencia a créditos de tratamiento

Halógenos: CT_{real} vrs $CT_{requerido}$



Procedimiento

- Calcular CT_{real}
- Determinar $CT_{requerido}$ según condiciones del tratamiento
- Si $\frac{CT_{real}}{CT_{requerido}} \geq 1$, se considera desinfectado
- Caso contrario debe incrementarse dosis inicial
- ¿Como se estima el tiempo de contacto efectivo (t_e)?

Halógenos: Tiempo de Contacto Efectivo (t_e)

Dos métodos:

- Estudio de trazadores
- Condición de compartimentalización

$$t_e = \alpha t$$

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

Factores aplicables para estimar el tiempo de contacto efectivo		
Condición de Compartimentalización	Factor (α)	Descripción de la Compartimentalización
Sin compartimientos	0.1	Ninguna unidad con agitación, velocidad alta en la entrada y salida, nivel variable del agua.
Deficiente	0.3	Entrada y salida simple o múltiple, directa y sin pantallas, sin compartimientos internos.
Promedio	0.5	Entrada y salida no directas, interrumpidas por algunos compartimientos internos.
Superior	0.7	Compartimientos perforados en la entrada, compartimientos perforados en forma de serpentín en el interior de la unidad, vertedero en la salida o vertedero perforado.
Excelente	0.9	Compartimientos en forma de serpentín a lo largo de toda la unidad.
Perfecta (flujo pistón)	1.0	Flujo de tubería.

Halógenos: Ejemplos Prácticos

- 1) ¿Cuál es el CT requerido para desinfectar el agua con pH de 7.5, a una temperatura de 10°C utilizando como desinfectante el cloro libre, teniendo un cloro residual de 0.2 mg/l?

- $CT_{requerido} = 125.0 \text{ min mg/l}$

- 2) Suponga que previo a la desinfección del ejercicio 1, el agua pasa por un proceso de filtración directa. ¿Cuál será el CT requerido?

- Log inactivación (Giardia) = 3.0

- Log inactivación (Fil. Directa) = 2.0

- Log inactivación (complemento) = $3.0 - 2.0 = 1.0$

- $CT_{requerido} = 42.0 \text{ min mg/l}$

- 3) Se realizó análisis bacteriológico antes y después del proceso de filtración directa del ejercicio anterior, dando los siguientes resultados:

- número de organismos pre proceso: 950 por 100 ml
- número de organismos post proceso: 3 por 100 ml

¿Cuál será el CT requerido?

- Porcentaje remoción: $P = 100 \cdot \frac{950-3}{950} = 99.6842\%$

- Log inactivación equivalente: $n = -\log\left(1 - \frac{99.6842\%}{100}\right) = 2.5$

- Log inactivación (complemento) = $3.0 - 2.5 = 0.5$

- $CT_{requerido} = 21.0 \text{ min mg/l}$

Valores CT para la inactivación de quistes de Giardia con cloro libre a 10°C

Cloro residual (mg/l)	pH Log inactivación	7.5					
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
		68.38%	90.00%	96.84%	99.00%	99.68%	99.90%
≤ 0.4	CT requerido (min mg/l)	21	42	63	83	104	125
0.6		21	43	64	85	107	128
0.8		22	44	66	87	109	131
1.0		22	45	67	89	112	134
1.2		23	46	69	91	114	137
1.4		23	47	70	93	117	140
1.6		24	48	72	96	120	144
1.8		25	49	74	98	123	147
2.0		25	50	75	100	125	150
2.2		26	51	77	102	128	153
2.4		26	52	79	105	131	157
2.6		27	53	80	107	133	160
2.8		27	54	82	109	136	163
3.0		28	55	83	111	138	166

Créditos de tratamiento		
Tratamiento	Tipo Patógeno	
	Giardia	Virus
Convencional	2.5	2.0
Filtración directa	2.0	1.0

Halógenos: Ejemplos Prácticos

- 4) Se tiene una concentración de cloro libre de 0.2 mg/l al final de una línea de tubería de 6"Ø x 5,450' de longitud, cuyo caudal es de 400 gpm. ¿Cuál es su CT real?

$$t_e = \alpha \frac{V}{Q} = \alpha \frac{\pi D^2 L}{4Q} = \frac{\pi \left(\frac{6}{12}\right)^2 \cdot 5,450}{4 \cdot 400} \times 7.4816 = 20 \text{ min}$$

$$CT_{real} = 0.2 \cdot 20 = 4 \text{ min mg/l}$$

- 5) La tubería del ejercicio anterior es la salida de un almacenamiento de 50,000 gal. Considerando un factor de compartimentalización de 0.3; ¿Cuál es el CT real del almacenamiento si se tiene una concentración residual de 1.2 mg/l?

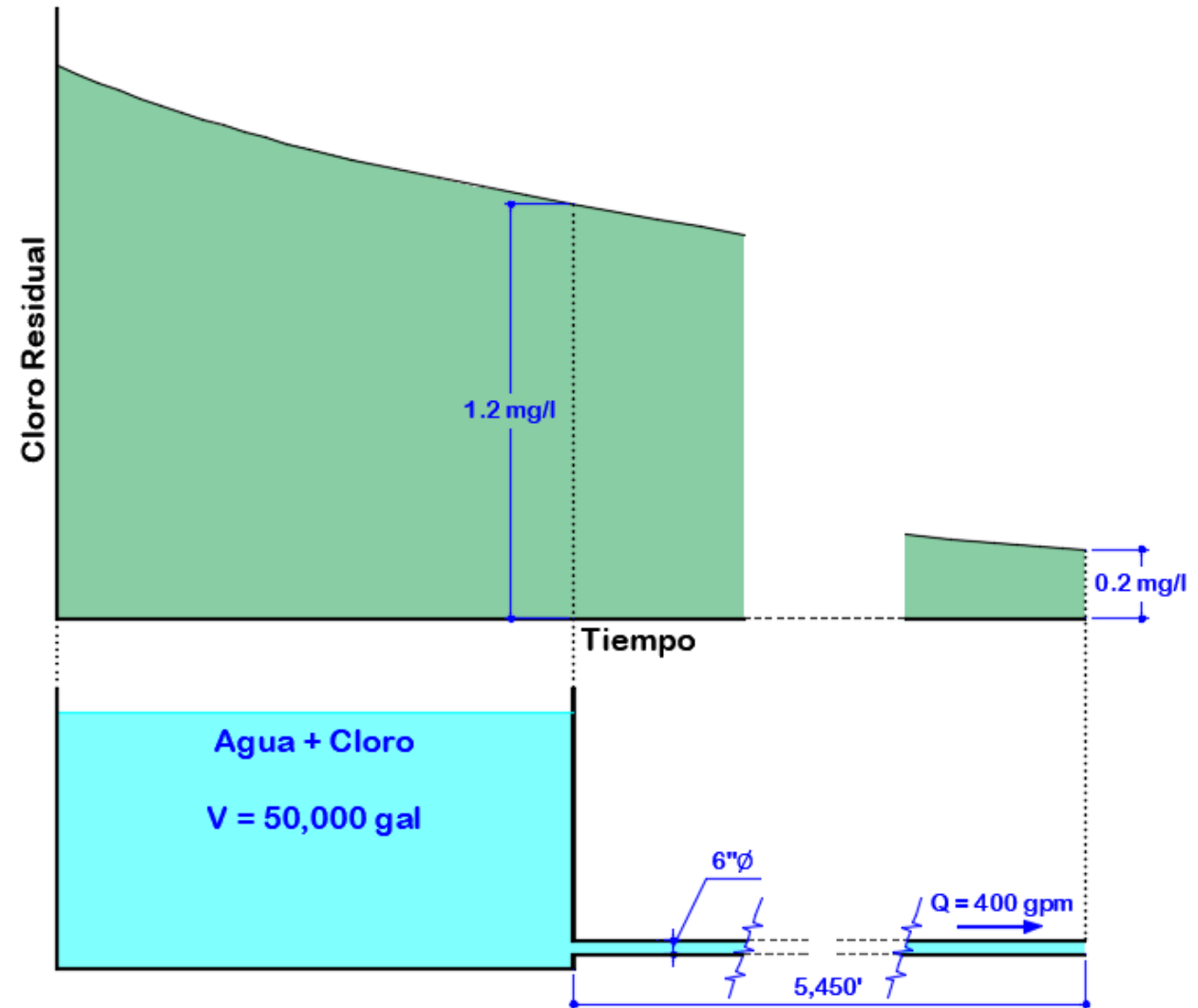
$$t_e = \alpha \frac{V}{Q} = 0.3 \cdot \frac{50,000}{400} = 37.5 \text{ min}$$

$$CT_{real} = 1.2 \cdot 37.5 = 45 \text{ min mg/l}$$

- 6) Considerando el almacenamiento y su tubería de salida integrado, ¿Cuál es su CT real?

Ambos elementos hacen uso del mismo tipo de desinfectante, por lo que es factible su adición:

$$CT_{real} = 4 + 45 = 49 \text{ min mg/l}$$



Halógenos: Ejemplos Prácticos

- 7) Considere que el agua del ejercicio anterior (6), se trata de la misma agua expuesta en los ejercicios 1, 2 y 3. Compare el resultado del ejercicio 6 con los resultados de los ejercicios 1 a 3, concluya y recomiende si es necesario.

Ejercicio	Descripción	Resultado	$CT_{\text{real}}/CT_{\text{requerido}}$	Conclusión	Recomendación
1	CT requerido sin proceso previo adicional.	125 min mg/l	$\frac{49}{125} = 0.392 < 1$	CT real no cumple con el CT requerido.	Amerita incrementar dosis y/o tiempo de contacto.
2	CT requerido con filtración directa (2 log).	42 min mg/l	$\frac{49}{42} = 1\frac{1}{6} > 1$	CT real sobrepasa el CT requerido, por lo cual se considera desinfectado.	El siguiente paso sería la desinfección secundaria que sería mantener el cloro residual entre 1.0 a 1.5 mg/l.
3	CT requerido con filtración directa (2.5 log).	21 min mg/l	$\frac{49}{21} = 2\frac{1}{3} > 1$		
6	CT real (almacenamiento + tubería)	49 min mg/l	---		

Halógenos: Ejemplos Prácticos

- 8) Una planta de tratamiento de agua convencional recibe agua con un residuo de cloro libre de 0.4 mg/l proveniente de una tubería de 4"Ø x 9,000 pies de longitud a un caudal constante de 120 gpm. El agua tiene un pH de 7.5 y una temperatura de 10°C. Los estudios de trazadores han demostrado que el tiempo de contacto para la planta de tratamiento es de 30 minutos. La planta mantiene un residuo cloraminado de 1.2 mg/l. ¿Cumple la planta el CT requerido para Giardia? (Considere un **CT requerido = 310 min mg/l**, con cloro combinado a una concentración de 1.2 mg/l, pH de 7.5, temperatura a 10 °C y 2.5 log)

Tubería (0.5 log)

$$t_e = \alpha \frac{V}{Q} = \alpha \frac{\pi D^2 L}{4Q} = \frac{\pi \left(\frac{4}{12}\right)^2 \cdot 9,000}{4 \cdot 120} \times 7.4816 = 48.97 \text{ min}$$

$$CT_{real \text{ tub}} = 0.4 \cdot 48.97 = 19.59 \text{ min mg/l}$$

$$CT_{req \text{ tub}} = 21 \text{ min mg/l}$$

$$\frac{CT_{real \text{ tub}}}{CT_{req \text{ tub}}} = \frac{19.59}{21} = 0.9329$$

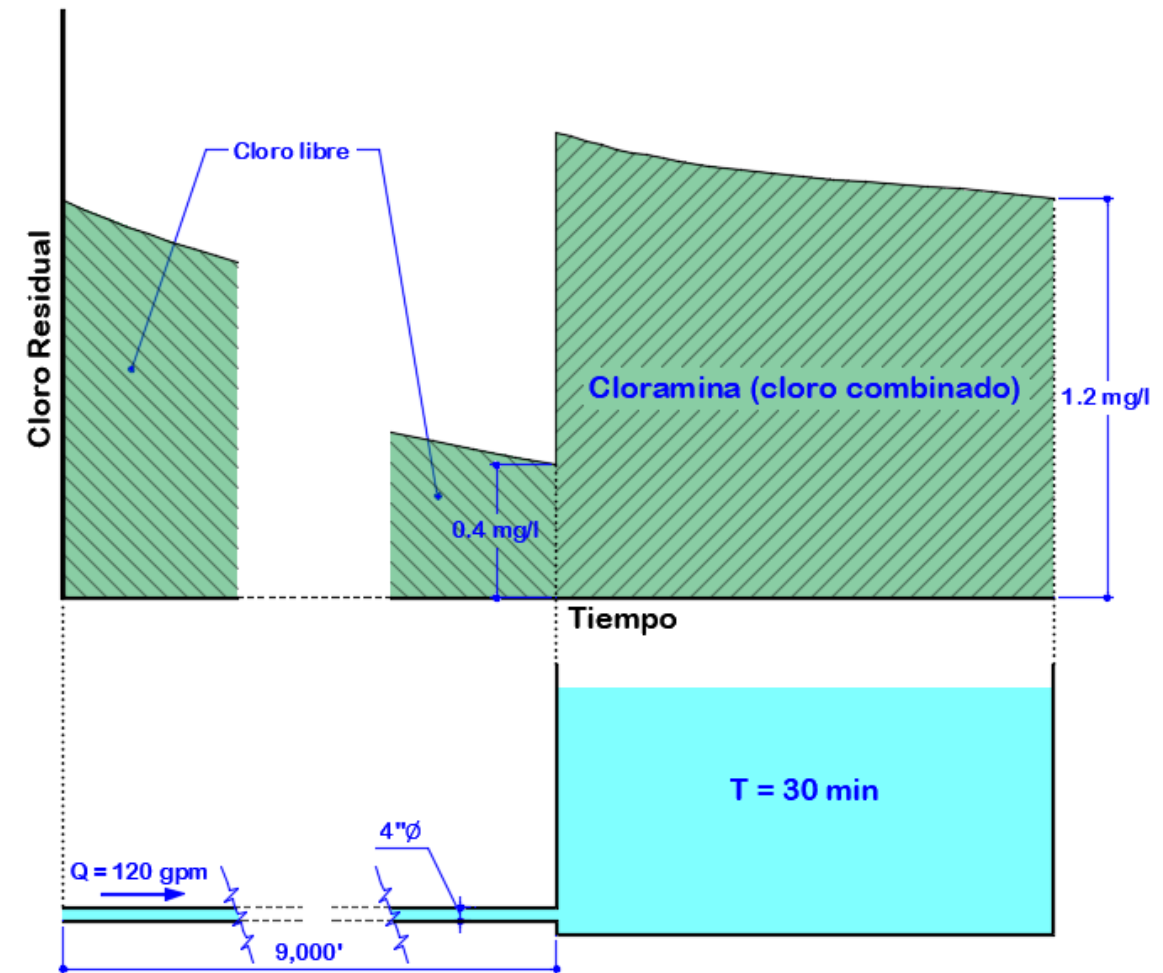
Planta Convencional (2.5 log)

$$CT_{real \text{ planta}} = 1.2 \cdot 30 = 36 \text{ min} \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\frac{CT_{real \text{ planta}}}{CT_{req \text{ planta}}} = \frac{36}{310} = 0.1161$$

CT integrado

$$\frac{CT_{real \text{ tub}}}{CT_{req \text{ tub}}} + \frac{CT_{real \text{ planta}}}{CT_{req \text{ planta}}} = 0.9329 + 0.1161 = 1.049 \text{ (OK)}$$

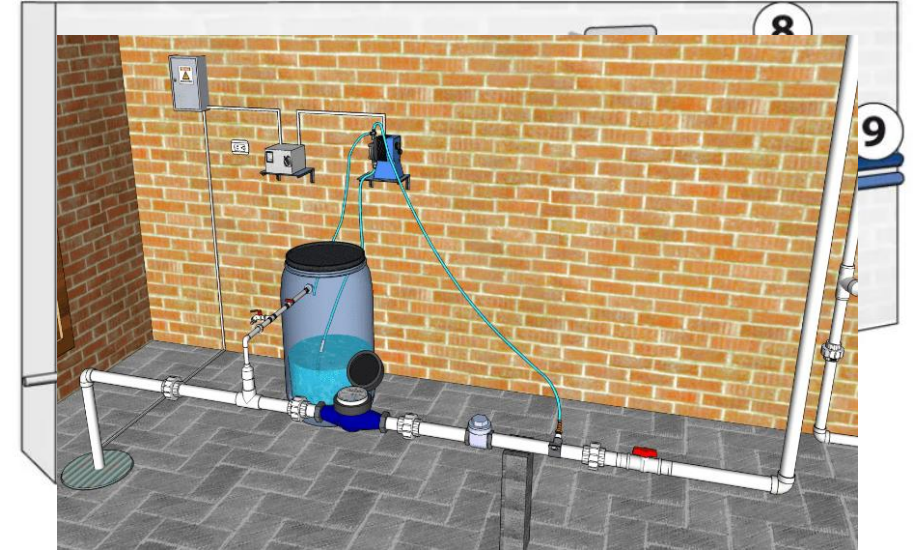


Halógenos: Concentración de Cloro en los Desinfectantes

Compuesto	Presentación	Aplicación	% Cloro Activo
Cloro gas	Gas	Gas/líquido	100
Hipoclorito de calcio	Semi – sólido (granular)	Solución	65 ~ 70
Hipoclorito de calcio tableta/pastilla	Sólido	Solución	65 ~ 70
Hipoclorito de sodio comercial	Líquido	Solución	5 ~ 15
Hipoclorito de sodio (electrólisis)	Líquido	Solución	0.5 ~ 1.0

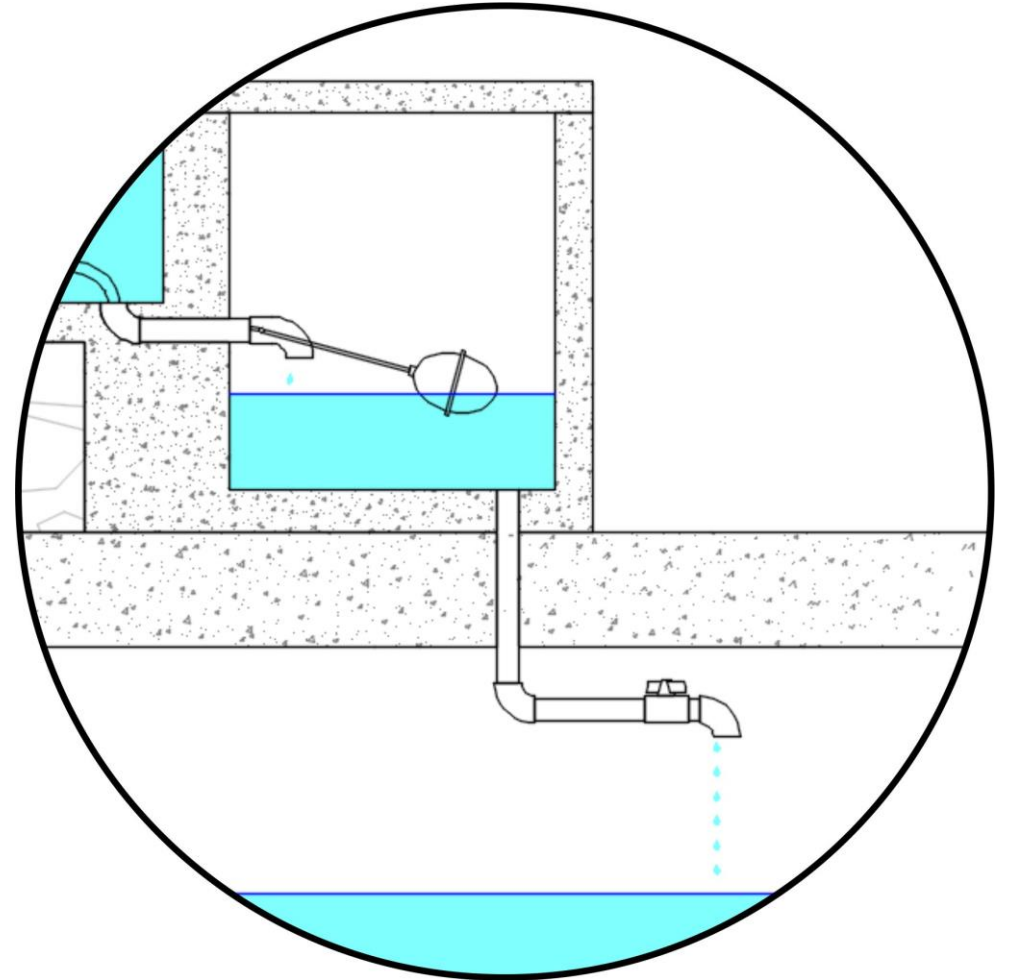
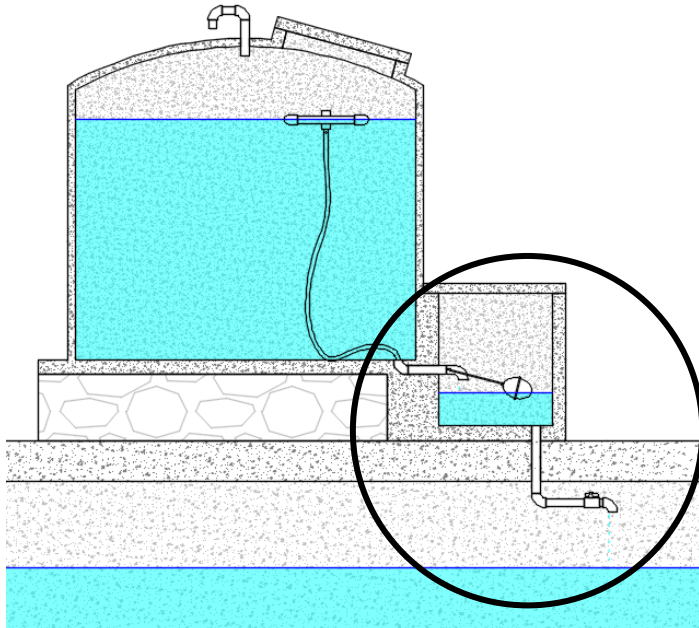
Halógenos: Cloradores

- Tanque Hipoclorador/Dosificador
- Hipocloradores “in situ”
(cloradores salinos)
- Instalaciones de Cloración
 - Cloro Líquido
 - Cloro Gas



Tanque Hipoclorador/Dosificador

- Preparación de solución primaria
- Regulación del goteo según caudal de entrada
- Garantizar goteo constante



Tanque Hipoclorador/Dosificador

Para la operatividad del tanque, se hace uso de las siguientes fórmulas:

$$P = 0.012 \frac{QtR_T}{C_H}$$

Donde:

- P : es la cantidad de hipoclorito en lb.
- Q : es el caudal de entrada al tanque en gal/min.
- t : es el período de recarga del tanque hipoclorador en días.
(se recomienda tiempos entre 2 a 4 días)
- R_T : es la dosificación de cloro en mg/l o ppm.
- C_H : es la concentración del hipoclorito en % en peso.

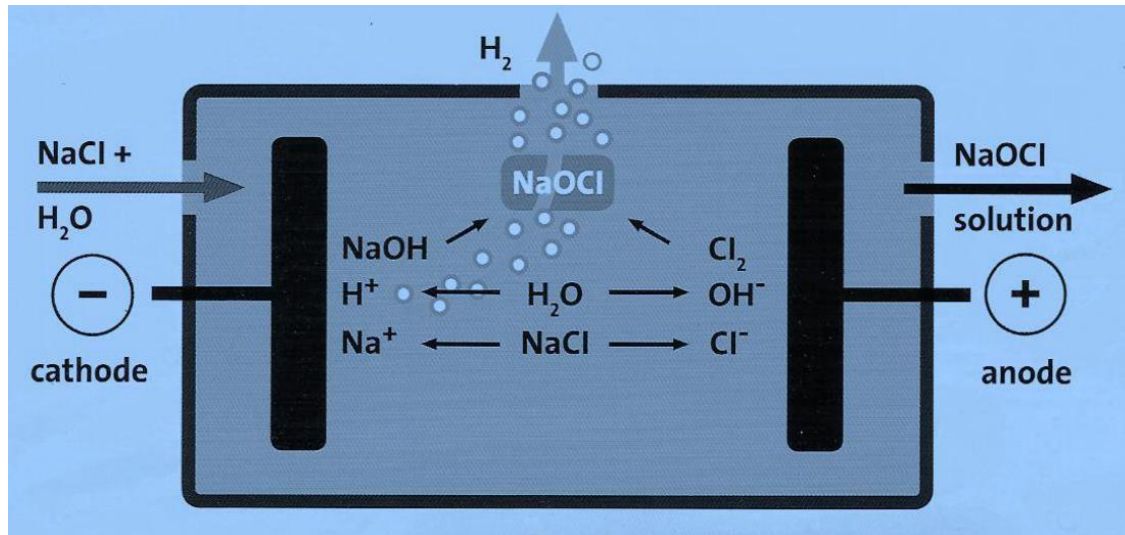
$$q = 694.4 \frac{V_{Cl}}{t}$$

Donde:

- q : es el caudal (dosis) de la solución madre en ml/min.
- V_{Cl} : es el volumen del tanque hipoclorador en m³.
- t : es el período de recarga del tanque hipoclorador en días.
(se recomienda tiempos entre 2 a 4 días)

Hipocloradores “in situ” (cloradores salinos)

- Consiste en la obtención de cloro a través de soluciones salinas



- [Ejemplo clorador salino](#)



Revisión

- Desinfección → eliminación/desactivación patógenos
- Método de mayor frecuencia → desinfección con cloro
- Giardia Lambia → microorganismo patrón
- Desinfección primaria: cloro libre, dióxido de cloro, ozono
- Desinfección secundaria: cloraminas
- Parámetro CT → patógeno, desinfectante, temperatura, pH, cloro residual, log de activación
- $P = 100(1 - 10^{-n}) \quad n = -\log\left(1 - \frac{P}{100}\right)$
- CT real / CT requerido
- Estudio de trazadores / factor de compartimentalización
 - $t_e = \alpha \frac{V}{Q}$



Desinfección del Agua

Para Consumo Humano

Referencias

- [Tratamiento de Desinfección del Agua Potable](#)
- [Métodos de Aplicación de Cloro](#)
- [Estudio de trazadores](#)
- [Cálculos de Tiempo de Contacto](#)
- [¿Cuánto Por Cuánto Tiempo?](#)
- [Productos Clorid](#)
- [Subproductos de Desinfección Y Desinfectantes Alternativos](#)

Muy agradecido por su atención...