

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DE LA ACCIÓN BACTERICIDA DE VIRUTAS DE
COBRE, LATÓN Y BRONCE RECICLADOS PARA LA
ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN AGUA
RESIDUAL DOMÉSTICA”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AMBIENTAL

DIANA EDITH TORRES ROBAYO

diana.torres@epn.edu.ec

ALEXANDRA PATRICIA ZARUMA LUGUAÑA

alexandra.zaruma@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ISAÍAS MARCELO MUÑOZ RODRÍGUEZ, MSc.

marcelo.munoz@epn.edu.ec

CO-DIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL, MSc.

maria.aldas@epn.edu.ec

Quito, Julio, 2018

DECLARACIÓN

Nosotras, Alexandra Zaruma y Diana Torres, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos 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.

**ALEXANDRA PATRICIA
ZARUMA LUGUAÑA**

**DIANA EDITH
TORRES ROBAYO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alexandra Patricia Zaruma Lugaña y Diana Edith Torres Robayo, bajo mi supervisión.

Ing. ISAÍAS MARCELO MUÑOZ M.Sc

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi fortaleza y aliento, por permitirme llegar hasta aquí y cumplir uno de mis objetivos.

A mi madre bella, quien se ha entregado por completo para verme crecer de forma personal y profesional, por su infinito amor, cariño y su apoyo incondicional en todo momento.

A Vero y Belén, quienes me dieron alas para volar y hacer más llevadero este camino, por sus palabras y consejos.

Un agradecimiento especial a nuestro director, el Ing. Marcelo Muñoz y a nuestra apreciada Ing. María Belén Aldás, por compartirnos conocimiento, tiempo, apoyo, por motivarnos cada instante y confiar en nosotros, a ellos mi entera gratitud.

A la EPN y a los laboratorios: LDIA, CICAM y Mecánica, por abrirnos las puertas y brindarnos las facilidades para la ejecución del presente proyecto.

A mi mejor amiga Alexita, por ser el complemento perfecto para este proyecto, por el apoyo, la paciencia y comprensión, mil gracias.

A mis amigos, cada uno con una singularidad única, gracias por formar parte de mi vida universitaria y en especial a los que han logrado sacarme una sonrisa en los malos momentos.

A todos los que han contribuido con su granito de arena y han permitido que pueda tomar más impulso para así volar cada vez más alto.

Diana T

AGRADECIMIENTOS

Ante todo quiero agradecer a Diosito por llegar a mi vida y sembrar en mí la fe, muchas cosas lo he conseguido gracias a él.

A mi papi porque a pesar de la distancia siempre estuvo cerca con sus palabras de aliento y motivación, por siempre creer en mí y hoy por fin cumplir juntos el objetivo, todo este esfuerzo es gracias a usted. De todo corazón gracias papito.

A mi mami por todo el esfuerzo que entregó día a día para sacarnos adelante a mis hermanos y a mi persona, sé que dio lo mejor de usted. Gracias mami por estar ahí siempre. A mis hermanos, que también me ayudaron a culminar esta meta desde el momento que empecé, ahí estuvieron de muchas maneras ayudándome, con críticas, consejos y tiempo.

A Pedro, por llegar a mi vida y enseñarme la verdadera felicidad, por ser mi confidente y por sus palabras de aliento cada vez que lo necesitaba, especialmente gracias por el apoyo desinteresado que entregó a este proyecto.

A mi amiga y compañera de tesis Dianita, por haberme acompañado en toda mi etapa universitaria, y hoy culminar juntas este proyecto, por la paciencia y comprensión, y por enseñarme a dar lo mejor de uno en las cosas que se propone. Gracias por confiar en mí.

A nuestro director el Ing. Marcelo Muñoz, por su ayuda brindada desde el inicio. Mi gratitud sincera a la Ing. María Belén Aldás, por su apoyo desinteresado y dedicación que entregó a este proyecto. Juntos fueron unos excelentes guías, gracias por compartirnos sus conocimientos y experiencia. Al LDIA, CICAM y laboratorios de Mecánica, por permitirnos realizar parte de nuestro proyecto.

Y finalmente a la Escuela Politécnica Nacional, donde junto a sus docentes, me impartieron valiosos conocimientos a lo largo de mi carrera, además que me brindaron mi segunda familia, mis amigos.

Alexita Z.

DEDICATORIA

A Cecilia, Vero y Belén, por ser fuerzas imbatibles, mujeres llenas de coraje y valentía, por creer en mí y animarme hasta el último momento de este proyecto. Este logro es para ustedes.

Diana T

DEDICATORIA

A mis padres, a los dos les debo cada una de mis etapas y el orgullo que representa este logro para ustedes, es mi felicidad. Con mucho cariño y amor para los dos.

A mi novio Pedro, que diosito guíe tu camino te mereces lo mejor por ser la persona más maravillosa y genial en mi vida, aún nos falta por celebrar juntos más logros.

Y a toda mi familia y amigos en general que estuvieron apoyándome y presionándome, en verdad han sido de gran ayuda.

Alexita Z.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	XVII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIX
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS.....	XX
RESUMEN	XXI
ABSTRACT	XXII
PRESENTACIÓN.....	XXIV
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3

1.3	JUSTIFICACIÓN	3
1.4	ALCANCE	4
CAPITULO II		6
2	MARCO TEÓRICO	6
2.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	6
2.2	MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN ARD	8
2.2.1	COLIFORMES FECALES.....	9
2.2.1.1	Estructura de la membrana	10
2.2.2	DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES.....	12
2.3	GENERALIDADES DEL COBRE Y SUS ALEACIONES.....	14
2.3.1	COBRE	14
2.3.2	LATÓN.....	15
2.3.3	BRONCE	16
2.4	EL COBRE Y SUS ALEACIONES EN EL ECUADOR	17
2.4.1	RECICLAJE DEL COBRE	18
2.5	EL COBRE COMO AGENTE ANTIMICROBIAL	19
2.5.1	EVIDENCIA DE LA ACCIÓN ANTIMICROBIANA DEL COBRE.....	20
2.6	MECANISMOS ANTIMICROBIALES DEL COBRE.....	23
2.7	CORROSIÓN DEL COBRE	26
2.8	MARCO LEGAL APLICABLE.....	27
CAPÍTULO III		29

3	METODOLOGÍA	29
3.1	CONSIDERACIONES GENERALES	29
3.1.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS	29
3.1.2	OBTENCIÓN DE VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE RECICLADO.....	30
3.1.2.1	Recolección de materiales reciclados	30
3.1.2.2	Composición química de los metales reciclados.....	31
3.1.2.3	Proceso de virutaje	33
3.1.2.4	Selección del tamaño de partículas y área específica	34
3.1.3	PARÁMETROS DE DISEÑO	35
3.1.4	FACTORES DE INCIDENCIA Y CONDICIÓN DE EQUIPOS.....	35
3.2	ENSAYO CON AGUA SINTÉTICA.....	36
3.2.1	PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA.....	36
3.2.2	TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE.....	38
3.2.3	TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE LATÓN Y BRONCE	40
3.2.4	VELOCIDAD DE CORROSIÓN	42
3.2.4.1	Cálculo de la Velocidad de Corrosión	42
3.2.5	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES	42
3.2.5.1	Determinación de la Eficiencia de Remoción de CF	42
3.2.6	TIEMPO Y PESO ÓPTIMO DE COBRE, LATÓN Y BRONCE	43
3.3	ENSAYOS CON AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA.....	44

3.3.1	MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	44
3.3.1.1	Zona de Estudio.....	44
3.3.1.2	Muestreo.....	45
3.3.1.3	Caracterización.....	46
3.3.2	TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE .	47
CAPITULO IV.....		49
4	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	49
4.1	ENSAYOS CON AGUA SINTÉTICA.....	49
4.1.1	TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE.....	49
4.1.1.1	Medición de parámetros de pH y temperatura.....	49
4.1.1.2	Concentración de cobre residual.....	52
4.1.1.3	Velocidad de Corrosión.....	54
4.1.1.4	Eficiencia de Remoción de Coliformes Fecales.....	55
4.1.2	TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE LATÓN.....	59
4.1.2.1	Medición de parámetros de pH y temperatura.....	59
4.1.2.2	Concentración de cobre residual.....	61
4.1.2.3	Velocidad de Corrosión.....	63
4.1.2.4	Eficiencia de Remoción de Coliformes Fecales.....	65
4.1.3	TRATAMIENTO CON VIRUTAS BRONCE.....	67
4.1.3.1	Medición de parámetros de pH y temperatura.....	67

4.1.3.2	Concentración de cobre residual.....	69
4.1.3.3	Velocidad de Corrosión	71
4.1.3.4	Eficiencia de Remoción de Coliformes Fecales	72
4.2	ENSAYO CON AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA	75
4.2.1.1	MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE MUESTREO	75
4.2.2	TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE .	77
4.2.2.1	Medición de parámetros de pH y temperatura	77
4.2.2.2	Concentración de Cobre Residual	79
4.2.2.3	Velocidad de Corrosión	81
4.2.2.4	Eficiencia de remoción de coliformes fecales.....	82
4.3	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL COBRE, LATÓN Y BRONCE EN EL AGUA SINTÉTICA Y EN EL AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA	84
CAPITULO V		86
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1	CONCLUSIONES	86
5.1	RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		89
ANEXOS		101

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	7
TABLA 2.2 CONCENTRACIONES TÍPICAS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	8
TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS DEL COBRE.....	15
TABLA 2.4 PROPIEDADES DEL LATÓN.....	16
TABLA 2.5 PRINCIPALES PROPIEDADES DEL BRONCE.....	17
TABLA 2.6 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE COLIFORMES Y CONCENTRACIÓN DE COBRE.....	27
TABLA 3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA LAS PIEZAS METÁLICAS CON MAYOR PORCENTAJE DE COBRE.....	32
TABLA 3.2 EQUIPOS DE LABORATORIO.....	36
TABLA 3.3 TIEMPO Y PESO ÓPTIMO.....	44
TABLA 3.4 COORDENADAS DEL PUNTO DEL MUESTREO.....	45
TABLA 3.5 PARÁMETROS Y MÉTODOS.....	46
TABLA 4.1 MEDICIÓN INICIAL Y FINAL DE pH Y TEMPERATURA.....	49
TABLA 4.2 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE RESIDUAL CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.....	52
TABLA 4.3 VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL COBRE.....	54

TABLA 4.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE.....	56
TABLA 4.5 MEDICIÓN INICIAL Y FINAL DE pH Y TEMPERATURA	59
TABLA 4.6 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE RESIDUAL CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.....	61
TABLA 4.7 VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL LATÓN	63
TABLA 4.8 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE LATÓN	65
TABLA 4.9 MEDICIÓN INICIAL Y FINAL DE pH Y TEMPERATURA	67
TABLA 4.10 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE RESIDUAL CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.....	69
TABLA 4.11 VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL BRONCE	71
TABLA 4.12 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE BRONCE.....	73
TABLA 4.13 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DEL MUESTREO	75
TABLA 4.14 MEDICIÓN INICIAL Y FINAL DE pH Y TEMPERATURA	77
TABLA 4.15 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE RESIDUAL CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.....	79
TABLA 4.16 VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE.....	81
TABLA 4.17 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 ESTRUCTURA DE LA MEMBRANA BACTERIANA GRAM NEGATIVA	11
FIGURA 2.2 ESQUEMA DE LA TÉCNICA DE TUBOS MÚLTIPLES	12
FIGURA 2.3 EXPORTACIONES DE COBRE EN EL ECUADOR	18
FIGURA 2.4 ACCIÓN ANTIMICROBIANA DEL COBRE EN DIFERENTES SUPERFICIES DE CONTACTO	21
FIGURA 2.5 MECANISMO DE ACCIÓN ANTIMICROBIAL DEL COBRE.....	25
FIGURA 2.6 POSIBLES EVENTOS DE MUERTE CELULAR POR CONTACTO EN SUPERFICIES DE COBRE.....	26
FIGURA 3.1 ESQUEMA DEL REACTOR TIPO BATCH	29
FIGURA 3.2 RECOLECCIÓN DE METALES EN CHATARRERÍAS	30
FIGURA 3.3 PIEZAS REFRENTADAS PARA EL ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA	31
FIGURA 3.4 EQUIPO PARA EL ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA POR CHISPA.....	31
FIGURA 3.5 TORNO EMPLEADO PARA EL PROCESO DE VIRUTAJE	33
FIGURA 3.6 VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE	33
FIGURA 3.7 TAMIZADO DE VIRUTAS DE COBRE	34
FIGURA 3.8 CEPAS DE <i>E. Coli</i>	37

FIGURA 3.9 INOCULACIÓN DE AGUA DESTILADA CON BACTERIAS <i>E. Coli</i> .	37
FIGURA 3.10 LIMPIEZA DE VIRUTAS Y PESAJE	38
FIGURA 3.11 REACTORES CON VIRUTAS DE COBRE.....	39
FIGURA 3.12 DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES	39
FIGURA 3.13 MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE COBRE EN EL ESPECTROFOTÓMETRO HACH.....	40
FIGURA 3.14 REACTORES CON VIRUTAS DE LATÓN	41
FIGURA 3.15 REACTORES CON VIRUTAS DE BRONCE	41
FIGURA 3.16 QUEBRADA CAUPICHO - ZONA DE ESTUDIO	44
FIGURA 3.17 PUNTO DE MUESTREO	45
FIGURA 3.18 REACTORES CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE ...	48

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 4.1 VARIACIÓN DEL VALOR FINAL DEL pH EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE	50
GRÁFICA 4.2 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL DE COBRE RESIDUAL EN EL AGUA EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE ..	53
GRÁFICA 4.3 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE	55
GRÁFICA 4.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO	58
GRÁFICA 4.5 VARIACIÓN DEL VALOR FINAL DEL pH EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE LATÓN	60
GRÁFICA 4.6 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL DE COBRE RESIDUAL EN EL AGUA EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE LATÓN...	62
GRÁFICA 4.7 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE LATÓN	64
GRÁFICA 4.8 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES EN RELACIÓN AL PESO DE VIRUTAS DE LATÓN A LAS DOS HORAS DE TIEMPO DE CONTACTO	66
GRÁFICA 4.9 VARIACIÓN DEL VALOR FINAL DEL pH EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE BRONCE.....	68
GRÁFICA 4.10 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL DE COBRE RESIDUAL EN EL AGUA EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE BRONCE	70

GRÁFICA 4.11 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE BRONCE.....	72
GRÁFICA 4.12 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES EN RELACIÓN AL PESO DE VIRUTAS DE BRONCE A LAS DOS HORAS DE TIEMPO DE CONTACTO	74
GRÁFICA 4.13 VARIACIÓN DEL pH EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE	78
GRÁFICA 4.14 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL DE COBRE RESIDUAL EN EL AGUA EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE.....	80
GRÁFICA 4.15 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN RELACIÓN A CADA MATERIAL EMPLEADO	82
GRÁFICA 4.16 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE.....	84

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 TABLA DEL NÚMERO MÁS PROBABLE Y LÍMITE DE CONFIANZA DEL 95% ENTRE LOS CUALES PUEDE VARIAR PARA DIVERSAS COMBINACIONES DE RESULTADOS POSITIVOS OBTENIDOS CON TRES PORCIONES (10 ml, 1 ml y 0,1 ml)	102
ANEXO 2 INFORME TÉCNICO DEL ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA POR CHISPA.....	103
ANEXO 3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE	105
ANEXO 4 LECTURA DE TUBOS POSITIVOS Y NEGATIVOS PARA OBTENER EL VALOR DE NMP/100 ml (ENSAYO CON AGUA SINTÉTICA)	112
ANEXO 5 CONSTANTES PARA LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN.....	114
ANEXO 6 INFORME EMITIDO POR EL LABORATORIO CICAM.....	115
ANEXO 7 LECTURA DE TUBOS POSITIVOS Y NEGATIVOS PARA OBTENER EL VALOR DE NMP/100 ml (ENSAYO CON AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA)	116

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

AR Aguas Residuales

ARD Aguas Residuales Domésticas

EPA Environmental Protection Agency

CF Coliformes Fecales

CT Coliformes Totales

LMP Límite Máximo Permisible

MS MegaSiemens

NMP Número Más Probable

PTAR Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

RESUMEN

El presente proyecto de titulación evalúa la propiedad antimicrobiana de virutas de cobre, latón y bronce reciclados en agua residual doméstica mediante la simulación de reactores tipo Batch.

La parte experimental se llevó a cabo en dos fases principales: ensayos con agua sintética (agua inoculada con una cepa de *Escherichia Coli ATCC 25922*) y ensayos con agua residual del Río Machángara. En la primera fase se realizaron tres tratamientos para cada uno de los materiales reciclados. Para el primer tratamiento, se establecieron cuatro reactores: un reactor como control y los otros reactores, con tres diferentes pesos de virutas de cobre reciclado (1 g, 3 g, 7 g). Se determinó la concentración de coliformes fecales en cada uno de los reactores al final de los tres tiempos de contacto establecidos (0,5 h, 1 h y 2 h). Además, se calculó la eficiencia de remoción de coliformes fecales para evaluar la acción antimicrobial del cobre. En el tratamiento con virutas de latón y bronce, se trabajó al tiempo óptimo (2 horas) y los mismos pesos establecidos para el cobre.

Los porcentajes con mayor remoción de coliformes fecales fueron del 99,91 %, 98,44 % y 99,31 % para el cobre, latón y bronce respectivamente, a las dos horas de contacto y con un peso de 7 g para cada material.

La segunda fase de experimentación consistió en validar lo ejecutado en la primera fase, es decir que se replicó los tratamientos con virutas de cobre, latón y bronce en una muestra de agua residual doméstica del Río Machángara. La eficiencia de remoción de coliformes fecales fue del 99,99 % para las virutas de cobre, 99,81 % para las virutas de latón y 99,91 % para las virutas de bronce. Estos ensayos se realizaron al último tiempo de contacto (2 h) y al mayor peso de virutas para los tres materiales (7 g).

Se comparó las eficiencias de los tres materiales tanto para el agua sintética como para el agua residual de Río Machángara, siendo el cobre el mejor material para remover coliformes fecales, seguido del bronce y por último el latón.

ABSTRACT

The present project evaluates the antimicrobial property of copper, brass and bronze shavings recycled in domestic wastewater through Batch reactors simulation.

The experimental part was carried out in two main phases: tests with synthetic water (water inoculated with *Escherichia Coli* ATCC 25922) and tests with wastewater from Machangara River. In the first phase, three treatments were developed for each recycled material. Four reactors were established in treatment with copper: the first one as control and the others with three different weights of recycled copper shavings (1 g, 3 g, and 7 g). The concentration of fecal coliforms was determined at the end of the three contact times (0,5 h, 1 h y 2 h) for each reactor. In addition, the removal efficiency of fecal coliforms was calculated to evaluate the antimicrobial action of copper. For the treatment with brass and bronze shavings, we worked with optimal time (two hours) and the same weights established in the copper treatment.

Finally, a comparison was made among percentages of copper, brass and bronze removal, in the synthetic water and wastewater of the Machangara River, showing that the best material for the elimination of bacteria, turned out to be copper followed by bronze and finally the brass.

The highest percentages of efficiency were 99,91 %, 98,44 % and 99,31 % for the copper, brass and bronze respectively, at two hours of contact and 7 g for each material.

The second stage of experimentation was a validation of the results obtained in the first phase, it means that the treatments with copper, brass and bronze shavings were replicated in a domestic wastewater sample of Machangara River. The removal efficiency of fecal coliforms was 99,99 % for copper shavings, 99,81 % for brass shavings and 99,9 % for bronze shavings. These assays were carried out at the last contact time (2h) and the highest shavings weight for the three materials (7 g).

The efficiencies of the three materials were compared for the synthetic water and for the wastewater from Machangara River. Copper was the best material to remove fecal coliforms, followed by bronze and finally brass.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo analiza la acción bactericida de materiales reciclados (cobre, latón y bronce) en aguas residuales domésticas con una carga bacteriológica fuerte, especialmente de *Escherichia Coli*, y se encuentra estructurado de la siguiente manera:

El Capítulo 1 correspondiente a Introducción, describe los antecedentes, objetivo general y objetivos específicos, la justificación y alcance establecidos para el desarrollo de esta investigación.

El Capítulo 2, referente a Marco Teórico, detalla los fundamentos teóricos enmarcados en las características de aguas residuales domésticas, microorganismos patógenos e indicadores de contaminación fecal como coliformes fecales (CF). Además de algunas características generales del cobre y sus aleaciones, la situación actual del cobre en el país, sus propiedades antimicrobiales, mecanismos de acción y finalmente el marco legal aplicable al tema de estudio.

El Capítulo 3 expone la Metodología, en el cual se desarrolla los procedimientos empleados para la ejecución experimental del proyecto, partiendo de las consideraciones generales previas hasta los ensayos con agua sintética y con agua del río Machángara.

El Capítulo 4 de Análisis y Discusión de Resultados, presenta los valores obtenidos de pH, temperatura, concentración de cobre residual, velocidad de corrosión, concentración de Coliformes en NMP/100ml y porcentajes de eficiencia de remoción de CF tanto para el cobre, latón y bronce en el agua sintética y en el agua residual del río Machángara, analizando los tiempos de contacto y diferentes pesos de material. Finalmente se realiza un análisis comparativo entre los porcentajes de eficiencia de los tres materiales.

El Capítulo 5 recopila las Conclusiones y Recomendaciones de la experimentación, relacionado con los objetivos planteados y alternativas de mejora que se deben considerar para la implementación del ensayo.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El aumento de la población mundial es una de las causas para que la demanda del agua se incremente significativamente. Por consiguiente hay una relación directa entre las actividades humanas que emplean este recurso natural y la generación de aguas residuales. A medida que se incrementa el volumen de este tipo de efluentes, aumenta también los niveles de contaminación (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017).

En uno de los objetivos del Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas se señala que más del 80 % de las aguas residuales se vierten a los ríos o en el mar sin ningún tipo de tratamiento (Naciones Unidas, 2016). Por esta razón, un adecuado saneamiento de las aguas residuales puede prevenir las principales transmisiones de enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea, la poliomielitis, entre otras (OMS, 2017).

Los microorganismos patógenos constituyen uno de los principales contaminantes en las aguas residuales domésticas y su presencia está asociada a la contaminación fecal. Para este tipo de contaminación existen microorganismos indicadores como las coliformes fecales y bacterias termotolerantes (Larrea, Rojas, Álvarez, Rojas y Pérez, 2012).

Existen diferentes formas de eliminar los patógenos presentes en el agua. Entre los métodos de desinfección más empleados se encuentra la cloración, ozonificación, luz ultravioleta, entre otros (National Environmental Services Center, 2010). Además se ha realizado varios estudios de elementos metálicos que son capaces de inactivar y/o eliminar microorganismos patógenos como por ejemplo el cobre (Prado, Vidal, y Durán, 2012).

La propiedad antimicrobial del cobre ha sido explorada durante siglos. Los antiguos Egipcios usaban recipientes de cobre para purificar el agua, además en varios libros antiguos se recomendaba el uso de cobre para tratar diversas enfermedades (Antimicrobial Copper, 2013). Estudios de laboratorio realizados bajo estrictos protocolos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) demuestran que el cobre es capaz de eliminar más del 99,9 % de bacterias causantes de enfermedades después de 2 horas de contacto (Champagne y Helfritch, 2013). En base a la ardua investigación científica, en el 2008 la EPA registra al cobre y sus aleaciones como agentes bactericidas para superficies de contacto con aplicaciones en la salud (Copper BioHealth, 2011).

En este sentido, el efecto bactericida que ejerce el cobre sobre los microorganismos patógenos es atribuido a su interacción con la membrana bacteriana (Muñoz, 2014), provocándole un daño mediante la degradación de proteínas y su posterior inactivación bacteriana (Feres, 2015). El cobre es uno de los pocos materiales que no se degrada o pierde sus propiedades físicas o químicas al ser reutilizado (International Copper Study Group, 2015), lo cual permite darle un nuevo valor agregado a los residuos y aprovecharlos para la desinfección del agua.

Los materiales de cobre en desuso como cables eléctricos, piezas de dispositivos electrónicos, tuberías, grifería, entre otros, generalmente terminan en rellenos municipales o son exportados a plantas de fundición de cobre (Copper Development Association, 2010; Reyes y Taco, 2009). La importancia del reciclaje de metales como el cobre, latón y bronce radica en el cuidado del ambiente. De esta manera se protege los recursos naturales, existe una disminución en la cantidad de los residuos sólidos, menor contaminación de agua, aire, suelo, ahorro de energía empleada en la producción de materia prima y reducción de costos productivos (RECEMSA, 2015). Así por ejemplo, en la ciudad de Quito, existen lugares donde se realiza el reciclaje de metales, estos sitios son conocidos como chatarrerías, centros de acopio y/o recicladoras que se encargan principalmente de la clasificación de metales para su fundición o exportación (MIPRO, 2012; Revista Líderes, 2013)

En base a lo descrito anteriormente, la propuesta del presente trabajo es emplear virutas de cobre, latón y bronce reciclados para la remoción de microorganismos patógenos presentes en aguas residuales domésticas con niveles altos de contaminación fecal. Se determinará la eficiencia de remoción de patógenos a diferentes tiempos de contacto y diferentes concentraciones en peso de virutas en reactores tipo Batch.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la acción bactericida de virutas de materiales reciclados de cobre, latón y bronce, mediante reactores tipo Batch para la remoción de microorganismos patógenos en aguas residuales domésticas a nivel de laboratorio.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer parámetros de diseño en base a investigaciones revisadas en bibliografía, para el montaje de reactores tipo Batch con virutas de cobre, latón y bronce reciclados.
- Evaluar la influencia del tiempo de contacto y variación de concentración en peso de virutas mediante la experimentación con reactores tipo Batch para su posterior análisis y elección del mejor porcentaje de remoción de patógenos del agua residual sintética.
- Validar la acción antimicrobiana de virutas de cobre, latón y bronce experimentados con el agua sintética, empleando agua residual del Río Machángara para identificar sus principales variaciones.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los microorganismos patógenos presentes en el agua pueden desarrollarse de forma natural o provenir de fuentes antropogénicas (Silva, Martínez y Álvarez, 2002). Sin embargo al ser de carácter patógeno inciden negativamente tanto en la

calidad sanitaria del agua y de manera subsiguiente en la salud (Cortés, 2003). Por otro lado, se ha demostrado que el cobre y sus aleaciones tienen propiedades antimicrobianas, siendo aprobados y registrados por la EPA (Environmental Protection Agency, 2008).

Es así, que el presente proyecto busca generar información base sobre la acción bactericida de materiales reciclados de cobre, latón y bronce para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Se emplearán virutas recicladas con la finalidad de dar un valor agregado a los desechos de cobre, ya que el Ecuador se dedica principalmente a su exportación (Mosquera y Valdiviezo, 2015).

La implementación de un sistema dinámico entre las virutas y los microorganismos presentes en el agua, permitirá obtener una área de contacto lo suficientemente alta como para lograr una mayor susceptibilidad en la membrana de las células bacterianas y por consiguiente su eliminación acorde a lo planteado por Vincent, Hartemann y Engels-Deustsch (2016). Adicionalmente, la metodología se complementa con el uso de reactores tipo Batch, de esta manera se logrará obtener una mejor mezcla y homogeneización entre el agua contaminada con microorganismos patógenos y las virutas de cobre, latón y bronce, según las ventajas expuestas por Muñoz y Ramos (2014).

En consecuencia, la presente investigación propone desarrollar una alternativa nueva, capaz de sustituir o complementar los actuales métodos de desinfección en las PTAR, los cuales resultan más costosos y en algunas ocasiones generan subproductos nocivos para el ambiente y potencialmente peligrosos para la salud (Silva et al., 2002; Camenforte, 2014).

1.4 ALCANCE

El presente estudio busca evaluar la acción bactericida de virutas de cobre, latón y bronce mediante análisis de porcentajes de remoción de Coliformes fecales. Para ello, se realizará un tratamiento del agua sintética (contaminada con bacterias *E.*

Coli) a tres diferentes tiempos de contacto y tres diferentes concentraciones en peso de virutas de cobre. Con los mejores resultados obtenidos, se replicará el tratamiento con las virutas de latón y bronce.

Finalmente se validará los tratamientos en el agua residual del Río Machángara, específicamente en la quebrada Caupicho ubicada al sur de la ciudad de Quito. El sitio de muestreo seleccionado es representativo en cuanto a descargas domésticas.

Los ensayos a experimentar se realizarán a escala de laboratorio en la Escuela Politécnica Nacional.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales (AR) se definen como aguas cuya composición presenta contaminantes orgánicos e inorgánicos que pueden estar en suspensión o disueltos (Glynm y Gary, 1999), de esta manera existe un deterioro de su condición inicial y por tanto alteración de sus parámetros físicos, químicos y biológicos. Las aguas residuales pueden provenir de diferentes descargas sea de tipo municipal, comercial, agropecuario, industrial y doméstico (TULSMA, 2015).

Las aguas residuales domésticas (ARD) constituyen aquellos efluentes provenientes de zonas residenciales, comerciales o públicas. Son residuos líquidos generados principalmente por actividades domiciliarias como la cocina, lavado de ropa, pisos, ducha y servicios higiénicos (Glynm y Gary, 1999; Metcalf y Eddy, 1995).

Según Henze, Harremoes, Cour Jansen, y Arvin (1997), la composición de ARD se puede establecer en base a la medición de la carga contaminante per cápita diaria o anual de un sitio establecido. Sin embargo, la composición varía significativamente de acuerdo a las condiciones de vida de los habitantes de cada país, la ubicación geográfica y el espacio.

En la Tabla 2.1 se muestra los componentes principales que caracterizan a las ARD, estableciéndose la respectiva descripción como principales fuentes y posibles efectos

TABLA 2.1 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Componente	Descripción
Microorganismos	Bacterias patógenas, virus, huevos de gusanos.
Materia orgánica biodegradable	Agotamiento del Oxígeno Disuelto en cuerpos hídricos como ríos, lagos.
Otros materiales orgánicos	Detergentes, aceites, grasas, pesticidas.
Nutrientes	Nitrógeno (N), Fósforo (P), Amonio (NH ₄ ⁺).
Otros materiales inorgánicos	Ácidos, bases.
Metales	Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni).
Efectos térmicos	Aumento de la temperatura del agua.
Olor (sabor)	Genera efectos tóxicos para la vida acuática y problemas estéticos.
Radioactividad	Efectos tóxicos y acumulación.

FUENTE: (Henze et al., 1997)

En este sentido, las ARD constituyen un problema de contaminación acuática. Para evaluar si la concentración de contaminantes es de carácter fuerte, medio o débil se ha establecido concentraciones típicas de varios parámetros (Metcalf y Eddy, 1995; Muñoz y Aldás, 2017), establecidas en la tabla 2.2.

TABLA 2.2 CONCENTRACIONES TÍPICAS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Contaminantes	Unidad	Contaminación		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos Totales	mg/l	200	500	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/l	100	300	500
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
DBO ₅ , 20°C	mg/l	200	350	500
Carbono orgánico total	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno total	mg/l	20	40	85
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo Total	mg/l	4	8	15
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Alcalinidad Total	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes Totales	NMP/100 ml	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	10 ⁴ - 10 ⁵		

FUENTE: (Metcalf y Eddy, 1995; Muñoz y Aldás, 2017)

2.2 MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN ARD

La vida microbiana se desarrolla en condiciones ambientales adecuadas, según sea los requerimientos físicos, químicos y nutricionales para cada tipo de organismo. En ARD se desarrollan varios microorganismos de forma natural. Los principales tipos de microorganismos patógenos son: bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Dentro del grupo de bacterias, los microorganismos más

representativos son la *Escherichia coli* (*E. Coli*), *Salmonella* y *Vibrio cholerae*. (Glynm y Gary, 1999; Metcalf y Eddy, 1995).

Es importante señalar que la cantidad y el tipo de microorganismos sirven como indicador para evaluar la calidad del agua, de esta manera en aguas limpias, el crecimiento microbiano es limitado, pero en aguas altamente contaminadas (mayor contenido de nutrientes) los microorganismos se desarrollan con mayor facilidad (Glynm y Gary, 1999). El agua contaminada con microorganismos patógenos provenientes principalmente de efluentes domésticos, puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea, entre otros, los cuales representan un riesgo para la salud humana (OMS, 2016; Silva et al., 2002).

Resulta difícil y costoso realizar un aislamiento de cada grupo de patógenos para su correspondiente identificación, por lo que se utiliza organismos indicadores como las bacterias coliformes cuyos métodos de identificación resultan más sencillos (Glynm y Gary, 1999; Metcalf y Eddy, 1995).

2.2.1 COLIFORMES FECALES

“El grupo Coliforme está formado por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido en 48 horas a 35 °C” (APHA, 1989).

Las Coliformes Fecales (CF) o coliformes termotolerantes constituyen un subgrupo de las bacterias coliformes. Se caracterizan principalmente por soportar temperaturas altas como los 45°C. Habitan y se desarrollan en el tracto intestinal de los animales de sangre caliente, principalmente de mamíferos, por ello constituyen un indicativo de contaminación fecal sea de origen humano o animal (Metcalf y Eddy, 1995; Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017).

La *E. Coli* es el microorganismo más destacado, representativo y abundante de las CF, forma parte de las enterobacterias, es procariota sin núcleo definido y se encuentra en la microbiota intestinal. La *E. Coli* es excretada diariamente en las

heces y acorde a sus características, constituye uno de los indicadores de contaminación fecal más empleado en la actualidad (Larrea et al., 2013). Según su morfología se clasifica como microorganismo gramnegativo y su forma celular corresponde a la de un bacilo (Murray, Rosenthal y Pfaüer, 2006).

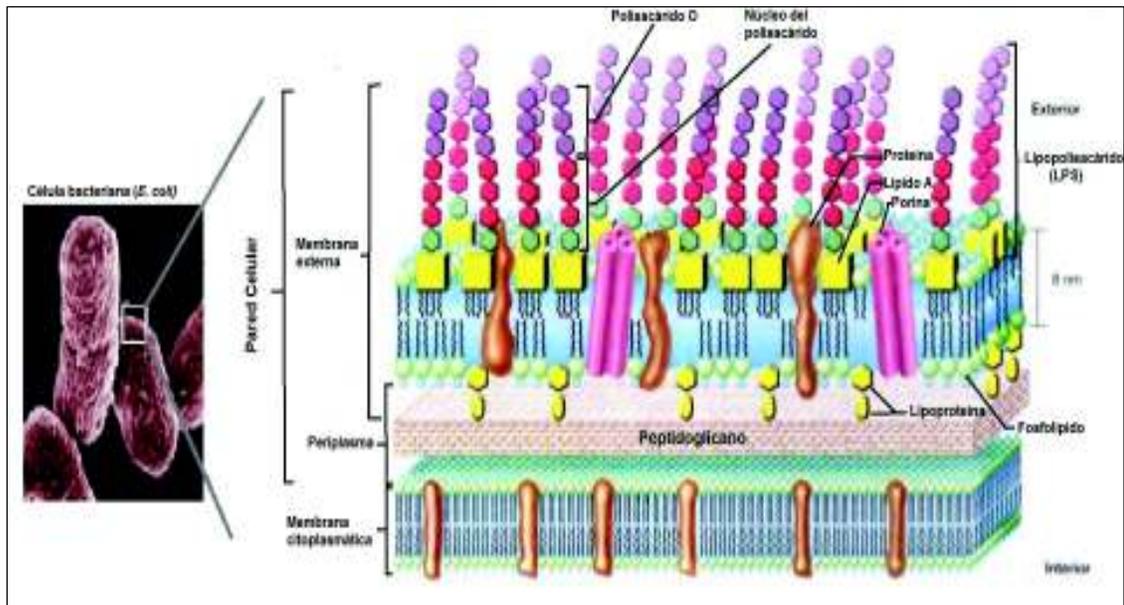
Por tanto, la determinación de CT, CF y *E. Coli* constituyen indicadores bacteriológicos sobre la calidad del agua. Así, la Organización Mundial de la Salud, el Código Alimentario Argentino y otras normas internacionales reglamentan que el agua es bacteriológicamente segura (apta para consumo humano) cuando se encuentra exenta de patógenos sean de origen entérico o intestinal (Franco, López y Orozco, 2014).

2.2.1.1 Estructura de la membrana

Las células gram negativas se encuentran rodeadas por una membrana citoplasmática y una pared celular, las cuales presentan funciones vitales definidas, como el transporte de nutrientes (membrana) y la integridad estructural (pared) (Madigan, Martinko y Parker, 2003)

Son mucho más complejas que las células grampositivas, contienen una bicapa lipídica en su membrana citoplasmática, la cual rodea completamente a la célula, constituyendo de esta manera una barrera selectiva que separa el interior (citoplasma) con el exterior. Está constituida por fosfolípidos de ácidos grasos en una bicapa hidrofílica y proteínas que atraviesan una región hidrofóbica. Por otro lado, se encuentra la pared celular que está unida a la membrana citoplasmática por un espacio llamado periplasma. Dentro del periplasma se encuentra una delgada capa de peptidoglicano, la cual está rodeada por una membrana externa compuesta por lipopolisacáridos (polisacáridos y proteínas), en donde residen las endotoxinas causantes del efecto patógeno o propiedades tóxicas de bacterias. Una de las funciones de la pared celular es la permeabilidad a través de la membrana por medio de las proteínas llamadas porinas (Curtis, Barnes, Schenek y Massarini, 2008; Madigan et al., 2003; Murray et al., 2006). En la figura 2.1 se puede observar la estructura celular de bacterias gramnegativas.

FIGURA 2.1 ESTRUCTURA DE LA MEMBRANA BACTERIANA GRAM NEGATIVA



FUENTE: (Madigan et al., 2003)

El intercambio de sustancias entre la célula y el medio es esencial para mantener la integridad de la misma, así como para el suministro de especies químicas necesarias para el correcto funcionamiento de los procesos metabólicos que ocurren dentro de la célula (Curtis et al., 2008).

La capacidad para que ciertas sustancias puedan atravesar la membrana entre las cadenas carbonadas depende de la polaridad, el tamaño y la carga de las mismas; de este modo, mientras más polar (hidrofílico), más pequeña y con una carga eléctrica suficiente presente la sustancia, mayor facilidad tendrá para desplazarse a través de la bicapa lipídica (Curtis et al., 2008). Sin embargo al presentarse ataques a la membrana, la célula bacteriana tiende a formar nuevos enlaces covalentes con los átomos encontrados en el medio y capaces de formar una gran variedad de cadenas fuertes y estables, realizando este proceso rápidamente para evitar daños mayores (Curtis et al., 2008; Guamán, 2017).

2.2.2 DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES

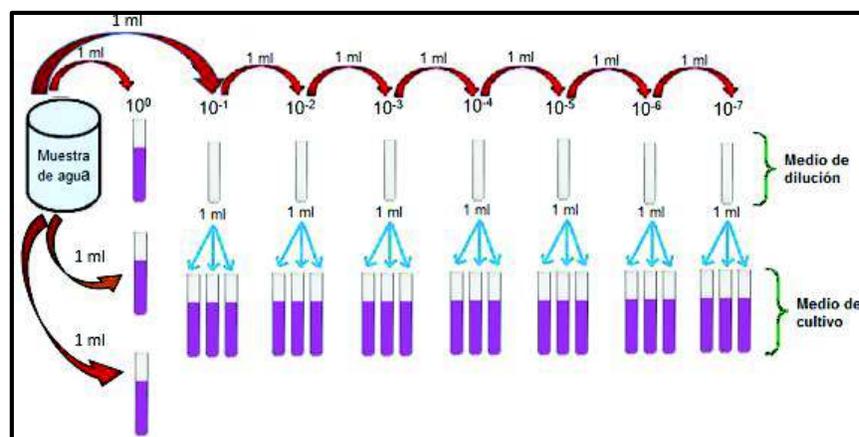
Entre las técnicas más empleadas para determinar la presencia de microorganismos coliformes se encuentra el método de fermentación en tubos múltiples y el de filtro de membrana (Metcalf y Eddy, 1995). Ambos métodos requieren cantidades variables de muestra, obteniéndose mediante el proceso de diluciones decimales seriadas (Sandoval y Carlos, 1991).

El método de tubos múltiples establece un índice, el Número Más Probable (NMP), el cual estima las densidades poblacionales de microorganismos coliformes presentes en las muestras de agua por cada 100 ml (APHA, 1989).

Para estimar la densidad poblacional de bacterias coliformes, se realiza un análisis estadístico, el cual analiza el número de muestras positivas (presencia de coliformes) o negativas (ausencia de coliformes) y de ciertas características como son turbidez y la generación de gas en los resultados de los tubos de diluciones seriadas (APHA, 1989; Guamán, 2017; Metcalf y Eddy, 1995).

Un aspecto importante a considerar, es que el NMP no es una concentración absoluta de microorganismos presentes en la muestra, sino que expresa sólo una estimación estadística de la concentración (Metcalf y Eddy, 1995). La preparación de la serie de diluciones se realiza de acuerdo a la figura 2.2.

FIGURA 2.2 ESQUEMA DE LA TÉCNICA DE TUBOS MÚLTIPLES



FUENTE: (APHA, 1989)

El método consta de dos fases, la fase presuntiva y la confirmativa o prueba completa para CT. En la fase presuntiva se puede utilizar como medio de cultivo: medio líquido de lauril triptosa o medio de lactosa para evidenciar la producción de ácido o gas debido a que las bacterias coliformes fermentan la lactosa a 35 ± 0.5 °C por 48 ± 3 horas. En caso de utilizar medio de lactosa o caldo lactosado, se emplea un indicador de color denominado púrpura de bromocresol. Si los tubos inoculados expresaran un resultado positivo, habrá un cambio en la coloración del medio, se cambiará de morado a amarillo (gracias al indicador) y si los resultados fueran negativos, el color del medio no cambiará y habrá ausencia de ácido o gas. En la fase confirmatoria se emplea los tubos que obtuvieron resultados positivos en la fase presuntiva incubándolos en medio de verde bilis brillante en tubos de fermentación que contengan un vial invertido, por 48 ± 3 horas de incubación a 35 ± 0.5 °C, los tubos que presenten formación de gas constituyen un resultado positivo (APHA, 1989).

Para determinar CF, en algunos casos se parte de los resultados positivos obtenidos en la fase presuntiva y en otros de la fase confirmativa de CT. Se emplea medio EC, el cual es un medio selectivo solo para el crecimiento de *E. Coli*. De esta manera se puede establecer apropiadamente si la muestra analizada es o no de origen fecal (APHA, 1989). La incubación se la realiza por 24 ± 3 horas a 45 ± 0.5 °C.

Tanto para CT como para CF se calcula y se registra el número de resultados positivos en términos del NMP, de acuerdo a los valores que se encuentran en las tablas del Anexo 1. Las tablas de Índice de NMP presentan un límite de confianza del 95 %, si los volúmenes o diluciones seriadas empleados se encuentran en las tablas se puede reportar el valor correspondiente de los mismos en forma de NMP/100 ml, caso contrario se selecciona el índice correspondiente de acuerdo a la combinación de tubos positivos y se realiza el cálculo respectivo de acuerdo a la ecuación 1 (APHA, 1989).

$$NMP/100 \text{ ml} = \text{Valor del NMP (de la tabla)} \times \frac{10}{\text{mayor volumen estudiado}} \quad (1)$$

2.3 GENERALIDADES DEL COBRE Y SUS ALEACIONES

2.3.1 COBRE

El cobre es un material no ferroso perteneciente a los metales de transición y se caracteriza por tener un color rojizo. Se ubica en el periodo 4 del grupo I-B de la tabla periódica con número atómico 29. En la naturaleza se puede encontrar en dos estados de oxidación Cu^{+1} y Cu^{+2} (Domy, 2001). Se caracteriza por ser uno de los metales más importantes en el mundo luego del hierro y del aluminio. Posee excelentes propiedades al ser un buen conductor del calor y la electricidad y se considera un elemento esencial en el metabolismo humano. Presenta una buena resistencia a la corrosión, es maleable, dúctil y altamente reciclable (Nordberg, 2003). Las propiedades del cobre y sus aleaciones difieren según la naturaleza de las impurezas presentes (Kumar y Lodhari, 2017).

Sus usos más importantes se dan en la industria eléctrica, en sistemas de tuberías para el agua, accesorios de equipos electrónicos, fabricación de monedas, equipos químicos y farmacéuticos, es el principal componente en aleaciones, entre otros (Nordberg, 2003; Copper Alliance, 2014). Además, algunos usos del cobre están vinculados con su capacidad de controlar el crecimiento microbiano, motivo por el cual se utiliza en alguicidas, fungicidas y como agente antibacteriano (Borkow y Gabbay, 2005).

En la tabla 2.3 se destacan las principales características físicas que presenta el cobre.

TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS DEL COBRE

Característica	Unidad	Valor
Densidad a 293 °K	g/cm ³	8,94
Peso atómico	g/mol	63,54
Punto de ebullición	°C	2580
Punto de fusión	°C	1083
Calor de fusión	J/kg	214 x 10 ³
Calor específico	J/(kg*K)	385
Conductividad eléctrica	S/m	5,96 x 10 ⁷
Estados de oxidación	-	+1 , +2, +3
Configuración electrónica	-	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ¹

FUENTE: (Simon, Drexler y Reed, 1992)

2.3.2 LATÓN

El latón es una aleación binaria de cobre y zinc, cuyas proporciones pueden comprender desde 50 a 95 % de cobre y desde 5 a 50 % de zinc. A menudo, el latón es confundido con el bronce, sin embargo poseen propiedades distintas y tiene diversas aplicaciones (Mora y Venegas, 2011).

Según Bastida (2005), los latones se clasifican en dos grupos principales:

- Latón alfa (para trabajos en frío): se caracteriza por tener en su composición hasta 37 % de cobre y tiene mayor ductilidad. Se utilizan principalmente para elaborar tornillos, pernos, cartuchos de munición e instrumentos musicales.
- Latón beta (para trabajos en caliente): se caracteriza por tener en su composición más del 37 % de cobre y son menos dúctiles. Se utilizan para fabricación de tuberías, joyas, grifería, herrajes, cerraduras, etc. (Simms, 2017).

Además existen latones especiales, a los cuales se les agrega otros elementos como el estaño, plomo, aluminio y níquel con la finalidad de mejorar sus propiedades proporcionando así mayor resistencia a la corrosión, mayor dureza y otras (Bastida, 2005).

Según las proporciones de cobre y zinc, pueden generarse una gran variedad de aleaciones, por tanto las propiedades del latón no son universales. Sin embargo, existen aleaciones comunes y las características van acorde a su composición. En la tabla 2.4 se describe las propiedades de un latón típico, cuya aleación está compuesta por 60 % cobre y 40 % zinc (Weinhandl, 2017).

TABLA 2.4 PROPIEDADES DEL LATÓN

Tipo	Características
Mecánicas	Fácilmente moldeable, muy buena plasticidad
	Resistente al desgaste
Térmicas	Buena conductividad térmica, 119,4 W/m*K a 20°C
	No se degrada con la luz
	Temperatura de fusión: 980 °C
Eléctricas	Buen conductor eléctrico; 0,158 MS/cm a 20°C
Químicas	Resistente a la corrosión
Físicas	Densidad: 8,44 g/cm ³ a 20°C
Otras	Es reciclable, no pierde sus propiedades

FUENTE: (RMMCIA, 2016)

2.3.3 BRONCE

El bronce es una aleación entre cobre y otros elementos, tradicionalmente se adiciona estaño en porcentajes de 1 a 32 %. Existen aleaciones binarias y ternarias, pero las más usuales son las ternarias ya que se agregan otros elementos como aluminio, arsénico, fósforo y magnesio que sirven para mejorar las características del metal, proporcionando mayor endurecimiento, mejor resistencia a la corrosión y al desgaste (Bastida, 2005). En este sentido, el estaño también cumple una

función principal sobre el cobre, el cual es brindar mayor resistencia y dureza (Quiminet, 2011).

De forma similar al latón, el bronce se encuentra en dos fases:

- Fase alfa (1 a 9 % en concentración de estaño): esta fase es plástica, maleable y blanda en frío, ideal para elaborar monedas y medallas.
- Fase delta (26 a 32 % en concentración de estaño): son muy duros y frágiles, con pocas aplicaciones (Bastida, 2005).

En la tabla 2.5 se describe las principales propiedades de una aleación común de bronce, cuya composición es de 89 % de cobre y 11 % de estaño.

TABLA 2.5 PRINCIPALES PROPIEDADES DEL BRONCE

Tipo	Características
Propiedades Físicas	Densidad: 8,9 g/cm ³
	Punto de fusión: 830 a 1020°C
	Punto de ebullición: 2420°C
	Resistividad eléctrica: 14 a 16 μΩ/cm
Propiedades Mecánicas	Elongación: >65 %
	Dureza Brinell: hasta 200
	Resistencia a la tracción: 900 MPa

FUENTE: (D'alejandro, 2016)

2.4 EL COBRE Y SUS ALEACIONES EN EL ECUADOR

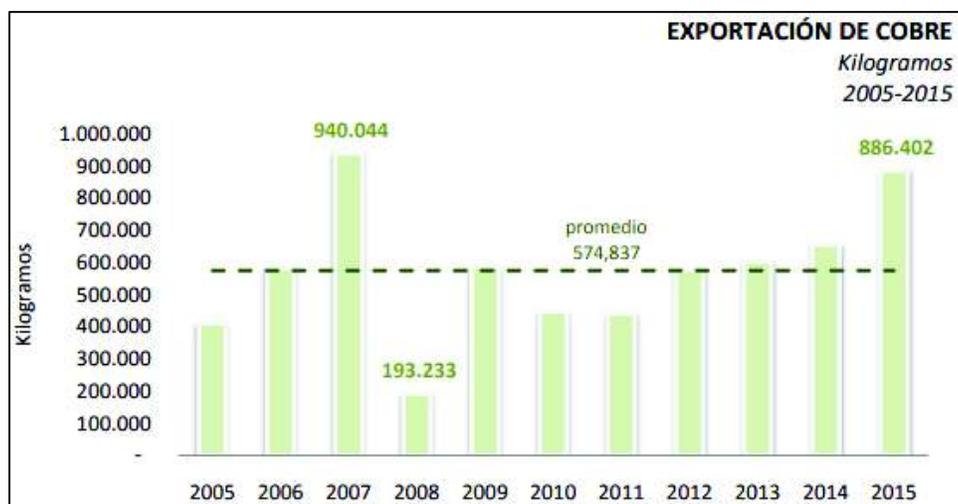
En Ecuador, la principal actividad asociada a la producción de cobre es la minería, la cual comprende los procesos de extracción, explotación y aprovechamiento del mineral. El cobre se considera un metal básico, dentro de la explotación de los minerales metálicos (Banco Central del Ecuador, 2016).

El Ecuador posee importantes reservas de cobre, en donde la extracción anual estimada llegaría a 30 mil toneladas métricas (Hoy Ecuador, 2012). Al ser el cobre

un mineral de origen natural como resultado de la evolución geológica, requiere procesos tecnológicos avanzados e inversiones altas para poder obtener cobre puro o en su fase metálica (Banco Central del Ecuador, 2016). Sin embargo, la mayor parte del mineral recuperado es exportado a países industrializados como materia prima para la producción de materiales manufacturados los cuales posteriormente son importados.

Además, el cobre exportado, obtenido principalmente del reciclaje de metales, llegó a 886 402 kg en el año 2015 (Banco Central del Ecuador, 2016). En cuanto a las exportaciones de desperdicios y desechos de cobre en el 2016 llegó a 6 692 toneladas, mientras que en los últimos datos registrados por PRO ECUADOR que corresponden de enero-abril del 2017 llegó a 2 658 toneladas (PRO ECUADOR, 2017). Según la figura 2.3, se puede visualizar las exportaciones de cobre reciclado en el Ecuador desde el año 2005 hasta el 2015.

FIGURA 2.3 EXPORTACIONES DE COBRE EN EL ECUADOR



FUENTE: (Banco Central del Ecuador, 2016)

2.4.1 RECICLAJE DEL COBRE

El consumo mundial de cobre refinado ha presentado un crecimiento anual del 11,6 % desde el año 2000 hasta el año 2016, pasando de 15 185 mil toneladas a 22 523 mil toneladas respectivamente, siendo los países de mayor consumo China,

Estados Unidos y Alemania (Comisión Chilena del Cobre, 2017). Esto representa una mayor explotación de recursos conforme los países continúan desarrollándose industrialmente, y a su vez generando mayor cantidad de residuos de cobre. Una manera de cubrir la demanda de cobre y conservar los recursos es mediante el reciclaje de este metal (Suárez, 2017).

El cobre reciclado se puede volver a fundir para la fabricación de nuevos productos que satisfagan las necesidades del consumidor, sin pérdida del rendimiento propio del metal (Copper Alliance, 2014). Al conservar sus propiedades, proporciona gran resistencia, lo cual lo hace apropiado para ser reutilizado y así prolongar la vida útil de este material.

Es importante manifestar que la chatarra de cobre no es considerada un desecho peligroso según el Convenio de Basilea, el cual lo considera dentro del anexo de desechos no peligrosos, a menos que presente características o materiales incluidos en los anexos de desechos peligrosos (Martínez, 2005).

En diferentes provincias del Ecuador, existen diversas empresas que se dedican al reciclaje de materiales y metales. De acuerdo a datos del Censo Nacional Económico 2010 realizado por el INEC, se describe que 24 establecimientos se dedican al procesamiento de desechos metálicos (Revista Líderes, 2013), como por ejemplo Graham Reciclaje, Reciclamental, Bioreciclar Cia. Ltda., ubicadas en Quito y Recynter ubicada en Guayaquil.

2.5 EL COBRE COMO AGENTE ANTIMICROBIAL

El cobre es un elemento esencial para los seres humanos y constituye un importante micronutriente para los microorganismos. Los seres vivos requieren de pequeñas cantidades o trazas de cobre para su metabolismo y diversos procesos bioquímicos. Sin embargo, varios estudios mencionan que altas concentraciones del metal causan efectos tóxicos principalmente sobre organismos unicelulares como las bacterias (Royal Society of Chemistry, 2017; Copper BioHealth, 2011).

2.5.1 EVIDENCIA DE LA ACCIÓN ANTIMICROBIANA DEL COBRE

El libro “Smith Papyrus”, uno de los textos médicos egipcios más antiguos escrito entre 2600 y 2200 a.C, describe el uso del cobre en la esterilización de heridas y desinfección de agua potable. Además menciona que civilizaciones griegas, romanas y aztecas utilizaban cobre para tratar ciertas dolencias como quemaduras, infecciones, dolor de cabeza y para la higiene (Grass, Rensing y Solioz, 2011). En este sentido, varias civilizaciones antiguas conocían de forma empírica la propiedad higiénica del cobre, actualmente conocida como propiedad antimicrobiana (Prado et al., 2012).

A finales del siglo XIX e inicios del XX, surge una época de ardua investigación sobre el uso del cobre en la medicina y otras aplicaciones (Grass et al., 2011). La mayoría de investigaciones científicas enfocadas en el área médica, han estudiado el poder antimicrobial del cobre en superficies secas, no obstante, existen limitados documentos que prueban la acción bactericida de este metal en sistemas acuosos.

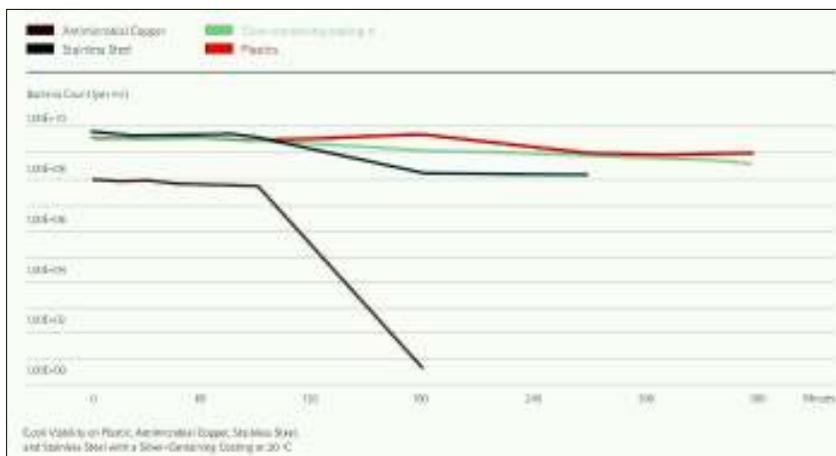
Michels, Noyce y Keevil (2009) realizaron ensayos para demostrar la acción antimicrobiana de seis materiales (cinco aleaciones de cobre y un material con plata) a diferentes valores de temperatura y humedad. Se comprobó que las aleaciones de cobre mostraron similar efectividad a diferentes rangos de temperatura (20°C y 35°C) y diferentes condiciones de humedad relativa (20 %, 24 % y 90 %), mientras que el material con plata, resultó ser efectivo únicamente en rangos altos de temperatura y humedad, de tal modo que las superficies de cobre presentaron una mejor eficacia antimicrobiana en las diferentes condiciones ambientales.

Otros estudios experimentales han demostrado que las superficies de contacto en el ambiente hospitalario que contenían al menos del 55 % al 99,9 % en peso de cobre; 70 % de cobre y 30 % de zinc en peso del latón; y un 95 % de cobre y 5 % de estaño en peso de bronce, presentaron una reducción de bacterias de más del 99,9 % después de 2 horas de exposición (Michels & Anderson, 2008). Así mismo, datos de ensayos clínicos indicaban que las habitaciones de cuidados intensivos,

que utilizaban superficies de cobre, reducían la probabilidad de que los pacientes adquieran infecciones intrahospitalarias (Copper BioHealth, 2011).

En diferentes partes del mundo como Reino Unido, Estados Unidos, Alemania, Grecia y otros, se han desarrollado ensayos de laboratorio para comprobar la acción antimicrobial del cobre. Estas pruebas se han realizado simulando las condiciones típicas de ambientes interiores. Se experimentó con la bacteria *E. Coli* O157:H7 en diferentes superficies de contacto como cobre, acero inoxidable, recubrimiento con plata y plástico. En la figura 2.4, se puede visualizar la disminución de la concentración de bacterias en función del tiempo y en las diferentes superficies de contacto. A las 2 horas de exposición, el cobre eliminó el 99.9 % de *E. Coli* O157:H7, mientras que los demás tipos de superficie no presentaron acción antimicrobiana después de las 6 horas de exposición (International Copper Association, 2015).

FIGURA 2.4 ACCIÓN ANTIMICROBIANA DEL COBRE EN DIFERENTES SUPERFICIES DE CONTACTO



FUENTE: (International Copper Association, 2015)

De esta manera, el 29 de febrero del 2008, la EPA registra al cobre y sus aleaciones, incluyendo latón y bronce, como materiales bactericidas para uso en superficies sólidas con aplicaciones en la salud. Se ha determinado que las bacterias patógenas a ser eliminadas son: *Staphylococcus aureus* resistente a metilina (SAMR), *E. Coli* O157:H7, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter*

aerogenes, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella entérica*, *Campylobacter jejuni*, *Legionella pneumophila*, *Clostridium difficile* y *Mycobacterium tuberculosis*. Al momento, la EPA lleva un registro de 385 aleaciones de cobre con propiedades antimicrobiales (Environmental Protection Agency, 2015; Copper BioHealth, 2011).

A partir de entonces, las investigaciones sobre la propiedad antimicrobiana del cobre se incrementaron considerablemente para evaluar el uso en diferentes aplicaciones como tratamiento de aguas, uso en desinfectantes, materiales de tubería entre otros (Vincent, et al., 2016).

Por ejemplo, en un estudio se evaluó la actividad bactericida de tiras de cobre en sistemas dinámicos acuosos. A las 2 horas de experimentación, se removi6 75 % de bacterias pat6genas con 10 cm² de cobre, 99 % de remoci6n con 20 cm² y 100 % con 30 cm². Por ende, la disminuci6n de la carga bacteriana fue evidente (Le6n y Mosqueda, 2014).

En otro ensayo, se inocul6 agua con bacterias ent6ricas (*E. Coli*, *S. Typhi* y *V. Cholerae*) y se dej6 almacenar la noche en diferentes tipos de recipientes, uno de cobre y otro de vidrio. Despu6s de 16 horas de almacenamiento, no se evidenci6 crecimiento bacteriano en el recipiente de cobre, mientras que en el recipiente de vidrio se evidenci6 un crecimiento bacteriano de m6s de 30 veces para *E. Coli* y m6s de 4 veces para *S. Typhi* y *V. Cholerae* (Sudha, Singh, Prasad y Venkatasubramanian, 2009).

En base a los resultados de varios ensayos realizados, Vicent et al. (2016) exponen que a condiciones ambientales secas, la acci6n antimicrobial del cobre tarda pocos minutos, mientras que en condiciones h6medas, el efecto bactericida del metal se prolonga por algunas horas. Adem6s, en el estudio de Hong, Kang, Michels y Gadura (2012) se describe que las bacterias *E. Coli* que se encontraban expuestas a mayor concentraci6n de cobre presentaban una muerte por contacto de forma m6s r6pida que las bacterias expuestas a aleaciones con menor concentraci6n de cobre.

Finalmente, se puede acotar que el efecto bactericida del cobre y sus aleaciones depende considerablemente de las condiciones del metal, es decir de la concentración, tamaño, forma y/o medio en el cual se trabaje (Vincent et al., 2016).

2.6 MECANISMOS ANTIMICROBIALES DEL COBRE

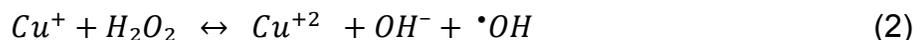
Grass et al. (2011), señalan numerosos factores que contribuyen al daño celular, como por ejemplo los sistemas homeostáticos del cobre en la célula, la potencialidad redox del cobre y los iones de este metal. Además Delgado (2013), menciona que este material puede comportarse como un agente “estático” (inhibidor del crecimiento microbiano) y/o “cidal” (capaz de eliminar a los microorganismos).

Varias investigaciones exponen principalmente dos mecanismos de acción:

- PEROXIDACIÓN LÍPIDICA POR LA FORMACIÓN DE RADICALES LIBRES

La toxicidad del cobre se enmarca dentro de varias suposiciones, una de ellas menciona que los iones de cobre son muy propensos a participar en la formación de las especies reactivas de oxígeno (ROS - por sus siglas en inglés “Reactive Oxygen Species”) (Valko, Morris y Cronin, 2005).

El cobre puede producir radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) en presencia de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) fisiológico. Es así que se inicia un ciclo redox entre Cu^{+2} y Cu^{+1} para la producción de radicales hidroxilo, según una reacción de tipo Fenton, detallada en la ecuación 2 (Borkow y Gabbay, 2005):



Por consiguiente, se da lugar a la peroxidación lipídica o lipoperoxidación. Este proceso se define como una degradación oxidativa de los lípidos, en el cual los radicales libres capturan electrones de los ácidos grasos presentes en las membranas celulares generando una reacción en cadena (Real Academia de Ingeniería, 2012). Si esta reacción no culmina con rapidez, habrá daño en la

membrana y por ende se aumentará la permeabilidad, de esta manera se liberará los componentes de la célula causando su muerte (Delgado, 2013).

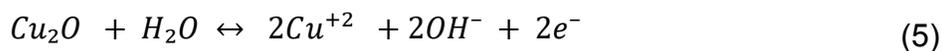
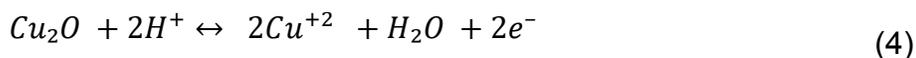
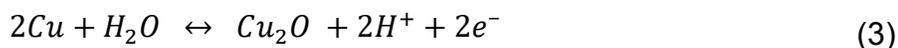
Además, Borkow y Gabbay (2005) expresan que estos radicales hidroxilo pueden causar daño no solo a los lípidos, sino también a proteínas, biomoléculas e inclusive afectaciones al ADN. En este sentido los radicales libres contribuyen al estrés oxidativo generando un daño molecular y estructural en las células.

- FORMACIÓN DE IONES CÚPRICOS (Cu^{+2})

Se conoce que los iones cúpricos son también responsables de la actividad antimicrobiana del cobre. En sistemas o ambientes acuosos, el cobre puede producir Cu^{+2} gracias a los procesos de óxido-reducción y por tanto a factores como la corrosión. Debido a que este material posee buena resistencia a la corrosión, varios estudios afirman que una velocidad mínima de corrosión (1-5 $\mu\text{m/año}$), son suficientes para proveer mecanismos frente al biofouling o biopelícula (Delgado, 2013).

Debido a que el ion cuproso (Cu^{+1}), es muy inestable en solución acuosa, tiende a oxidarse para formar iones cúpricos (Cu^{+2}), siendo éste el estado de oxidación más comúnmente encontrado en el agua (Georgopoulos, Roy, Opiekun y Lioy, 2001). Es así que se produce una corrosión electroquímica, la cual involucra una transferencia de electrones desde el metal de valencia cero hacia un aceptor de electrones, provocando la liberación de iones cúpricos en el medio y por consiguiente un deterioro del metal (Beech y Sunner, 2004; Delgado, 2013).

La liberación de iones cúpricos se detalla en las ecuaciones 3, 4 y 5:

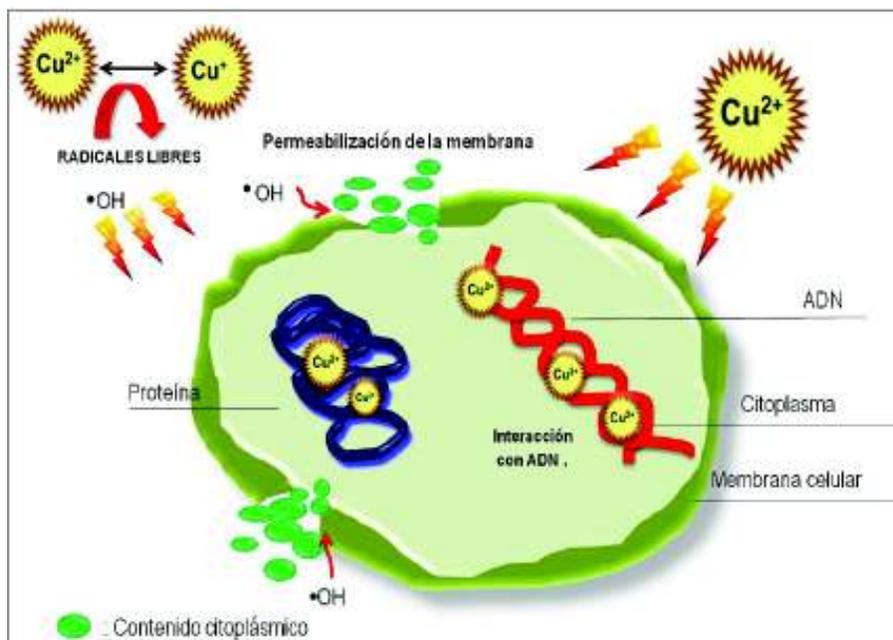


Los grupos funcionales químicos presentes en la pared celular (grupos carboxilo), al tener carga negativa, son los primeros componentes que entran en contacto con los iones cúpricos, por ende son los responsables de la unión de los cationes metálicos a la pared celular (Vijayaraghavan y Yun, 2008).

Cuando los iones cúpricos se vuelven citotóxicos, se produce una serie de interferencias a nivel celular, esto debido a que pueden formar complejos estables con NH_3 , Cl^- , azufre u oxígeno presentes en el medio, lo cual puede propiciar una activación de la degradación de proteínas en los lisosomas, inhibición de la síntesis de proteínas, producción alterada de ATP en las mitocondrias, defectos en la estructura del ácido ribonucleico, desórdenes en la estructura helicoidal, mutaciones, entre otros factores (Delgado, 2013; Viarengo, Burlando y Bolognesi, 2002).

De manera general y en base a lo descrito anteriormente en los dos mecanismos de acción, se puede visualizar que la figura 2.5 muestra un esquema sobre la acción de los radicales hidroxilo y los iones de cobre en los microorganismos unicelulares.

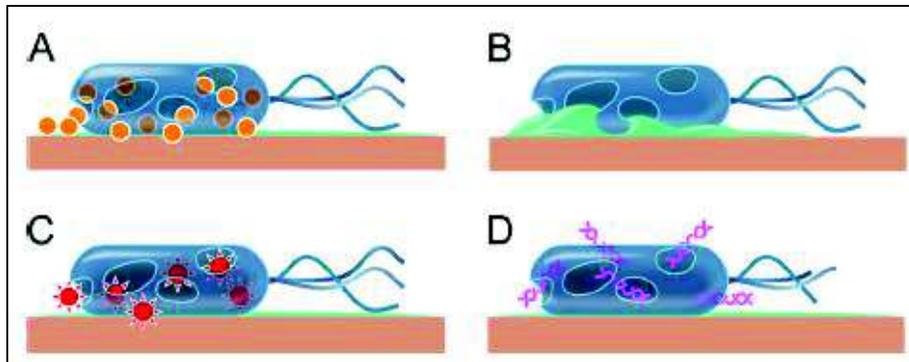
FIGURA 2.5 MECANISMO DE ACCIÓN ANTIMICROBIAL DEL COBRE



FUENTE: (Delgado, 2013)

Además, en la figura 2.6 se puede ver como Grass et al. (2011) representan de forma gráfica los posibles eventos de la muerte bacteriana cuando las células se encuentran en contacto con superficies de cobre (denominado también como “contact killing”).

FIGURA 2.6 POSIBLES EVENTOS DE MUERTE CELULAR POR CONTACTO EN SUPERFICIES DE COBRE



A: El cobre disuelto causa daño a la membrana celular. **B:** Existe ruptura de la membrana debido al cobre y otros fenómenos como estrés. En consecuencia se produce una fuga del contenido citoplasmático de la célula. **C:** Los iones de cobre inducen la generación de ROS, los cuales agudizan el daño celular. **D:** Muerte celular y degradación del ADN.

FUENTE: (Grass et al., 2011)

2.7 CORROSIÓN DEL COBRE

Al ser el cobre un metal de transición y de acuerdo a su configuración electrónica ($3d^{10} 4s^1$) tiene la capacidad de ceder y aceptar electrones de forma continua (Feres, 2015). En este sentido, el electrón que se encuentra desapareado en la última capa y los electrones de la capa penúltima capa participan en la formación del enlace metálico, generando así dos estados de oxidación principales: Cu^{+1} y Cu^{+2} . (Delgado, 2013)

El cobre puede sufrir procesos de corrosión tanto en ambientes secos (expuestos a altas temperaturas) como en medios húmedos (procesos electroquímicos). Este

último proceso involucra reacciones redox, que se basan en la transferencia de electrones desde un área conocida como ánodo (donador) hacia el cátodo (receptor de electrones) generando liberación de iones metálicos en el medio. (Beech y Sunner, 2004; Delgado, 2013).

2.8 MARCO LEGAL APLICABLE

Para la ejecución del presente estudio se realizará una caracterización físico-química y microbiológica de un cuerpo de agua (Río Machángara), enfocándose principalmente en los parámetros microbiológicos (CT y CF) y la concentración de cobre en el agua, mismos que serán comparados con las normas generales de criterios de calidad de las aguas para sus diferentes usos establecidos en el siguiente instrumento legal ambiental.

- Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental. Libro VI. (TULSMA)

El Anexo 1 del TULSMA, corresponde a la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. En este anexo se establece los límites máximos permisibles (LMP) de descarga para los diferentes usos del agua. En la Tabla 2.6 se resume los parámetros analizados:

TABLA 2.6 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE COLIFORMES Y CONCENTRACIÓN DE COBRE

ANEXO 2 DEL TULSMA				
No. de Tabla	Criterios Generales	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES		
		Coliformes totales NMP/100ml	Coliformes fecales NMP/100ml	Cobre (mg/l)
Tabla 1	Consumo humano y uso doméstico que requiere tratamiento convencional	3 000	600	1
Tabla 2	Consumo humano y uso doméstico que requiere desinfección	50	20	1

TABLA 2.6 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE COLIFORMES Y CONCENTRACIÓN DE COBRE (CONTINUACIÓN)

ANEXO 2 DEL TULSMA					
No. de Tabla	Criterios Generales		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES		
			Coliformes totales NMP/100ml	Coliformes fecales NMP/100ml	Cobre (mg/l)
Tabla 3	Preservación de la flora y fauna	Agua dulce fría	NA	200	0,02
		Agua cálida dulce	NA	200	0,02
		Agua marina y estuario	NA	200	0,05
Tabla 6	Uso agrícola		1 000	NA	2
Tabla 8	Uso pecuario		< 5 000	< 1 000	0,5
Tabla 9	Fines recreativos (Contacto primario)		1 000	200	NA
Tabla 10	Fines recreativos (Contacto secundario)		4 000	1 000	NA
Tabla 11	Descarga al sistema de alcantarillado		NA	NA	1
Tabla 12	Descarga a un cuerpo de agua dulce		NA	Remoción > al 99,9 % *	1

*Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3000, quedan exentos de tratamiento (TULSMA, 2015)

FUENTE: (TULSMA, 2015)

Modificado por: Torres y Zaruma

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

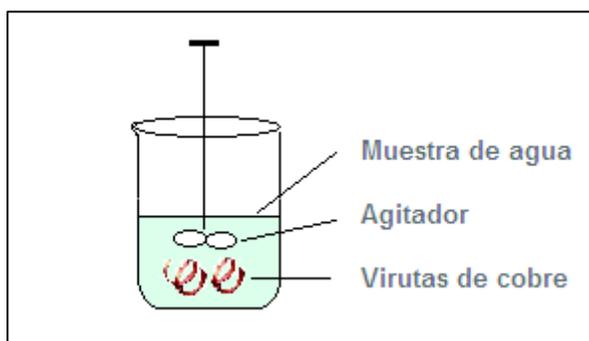
3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

3.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS

La etapa experimental se realizó en dos fases principales: ensayos con agua sintética y ensayos con agua residual del río Machángara. A cada fase se aplicó tratamientos con virutas de cobre, latón y bronce para evaluar la eficiencia de remoción de CF. En la primera fase, se determinó la concentración de CF antes y después del tratamiento a diferentes concentraciones en peso de cobre y a diferentes tiempos de contacto, posteriormente se empleó el mejor tiempo de contacto para los tratamientos con virutas de latón y bronce a diferentes concentraciones en peso. En base a los resultados obtenidos durante la primera fase, se procedió a validar el tratamiento en el agua residual del Río Machángara.

Para la determinación de CF, se empleó la técnica por tubo múltiple descrito en el ítem 2.2.2 del marco teórico y para el tratamiento del agua con las virutas recicladas, se simuló reactores tipo Batch como se muestra en la figura 3.1.

FIGURA 3.1 ESQUEMA DEL REACTOR TIPO BATCH



Elaboración: Torres y Zaruma

Para corroborar los resultados obtenidos en cada fase de la experimentación se realizó los ensayos por duplicado, obteniendo de este modo un promedio de las mediciones realizadas.

3.1.2 OBTENCIÓN DE VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE RECICLADO

3.1.2.1 Recolección de materiales reciclados

Los materiales reciclados de cobre, latón y bronce se encontraron en piezas provenientes de partes mecánicas, aparatos eléctricos, electrónicos y perfiles antiguos. Estas piezas se obtuvieron principalmente en chatarrerías, centros de acopio y residuos donados por el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional. Los centros de acopio visitados fueron Ecoreciclaje, Bioreciclar Cia. Ltda., y Maprina S.A, ubicados al sur y norte de la ciudad de Quito (ver figura 3.2).

Una forma sencilla para identificar si los materiales son ferrosos o no, es aplicando la prueba magnética. Esta prueba consiste en acercar un imán a la pieza metálica y si ésta es atraída por el imán se lo considera un metal ferroso, caso contrario se considera un metal no ferroso como el cobre, latón y bronce (Rockaway Recycling, 2018).

FIGURA 3.2 RECOLECCIÓN DE METALES EN CHATARRERÍAS

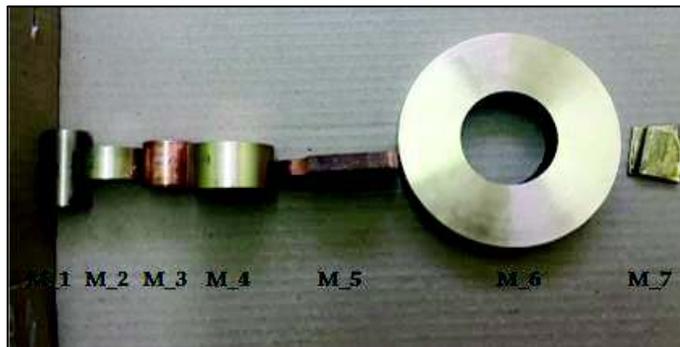


ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

3.1.2.2 Composición química de los metales reciclados

Del total de piezas recolectadas, se seleccionaron 7 piezas o muestras (entre cobre, latón y bronce) para realizar el análisis espectrométrico. Previo al análisis, las piezas fueron refrentadas en un torno con la finalidad de eliminar las irregularidades de la superficie y así obtener piezas lisas, cilíndricas y sin asperezas, tal como se muestra en la figura 3.3.

FIGURA 3.3 PIEZAS REFRENTADAS PARA EL ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Para conocer la composición y la respectiva concentración de elementos presentes en cada material reciclado, se empleó el análisis de espectrometría por chispa, utilizando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION, como se indica en la figura 3.4.

FIGURA 3.4 EQUIPO PARA EL ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA POR CHISPA



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Fundición del Departamento de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN.

El informe técnico emitido por el Laboratorio de Fundición de la EPN, muestra los resultados de las 7 piezas analizadas (ver Anexo 2). De acuerdo a los análisis, se eligieron 3 piezas con los mayores porcentajes de cobre: La pieza denominada "M_3" se utilizó para los ensayos de cobre (99,81 %Cu), la pieza "M_2" para los ensayos de latón (72,8 %Cu y 19,17 %Zn) y la pieza "Muestra M_6" para los ensayos de bronce (83,73 %Cu y 13,14 %Sn) tal como se muestra en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA LAS PIEZAS METÁLICAS CON MAYOR PORCENTAJE DE COBRE

Elemento	Muestra M_3	Muestra M_2	Muestra M_6
	Valor (%)	Valor (%)	Valor (%)
Zinc (Zn)	0,13	19,17	1,751
Plomo (Pb)	<0,05	2,476	1,055
Estaño (Sn)	<0,005	1,315	13,140
Fósforo (P)	<0,01	<0,01	0,045
Manganeso (Mn)	<0,01	0,017	<0,01
Hierro (Fe)	0,012	3,26	0,046
Níquel (Ni)	0,027	0,438	0,081
Silicio (Si)	0,0069	0,149	<0,005
Aluminio (Al)	0,01	0,288	<0,01
Azufre (S)	<0,005	0,0094	0,084
Arsénico (As)	<0,01	<0,01	0,018
Bismuto (Bi)	<0,01	0,013	<0,01
Selenio (Se)	<0,01	<0,01	<0,01
Antimonio (Sb)	<0,01	0,054	0,039
Cobre (Cu)	99,81	72,8	83,73

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

3.1.2.3 Proceso de virutaje

El proceso de fragmentación o virutaje de las piezas seleccionadas se realizó en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN, para lo cual se empleó el torno marca NOSOTTI modelo T.180 1500 (figura 3.5), utilizando las siguientes características técnicas en cada material:

- Ángulo de corte: 20°
- Profundidad de corte: de 1 a 2 mm
- Velocidad de corte: entre 375 y 560 RPM

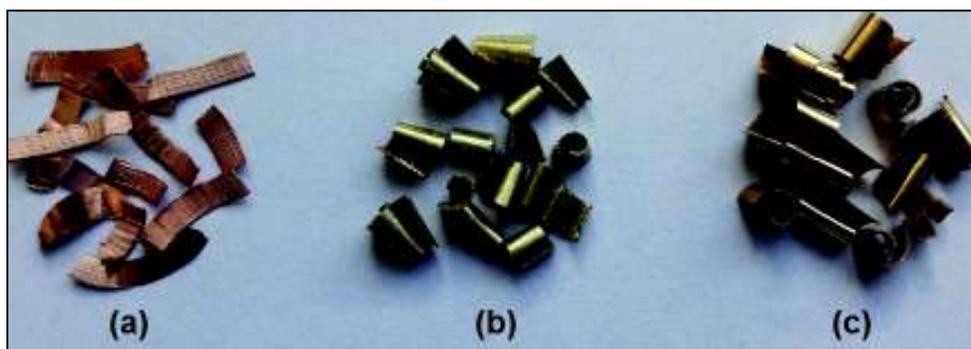
FIGURA 3.5 TORNO EMPLEADO PARA EL PROCESO DE VIRUTAJE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Las virutas obtenidas de cobre (a), latón (b) y bronce (c), se muestran en la figura 3.6.

FIGURA 3.6 VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

En la figura anterior se puede apreciar que la forma de las virutas no es igual en los tres materiales. Las virutas de cobre se diferencian de las virutas de latón y bronce, principalmente por la forma y color. Esto se debe a las características propias de cada aleación y a la composición química

3.1.2.4 Selección del tamaño de partículas y área específica

Una vez obtenidas las virutas, se procedió a realizar el respectivo tamizado de cada material para separar las partículas sumamente finas (polvos) y así obtener virutas lo más uniforme posibles. Para esto se utilizaron los tamices N° 6, 12 y 25 como se puede observar en la figura 3.7.

FIGURA 3.7 TAMIZADO DE VIRUTAS DE COBRE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Se escogieron las virutas que permanecieron en el tamiz N° 12, debido a que las virutas retenidas en dicho tamiz presentaron mayor uniformidad además de recolectarse la mayor cantidad de las mismas, a continuación se procedió a determinar el área específica en cm^2/g de los tres materiales. Para esto, se pesó 1 gramo de las virutas de cobre, latón y bronce respectivamente, en una balanza analítica marca ADAM modelo Nimbus serie 17250. Posteriormente, con la ayuda

de un calibrador se obtuvo el área en cm^2 , se midió las dimensiones de cada viruta (largo y ancho) despreciando el espesor de las mismas, para ello se utilizó la ecuación 6. El pesaje se realizó por triplicado en cada material. Finalmente, se calculó el promedio con la ecuación 7 para ser expresado en cm^2/g .

$$\text{Área (cm}^2\text{)} = \text{Largo} \times \text{ancho} \quad (6)$$

$$\text{Promedio} \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) = \frac{(\text{Medición 1} + \text{Medición 2} + \text{Medición 3})\text{cm}^2/\text{g}}{3} \quad (7)$$

El detalle de los datos obtenidos del dimensionamiento de cada material se encuentra en el Anexo 3.

3.1.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

El volumen de agua utilizado para el tratamiento con virutas de metales reciclados fue establecido de acuerdo a las facilidades que presenta el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental de la EPN, mismo que es replicable a escala de laboratorio. El volumen empleado para el presente estudio fue de 200 ml.

En base a los estudios realizados por León y Mosqueda (2014) y Vincent et al. (2016), se establecieron los siguientes pesos para las virutas de cobre, latón y bronce: $P_1 = 1 \text{ g}$, $P_2 = 3 \text{ g}$ y $P_3 = 7 \text{ g}$. Del mismo modo, los tiempos de contacto establecidos fueron 0,5 horas (T_1), 1 hora (T_2) y dos horas (T_3).

3.1.4 FACTORES DE INCIDENCIA Y CONDICIÓN DE EQUIPOS

Entre los principales factores que pueden incidir en la confiabilidad de los resultados obtenidos en laboratorio son: el funcionamiento de los equipos (Incubadora y autoclave), correcta limpieza del área de siembra y un adecuado proceso de siembra (Beltrán, 2013).

Es así que se realizó una verificación del funcionamiento de los equipos revisando los datos de calibración y mantenimiento. Los principales equipos se detallan en la tabla 3.2.

TABLA 3.2 EQUIPOS DE LABORATORIO

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
<p data-bbox="495 520 639 552">Autoclave</p> 	<p data-bbox="899 711 1143 743">Marca: Tuttnaver</p> <p data-bbox="899 758 1162 789">Modelo: 3870 ELV</p> <p data-bbox="899 804 1295 835">Número de serie: 13041185</p>
<p data-bbox="488 976 646 1008">Incubadora</p> 	<p data-bbox="899 1215 1143 1247">Marca: Memmert</p> <p data-bbox="899 1262 1179 1293">Modelo: IF55 PLUS</p> <p data-bbox="899 1308 1305 1339">Número de serie: 0214-1089</p>

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

3.2 ENSAYO CON AGUA SINTÉTICA

3.2.1 PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA

Se trabajó con cepas bacterianas de *E. Coli ATCC 25922*, conservadas en agua peptonada más glicerol refrigeradas a 4°C (ver figura 3.8). La reactivación de la cepa consistió en ambientar los pellets y traspasar con una asa bacteriológica, un

pellet a un medio nutritivo esterilizado (agua peptonada) para ser incubado por 24 horas a 37°C. Posteriormente, se procedió a contaminar un litro de agua destilada con el medio nutritivo bacteriano y se dejó ambientar en una incubadora de 20°C por 24 horas (American Type Culture Collection, 2016). En la figura 3.9 se observa la inoculación del agua destilada con bacterias de *E. Coli*.

FIGURA 3.8 CEPAS DE *E. Coli*



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

FIGURA 3.9 INOCULACIÓN DE AGUA DESTILADA CON BACTERIAS *E. Coli*



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

3.2.2 TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE

Previo al ensayo se realizó una limpieza de las virutas con alcohol, agua destilada y se dejó secar por aproximadamente un día (Applerot et al., 2012; López, Veleza, Bolio, y López, 2013). Luego se procedió a registrar el peso inicial de las virutas de cobre en la balanza analítica como se muestra en la figura 3.10. Los pesos medidos fueron de aproximadamente $P_1 = 1$ g, $P_2 = 3$ g y $P_3 = 7$ g de acuerdo a los parámetros establecidos en el ítem 3.1.3.2.

FIGURA 3.10 LIMPIEZA DE VIRUTAS Y PESAJE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Posteriormente, se determinó el valor inicial de pH, temperatura y concentración de CF del agua sintética antes del ensayo. Para la experimentación, se establecieron cuatro reactores tipo Batch, como se esquematizó en el ítem 3.1.1. A cada reactor se añadió 200 ml de agua sintética. El primer reactor fue denominado control (sin virutas de cobre), en los demás reactores se colocaron los diferentes pesos de virutas de cobre: P_1 , P_2 y P_3 , respectivamente como se indica en la figura 3.11. Para la simulación de los reactores se utilizó el equipo de prueba de jarras marca Ovan. La experimentación se llevó a cabo a una velocidad de giro de 250 RPM.

FIGURA 3.11 REACTORES CON VIRUTAS DE COBRE

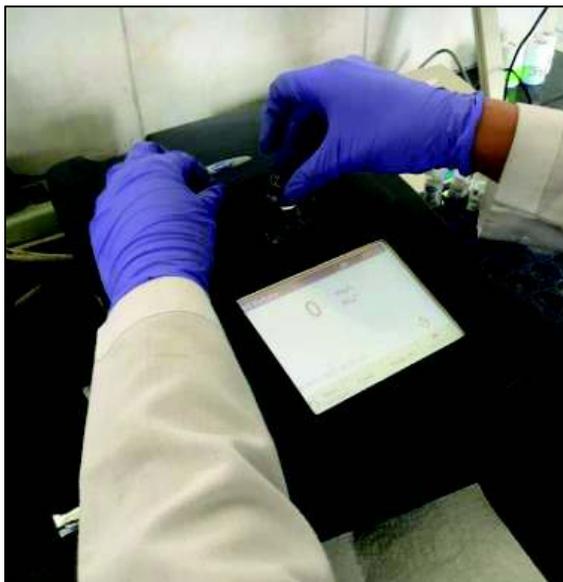
ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Al final de cada tiempo de contacto (T_1 , T_2 y T_3) se extrajo 1 ml de muestra de cada reactor para la determinación de la concentración de CF expresado en NMP/100ml (ver figura 3.12). Además se determinó la concentración de cobre residual después de los tres tiempos de contacto en la muestra de agua. Para la medición de este parámetro se utilizó el espectrofotómetro marca Hach modelo DR 2700 como se muestra en la figura 3.13.

FIGURA 3.12 DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

FIGURA 3.13 MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE COBRE EN EL ESPECTROFOTÓMETRO HACH



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Asimismo, luego de las 2 horas de experimentación, se midió los valores finales de pH y temperatura de la muestra de agua de cada reactor. Finalmente, se recuperaron las virutas de cobre de los reactores para dejarlas secar y registrar el peso final de las mismas.

3.2.3 TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE LATÓN Y BRONCE

Una vez realizada la experimentación con virutas de cobre y de acuerdo a los resultados obtenidos, se eligió como tiempo óptimo 2 horas. Para los tratamientos con virutas de latón y bronce se seleccionaron tres pesos: $P_1 = 1$ g, $P_2 = 3$ g y $P_3 = 7$ g. De este modo, los tratamientos se ejecutaron a tres diferentes pesos y a un solo tiempo de contacto.

De forma similar al tratamiento con virutas de cobre, se realizó la limpieza de las virutas de latón y bronce, se dejó secar y se registraron los pesos iniciales. Se realizó la medición de parámetros iniciales y finales de pH, temperatura y concentración de cobre en el agua sintética. De igual manera se determinó la concentración de CF antes y después del tratamiento tanto para las virutas de latón

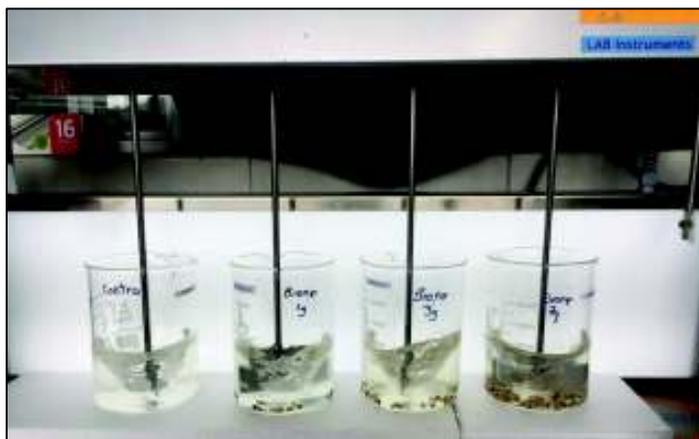
y bronce. Los reactores se muestran en las figuras 3.14 y 3.15. La experimentación se llevó a cabo a una velocidad de giro de 250 RPM.

FIGURA 3.14 REACTORES CON VIRUTAS DE LATÓN



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

FIGURA 3.15 REACTORES CON VIRUTAS DE BRONCE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Al final de la experimentación se registró el peso de las virutas de latón y bronce respectivamente.

3.2.4 VELOCIDAD DE CORROSIÓN

La velocidad de corrosión se evaluó con la finalidad de determinar el desgaste del material y por consiguiente evaluar la hipótesis de la liberación de iones cúpricos Cu^{+2} en el medio (Beech y Sunner, 2004).

3.2.4.1 Cálculo de la Velocidad de Corrosión

Para calcular la velocidad de corrosión se empleó la ecuación 8 expresada en mm/año (American Society of Testing Materials A.S.T.M., 1999).

$$\text{Velocidad de corrosión} \left(\frac{\text{mm}}{\text{año}} \right) = \frac{K \times (m_i - m_f)}{\text{Área} \times t \times \rho} \quad (8)$$

Donde:

K= Constante para expresar en las unidades deseadas (ver Anexo 5)

$m_i - m_f$ = masa inicial – masa final (g)

Área = área de cada material (cm^2)

t = tiempo de exposición (horas)

ρ = densidad de cada material (g/cm^3)

3.2.5 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES

3.2.5.1 Determinación de la Eficiencia de Remoción de CF

Para determinar la eficiencia de remoción de CF a los diferentes pesos y tiempos empleados durante la experimentación, se aplicó la ecuación 9.

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{[CF]_o - [CF]_f}{[CF]_o} * 100 \quad (9)$$

Donde:

$[CF]_o$ = Concentración inicial de CF y

$[CF]_f$ = Concentración final de CF

Por ejemplo, a una concentración inicial de $2,85 \times 10^8$ NMP/100ml y empleando un peso de 7,0057 g de virutas de cobre se obtuvo una concentración final de CF de $2,7 \times 10^5$ NMP/100ml a las 2 horas de tratamiento (T_3). Por tanto el porcentaje de remoción de CF fue de 99,9053 % como se indica a continuación:

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(2,85 * 10^8 - 2,7 * 10^5)}{2,85 * 10^8} * 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 99,91 \%$$

En el Anexo 4 se detalla los resultados de la lectura de tubos positivos y negativos obtenidos por la técnica de tubos múltiples. Mediante estos valores se pudo establecer el valor de NMP/100 ml.

3.2.6 TIEMPO Y PESO ÓPTIMO DE COBRE, LATÓN Y BRONCE

El tiempo y peso óptimo de las virutas de cobre, latón y bronce fueron determinados una vez analizadas las eficiencias de remoción de CF. En este sentido, para el cobre se escogió como tiempo óptimo T_3 y peso óptimo P_3 , de acuerdo al mayor porcentaje de remoción de CF. De forma similar se eligió el peso óptimo para el latón y bronce. En la tabla 3.3 se resume lo descrito anteriormente.

TABLA 3.3 TIEMPO Y PESO ÓPTIMO

MATERIAL	TIEMPO ÓPTIMO (h)	PESO ÓPTIMO (g)
Cobre	T ₃	P ₃
Latón		
Bronce		

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

3.3 ENSAYOS CON AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA

3.3.1 MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

3.3.1.1 Zona de Estudio

El Río Machángara atraviesa cuatro sistemas principales de quebradas, entre ellas Caupicho (El Comercio, 2011). La quebrada Caupicho recibe aportes de aguas residuales del área poblada, para ser descargada en cauces más grandes. Se encuentra ubicada al sureste de la ciudad de Quito, en la parroquia Turubamba dentro de la Administración Zonal Quitumbe (Terán, 2010). En la figura 3.16 se puede observar la zona de estudio.

FIGURA 3.16 QUEBRADA CAUPICHO - ZONA DE ESTUDIO



FUENTE: Google Earth, 2017

3.3.1.2 Muestreo

Para determinar la calidad del agua, se estableció un punto estratégico de muestreo, considerando que éste tenga una influencia directa de descargas residuales domésticas y sobre todo un fácil acceso.

Durante la fase de muestreo se evidenció una descarga de aguas residuales provenientes de viviendas aledañas, descargas pluviales y el sistema de alcantarillado, mismos que interceptan en un colector como se puede apreciar en la figura 3.17. El muestreo se lo realizó a las 10:00 am en un día sin presencia de lluvia.

FIGURA 3.17 PUNTO DE MUESTREO



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Las coordenadas del sitio de muestreo se pueden apreciar en la tabla 3.4.

TABLA 3.4 COORDENADAS DEL PUNTO DEL MUESTREO

COORDENADAS	
Zona: 17M	
X	Y
774501,18	9964063,43

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

3.3.1.3 Caracterización

La caracterización físico-química para evaluar la calidad del agua, se realizó con la medición in situ de algunos parámetros y un análisis complementario de parámetros en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA) y en el Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) de la EPN. Esta caracterización físico-química proporciona una visión más amplia de las condiciones iniciales a las cuales se realizó el ensayo.

Los parámetros de monitoreo evaluados se detallan en la tabla 3.5.

TABLA 3.5 PARÁMETROS Y MÉTODOS

	PARÁMETRO	MÉTODO	EQUIPO
Campo	pH	APHA 4500-H+B	pH-metro: Marca Hanna H198127
	Conductividad	APHA 2510	Conductivímetro: YSI Model 30M Handheld salinity
	Oxígeno Disuelto OD	APHA 4500-O B	Medidor de OD: HACH Competeurs portatifs HQ series, 2006
	Turbidez	APHA 2130 B	2100p turbidímetro portátil marca HACH
	Temperatura	APHA 2550 B	pH-metro

TABLA 3.5 PARÁMETROS Y MÉTODOS (CONTINUACIÓN)

	PARÁMETRO	MÉTODO	EQUIPO
Laboratorio LDIA	Sólidos totales	APHA 2540 B	-
	Sólidos suspendidos	APHA 2540 F	Cono Imhoff
	Sólidos suspendidos totales	APHA 2540 D	-
	Sulfatos	APHA 4500- SO_4^{2-}	Espectrofotómetro (HACH)
	DBO ₅	APHA 5210 B	-
	DQO	APHA 5220 D	Espectrofotómetro (HACH)
Laboratorio CICAM	Grasas y aceites	APHA 5520B	—
	Tensoactivos (Detergentes aniónicos)	APHA 5540 C	—
	Nitrógeno Orgánico (Kjeldahl)	APHA 4500 – N B	—
	Nitrógeno Amoniacal	Nessler	—

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

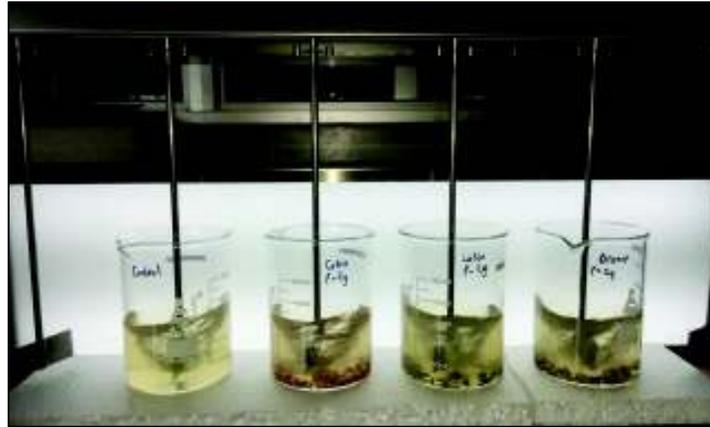
El informe emitido por el CICAM se encuentra en el Anexo 6.

3.3.2 TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE

Previo al tratamiento, se dejó reposar durante una hora la muestra de agua para disminuir la mayor cantidad de sólidos presentes. Se establecieron cuatro reactores: uno de control, el segundo con el peso óptimo de virutas de cobre, el otro con el peso óptimo de virutas de latón y el último con el peso óptimo de virutas de

bronce (previamente se realizó la limpieza de las virutas). Se trabajó a una velocidad de giro de 250 RPM. En la figura 3.18, se muestra el montaje de los reactores.

FIGURA 3.18 REACTORES CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

De forma similar a los ensayos con agua sintética, se determinaron algunos parámetros antes y después de la experimentación como pH, temperatura, peso de cada material, concentración de cobre residual y concentración de CF.

El peso inicial y final del cobre, latón y bronce se determinó con la finalidad de evaluar la velocidad de corrosión. Adicionalmente, se calculó la eficiencia de remoción de CF utilizando la concentración de CF.

CAPITULO IV

4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ENSAYOS CON AGUA SINTÉTICA

4.1.1 TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE

4.1.1.1 Medición de parámetros de pH y temperatura

En la tabla 4.1 se presentan los valores de pH y temperatura obtenidos antes y después de aplicado el tratamiento (a las 2 horas), tanto en el reactor de control como en los reactores con los diferentes pesos de virutas de cobre (P₁, P₂ y P₃).

TABLA 4.1 MEDICIÓN INICIAL Y FINAL DE pH Y TEMPERATURA

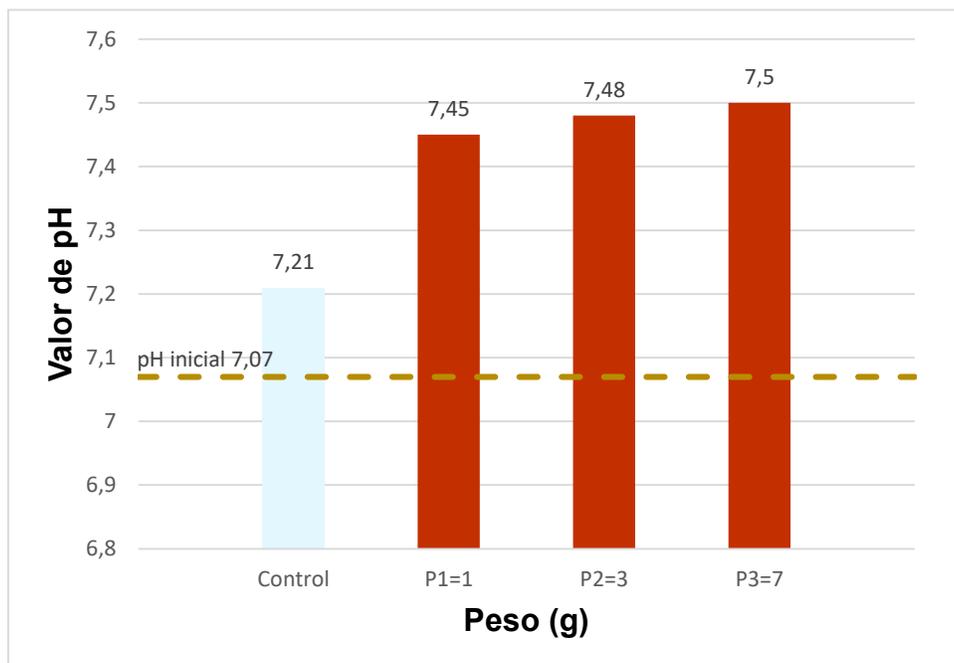
Material	Peso (g)	Inicial		Final		Eficiencia de remoción de CF (%)
		pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	
Control	-	7,07	20,1	7,21	20,8	72,63
Cobre	P ₁ = 1			7,45	20,9	98,00
	P ₂ = 3			7,48	20,9	99,18
	P ₃ = 7			7,50	20,8	99,91

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Se observa que el pH inicial de la muestra de agua sintética es de 7,07. Sin embargo, después de las dos horas de contacto, existe un ligero incremento del pH en todos los reactores (Gráfica 4.1). Este aumento del pH es ligeramente más significativo a mayor peso o concentración de cobre, como es el caso del reactor que contiene 7 g de virutas de cobre (P₃), cuyo pH final fue de 7,50 indicando un aumento de 0,43 unidades. En este sentido, el pH muestra cierta tendencia hacia la alcalinidad en todos los reactores, tanto en el de control como los que contienen cobre.

En la gráfica 4.1 se observa la variación del valor final del pH en función del peso de virutas de cobre, en comparación al pH inicial.

GRÁFICA 4.1 VARIACIÓN DEL VALOR FINAL DEL pH EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Debido a los procesos de agitación y aireación en los reactores, se genera un incremento en la superficie de contacto entre el agua y el aire, lo cual facilita el intercambio de gases principalmente de oxígeno (O_2), motivo por el cual se obtuvo un ligero aumento del pH (Galvín, 2014; Villanueva, 2011). Además, al incrementarse la concentración de O_2 en el agua se contribuye a fenómenos como la corrosión de cobre y por ende concentración del cobre residual en el agua, siendo parámetros que están relacionados con la eficiencia de remoción de bacterias (Jang, Choi, y Ka, 2011; Sudha et al., 2012).

De este modo se puede apreciar una relación directa entre el pH, peso de virutas de cobre y eficiencia de remoción de CF. Así, en el reactor que contiene mayor cantidad de cobre (P_3) se obtuvo un pH final de 7,50 y una eficiencia de remoción

del 99,91 % de CF, siendo el porcentaje más alto comparado con los valores obtenidos en los demás reactores.

Adicionalmente, los resultados obtenidos en el presente trabajo concuerdan con los obtenidos por Sudha et al. (2009) y Sudha et al. (2012), quienes reportaron un ligero aumento del pH en el agua inoculada con bacterias en recipientes de cobre y vidrio (éste último utilizado como control), evidenciando inactivación de los microorganismos después de 16 h de almacenamiento en los recipientes de cobre.

Con respecto a la temperatura, también existe un ligero incremento. Se reportó como valor inicial 20,1 °C y después de las dos horas de tratamiento se evidenció un aumento en los reactores, en los cuales la temperatura subió entre un 20,8°C y 20,9 °C. Al mantener en agitación el agua a una velocidad de giro de 250 RPM, se incrementa la energía cinética de las moléculas originando un aumento de temperatura (Muñoz, 2013).

Además, la temperatura resultó ser de cierto modo influyente sobre la tasa de inactivación de *E Coli*, puesto que todos los reactores presentaron porcentajes de remoción microbiana superior al 72 % (Sharan, Chhibber, Attri, y Reed, 2010). Esto también se corrobora con las pruebas realizadas por Wilks, Michels y Keevil (2005), al inocular *E. Coli* en diferentes superficies metálicas (cobre, latón, bronce entre otras) sometidos a temperatura ambiente (20°C) y a una temperatura baja (4°C), dando como resultado mejores tiempos de muerte celular a los 20°C.

De este modo Sharan et al. (2010) demuestran que los recipientes de cobre son letales para la bacteria *E.coli* en diferentes condiciones de pH y temperatura. Es decir, que existe una inactivación más rápida a temperaturas elevadas y a valores de pH más lejanos de la neutralidad. Por esta razón, en la tabla 4.1 se realiza una comparación de los valores de pH y temperatura con los porcentajes de eficiencia de remoción, llegando a la conclusión de que a mayor cantidad de virutas de cobre, pH y temperatura, se incrementa la eficacia antimicrobiana y por tanto se reduce la concentración de CF (Grass et al., 2011; Sharan et al., 2010; Vincent et al., 2016).

4.1.1.2 Concentración de cobre residual

Los resultados obtenidos de concentración de cobre residual en los reactores con los diferentes pesos de cobre (P_1 , P_2 y P_3) al final de cada tiempo de contacto (T_1 , T_2 , T_3) se pueden observar en la tabla 4.2. Adicionalmente, se realizó una comparación con los límites máximos permisibles (LMP) de cobre establecidos en la normativa ambiental.

TABLA 4.2 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE RESIDUAL CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Material	Peso (g)	Concentración inicial Cobre (mg/l)	Concentración final Cobre (mg/l)			LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE COBRE (mg/l)			
			Tiempo 1 (0,5 h)	Tiempo 2 (1h)	Tiempo 3 (2h)	Uso agrícola	Uso pecuario	Descarga al sistema de alcantarillado	Descarga a un cuerpo de agua dulce
Cobre	$P_1 = 1$	0,02	0,05	0,15	0,25	2	0,5	1	1
	$P_2 = 3$		0,45	0,6	0,96				
	$P_3 = 7$		0,85	1,3	2,12				

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

En el reactor que contiene 1 g de virutas de cobre (P_1) se obtuvo valores de concentración final de cobre de 0,05; 0,15 y 0,25 mg/l para el T_1 , T_2 y T_3 respectivamente, cumpliendo con los LMP para uso agrícola, pecuario, descargas al alcantarillado y descargas a un cuerpo de agua dulce según lo establecido en el Anexo 1 del TULSMA.

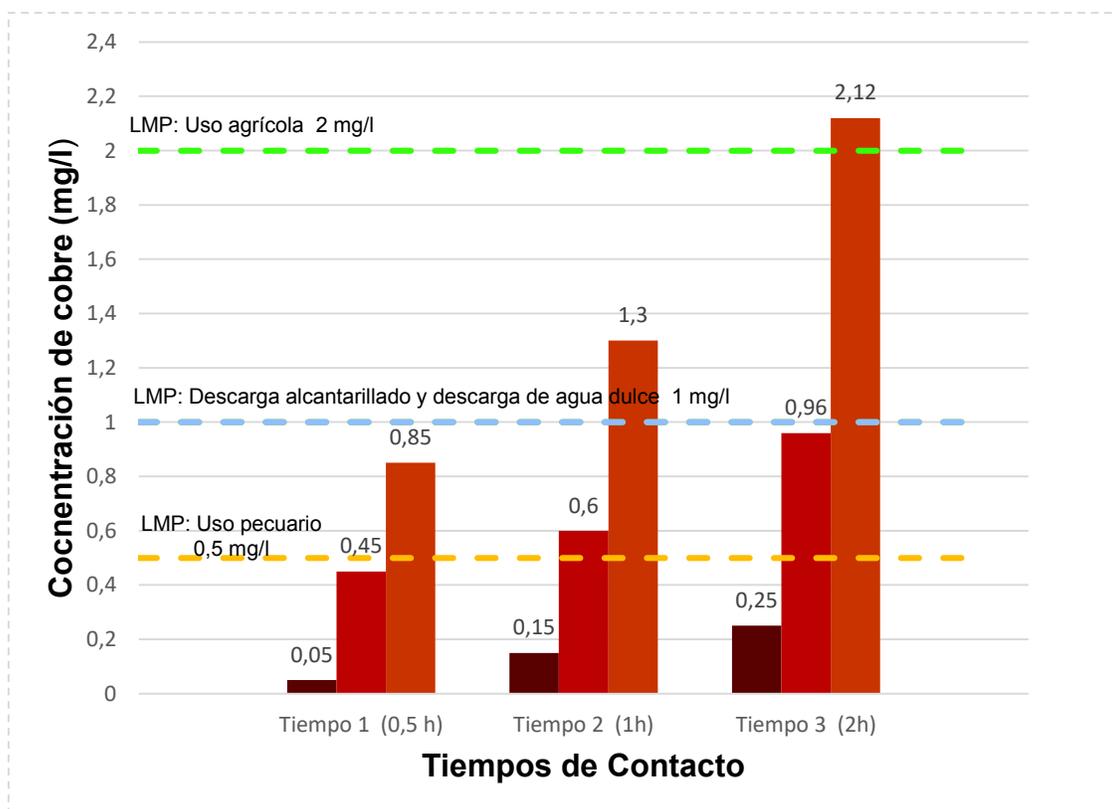
Para el reactor que contiene 3 g de virutas de cobre (P_2), se puede observar resultados de concentración final de cobre de 0,45; 0,6 y 0,96 mg/l correspondientes a los tres tiempos de contacto establecidos, en el cual la primera concentración cumple con todos los LMP, pero los valores correspondientes al T_2 y T_3 no cumplen con los LMP para uso pecuario.

Y finalmente, en el último reactor con 7 g de virutas de cobre (P_3), se determinó una concentración de cobre de 0,85 para el tiempo de contacto T_1 , observando que se cumple con los LMP para uso agrícola, descarga al sistema de alcantarillado y descarga a un cuerpo de agua dulce. Respecto al tiempo T_2 se obtuvo una concentración de cobre residual de 1,3 mg/l, cumpliendo únicamente con el LMP para uso agrícola y en el tiempo T_3 se obtuvo 2,12 mg/l, siendo la mayor

concentración reportada y verificando que incumple con los LMP establecidos en el TULSMA.

De lo expuesto anteriormente, se puede evidenciar en la gráfica 4.2, que las concentraciones de cobre son más altas a mayor peso o cantidad de virutas de cobre y a mayor tiempo de contacto. Estos resultados concuerdan con estudios que analizan la disolución de metales en materiales de fontanería, en el cual se demuestra que los niveles de cobre aumentan de forma exponencial con el tiempo, y además la concentración de cobre en el agua puede incrementarse gracias a procesos como la corrosión (Lyte y Schock, 2000; Lehtola et al., 2004; Sancha, 2002).

GRÁFICA 4.2 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL DE COBRE RESIDUAL EN EL AGUA EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Adicionalmente, resulta importante considerar la eficiencia de remoción de CF al final de las dos horas, ya que al obtener una concentración de 0,25 mg/l de cobre

correspondiente al P₁ se evidencia un porcentaje de remoción del 98 %. Para los P₂ (0,96 mg/l) y P₃ (2,12 mg/l) se obtuvo porcentajes de remoción de 99,18 % y 99,91 % respectivamente, es decir que mientras se incrementan los niveles de concentración de cobre residual en el agua, existe mayor inactivación de microorganismos patógenos y por consiguiente la tasa de supervivencia de *E. Coli* se reduce (Artz y Killham, 2002; Grass et al., 2011; Ochoa, León, Banihani, Field y Sierra, 2011). En otras palabras, el efecto bactericida del cobre se relaciona directamente con la concentración a la cual están expuestas las bacterias (Prado et al., 2012).

4.1.1.3 Velocidad de Corrosión

En la tabla 4.3 se registran las mediciones de los pesos (inicial y final) de las virutas de cobre, con la finalidad de determinar la velocidad de corrosión. Además, se realiza una comparación con los porcentajes de eficiencia de remoción de CF obtenidos en el último tiempo de contacto (2 horas).

Para el reactor que contiene el primer peso de virutas de cobre se obtiene una velocidad de corrosión de 0,1703 mm/año y una eficiencia de remoción de CF de 98 %. Para el siguiente reactor, se obtiene una velocidad de corrosión de 0,2558 mm/año con una eficiencia de remoción de CF de 99,1754 mm/año y finalmente en el último reactor, la velocidad de corrosión es de 0,2983 mm/año y con una eficiencia de remoción del 99,91 %.

TABLA 4.3 VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL COBRE

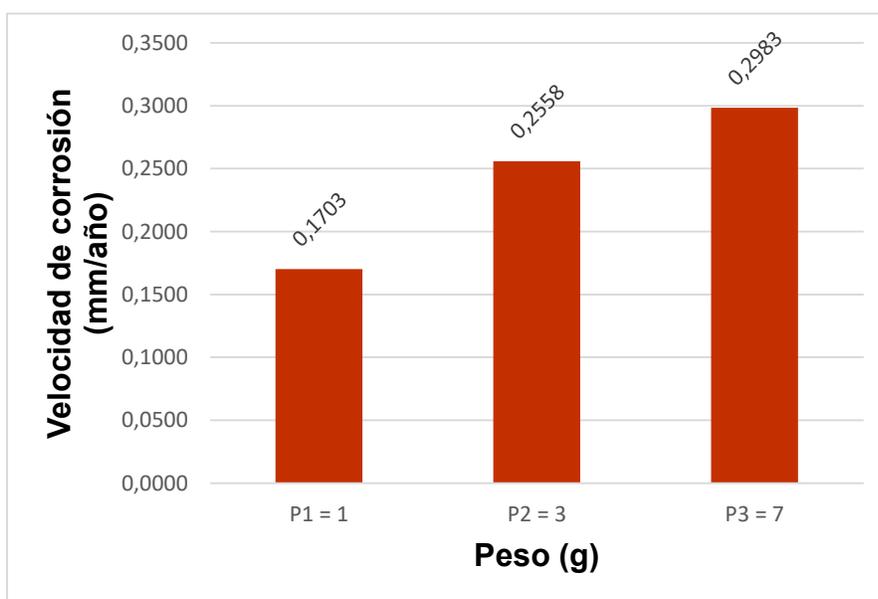
Material	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Eficiencia de remoción de CF (%)
Cobre	1,0029	1,0022	0,1703	98,00
	3,0067	3,0033	0,2558	99,18
	7,0057	7,0013	0,2983	99,91

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Esta diferencia entre los pesos iniciales y finales permite afirmar que existe un proceso de corrosión del metal, el cual es causante de la liberación de iones metálicos (Beech y Sunner, 2004). A la vez, dicho proceso de corrosión puede verse influenciado por las características físico-químicas del agua sintética (principalmente pH y temperatura) y el potencial redox del cobre (Sancha, 2002).

Además, la velocidad de corrosión guarda relación con el nivel de iones liberados de cobre, que a la vez se relacionan con la supervivencia de las bacterias coliformes (Elguindi, Moffitt y Hasman, 2011), de este modo se comprueba que mientras la velocidad de corrosión sea más alta, la concentración del cobre en el agua se incrementa y por ende existe una mejor eficiencia antimicrobiana. De acuerdo a la gráfica 4.3 se reafirma que la velocidad de corrosión aumenta en función de la cantidad o peso de virutas de cobre de forma directa.

GRÁFICA 4.3 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

4.1.1.4 Eficiencia de Remoción de Coliformes Fecales

El Anexo 4 muestra a detalle la lectura de tubos positivos y negativos obtenidos durante la experimentación. A partir de las combinaciones de tubos e índices de

NMP, se determinó la concentración de CF en NMP/100 ml como se muestra en la tabla 4.4. Con los valores de concentración inicial y final de CF se pudo establecer el porcentaje de eficiencia de remoción de CF a los diferentes tiempos de contacto y diferentes pesos de virutas de cobre.

Al finalizar el primer tiempo de contacto ($T_1 = 0,5$ h), se observa en los reactores denominados control y P_1 , un incremento en la concentración final de CF de más de 0,20 unidades logarítmicas con respecto a la concentración inicial, indicando un crecimiento bacteriano, mientras que para los reactores P_2 y P_3 , se obtuvo una reducción en el recuento de bacterias coliformes.

TABLA 4.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE

Tiempos de contacto	Peso de Cobre (g)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)		Eficiencia (%)
		Inicial	Final	
$T_1 - 0,5h$	Control	$2,85 \times 10^8$	$7,80 \times 10^8$	0*
	$P_{1=1}$		$4,60 \times 10^8$	0*
	$P_{2=3}$		$6,70 \times 10^7$	76,49
	$P_{3=7}$		$1,22 \times 10^7$	95,74
$T_2 - 1h$	Control		$1,75 \times 10^8$	38,60
	$P_{1=1}$		$5,70 \times 10^7$	80,00
	$P_{2=3}$		$2,40 \times 10^7$	91,58
	$P_{3=7}$		$5,70 \times 10^6$	98,00
$T_3 - 2h$	Control		$7,80 \times 10^7$	72,63
	$P_{1=1}$		$5,70 \times 10^6$	98,00
	$P_{2=3}$		$2,35 \times 10^6$	99,18
	$P_{3=7}$		$2,70 \times 10^5$	99,91

*Se evidenció crecimiento bacteriano, por lo que no se obtuvo porcentajes de remoción de CF.

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Estos resultados concuerdan con los ensayos experimentales realizados por Sharan et al. (2010), Sudha et al. (2009) y Sudha et al. (2012), quienes reportaron que sus controles (vasos y/o botellas de vidrio) no mostraron reducción en el recuento bacteriano, sino todo lo contrario, hubo aumento en el número de bacterias de *E Coli* y en algunas ocasiones, la cantidad de bacterias inoculadas permaneció igual durante el tiempo establecido. Este incremento en el recuento bacteriano puede atribuirse a tres factores principales: la disponibilidad de nutrientes presentes en el medio nutritivo (agua peptonada), empleado para la reactivación de las cepas bacterianas que proporciona las condiciones adecuadas para la rápida multiplicación de bacterias de acuerdo a su curva de crecimiento (Sudha et al., 2009). Como segundo punto, el efecto bactericida del cobre está relacionado con el tiempo de retención, por lo que es probable que a las 0,5 h el cobre aún no haya ejercido su acción antimicrobiana (Delgado, 2013; Sharan et al., 2010) y finalmente, a bajas concentraciones (trazas), el cobre resulta ser un nutriente esencial para el metabolismo de las bacterias, motivo por el cual se favorece procesos de biosorción y crecimiento bacteriano a comparación de concentraciones altas, en el cual, el cobre resulta ser tóxico y nocivo para las bacterias (Marrero y Fando, 2009; Monge, Valenzuela, Acedo, Certucha y Almendariz, 2008).

Respecto al segundo tiempo de contacto ($T_2 = 1$ h), se evidencia que la concentración final de CF fue menor con respecto a la concentración inicial en todos los reactores. En el reactor P_1 , disminuyó la concentración final de CF en 0,7 unidades logarítmicas a comparación del valor inicial, mientras que para el reactor P_2 , se consiguió una reducción de 1,07 unidades logarítmicas y para el reactor P_3 , la reducción fue de 1,7 unidades logarítmicas.

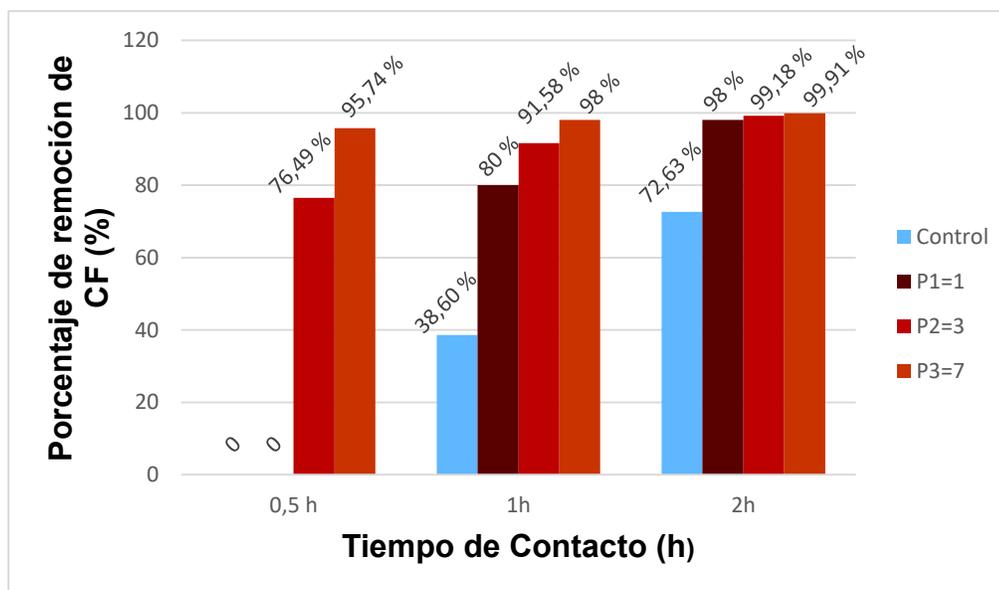
Para el último tiempo de contacto ($T_3 = 2$ h), se observa que las concentraciones finales de CF disminuyeron en todos los reactores, detallando principalmente que para el reactor P_3 , existe una reducción de CF en más de 3 unidades logarítmicas. Sin embargo, ésta concentración final ($2,70 \times 10^5$ NMP/100 ml) no cumple con los límites máximos permisibles de CF para ningún uso ni descarga según lo

establecido en el TULSMA (ver tabla 2.6), a pesar de que el porcentaje de remoción es alto (99,91 %).

En la gráfica 4.4, se observa la eficiencia de remoción de CF tanto para los reactores de control como los reactores con virutas de cobre P₁, P₂ y P₃ a los diferentes tiempos de contacto (T₁, T₂ y T₃).

Para el primer tiempo de contacto (T₁ = 0,5 h), se obtuvo el mayor porcentaje de remoción de CF (95,74 %) en el reactor P₃. De igual manera, se obtuvo un porcentaje de remoción del 98 % a una hora de contacto (T₂ = 1 h) en el reactor P₃, y finalmente, después de las dos horas de contacto (T₃ = 2 h) se obtuvo un porcentaje de remoción de 99,91 % en el reactor P₃. De forma general, se evidencia que a mayor cantidad de virutas de cobre y a mayor tiempo de contacto, el porcentaje de remoción microbiana aumenta.

GRÁFICA 4.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE CONTACTO



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Resulta importante mencionar que el porcentaje de pureza del material juega un rol importante en la acción antimicrobiana (Grass et al., 2011; Prado et al., 2012), de tal modo que las virutas utilizadas en el experimento tienen una composición química

del 99, 81 % de pureza de cobre, confirmando que se trabajó con un cobre de alta pureza.

Así, los resultados de la presente investigación guardan relación con los experimentos realizados por varios investigadores, quienes demostraron el efecto antimicrobial del cobre en agua inoculada con bacterias principalmente *E. Coli*, a diferentes condiciones ambientales. Por ejemplo, León y Mosqueda (2014) reportaron eficiencias de remoción del 100 % a las dos horas de tratar agua contaminada en contacto con tiras de cobre (30 cm²) a 1000 RPM, mientras que Sharan et al., (2010) no evidenció crecimiento bacteriano a pH alejados de la neutralidad (pH = 6 y 9) y tampoco hubo recuento bacteriano a temperaturas elevadas (35°C). Por otro lado, Wilks et al., (2015) evaluaron el tiempo de supervivencia de *E. Coli* en varias superficies de contacto (aleaciones con diferente composición química) a 20°C y 4°C, teniendo mejores resultados del efecto antimicrobial del cobre a temperatura ambiente.

4.1.2 TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE LATÓN

4.1.2.1 Medición de parámetros de pH y temperatura

En la tabla 4.5 se presentan los valores de pH y temperatura obtenidos antes del tratamiento como después de aplicado el tratamiento a las 2 horas y a los diferentes pesos de latón establecidos, los mismos que son evaluados en función de la eficiencia de remoción de CF.

TABLA 4.5 MEDICIÓN INICIAL Y FINAL DE pH Y TEMPERATURA

Material	Peso (g)	Inicial		Final		Eficiencia de remoción de CF (%)
		pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	
Control	-	7,71	19,5	7,71	20,3	16,03
Latón	P ₁ = 1			7,70	20,3	60,99
	P ₂ = 3			7,62	20,4	87,63
	P ₃ = 7			7,52	20,5	98,44

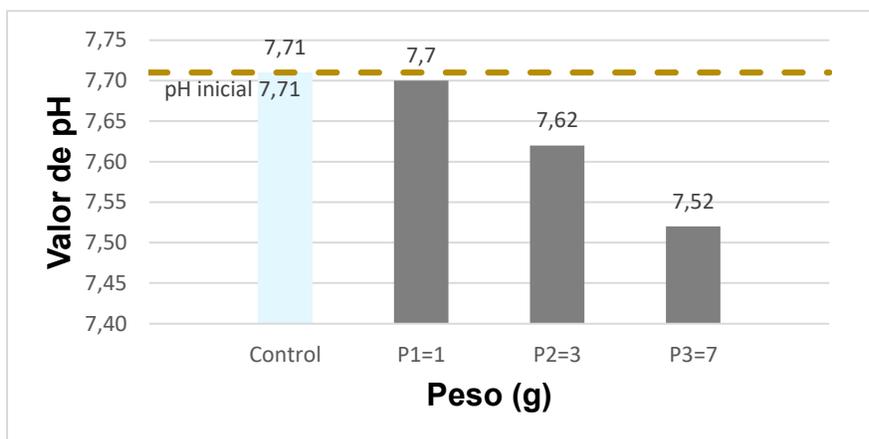
ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

El pH inicial de la muestra de agua sintética fue 7,71 y después de aplicado el tratamiento en los reactores que contienen virutas de latón (P₁, P₂ y P₃), los valores de pH descienden a 7,70; 7,62 y 7,52 respectivamente, por el contrario, no se observó variación alguna en el reactor de control. Al evaluar el pH con la eficiencia de remoción de CF se puede constatar que, a medida que el pH disminuye la eficiencia de remoción de CF aumenta en función del peso de virutas de latón. Por otro lado la temperatura aumenta significativamente tanto para el control como para los diferentes reactores fluctuando entre 20,3°C y 20,5°C.

La influencia de la temperatura final en cuanto a la eficiencia de remoción de CF fue poco significativa, ya que del mismo modo también se ha reportado muerte de bacterias patógenas Gram-negativas en contacto con superficies de latón a temperatura ambiente (Michels y Anderson, 2008). De la misma manera, la literatura reporta mejores resultados respecto al tiempo de supervivencia de *E. Coli* en superficies metálicas de latón, a una temperatura de 20°C (Wilks, et al., 2005).

En la gráfica 4.5 se observa cómo disminuye el valor final del pH en función del incremento en peso de latón, a comparación del pH inicial.

GRÁFICA 4.5 VARIACIÓN DEL VALOR FINAL DEL pH EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE LATÓN



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

La disminución del pH en los reactores que contienen virutas de latón, podría atribuirse a una reacción del elemento Zn con iones hidrógeno (H⁺). Para que esto

ocurra, los iones H^+ deberían estar presentes en el medio en concentraciones elevadas. Esta reacción a su vez disolverá el Zn y se producirá liberación de gas hidrógeno o hidrógeno gaseoso en forma de burbujas, mismas que fueron apreciables en la superficie de las virutas al finalizar el tratamiento (Ritter, 1956).

Un incremento en la concentración de H^+ en el agua sintética puede deberse a la presencia del CO_2 que se produce al existir una interacción aire-agua, en donde al reaccionar se va a producir ácido carbónico (H_2CO_3), el cual se disocia parcialmente para dar la formación de bicarbonato (HCO_3^-) y H^+ . Como resultado se producirá un aumento en la cantidad de CO_2 libre y una reducción del pH (Glynn y Gary, 1999; Guttierrez y Aguilera, 2015).

4.1.2.2 Concentración de cobre residual

En la tabla 4.6 se observan los resultados de concentración de cobre residual obtenidos después de las 2 horas de tratamiento con virutas de latón, mismos que son comparados con los LMP de cobre para sus diferentes usos según lo establecido en el Anexo 1 del TULSMA.

TABLA 4.6 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE RESIDUAL CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Material	Peso (g)	Concentración inicial Cobre (mg/l)	Concentración final Cobre (mg/l)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE COBRE (mg/l)			
				Uso agrícola	Uso pecuario	Descarga al sistema de alcantarillado	Descarga a un cuerpo de agua dulce
Latón	$P_1 = 1$	0,02	0,22	2	0,5	1	1
	$P_2 = 3$		0,42				
	$P_3 = 7$		0,72				

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

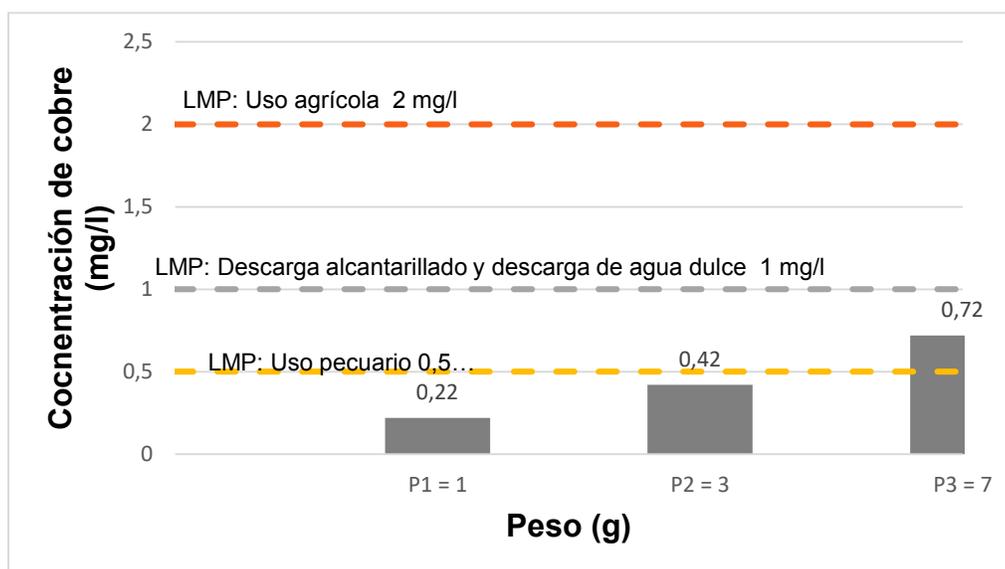
Para el reactor $P_1 = 1$ g se obtuvo una concentración final de cobre de 0,22 mg/l, el reactor $P_2 = 3$ g presentó una concentración de 0,42 mg/l y finalmente el reactor $P_3 = 7$ g de virutas de latón alcanzó una concentración de 0,72 mg/l.

De acuerdo al gráfico 4.6, en el cual se compara los valores obtenidos de concentración final de cobre residual con los LMP, se puede apreciar que las concentraciones de los reactores P_1 y P_2 se encuentran por debajo de 0,5 mg/l

indicando valores inferiores a los establecidos para uso agrícola, pecuario, descarga al alcantarillado y descarga a un cuerpo de agua dulce, cumpliendo de esta manera con lo establecido según el TULSMA. Por el contrario, al evaluar la concentración en el reactor P₃, se evidencia que se cumple respectivamente con los LMP para uso agrícola, descarga al sistema de alcantarillado y para descarga a un cuerpo de agua dulce, exceptuando el LMP para uso pecuario, el cual requiere un mínimo de 0,5 mg/l de concentración de cobre.

De este modo, la corrosión del latón y subsiguiente disolución del material con mayor composición (cobre), es la principal causa de los niveles de cobre presentes en el agua, por liberación de iones, traduciéndose a un aumento en la concentración de cobre (Gonzalez y Dzib, 2015).

GRÁFICA 4.6 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL DE COBRE RESIDUAL EN EL AGUA EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE LATÓN



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Al comparar la concentración de cobre residual con la eficiencia de remoción de CF se obtuvo una relación de tal manera que a medida que aumenta la concentración de cobre residual, también lo hace su eficiencia de remoción. Para los reactores P₁ (0,22 mg/l), P₂ (0,42 mg/l) y P₃ (0,72 mg/l) se obtuvieron porcentajes de remoción del 60,99 %, 87,63 % y 98,44 % respectivamente. Con lo cual se evidencia que las

bacterias CF se vuelven más susceptibles a una mayor cantidad de iones de cobre liberados (Vincent et al., 2016).

Los resultados obtenidos difieren del estudio realizado por Tandon, Chhiber y Reed (2004) referente a la concentración de cobre residual. En el presente trabajo se reportó concentraciones entre 0,22 y 0,72 mg/l, mientras que en el ensayo del autor en mención, se determinó valores de cobre disuelto por debajo de 0,1 ppm (luego de almacenar agua durante 48 horas en un recipiente de latón). Estas variaciones pueden deberse a las condiciones de experimentación, ya que en el presente proyecto se trabajó en sistemas dinámicos a diferencia del estudio de Tandon et al. (2004), el cual se ejecutó en un medio estático.

Se evaluó solamente la concentración de cobre residual, al ser el principal componente de la aleación y tener un porcentaje de composición del 72,8 % de cobre de acuerdo a los análisis espectrométricos. No se realizaron mediciones de zinc residual debido a que las concentraciones esperadas no se considerarían representativas de acuerdo a la proporción presente de zinc en la aleación (19,17 %) y además porque el principal elemento de análisis es el cobre como tal.

4.1.2.3 Velocidad de Corrosión

La tabla 4.7 indica la velocidad de corrosión que sufre el latón a las 2 horas de contacto en los diferentes reactores, analizando para ello los pesos iniciales y finales y haciendo la comparación con la eficiencia de remoción de CF.

TABLA 4.7 VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL LATÓN

Material	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Eficiencia de remoción de CF (%)
Latón	1,0214	0,9916	0,0883	60,99
	3,0326	3,0228	0,2578	87,63
	7,0102	6,9982	0,5998	98,44

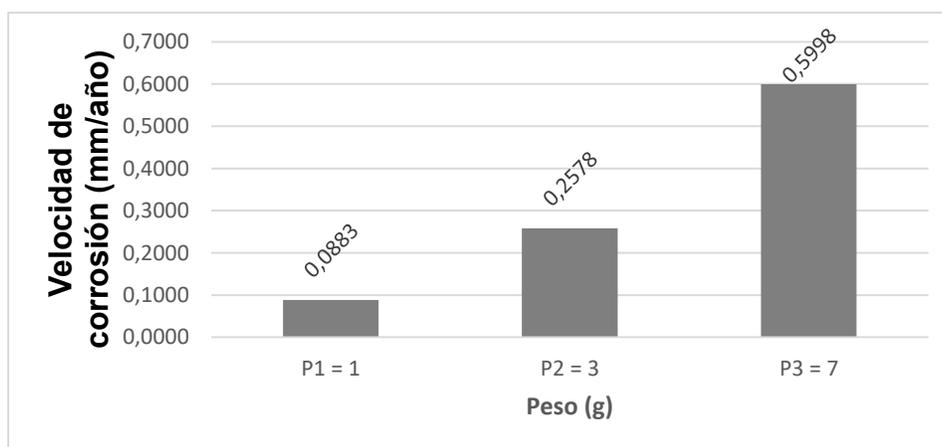
ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Para los tres reactores con las virutas de latón, se analizó que existe una pérdida significativa en peso de los mismos, tales que dan una velocidad de corrosión de 0,0883 mm/año, 0,2578 mm/año y 0,5998 mm/año, respectivamente.

La corrosión está relacionada a un proceso de naturaleza electroquímica, que involucra la transferencia de electrones desde el metal de valencia cero (latón) a un aceptor externo de electrones. Esto causa una liberación de iones metálicos en el medio circundante y por consiguiente un deterioro del material, influyendo en la pérdida de peso del latón (González y Dzib, 2015; Beech y Sunner, 2004).

En el gráfico 4.7 se puede visualizar cómo aumenta la velocidad de corrosión en función del peso de virutas de latón.

GRÁFICA 4.7 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE LATÓN



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

De manera general, a medida que la velocidad de corrosión aumenta, también lo hace la eficiencia de remoción de CF. Esto se encuentra relacionado con lo descrito por Elguindi, et al. (2011), quienes exponen que una mayor tasa de corrosión de las superficies de aleaciones de cobre, inciden en un desprendimiento mayor de los iones de cobre liberados y por consiguiente en la muerte bacteriana.

4.1.2.4 Eficiencia de Remoción de Coliformes Fecales

En la tabla 4.4 se puede visualizar la concentración inicial y final de CF expresada en NMP/100 ml, con estos valores se pudo determinar la eficiencia de remoción de CF, usando virutas de latón a las 2 horas de tiempo de contacto en los diferentes reactores con los respectivos pesos.

Las reducciones que presentan el reactor de control, el P1, P2 y P3 son 0,1; 0,4; 0,8 y 1,4 unidades logarítmicas con respecto a la concentración inicial, evidenciando la mayor reducción el reactor P3. Con lo expuesto anteriormente, se puede verificar que ningún reactor cumple con los LMP establecidos en el TULSMA, para ninguno de los criterios generales, en donde según la tabla 2.6 establecida anteriormente en el marco legal aplicable, el valor máximo permisible para descarga a un cuerpo de agua dulce es máximo 3×10^3 NMP/100 ml.

TABLA 4.8 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE LATÓN

	Peso de Latón (g)	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)		Eficiencia (%)
		Inicial	Final	
T - 2h	Control	$7,80 \times 10^8$	$6,55 \times 10^8$	16,03
	P ₁ =1		$3,05 \times 10^8$	60,9
	P ₂ =3		$1,22 \times 10^8$	87,63
	P ₃ =7		$2,90 \times 10^7$	98,44

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

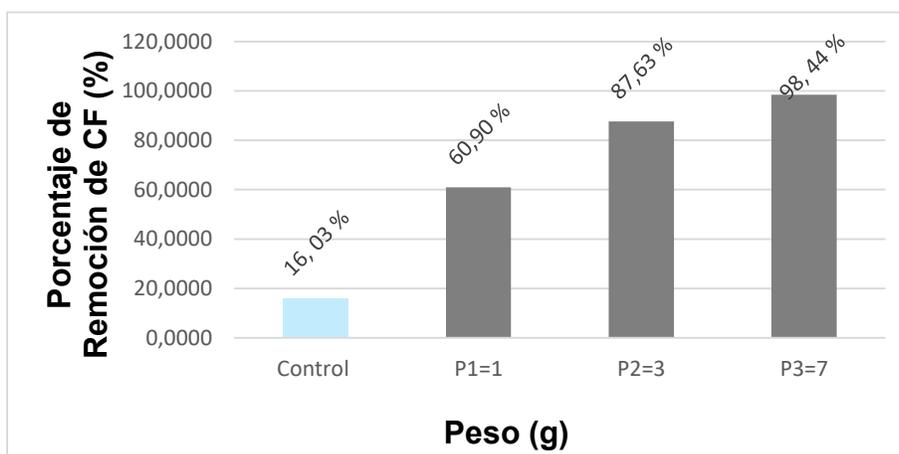
La mínima reducción de CF que experimenta el reactor de control, puede deberse a las condiciones de agitación que presenta el medio, indicando un alto grado de sensibilidad por parte de las bacterias coliformes al estrés hidrodinámico (Bedoya y Hoyos, 2010). De igual manera Flintk (1987), señala que una reducción del número de bacterias puede atribuirse a una competencia entre bacterias *E. Coli* por nutrientes presentes en el caldo nutritivo, medio que fue empleado para la inoculación del agua sintética.

A manera general, los resultados obtenidos de concentración final de CF no presentan disminuciones significativas en comparación a la concentración inicial. El hecho que las CF no se hayan reducido en un porcentaje deseado, indica que el latón no ha alcanzado su máximo rendimiento o que el tiempo necesario para que el latón ejerza su efecto bactericida fue corto y probablemente no todas las bacterias entraron en contacto con los iones metálicos. El tiempo mínimo esperado para que el latón empiece a ejercer su efecto bactericida en agua almacenada en recipiente de latón es de 6 horas y el tiempo requerido para que no haya detección de bacterias coliformes son 48 horas (Tandon, et al., 2004).

Un aspecto importante que se debe considerar al momento de analizar la reducción de bacterias CF, es la composición de cobre en la aleación, donde según lo mencionado por Vincent, et al. (2016), a mayor porcentaje de cobre, más rápido y más eficiente será la acción antimicrobiana. Esto se corrobora con los resultados obtenidos por Wilks, et al. (2005), en donde a las 2 horas de tiempo de contacto ya no se detectaron bacterias viables empleando latón con una composición de cobre del 78 %. El latón empleado tuvo una composición del 72,8 % de cobre.

En la gráfica 4.8 se evidencia como aumenta la eficiencia de remoción al incrementarse el peso de virutas de latón a las dos horas de tiempos de contacto.

GRÁFICA 4.8 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES EN RELACIÓN AL PESO DE VIRUTAS DE LATÓN A LAS DOS HORAS DE TIEMPO DE CONTACTO



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

El porcentaje de remoción de CF en el reactor de control no mostró una variación significativa en los recuentos de CF obteniéndose solamente un 16,03 % de remoción, por lo que en comparación a los demás reactores que contienen virutas de latón a diferentes pesos P_1 , P_2 y P_3 presentaron eficiencias del 60,90 %, 87,63 % y 98,44 % respectivamente, demostrando que una mejor acción antimicrobiana se debe al contacto con virutas de latón en lugar de ser solamente un efecto del tiempo de contacto o la agitación del medio.

4.1.3 TRATAMIENTO CON VIRUTAS BRONCE

4.1.3.1 Medición de parámetros de pH y temperatura

La tabla 4.9 indica los valores obtenidos de pH y temperatura antes y después de aplicar el tratamiento con virutas de bronce. Estos valores se analizan en función de la eficiencia de remoción de CF a las 2 horas de permanecer las virutas en contacto con las bacterias.

TABLA 4.9 MEDICIÓN INICIAL Y FINAL DE pH Y TEMPERATURA

Material	Peso (g)	Inicial		Final		Eficiencia de remoción de CF (%)
		pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	
Control	-	7,12	19,9	7,25	21,3	-
Bronce	$P_1 = 1$			7,32	21,3	64,61
	$P_2 = 3$			7,38	21,4	92,35
	$P_3 = 7$			7,41	21,4	99,31

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

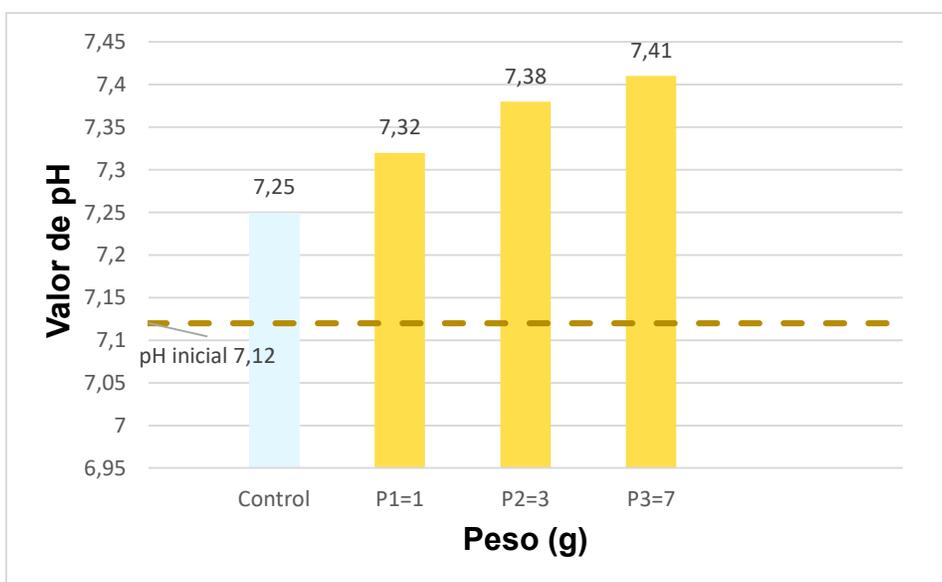
Los valores iniciales de pH y temperatura de la muestra de agua inoculada fueron 7,12 y 19,9 respectivamente. Al finalizar el tratamiento ($T_3 = 2$ h), se pudo observar que en el reactor de control aumentó ligeramente el nivel de pH a 7,25 y también aumentó el valor de la temperatura a 21,3°C. Similares resultados se obtuvieron en los demás reactores P_1 , P_2 y P_3 en cuanto al pH, los cuales aumentaron a 7,32, 7,38 y 7,41 respectivamente y también la temperatura, que ascendió entre un 21,3 y 21,4°C. En este sentido, se puede apreciar que el pH y temperatura aumentan

en relación a la cantidad de virutas de bronce, de la misma manera que su eficiencia de remoción.

Según el estudio realizado por Wilks, et al. (2005), se confirma que a una temperatura ambiente (20°C), se obtiene la mejor remoción de bacterias *E. Coli* en contacto con aleaciones de bronce y a un menor tiempo, en comparación a bajas temperaturas como los 4°C.

En base a la gráfica 4.9, se evidencia claramente que el pH tiende a aumentar respecto a la concentración inicial y en función de la cantidad de virutas de latón. El cambio de pH no es brusco, sin embargo muestra tendencia hacia la alcalinidad.

GRÁFICA 4.9 VARIACIÓN DEL VALOR FINAL DEL pH EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE BRONCE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Al trabajar bajo condiciones aireadas en los reactores, permite que se incremente los niveles de oxígeno en el agua y por consiguiente exista un aumento en el pH (Nemerow y Dasgupta, 1998). Asimismo, el hecho de que el agua se encuentre en agitación constante, contribuye a un aumento en la energía cinética de las moléculas que dan como resultado un incremento en la temperatura (Galvín, 2014).

4.1.3.2 Concentración de cobre residual

En la tabla 4.10 se presentan los resultados de concentración inicial y final de cobre obtenidos en el tratamiento con virutas de bronce, además en la misma tabla se realiza una comparación con los LMP de cobre establecidos en el TULSMA.

TABLA 4.10 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE RESIDUAL CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Material	Peso (g)	Concentración inicial Cobre (mg/l)	Concentración final Cobre (mg/l)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE COBRE (mg/l)			
				Uso agrícola	Uso pecuario	Descarga al sistema de alcantarillado	Descarga a un cuerpo de agua dulce
Bronce	P ₁ = 1	0,02	0,28	2	0,5	1	1
	P ₂ = 3		0,74				
	P ₃ = 7		2,43				

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Se evidencia que la concentración de cobre residual en el reactor P₁ = 1 g de virutas de bronce fue de 0,28 mg/l, para el siguiente reactor con P₂, se obtuvo una concentración de 0,74 mg/l, y finalmente al emplear 7 gramos de virutas de bronce, se obtuvo una concentración final de cobre de 2,43 mg/l.

La concentración de cobre en el agua inoculada con bacterias *E. Coli* se incrementa debido al desprendimiento de iones por parte de la aleación de bronce, los cuales se disuelven en el agua y aumentan la concentración de cobre (Gonzalez y Dzib, 2015).

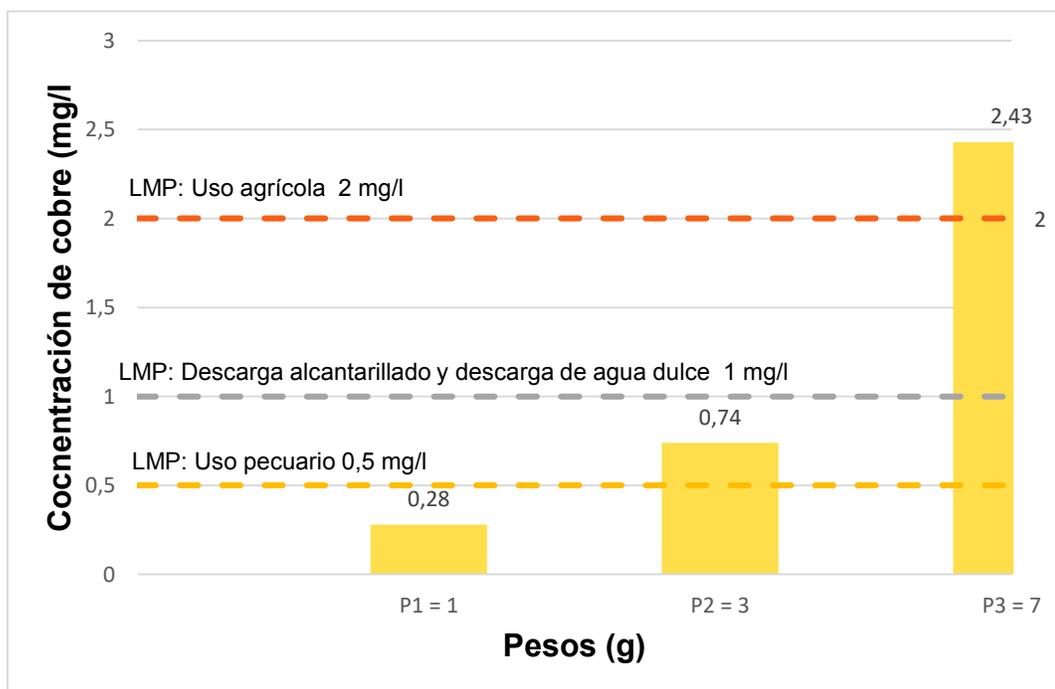
Un aspecto importante a considerar es al cobre como un nutriente esencial a concentraciones bajas para el metabolismo celular de la mayoría de organismos, incluyendo a *E. Coli*, sin embargo puede llegar a ser tóxico si se exponen a altas concentraciones de cobre (Marrero y Fando, 2008). En este sentido, el cobre que es el principal elemento de la aleación de bronce, se encuentra relacionado con la supervivencia de bacterias coliformes y al compararlo con la eficiencia de remoción se puede evidenciar que a una mayor concentración final de cobre, se obtiene una mayor inactivación de bacterias. Tal es el caso del reactor P₃, en el cual se obtuvo

una remoción del 99,31 %, a comparación del reactor P₁ y P₂ que obtuvieron 64,61 % y 92,35 % de remoción.

De acuerdo al gráfico 4.10 se evidencia como aumenta la concentración final de cobre según el peso de virutas de bronce empleado (P₁, P₂ y P₃) y su respectiva comparación con los LMP.

Se puede apreciar que el valor obtenido de 0,28 mg/l correspondiente al reactor P₁, se encuentra por debajo de los LMP de cobre para los diferentes usos analizados. Con respecto a la concentración obtenida en el reactor P₂, se puede apreciar que se cumple con los LMP para uso agrícola, descarga al alcantarillado y agua dulce, excepto para uso pecuario y finalmente, la concentración del reactor P₃ sobrepasa los LMP establecidos por el TULSMA en donde el máximo permitido es para uso agrícola con 2 mg/l.

GRÁFICA 4.10 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL DE COBRE RESIDUAL EN EL AGUA EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE BRONCE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

4.1.3.3 Velocidad de Corrosión

En la tabla 4.11 se observa la velocidad de corrosión obtenida a partir de la variación de los pesos inicial y final de las virutas de bronce, que a su vez son comparados con la eficiencia de remoción de CF obtenida al final de las dos horas de tiempo de contacto.

TABLA 4.11 VELOCIDAD DE CORROSIÓN DEL BRONCE

Material	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Eficiencia de remoción de CF (%)
Bronce	1,0080	1,0062	0,0675	64,61
	3,0272	3,0228	0,2031	92,35
	7,0048	6,9926	0,4730	99,31

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

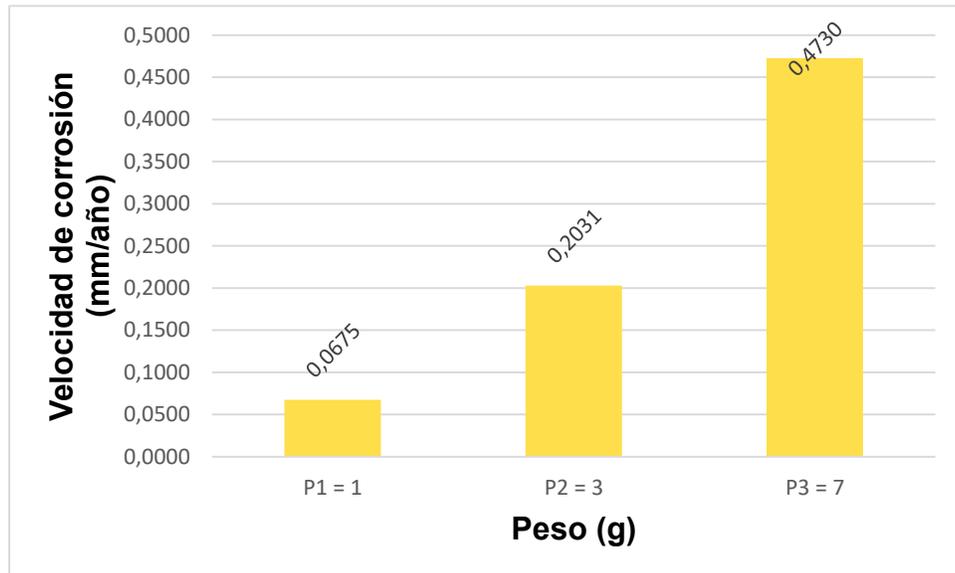
El primer peso de virutas de bronce presentó una variación en peso de 0,0018 unidades, con lo cual se obtuvo una velocidad de corrosión de 0,0675 mm/año, el siguiente peso varió en 0,0044 unidades dando como resultado 0,2031 mm/año en velocidad de corrosión y finalmente el último peso varió en 0,0122 unidades obteniendo una velocidad de 0,4730 mm/año.

La pérdida de peso del material (bronce), se debe en gran parte a la participación en una reacción electroquímica, en donde se da una pérdida de electrones de valencia que libera el bronce al oxidarse, expresándose en pérdida de masa o deterioro del material (González y Dzib, 2015).

Adicionalmente, se observa que la cantidad de virutas de cobre y la velocidad de corrosión influyen sobre los porcentajes de remoción. De tal forma que para el primer peso se obtuvo una remoción de CF del 64,61 %; para el segundo peso, el porcentaje fue de 92,35 % y en el último peso se consiguió una remoción del 99,31 %.

En la gráfica 4.11 se puede visualizar el aumento de la velocidad de corrosión en función del peso de virutas empleado, a mayor peso, mayor velocidad de corrosión.

GRÁFICA 4.11 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE BRONCE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Es así que el ensayo con virutas de bronce se relaciona con lo expuesto por Elguindi (2010), el cual menciona que el aumento de la tasa de corrosión de aleaciones de cobre incluyendo el bronce, inciden en la supervivencia de cepas *E. Coli*. En este sentido, una mayor velocidad de corrosión promueve una mayor muerte bacteriana, lo cual se expresa en un aumento del porcentaje de remoción de CF.

4.1.3.4 Eficiencia de Remoción de Coliformes Fecales

En la tabla 4.6 se puede visualizar la eficiencia de remoción de CF para el tratamiento con virutas de bronce a las 2 horas de tiempo de contacto a diferentes pesos.

TABLA 4.12 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE BRONCE

	Peso de Bronce (g)	Coliformes Fecales NMP/100ml		Eficiencia (%)
		Inicial	Final	
T - 2h	Control	1,22 x 10 ⁸	7,80 x 10 ⁸	0*
	P ₁ =1		1,50 x 10 ⁸	64,61
	P ₂ =3		5,90 x 10 ⁷	92,35
	P ₃ =7		3,05 x 10 ⁶	99,31

*Se evidenció crecimiento bacteriano, por lo que no se obtuvo porcentajes de remoción de CF.

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

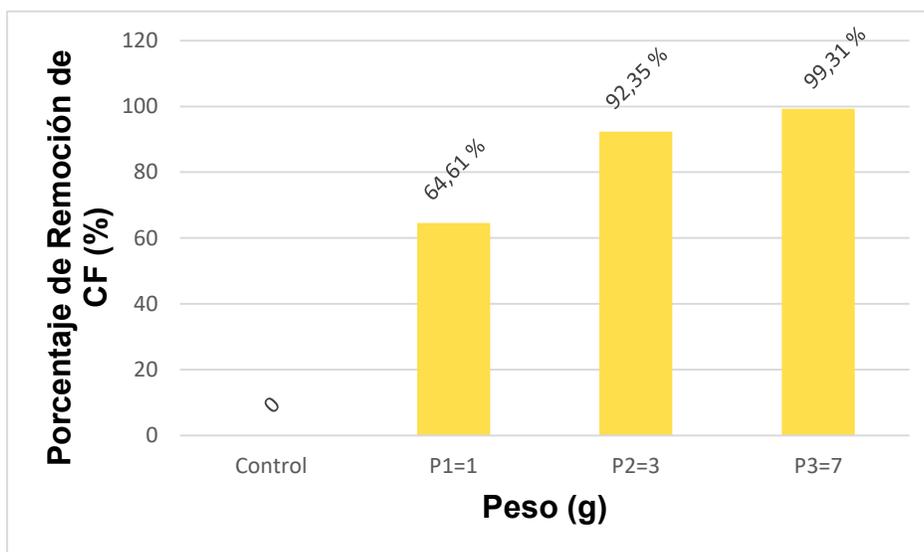
Los resultados indican que luego de aplicar el tratamiento, hubo una disminución mínima para el reactor con P₁ = 1 g de virutas de bronce, con lo cual se obtuvo una eficiencia de remoción de CF del 64,61 %, de igual manera el reactor con P₂ = 3 g solamente redujo una unidad logarítmica de CF obteniendo una eficiencia de remoción del 92,35 %, por otro lado al emplear P₃ = 7 g de virutas de bronce se obtuvo el mayor porcentaje de remoción del 99,31 %. A diferencia de los reactores con virutas de bronce, el reactor de control no presentó remoción alguna, al contrario, se evidenció según los resultados mostrados en el Anexo 4, que la concentración de CF aumentó en comparación a la concentración inicial.

El hecho que las bacterias sobrevivan y sigan reproduciéndose en el reactor de control, puede estar asociado a la disponibilidad de nutrientes proporcionado por el medio nutritivo (agua peptonada) que se empleó para reactivar bacterias *E. Coli*, los cuales suministraron la energía suficiente para que haya división celular en el medio (Flintk, 1987). En este sentido, la agitación del medio no afectó las condiciones de supervivencia de *E. Coli*, como se describió anteriormente en el tratamiento de virutas con latón.

La composición de cobre en la aleación de bronce usado fue de 83,73 %, hallando una remoción significativa de CF a las 2 horas, sin embargo no fue suficiente para obtener muerte celular de más del 50 % de CF iniciales. Al comparar con el estudio realizado por Wilks, et al. (2005), en el que evalúa bronce con porcentajes de cobre entre el 74 % y 97 % se obtienen reducciones en menores tiempos para las aleaciones con mayor porcentaje de cobre, evidenciando que a medida que aumenta el contenido de cobre en la aleación, más rápido es el efecto de inhibición bacteriana.

En el gráfico 4.12, se observa como aumenta el porcentaje de remoción de CF en función del peso de virutas de bronce.

GRÁFICA 4.12 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES EN RELACIÓN AL PESO DE VIRUTAS DE BRONCE A LAS DOS HORAS DE TIEMPO DE CONTACTO



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Estudios previos demuestran la eficacia de superficies de bronce en contacto con bacterias patógenas, donde mostraban escasos crecimientos de los mismos a las dos horas de exposición y en otros casos una remoción de más del 99.9 % (Harold y Douglas, 2008).

Con lo expuesto anteriormente y en comparación a los resultados obtenidos, el presente ensayo efectuado en un ambiente acuoso, permite confirmar que el cobre es antimicrobial tanto en superficies secas como en superficies en contacto con el agua (Vincent, et al., 2016).

4.2 ENSAYO CON AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA

4.2.1.1 MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE MUESTREO

En la tabla 4.13 se presentan los resultados de los parámetros evaluados de la muestra de agua residual doméstica del río Machángara (Quebrada Caupicho).

Se determinaron algunos parámetros químicos in-situ como el pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y temperatura. Para la determinación de sólidos totales, sólidos suspendidos, sulfatos, DBO₅, DQO, CT y CF, se efectuaron en el Laboratorio LDIA, y finalmente para grasas y aceites, tensoactivos, nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal se los realizó en el Laboratorio del CICAM. Los resultados del CICAM se encuentran detallados en el Anexo 6.

TABLA 4.13 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DEL MUESTREO

	PARÁMETRO	MEDICIÓN	UNIDAD
Campo	pH	6,99	-
	Conductividad	330,2	$\mu\text{s/cm}$
	Oxígeno Disuelto OD	5,83	mg/l
	Turbidez	86,5	NTU
	Temperatura	14	°C

TABLA 4.13 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DEL MUESTREO (CONTINUACIÓN)

	PARÁMETRO	MEDICIÓN	UNIDAD
Laboratorio LDIA	Sólidos totales	206	mg/l
	Sólidos suspendidos	9	ml/l
	Sólidos suspendidos totales	178	mg/l
	Sulfatos	12	mg/l
	DBO ₅	90	mg/l
	DQO	236	mg/l
	CT	2,77x10 ⁸	NMP/100ml
	CF	2,3x10 ⁶	NMP/100ml
Laboratorio CICAM	Grasas y aceites	<5	mg/l
	Tensoactivos (Detergentes aniónicos)	9,3	mg/l
	Nitrógeno Orgánico (Kjeldahl)	10,5	mg/l
	Nitrógeno Amoniacal	7,6	mg/l

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

De acuerdo a los resultados expuestos y en relación a las concentraciones típicas de las aguas residuales (tabla 2.2), se puede mencionar que los valores de sólidos totales (206 mg/l) y sólidos suspendidos totales (178 mg/l) presentes en el agua residual se encuentran en una concentración baja, mientras que los sólidos sedimentables (9 ml/l) tienden a caracterizarse dentro de una concentración media. Los valores reportados tanto de DBO₅ como DQO se encuentran por debajo de las concentraciones típicas de las ARD, de esta manera se evidencia que la carga

contaminante (referente a materia orgánica e inorgánica) es de carácter débil en la muestra de agua.

Otros parámetros que se encuentran por debajo de una concentración débil, son el nitrógeno total (10,5 mg/l), grasas y aceites (<5 mg/l) y sulfatos (12 mg/l). En cuanto a la caracterización microbiológica, se obtuvo valores de CT y CF de $2,77 \times 10^8$ y $9,3 \times 10^6$ NMP/100ml, respectivamente. Dichos resultados expresan que el agua residual tiene una carga bacteriológica fuerte, por lo cual se determina que tiene gran influencia de descargas domésticas.

En este sentido y de acuerdo a lo descrito anteriormente, se evidencia que la muestra de agua presenta un grado de contaminación baja, típica de un agua residual doméstica débil. Esto en base a los niveles de concentración de varios parámetros analizados (Metcalf y Eddy, 1995; Muñoz y Aldas, 2017).

4.2.2 TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE

4.2.2.1 Medición de parámetros de pH y temperatura

En la tabla 4.14 se observan los valores iniciales y finales de pH y temperatura tanto para el reactor de control como para los reactores con virutas de cobre, latón y bronce experimentados a las dos horas de contacto.

TABLA 4.14 MEDICIÓN INICIAL Y FINAL DE pH Y TEMPERATURA

Material	Peso (g)	Inicial		Final		Eficiencia de remoción de CF (%)
		pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	
Control		6,77	18,6	7,45	18,5	68,82
Cobre	P = 7			8,11	18,5	99,99
Latón	P = 7			7,68	18,4	99,81
Bronce	P = 7			8,04	18,5	99,91

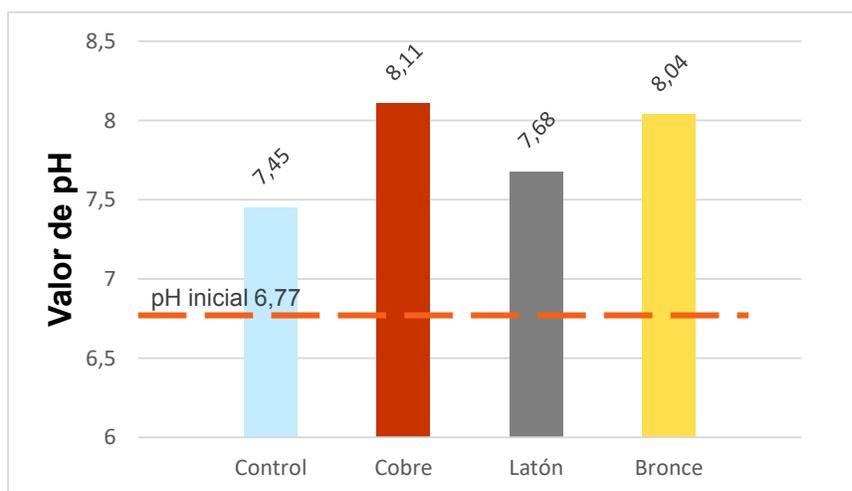
ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

El pH inicial de la muestra de agua del Río Machángara fue 6,77, y una vez aplicado el tratamiento se observó un incremento tanto en el control como en los reactores con los diferentes materiales. Los valores obtenidos fueron 7,45 para el reactor de control, 8,11 para el cobre, 7,68 para el latón y 8,04 para el bronce.

Por otro lado la temperatura disminuyó ligeramente en 0,1 unidades para el reactor de control, cobre y bronce, mientras que para el reactor con latón, hubo una reducción de 0,2 unidades. Al analizar estos parámetros con la eficiencia de remoción de CF, se puede evidenciar que a medida que existe un incremento del pH, la eficiencia de remoción de CF aumenta. No existe influencia de la temperatura en la muerte bacteriana, debido a que la variación es mínima y poco representativa.

En el gráfico 4.13, se puede apreciar cómo varían los valores de pH final en los diferentes reactores en relación al valor inicial.

GRÁFICA 4.13 VARIACIÓN DEL pH EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

De acuerdo al gráfico anterior, se puede identificar que de los tres materiales, el cobre presentó el mayor aumento de pH con 1,34 unidades, seguido del bronce con 1,27 unidades y finalmente el latón con 0,91 unidades. En este sentido, el efecto

del pH es más significativo en la inactivación de bacterias coliformes ya que contribuye al aumento de la acción antimicrobiana del cobre, siendo este metal más efectivo a pH alejados de la neutralidad (Sharan et al., 2010). De este modo, los resultados obtenidos son comparables con los expuestos por Darcan, Onder y Flintk (2009), quienes obtuvieron mejores remociones de bacterias coliformes a medida que el pH se volvía más alcalino, en presencia de materiales de cobre, latón y bronce.

4.2.2.2 Concentración de Cobre Residual

En la tabla 4.15, se comparan los valores de cobre residual después del tratamiento (dos horas) con los LMP de cobre establecidos en la normativa ambiental tanto para los reactores con virutas de cobre, latón y bronce.

En el reactor que contiene virutas de cobre, se obtuvo una concentración final de 0,86 mg/l, mientras que para el reactor con virutas de latón se determinó un valor de 0,44 mg/l y finalmente el reactor con virutas de bronce alcanzó una concentración final de 0,70 mg/l de cobre residual.

TABLA 4.15 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE RESIDUAL CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Material	Peso (g)	Concentración inicial Cobre (mg/l)	Concentración final Cobre (mg/l)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE COBRE (mg/l)			
				Uso agrícola	Uso pecuario	Descarga al sistema de alcantarillado	Descarga a un cuerpo de agua dulce
Cobre	P = 7	0,11	0,86	2	0,5	1	1
Latón	P = 7		0,44				
Bronce	P = 7		0,70				

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

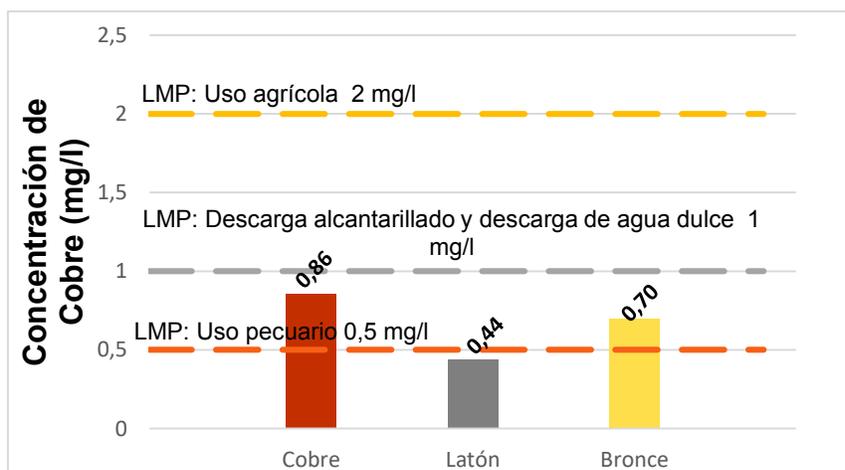
Los resultados obtenidos tienen concordancia con lo expuesto por Lytle y Schok (1996) y con Galarce (2013), en donde exponen que la concentración de cobre residual o lixiviación de iones de cobre aumentan a medida que la composición de cobre es mayor en la aleación. De esta manera, el cobre que tiene una pureza del 99,81 %, presenta mayor lixiviación, seguido del bronce (83,73 % en composición de cobre) y finalmente el latón (72,8 % de cobre presente en la aleación).

No se procedió a evaluar la lixiviación de zinc y estaño de las aleaciones, debido a que el elemento en mayor proporción fue el cobre según los análisis espectrofotométricos. Por lo cual no se considera representativo, de acuerdo a lo reportado por Shdan y Castle (2001), en donde obtienen concentraciones bajas del material aleado en comparación al cobre.

A continuación en la gráfica 4.14, se visualiza la variación de la concentración final de cobre residual en función de los reactores que contienen virutas de los diferentes materiales, y su respectiva comparación con los LMP.

De este modo se puede apreciar que el reactor con virutas de cobre y el reactor con virutas de bronce, los cuales se encuentran por debajo de 1 mg/l, cumplen con los LMP tanto para uso agrícola como para descarga al alcantarillado y descarga a un cuerpo de agua dulce, a excepción del uso pecuario el cual requiere el mínimo de 0,5 mg/l. Por el contrario el reactor que contiene virutas de latón, cumple con los LMP de los diferentes usos analizados, al presentar una concentración menor a los 0,5 mg/l.

GRÁFICA 4.14 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL DE COBRE RESIDUAL EN EL AGUA EN FUNCIÓN DEL PESO DE VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Al respecto, resulta importante analizar la relación entre la concentración de cobre residual y la eficiencia de remoción, ya que a una mayor concentración de iones de cobre liberados, existe mayor interacción de éstos con las membranas de los microorganismos patógenos dando como resultado la eliminación o muerte bacteriana (Delgado, 2013; Elguindi, et al., 2011; Ochoa et al., 2011).

4.2.2.3 Velocidad de Corrosión

En la tabla 4.16 se exponen las velocidades de corrosión de los diferentes materiales analizados a las 2 horas de tiempo de contacto, evaluando respectivamente los pesos iniciales y finales. Estos valores se comparan con las eficiencias de remoción de CF.

TABLA 4.16 VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE

Material	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Velocidad de corrosión (mm/año)	Eficiencia de remoción de CF (%)
Cobre	7,0086	6,9874	0,3026	99,99
Latón	7,0007	6,992	0,5946	99,81
Bronce	7,0069	7,0007	0,4707	99,91

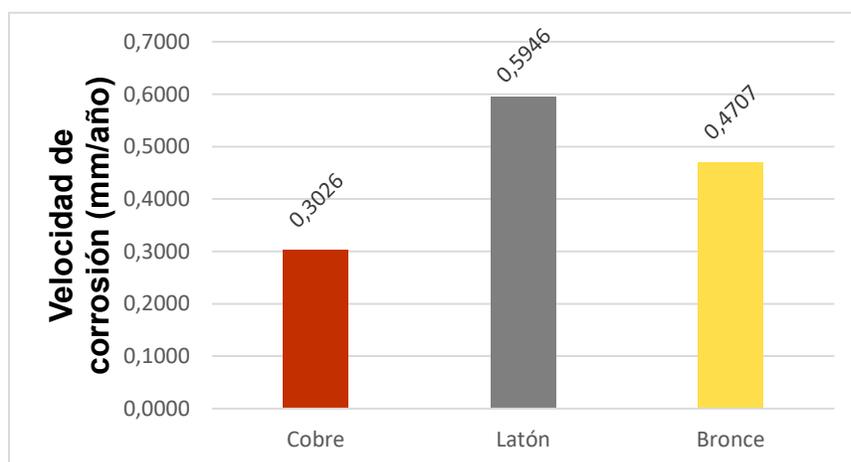
ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

El reactor con virutas de cobre experimentó una pérdida de peso de 0,0212 g, que conllevó a una velocidad de corrosión de 0,3026 mm/año, mientras que el reactor con latón cuya pérdida fue de 0,0087g presentó 0,5946 mm/año y finalmente el reactor con bronce que presentó una disminución en peso de 0,0062 g, obtuvo una velocidad de corrosión de 0,4707 mm/año.

Los resultados obtenidos en la remoción de CF al usar virutas de cobre, latón y bronce se deben a la solubilidad de iones metálicos (Tandon, et al., 2004), lo cual está estrechamente relacionado con la corrosión del material metálico, ya que los cationes que desprende el material, son aquellos que atacan a las bacterias y a su vez conducen a la corrosión expresado por medio de la pérdida de peso del material (Innova Corfo, 2010).

En la gráfica 4.15 se representa la variación de la velocidad de corrosión en función de los reactores con cada material empleado.

GRÁFICA 4.15 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN RELACIÓN A CADA MATERIAL EMPLEADO



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Se evidencia mayor velocidad de corrosión en el reactor con virutas de latón, debido al potencial electroquímico bajo que posee el zinc (principal elemento de la aleación del latón), a comparación del cobre y el estaño, los cuales poseen un potencial electroquímico mayor, que los hace más resistentes al fenómeno de la corrosión (Salazar, 2015).

4.2.2.4 Eficiencia de remoción de coliformes fecales

En la tabla 4.17 se muestran los resultados de eficiencias de remoción de CF usando virutas de cobre, latón y bronce, obtenidos a partir de la concentración inicial y final de CF a las 2 horas de tiempo de contacto.

TABLA 4.17 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE

	Peso de materiales (g)	Coliformes Fecales NMP/100ml		Eficiencia (%)
		Inicial	Final	
T - 2h	Control	9,30 x 10 ⁶	2,90 x 10 ⁶	68,82
	COBRE P ₁ =7		2,90 x 10 ³	99,99
	LATÓN P ₂ =7		1,80 x 10 ⁴	99,81
	BRONCE P ₃ =7		1,13 x 10 ⁴	99,91

ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

La concentración inicial de CF fue de $9,30 \times 10^6$ NMP/100ml, el reactor con virutas de cobre obtuvo la mayor reducción de CF con más de 3 unidades logarítmicas, seguido de una disminución de 0,5; 2,71 y 2,92 unidades logarítmicas para los reactores de control, latón y bronce respectivamente. Con los resultados obtenidos, se establece que solamente el reactor con virutas de cobre estaría cumpliendo con el criterio general para descarga a un cuerpo de agua dulce el cual requiere descargas menores a 3×10^3 NMP/100 ml en cuanto a CF.

Se presume que el porcentaje de remoción del 68 % de CF en el reactor de control, puede atribuirse o está relacionado a la competencia por los nutrientes y espacio disponible que existe entre otras especies bacterianas presentes en el medio. En los reactores Batch, no existe un aporte continuo de materia orgánica por lo cual las bacterias compiten por los nutrientes disponibles, a diferencia del agua residual en su cauce natural o descargas (Corpas y Herrera, 2012; Flintk, 1987; Moreno, Virgós y Navarrete, 1998).

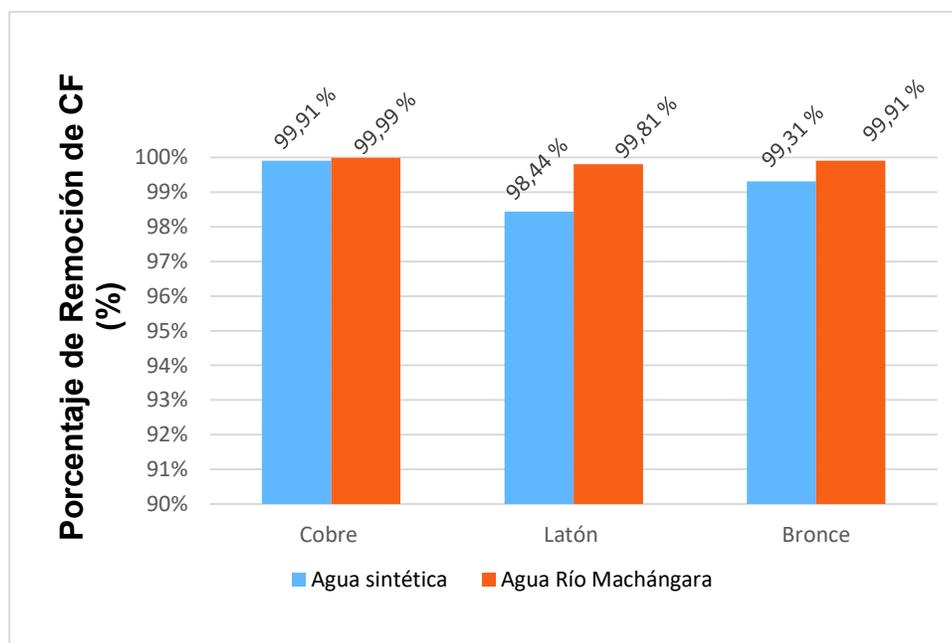
A manera general se puede apreciar que el latón y el bronce presentan una menor tasa global de inactivación en el recuento de CF, mismos que podrían requerir mayor tiempo de exposición para que se ejerza el similar efecto antimicrobiano del cobre (Tandon, et al., 2004). Las variaciones pueden atribuirse a las diferentes composiciones de cobre que presentan las aleaciones. Es así que el cobre con una composición del 99,81 %, tiene mayor capacidad antimicrobiana presentando una

eficiencia de remoción de CF del 99,99 %, seguido del bronce (83,73 %) con un 99,91 % de remoción y por último el latón (72,8 %) con 99,81 % de remoción. Estos resultados presentan relación con los estudios realizados por Wilks, et al., 2005 quienes evaluaron diferentes aleaciones de cobre, en los cuales no se detectaron células viables en aquellas aleaciones que presentaban el mayor contenido de cobre.

4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL COBRE, LATÓN Y BRONCE EN EL AGUA SINTÉTICA Y EN EL AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA

En la gráfica 4.16, se realizó una comparación de la eficiencia de remoción microbiana de los tres metales tanto en el agua sintética como en el agua del río Machángara.

GRÁFICA 4.16 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES PARA EL TRATAMIENTO CON VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE



ELABORACIÓN: Torres y Zaruma

Con respecto al gráfico anterior se evidencia que el uso de virutas de cobre presentó la mejor remoción de CF, tanto para el agua sintética como para el agua del Río Machángara con 99,91 % y 99,99 % respectivamente, seguido del bronce con 99,31 % de remoción en agua sintética y 99,91 % en agua del Río Machángara, y finalmente las virutas con menor remoción fueron las de latón, las cuales presentaron eficiencias de remoción de CF de 98,44 % y 99,81 %.

Adicionalmente se observa que ningún tratamiento elimina completamente las CF, es decir que no hay un 100 % de eficiencia de remoción. Esto puede significar que el tiempo de contacto (dos horas) de los materiales empleados no fue lo suficientemente favorable para ejercer su efecto por lo se requiere evaluar mayores tiempos de tratamiento (García, 2002).

La eficiencia de remoción de CF en el agua residual del Río Machángara es mayor que en los ensayos con agua sintética, debido a la composición propia de un agua residual doméstica, la cual contiene sustancias orgánicas e inorgánicas provenientes principalmente de excretas humanas, orina, alimentos, detergentes, uso de fertilizantes, abonos, entre otros (Metcalf y Eddy, 1995; Torres, Foresti y Vazoller, 1996). Estos componentes favorecen la inactivación de bacterias *E. Coli* en menor tiempo al estar en contacto con materiales de cobre según lo mencionado por Sharan et al. (2010), quienes adicionalmente evaluaron recipientes de cobre que contenían agua inoculada con bacterias pero sin componentes orgánicos e inorgánicos, evidenciando velocidades de inactivaciones más lenta.

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al realizar los ensayos con agua sintética a tres diferentes tiempos de contacto ($T_1 = 0,5$ h, $T_2 = 1$ h y $T_3 = 2$ h) y tres diferentes pesos de virutas de cobre ($P_1 = 1$ g, $P_2 = 3$ g $P_3 = 7$ g) se obtuvo el mejor porcentaje de remoción de CF del 99,91 % correspondiente al tiempo T_3 y peso P_3 , evidenciando ser el tiempo y peso óptimo.
- En el reactor de control y reactor P_1 con virutas de cobre, no se evidenció muerte de bacterias coliformes al tiempo de contacto $T_1 = 0,5$ h. Al contrario se obtuvo crecimiento microbiano con respecto a la concentración inicial.
- Para los tratamientos con virutas de latón y bronce en el agua sintética, experimentados a las dos horas y con los pesos $P_1 = 1$ g, $P_2 = 3$ g y $P_3 = 7$ g, se tuvo como resultados porcentajes de eficiencia de remoción de CF del 60,99 %, 87,62 % y 98,44 % para el latón y 64,61 %, 92,35 % y 99,31 % para las virutas de bronce.
- Los parámetros evaluados como el pH, temperatura, concentración de cobre residual y velocidad de corrosión de los tres materiales, guardan relación directa con la eficiencia de remoción microbiana. Generalmente cuando se incrementan estas variables, el porcentaje de remoción también aumenta, a excepción del pH en el tratamiento con latón del agua sintética.
- Al realizar los ensayos con agua residual del Río Machángara, se determinó porcentajes de remoción del 99,99 % para el reactor con virutas de cobre, 99,81 % para el latón y 99,91 % para el bronce, experimentados al tiempo de contacto y peso óptimo determinados en el agua sintética.
- De los ensayos analizados con virutas de cobre, latón y bronce en agua residual del Río Machángara, se evidencia que solamente la concentración

final de CF en el reactor con virutas de cobre ($2,90 \times 10^3$ NMP/100ml) cumple con la normativa ambiental vigente en cuanto al LMP, con lo cual se comprueba que el tratamiento es apto para descargas a un cuerpo de agua dulce.

- El efecto del cobre en la inactivación de *E. Coli* es proporcional a la corrosión o disolución del material en el agua, obteniéndose mayores porcentajes de remoción a mayor concentración de cobre residual. A mayor corrosión del material existe una mayor liberación de iones de cobre y la muerte bacteriana se vuelve más significativa por lo que se presume que los iones son los principales causantes del daño a la membrana celular expresado como uno de los mecanismos de acción antimicrobial.
- Al comparar los tratamientos realizados con agua sintética y agua residual del Río Machángara, se concluye que las virutas de cobre resultaron ser las más efectivas en la remoción de CF, seguidas por las virutas de bronce y finalmente las virutas de latón. Esto guarda relación con la composición de cobre en las aleaciones, reportándose porcentajes de pureza del 99,81 %, 83,73 % y 72,8 % para el cobre, latón y bronce respectivamente.

5.1 RECOMENDACIONES

- Para alcanzar porcentajes de remoción del 100 %, es decir eliminación total de los microorganismos patógenos, se sugiere extender los tiempos de contacto para los tres materiales.
- Se recomienda utilizar nuevamente las virutas recicladas de cobre, latón y bronce para evaluar el número de ciclos en los cuales siga resultando efectiva la remoción de coliformes fecales.
- Para confirmar que la peroxidación lipídica resulta ser el mecanismo de muerte bacteriana, se recomienda determinar las especies reactivas del oxígeno (EROs) mediante ensayos analíticos.
- Si la concentración de cobre residual en el agua sobrepasa los LMP establecidos en la normativa ambiental se recomienda aplicar post

tratamientos para la remoción del cobre como por ejemplo procesos de sorción utilizando zeolita, intercambio iónico, entre otros.

- Los materiales reciclados a emplearse pueden experimentarse con otras formas diferentes a virutas que a su vez proporcionen la suficiente área de contacto entre el material y las bacterias. Se sugiere probar con tiras laminadas, hilos o nanopartículas para evaluar el efecto antimicrobial del cobre, latón y bronce.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Society of Testing Materials A.S.T.M. (1999). *Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens*. Pensilvania, Estados Unidos.
- American Type Culture Collection. (2016). *Escherichia coli* (ATCC 25922). Recuperado de: <https://www.atcc.org/Products/All/25922.aspx#documentation>
- Antimicrobial Copper. (2013). *The Copper Advantage. A Guide to working with Copper and Copper Alloys*. Recuperado de: https://www.copper.org/publications/pub_list/pdf/a1360.pdf
- APHA. (1989). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. Madrid, España: Díaz de Santos, S. A.
- Applerot, G., Lellouche, J., Lipovsky, A., Nitzan, Y., Lubart, R., Gedanken, A., y Banin, E. (2012). Understanding the Antibacterial Mechanism of CuO Nanoparticles: Revealing the Route of Induced Oxidative Stress. *Biomedical Materials*, 8(21), 1-12. doi: 10.1002/sml.201200772
- Artz, R. y Killham, K. (2002). Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in private drinking water wells: influences of protozoan grazing and elevated copper concentrations. *FEMS Microbiology Letters*, (216), 117-122. doi: 10.1111/j.1574-6968.2002.tb11424.x
- ASTM. (1999). *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. Estados Unidos.

- Banco Central del Ecuador. (2016). *Reporte de Minería*. Recuperado de: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero072016.pdf>
- Bastida, R. (2005). *Propiedades de los materiales II*. México, DF, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Bedoya, J. y Hoyos, A. (2010). Efecto de la Relación Agitación-Aireación sobre el Crecimiento Celular y la Producción de Azadiractina en Cultivos Celulares de *Azadirachta indica* A. Juss. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5293-5305.
- Beech, I., y Sunner, J. (2004). Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(3), 181-186. doi:10.1016/j.copbio.2004.05.001
- Beltrán, C. (2013). *Validación de un método microbiológico para el análisis de coliformes totales y fecales en aguas claras y residuales, para el Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) de la Escuela Politécnica Nacional*. (Tesis de pregrado), Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- Borkow, G., y Gabbay J. (2005). Copper as a biocidal tool. *Current Medicinal Chemistry*, 12(18), 2163-2175. doi:10.2174/0929867054637617
- Camenforte, M. (2014). *Alternativa a la desinfección del agua con cloro: ozonización*. (Tesis de pregrado), Universidad de Granada, Andalucía, España.
- Champagne, V., y Helfritch, D. (2013). *A demonstration of the antimicrobial effectiveness of various copper surfaces*. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3621704/>
- Comisión Chilena del Cobre. (2017). *Tendencias de usos y demanda de productos de cobre*. Recuperado de: <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20>

Metales/Tendencias%20de%20usos%20y%20demanda%20de%20productos%20de%20cobre.pdf

Copper Alliance. (2014). *Aplicaciones del cobre*. Recuperado de: <http://www.copperalliance.es/educacion/programas-educativos/quimica-extraccion-de-cobre>

Copper BioHealth. (2011). *Comprobación científica de la propiedad antimicrobiana del cobre*. Recuperado de: http://www.copperbiohealth.com/images/documentos/Comprobacin%20cientifica_20120522_RevB.1.pdf

Copper Development Association. (2010). *The Copper Advantage. A guide to working with copper and copper alloys*. Recuperado de: https://www.copper.org/publications/pub_list/pdf/a1360.pdf

Cortés, M. (2003). Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Revista Biomed*, 14(2),121-123.

Corpas, E. y Herrera, O. (2012). Reducción de coliformes y *Escherichia coli* en un sistema residual lácteo mediante microorganismos benéficos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 67–76.

Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A., y Massarini, A. (2008). *Biología*. Buenos Aires, Argentina: Médica panamericana.

D'alexandro, M. (2016). *Bronce*. Recuperado de: <https://www.rocasym minerales.net/bronce/>

Darcan, C., Onder, R. y Flint, K. (2009). Viable but Non-Culturable State (VBNC) of *Escherichia coli* Related to EnvZ under the Effect of pH, Starvation and Osmotic Stress in Sea Water. *Polish Journal of Microbiology*, 58(4), 307-317.

Delgado, K. (2013). *Estudio de la obtención de compósitos con propiedades antimicrobiales y antifouling formados por una matriz polimérica y*

nanopartículas a base de cobre. (Tesis doctoral), Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

Domy, A. (2001). *Trace Elements in Terrestrial Environments*. New York: Springer. doi:10.1007/978-0-387-21510-5

El Comercio. (4 de julio de 2011). Cuatro ríos soportan la descarga de las aguas residuales de Quito. *El Comercio*. Recuperado de: <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/cuatro-rios-soportan-descarga-de.html>

Elguindi, J., Moffitt, S y Hasman, H. (2011). Metallic copper corrosion rates, moisture content, and growth medium influence survival of copper ion-resistant bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, (89), 1963-1970. doi:10.1007/s00253-010-2980-x

Environmental Protection Agency. (2015). *Test Method for efficacy of copper alloy surfaces as a sanitizer*. Recuperado de: http://www.antimicrobialcopper.org/sites/default/files/upload/media-library/files/pdfs/us/epa_sanitizer_test_method_copper_alloy_surfaces.pdf

Environmental Protection Agency. (2008). *Antimicrobial copper alloys group IV*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/wqc/aquatic-life-criteria-copper>

Feres, O. (2015). *Efectividad del cobre como antimicrobiano en superficies de clínicas odontológicas de la Universidad Andrés Bello sede Concepción*. (Tesis de Pregrado). Universidad Andrés Bello, Concepción, Chile.

Flint, K. (1987). The long-term survival of *Escherichia coli* in river water. *Journal of Applied Bacteriology*, 63, 261-270. doi: 10.1111/j.1365-2672.1987.tb04945.x

Franco, P., López, L., y Orozco, M. (2014). Calidad microbiológica del agua destinada para consumo humano en siete municipios de la región Caribe Colombiana. *Ciencia Actual*, 3, 60-69

- Galarce, N. (2013). *Efecto de nanopartículas de cobre sobre la viabilidad celular en compósitos poliméricos*. (Tesis de pregrado), Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Galvín, R. (2014). *Dinámica Fisicoquímica del agua*. Madrid: Díaz de Santos.
- García, J. (2002). Evaluación de compuestos desinfectantes en la eliminación de *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli* presentes en agua. *XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Cancún, México.
- Georgopoulos, P., Roy, A., Opiekun, M., y Lioy, P. (2001). Copper: Environmental dynamics and human exposure issues. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B*, 4(4), 27-28. doi: 10.1080/109374001753146207
- González, J., y Dzib, L. (2015). Introducción a la electroquímica. *Instituto Nacional de Antropología e Historia*.
- Glynm, H., y Gary, H. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Prentice Hall.
- Grass, G., Rensing, C. y Solioz, M. (2011). Metallic Copper as an Antimicrobial Surface. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(5), 1541-1547. doi:10.1128/AEM.02766-10
- Guamán, W. (2017). *Desinfección catódica de aguas de consumo humano mediante la producción de H₂O₂ utilizando un electrodo de grafito*. (Tesis de maestría)., Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Henze, M., Harremoes, P., Cour Jansen, J., y Arvin, E. (1997). *Wastewater treatment: Biological and chemical Processes*. New York: Springer Berlin Heidelberg.
- Hong, R., Kang, T., Michels, C., y Gadura, N. (2012). Membrane Lipid Peroxidation in Copper Alloy-Mediated Contact Killing of *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(6), 1776-1784. doi: 10.1128/AEM.07068-11

- Hoy Ecuador. (2012). *Gran minería arranca con rosario de reparos* . Recuperado de: <http://salvadorquishpe.blogspot.com/2012/03/gran-mineria-arranca-con-rosario-de.html>
- International Copper Association. (2015). *Antimicrobial Efficacy*. Recuperado de: <https://www.antimicrobialcopper.org/uk/antimicrobial-efficacy>
- Jang, H., Choi, Y., y Ka., J. (2011). Effects of diverse water pipe materials on bacterial communities and water quality in the annular reactor. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 21(2), 115-123. doi: 10.4014/jmb.1010.10012.
- Kumar, S., y Lodhari, D. (2017). *Extraction of nuclear and non-ferrous metals*. doi: 10.1007/978-981-10-5172-2
- Larrea, J., Rojas, M., Álvarez, B., Rojas, N., y Pérez, M. (2012). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *CENIC Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34.
- Lehtola, M., Miettinen, I., Keinanen, M., Kekki, T., Laine, O., Hirvonen, A., Martikaine, P. (2004). Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes. *Water Research* 38, 3769–3779. doi: 10.1016/j.watres.2004.06.024
- León, E. y Mosqueda, J. (2014). Actividad antimicrobiana del cobre en un sistema dinámico de agua contra bacterias causantes de infecciones asociadas a la atención en la salud. *Divulgación Científica: Jóvenes en la Ciencia*, 1(1), 464-469.
- López, J., Veleza, L., Bolio, G y López, D. (2013). Primeras etapas de corrosión de metales en agua de mar artificial: I. cobre. *Ciencia y tecnología*, 35-43.
- Lyte, D y Schock, M. (2000). Impact of stagnation time on metal dissolution from plumbing materials in drinking water. Recuperado de: <http://aqua.iwaponline.com/content/49/5/243>

- Madigan, M., Martinko, J., y Parker, J. (2003). *Biología de los microorganismos*. México, México: Pearson, Prentice Hall
- Marrero, K y Fando, R. (2008). Sistemas de homeostasis del cobre en las bacterias Gram negativas *Escherichia coli* y *Vibrio cholerae*. *CENIC*, 40(3), 186-198
- Martínez, J. (2005). *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos*. Montevideo, Uruguay
- Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Michels, H., y Anderson, D. (2008). Antimicrobial regulatory efficacy testing of solid copper alloy surfaces in the USA. *Metal Ions in Biology and Medicine*, 10(2), 185-190. doi: 10.1016/j.jval.2013.08.181
- Michels, H., Noyce, J., y Keevil, C. (2009). Effects of temperature and humidity on the efficacy of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* challenged antimicrobial materials containing silver and copper. *Letters in applied microbiology*, 49(2), 191-195. doi: 10.1111/j.1472-765X.2009.02637.x
- MIPRO. (2012). *Listado de centros de acopio y recicladoras*. Recuperado de: <http://aplicaciones.mipro.gob.ec/sircarv1/admsri/formsri.php>
- Monge, O., Valenzuela, J., Acedo, E., Certucha, M. y Almendariz, F. (2008). Biosorción de cobre en sistema por lote y continuo con bacterias aerobias inmovilizadas en zeolita natural (clinoptilolita). *Rev. Int. Contam. Ambient*, 24(3), 107-115
- Mora, E., y Venegas, E. (2011). Caracterización del latón. *Revista Metalúrgica*, (30), 57-64.
- Moreno, L., Virgós, L. y Navarrete, P. (1998). *Conceptos básicos de microbiología de las aguas subterráneas*. Madrid, España: Instituto Tecnológico Geominero de España

- Mosquera, M., y Valdiviezo, M. (2015). *Diseño de una planta de fundición de cobre con materia prima reciclada*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador
- Muñoz, F. (2013). *Enseñanza de los conceptos de calor y temperatura utilizando el experimento como herramienta de cambio conceptual*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Muñoz, M. y Aldás, M. (2017). *Sistemas de depuración de aguas residuales*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Muñoz, J. y Ramos, M. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24 (1), 49 – 66.
- Murray, P., Rosenthal, K., y Pfaüer, M. (2006). *Microbiología médica*. Madrid, España: GEA Consultoría Editorial, S.L.L.
- Naciones Unidas. (2016). *Agua limpia y saneamiento: por qué es importante*. Recuperado de: http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- National Environmental Services Center. (2010). *La desinfección mantiene el agua sana*. Recuperado de: http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2010_tb/spanish/disinfection_DWFSOM149.pdf
- Nemerow, N y Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Madrid, España. Díaz Santos S. A
- Nordberg, G. (2003). *Capítulo 63 Metales: Propiedades químicas y toxicidad*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Ochoa, V., León, G., Banihani, Q., Field, J. y Sierra, S. (2011). Toxicity of copper (II) ions to microorganisms in biological wastewater treatment systems. *Science of the Total Environment* (412-413) 380-385. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.09.072

- OMS. (2016). *Agua, Datos y Cifras*. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- OMS. (2017). *Saneamiento*. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs392/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2017). *Aguas residuales. El Recurso desaprovechado*. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>
- Prado, V., Vidal, R., y Durán, C. (2012). Aplicación de la capacidad bactericida del cobre en la práctica médica. *Revista médica de Chile*, 140(10), 1325-1332.
- PRO ECUADOR. (2017). *PRO ECUADOR*. Recuperado de <https://www.proecuador.gob.ec/exportadores/publicaciones/estadisticas-por-sector/>
- Quiminet. (2011). *Las principales aplicaciones y usos del bronce*. Recuperado de: <https://www.quiminet.com/articulos/las-principales-aplicaciones-y-usos-del-bronce-60349.htm>
- Real Academia de Ingeniería. (2012). *Peroxidación lipídica*. Recuperado de: <http://diccionario.raing.es/es/lema/peroxidaci%C3%B3n-lip%C3%ADica>
- Revista Líderes. (2013). *El metal reciclado pesa en la industria*. Recuperado de: <http://www.revistalideres.ec/lideres/metal-reciclado-pesa-industria.html>
- Reyes, E., y Taco, I. (2009). *Administración de desechos metálicos en el Distrito Metropolitano de Quito*. (Tesis de pregrado), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Ríos, S., Agudelo, R., y Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247.
- Ritter, H. (1956). *Introducción a la Química*. Madrid, España: Editorial Reverté

- RECEMSA. (2015). *Uno de los mejores metales para el reciclaje: el cobre*. Recuperado de: <https://www.elchatarrero.com/uno-de-los-mejores-metales-para-el-reciclaje-el-cobre/>
- RMMCIA. (2016). *Propiedades del Latón*. Recuperado de <http://www.rmmcia.es/blog/laton-y-cobre/propiedades-del-laton>
- Rockaway Recycling. (2018). *Magnet Test – Difference of Ferrous vs. Non-Ferrous Metals*. Recuperado de: <https://rockawayrecycling.com/lets-learn-to-scrap/magnet-test/>
- Royal Society of Chemistry. (2017). *Periodic Table Copper*. Recuperado de <http://www.rsc.org/periodic-table/element/29/copper>
- Salazar, J. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). *Tecnología en Marcha*, 28(3), 127-133
- Sancha, A. (2002). Presencia de Cobre en Aguas de Consumo Humano: Causas, Efectos y Soluciones. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/sancha.pdf>
- Sandoval, A., y Carlos, G. (1991). *Determinación de coliformes fecales*. Recuperado de: <https://www.ircwash.org/sites/default/files/245.11-91AD-9090.pdf>
- Sharan, R., Chhibber S., Attri, S., y Reed R. (2010). Inactivation and injury of *Escherichia coli* in a copper water storage vessel: effects of temperature and pH. *Antonie van Leeuwenhoek*, 9, 91-97. doi: 10.1007/s10482-009-9395-7
- Silva, S., Martínez, E., y Álvarez, A. (2002). Tecnología alternativa compatible con el ambiente para el tratamiento de aguas de enfriamiento: ionización de plata y cobre. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 18(3), 117-130.
- Simms, M. (2017). *Properties of Brass Metal*. Recuperado de: <https://bizfluent.com/info-8493557-properties-brass-metal.html>

- Simon, N., Drexler, E. y Reed, R. (1992). *Properties of Copper and Copper Alloys at Cryogenic Temperatures*. New York: National Institute of Standards and Technology.
- Suárez, C. (2017). *Evaluación del proceso de producción de oxiclورو de cobre a partir de cobre reciclado a escalas de laboratorio y piloto*. (Tesis de pregrado), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Sudha, V., Singh, K., Prasad, S., y Venkatasubramanian, P. (2009). Killing of enteric bacteria in drinking water by a copper device for use in the home: laboratory evidence. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 103(8), 819-822. doi: 10.1016/j.trstmh.2009.01.019
- Sudha, V., Ganesan, S., Pazhani, G., Ramamurthy, T., Nair, G., y Venkatasubramanian P. (2012). Storing Drinking-water in Copper pots Kills Contaminating Diarrhoeagenic Bacteria. *Journal of health, population and Nutrition*, 30(1), 17-21.
- Tandon, P., Chhibber, S. y Reed, R. (2004). Inactivation of Escherichia coli and coliform bacteria in traditional brass and earthenware water storage vessels. *Antonie van Leeuwenhoek*, 88, 35–48
- Terán, E. (2010). *Análisis socio-ambiental del cambio de uso de suelo en la Quebrada Caupicho - tramo inicial*. (Tesis de pregrado), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Torres, P., Foresti, E. y Vazoller, R. (1996). Composición y uso de agua residual doméstica en reactores a escala de laboratorio. *AIDIS, Consolidación para el desarrollo*, 1, 1-8.
- TULSMA. (2015). *Norma de Calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua Libro VI anexo 1*. Quito.
- Valko, M., Morris, H., y Cronin, M. (2005). Metals, Toxicity and Oxidative Stress. *Current Medicinal Chemistry*, 12(10), 1161-1208.

- Viarengo, A., Burlando, B., y Bolognesi, C. (2002). Cellular Responses to Copper in Aquatic Organisms. *Handbook of Copper Pharmacology and Toxicology*, 417-431. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-59259-288-3_25
- Vijayaraghavan, K., y Yun, Y. (2008). Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology Advances*, 26(3), 266-291. doi:10.1016/j.biotechadv.2008.02.002
- Villanueva, P. (2011). Aireación. Recuperado de: <http://rixiprosesodemanu2-labo4.blogspot.com/>
- Vincent, M., Hartemann, P., y Engels-Deustsch, M. (2016). Antimicrobial applications of copper. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 219(7), doi: 10.1016/j.ijheh.2016.06.003
- Weinhandl, D. (2017). *Common uses for brass*. Recuperado de: <https://www.meadmetals.com/blog/common-uses-for-brass>
- Wilks, S., Michels H., y Keevil C. (2005). The survival of Escherichia coli O157 on a range of metal surfaces. *International Journal of Food Microbiology*. 105 (2005), 445-454. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2005.04.021

ANEXOS

ANEXO 1 TABLA DEL NÚMERO MÁS PROBABLE Y LÍMITE DE CONFIANZA DEL 95% ENTRE LOS CUALES PUEDE VARIAR PARA DIVERSAS COMBINACIONES DE RESULTADOS POSITIVOS OBTENIDOS CON TRES PORCIONES (10 ml, 1 ml y 0,1 ml)

COMBINACION DE TUBOS POSITIVOS	NMP	Límite de confianza del 95%	
		Límite Inferior	Límite Superior
0-0-0	< 3		
0-0-1	3	< 0.5	9
0-1-0	3	< 0.5	13
0-2-0	-		
1-0-0	4	< 0.5	20
1-0-1	7	1	21
1-1-0	7	1	23
1-1-1	11	3	36
1-2-0	11	3	36
2-0-0	9	1	36
2-0-1	14	3	37
2-1-0	15	3	44
2-1-1	20	7	89
2-2-0	21	4	47
2-2-1	28	10	150
2-3-0	-		
3-0-0	23	4	120
3-0-1	39	7	130
3-0-2	64	15	380
3-1-0	43	7	210
3-1-1	75	14	230
3-1-2	120	30	380
3-2-0	93	15	380
3-2-1	150	30	440
3-2-2	210	35	470
3-3-0	240	36	1,300
3-3-1	460	71	2,400
3-3-2	1,100	150	4,800
3-3-3	VII 2,400		

ANEXO 2 INFORME TÉCNICO DEL ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA POR CHISPA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



INFORME TÉCNICO

Solicitado por: Alejandra Zaruma y Diana Torres

Tipo de Trabajo: Espectrometría por chispa

Fecha: 19 de octubre del 2017

Realizado por: Ing. Oscar Sotomayor

Descripción: Siete muestras de base de Cu

Memorando de solicitud: Nro. EPN-DICA-2017-2021-M

1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional las probetas.

Se solicita realizar la prueba con la finalidad de determinar los componentes presentes en las muestras.

2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.

Las probetas para el análisis correspondiente son identificadas como se muestra a continuación:

Nombre	Identificación de la probeta
Muestras de base de cobre.	1. M_1
	2. M_2
	3. M_3
	4. M_4
	5. M_5
	6. M_6





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



3. VALORES OBTENIDOS

El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Para el análisis se toman 3 mediciones por muestra promediando su valor.

Elemento		Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	
		M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7
		Valor [%]						
Zinc	Zn	5,694	19,17	0,13	45,01	0,155	1,751	20,42
Plomo	Pb	0,76	2,476	<0,05	2,4	<0,05	1,055	3,543
Estaño	Sn	0,423	1,315	<0,005	0,053	<0,005	13,140	2,587
Fósforo	P	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	0,045	<0,005
Manganeso	Mn	0,051	0,017	<0,01	<0,002	<0,01	<0,01	0,024
Hierro	Fe	0,67	3,26	0,012	0,111	0,02	0,046	0,606
Níquel	Ni	0,383	0,438	0,027	0,039	0,037	0,081	0,815
Silicio	Si	0,358	0,149	0,0069	0,024	0,0052	<0,005	0,069
Aluminio	Al	9,431	0,288	0,01	0,0024	<0,01	<0,01	0,883
Azufre	S	<0,005	0,0094	<0,005	<0,003	<0,005	0,084	0,01
Arsénico	As	0,015	<0,01	<0,01	<0,004	<0,01	0,018	0,02
Bismuto	Bi	<0,01	0,013	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,005
Selenio	Se	0,015	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01	<0,005
Antimonio	Sb	0,048	0,054	<0,01	-	<0,01	0,039	-
Cobre	Cu	82,14	72,8	99,81	52,36	99,77	83,73	71,02

Ing. Oscar Sotomayor

Jefe del Laboratorio de
Fundición.



ANEXO 3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE

VIRUTAS DE COBRE										
Medición 1 : Peso (g)			1,0005	Medición 2 : Peso (g)			1,0001	Medición 3 : Peso (g)		1,0002
Dimensiones			Área (cm ²)	Dimensiones		Área (cm ²)	Dimensiones		Área (cm ²)	
Largo (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)		Ancho (cm)	Largo (cm)		Ancho (cm)			
1	2,19	0,4	0,8760	1,38	0,38	0,5244	1,12	0,36	0,4032	
2	0,99	0,29	0,2871	0,86	0,4	0,3440	0,98	0,39	0,3822	
3	0,57	0,36	0,2052	1,09	0,24	0,2616	1,03	0,35	0,3605	
4	1,16	0,4	0,4640	1,45	0,27	0,3915	1,1	0,38	0,4180	
5	1,21	0,3	0,3630	0,96	0,4	0,3840	1,62	0,36	0,5832	
6	0,42	0,3	0,1260	0,79	0,44	0,3476	1,09	0,29	0,3161	
7	0,73	0,4	0,2920	1,2	0,38	0,4560	1,1	0,26	0,2860	
8	1,26	0,37	0,4662	0,74	0,39	0,2886	1,21	0,28	0,3388	
9	1	0,4	0,4000	0,9	0,3	0,2700	0,6	0,42	0,2520	
10	0,64	0,4	0,2560	0,8	0,27	0,2160	1,25	0,27	0,3375	
11	1,15	0,38	0,4370	1,28	0,4	0,5120	1,2	0,31	0,3720	
12	0,99	0,37	0,3663	1,54	0,3	0,4620	1,52	0,39	0,5928	
13	1,05	0,39	0,4095	1	0,3	0,3000	1,12	0,38	0,4256	
14	0,75	0,4	0,3000	0,96	0,39	0,3744	1,72	0,4	0,6880	
15	0,99	0,3	0,2970	0,76	0,38	0,2888	0,62	0,38	0,2356	
16	1,55	0,3	0,4650	1,1	0,39	0,4290	1,2	0,39	0,4680	
17	1,15	0,4	0,4600	0,82	0,36	0,2952	0,69	0,28	0,1932	
18	0,9	0,26	0,2340	0,79	0,31	0,2449	1,14	0,4	0,4560	

ANEXO 3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE (CONTINUACIÓN)

VIRUTAS DE COBRE										
Medición 1 : Peso (g)			1,0005	Medición 2 : Peso (g)			1,0001	Medición 3 : Peso (g)		1,0002
Dimensiones			Área (cm2)	Dimensiones		Área (cm2)	Dimensiones		Área (cm2)	
Largo (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)		Ancho (cm)	Largo (cm)		Ancho (cm)			
19	0,77	0,29	0,2233	0,99	0,42	0,4158	0,79	0,22	0,1738	
20	1,44	0,42	0,6048	0,78	0,38	0,2964	1,8	0,33	0,5940	
21	0,99	0,24	0,2376	0,83	0,4	0,3320	0,75	0,19	0,1425	
22	0,95	0,44	0,4180	0,99	0,38	0,3762	1,28	0,39	0,4992	
23	0,74	0,4	0,2960	0,79	0,3	0,2370	1	0,4	0,4000	
24	1,2	0,39	0,4680	0,8	0,35	0,2800	0,7	0,4	0,2800	
25	1,2	0,34	0,4080	0,84	0,38	0,3192	0,89	0,39	0,3471	
26	0,79	0,26	0,2054	0,75	0,37	0,2775	1,08	0,4	0,4320	
27	0,7	0,41	0,2870	1,64	0,3	0,4920	1,21	0,4	0,4840	
28	1,5	0,34	0,5100	1,68	0,3	0,5040	0,88	0,39	0,3432	
29	0,95	0,4	0,3800	1,24	0,24	0,2976	1,52	0,23	0,3496	
30	0,9	0,29	0,2610	1,22	0,28	0,3416	0,9	0,29	0,2610	
31	0,8	0,33	0,2640	0,8	0,23	0,1840	0,5	0,3	0,1500	
32	1,44	0,26	0,3744	0,4	0,32	0,1280	0,93	0,18	0,1674	
33	0,64	0,25	0,1600	-	-	-	0,64	0,39	0,2496	
TOTAL			11,8018	TOTAL			10,8713	TOTAL		11,9821

ANEXO 3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE (CONTINUACIÓN)

MEDICIÓN 1	cm ² /g	11,7959
MEDICIÓN 2	cm ² /g	10,8702
MEDICIÓN 3	cm ² /g	11,9797
PROMEDIO	cm ² /g	11,5486

ANEXO 3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE (CONTINUACIÓN)

VIRUTAS DE LATÓN									
Medición 1 : Peso (g)			0,9994	Medición 2 : Peso (g)		1,0081	Medición 3 : Peso (g)		1,000
Dimensiones			Área (cm ²)	Dimensiones		Área (cm ²)	Dimensiones		Área (cm ²)
No.	Largo (cm)	Ancho (cm)		Largo (cm)	Ancho (cm)		Largo (cm)	Ancho (cm)	
1	1	0,4	0,4000	0,6	0,5	0,3000	0,95	0,45	0,4275
2	1,6	0,45	0,7200	0,5	0,12	0,0600	0,5	0,45	0,2250
3	0,65	0,45	0,2925	0,9	0,5	0,4500	0,55	0,35	0,1925
4	1	0,4	0,4000	0,85	0,5	0,4250	0,75	0,5	0,3750
5	0,65	0,5	0,3250	1,1	0,55	0,6050	1,1	0,55	0,6050
6	0,7	0,5	0,3500	0,65	0,45	0,2925	0,7	0,3	0,2100
7	0,5	0,1	0,0500	0,9	0,4	0,3600	0,6	0,45	0,2700
8	0,85	0,55	0,4675	0,6	0,45	0,2700	0,7	0,45	0,3150
9	0,5	0,4	0,2000	0,55	0,45	0,2475	0,9	0,4	0,3600
10	0,3	0,4	0,1200	0,55	0,4	0,2200	0,75	0,5	0,3750
11	0,4	0,35	0,1400	0,6	0,4	0,2400	0,5	0,45	0,2250
12	0,65	0,5	0,3250	0,45	0,5	0,2250	0,6	0,35	0,2100
13	0,6	0,45	0,2700	1	0,45	0,4500	0,6	0,4	0,2400
14	1	0,35	0,3500	0,5	0,45	0,2250	0,8	0,4	0,3200
15	0,5	0,4	0,2000	0,5	0,4	0,2000	0,6	0,45	0,2700
16	0,8	0,7	0,5600	0,5	0,3	0,1500	0,55	0,4	0,2200
17	0,95	0,35	0,3325	1,4	0,5	0,7000	0,3	0,4	0,1200
18	0,65	0,5	0,3250	0,75	0,45	0,3375	0,7	0,5	0,3500

ANEXO 3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE (CONTINUACIÓN)

VIRUTAS DE LATÓN											
Medición 1 : Peso (g)			0,9994	Medición 2 : Peso (g)			1,0081	Medición 3 : Peso (g)			1,000
Dimensiones			Área (cm ²)	Dimensiones		Área (cm ²)	Dimensiones		Área (cm ²)		
N o.	Largo (cm)	Ancho (cm)		Largo (cm)	Ancho (cm)		Largo (cm)	Ancho (cm)			
19	0,6	0,35	0,2100	0,3	0,2	0,0600	0,2	0,35	0,0700		
20	0,15	0,85	0,1275	0,55	0,5	0,2750	0,4	0,35	0,1400		
21	0,4	0,45	0,1800				0,25	0,45	0,1125		
22	0,4	0,35	0,1400				0,4	0,75	0,3000		
TOTAL			6,4850	TOTAL		6,0925	TOTAL		5,9325		

MEDICIÓN 1	cm ² /g	6,4889
MEDICIÓN 2	cm ² /g	6,0435
MEDICIÓN 3	cm ² /g	5,9325
PROMEDIO	cm ² /g	6,1550

ANEXO 3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE (CONTINUACIÓN)

VIRUTAS DE BRONCE											
Medición 1 : Peso (g)			1,0026	Medición 2 : Peso (g)			1,0102	Medición 3 : Peso (g)			1,0096
	Dimensiones		Área (cm ²)	Dimensiones		Área (cm ²)	Dimensiones		Área (cm ²)		
	Largo (cm)	Ancho (cm)		Largo (cm)	Ancho (cm)		Largo (cm)	Ancho (cm)			
1	0,66	0,4	0,2640	1,2	0,7	0,8400	1	0,65	0,6500		
2	0,6	0,5	0,3000	1,45	0,5	0,7250	1	0,65	0,6500		
3	0,9	0,45	0,4050	0,65	0,5	0,3250	0,95	0,8	0,7600		
4	0,85	0,6	0,5100	1,9	1,45	0,7250	1,05	0,6	0,6300		
5	0,6	0,9	0,5400	0,95	0,65	0,6175	1	0,65	0,6500		
6	0,85	0,4	0,3400	0,75	0,55	0,4125	1,1	0,65	0,7150		
7	0,8	0,6	0,4800	1,3	0,4	0,5200	0,85	0,5	0,4250		
8	0,8	0,55	0,4400	0,85	0,6	0,5100	0,9	0,6	0,5400		
9	0,75	0,5	0,3750	0,95	0,5	0,4750	0,75	0,6	0,4500		
10	0,9	0,75	0,6750	0,9	0,8	0,7200	0,65	0,6	0,3900		
11	0,65	0,6	0,3900	0,55	0,2	0,1100	0,7	0,75	0,5250		
12	1,15	0,6	0,6900	0,8	0,6	0,4800	-	-	-		
13	0,55	0,65	0,3575	-	-	-	-	-	-		
14	0,95	0,45	0,4275	-	-	-	-	-	-		
15	0,7	0,45	0,3150	-	-	-	-	-	-		
16	0,7	0,5	0,3500	-	-	-	-	-	-		
17	0,55	0,55	0,3025	-	-	-	-	-	-		
18	0,55	0,4	0,2200	-	-	-	-	-	-		
TOTAL			7,3815	TOTAL			8,4900	TOTAL			6,3850

MEDICIÓN 1	cm ² /g	7,3624
MEDICIÓN 2	cm ² /g	8,4043
MEDICIÓN 3	cm ² /g	6,3243
PROMEDIO	cm ² /g	7,3636

ANEXO 4 LECTURA DE TUBOS POSITIVOS Y NEGATIVOS PARA OBTENER EL VALOR DE NMP/100 ml (ENSAYO CON AGUA SINTÉTICA)

VIRUTAS DE COBRE																				
DILUCIONES	Coliformes Duplicado	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	Combinación tubos positivos	índice NMP/100 ml	dilución	NMP/100ml	Promedio	% Remoción		
																			CT	CF
Ci	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	0/3	3-2-0	93	0,000001	9,30E+08	5,85E+08	-		
	CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	0/3	0/3	3-3-0	240	0,00001	2,40E+08					
	CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/2				3-3-1	460	0,00001	4,60E+08	2,85E+08	-		
	CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3				3-3-2	1100	0,0001	1,10E+08				
T1-0,5h	Control	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3			3-2-0	93	0,000001	9,30E+08	1,67E+09	-184,6154		
		CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3			3-3-0	240	0,000001	2,40E+09				
		CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/2				3-3-1	460	0,00001	4,60E+08	7,80E+08	-173,6842	
		CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3				3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09			
	1 g	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3				3-2-0	93	0,000001	9,30E+08	9,30E+08	-58,9744	
		CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3				3-2-0	93	0,000001	9,30E+08			
		CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/2				3-3-1	460	0,00001	4,60E+08	4,60E+08	-61,4035	
		CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/2				3-3-1	460	0,00001	4,60E+08			
	3 g	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3					3-3-0	240	0,00001	2,40E+08	1,43E+08	75,5556	
		CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3				3-3-1	460	0,0001	4,60E+07			
		CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3					3-3-2	1100	0,0001	1,10E+08	6,70E+07	76,4912	
		CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/1					3-3-0	240	0,0001	2,40E+07			
	7 g	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3				3-1-0	43	0,00001	4,30E+07	8,15E+07	86,0684	
		CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	2/3				3-1-2	120	0,00001	1,20E+08			
		CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/1				3-2-1	150	0,0001	1,50E+07	1,22E+07	95,7368	
		CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/1					3-2-0	93	0,0001	9,30E+06			
	T2-1h	Control	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3					3-3-1	460	0,00001	4,60E+08	3,50E+08	40,1709
			CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3				3-3-0	240	0,00001	2,40E+08		
			CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/1				3-3-0	240	0,00001	2,40E+08	1,75E+08	38,5965
			CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3					3-3-2	1100	0,0001	1,10E+08		
		1 g	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	0/3				3-3-0	240	0,00001	2,40E+08	1,95E+08	66,6667
			CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3	0/3			3-2-1	150	0,00001	1,50E+08		
			CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3					3-2-2	210	0,0001	2,10E+07	5,70E+07	80,0000
			CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/2	0/1				3-2-0	93	0,00001	9,30E+07		
3 g		CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3				3-3-1	460	0,0001	4,60E+07	4,60E+07	92,1368	
		CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3				3-3-1	460	0,0001	4,60E+07			
		CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/1					3-3-0	240	0,0001	2,40E+07	2,40E+07	91,5789	
		CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/1					3-3-0	240	0,0001	2,40E+07			
7 g	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3				3-2-0	93	0,0001	9,30E+06	1,22E+07	97,9231		
	CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3	0/3				3-2-1	150	0,0001	1,50E+07				
	CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	2/2					3-2-2	210	0,001	2,10E+06	5,70E+06	98,0000		
	CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/2	0/1					3-2-0	93	0,0001	9,30E+06				
T3-2h	Control	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3					3-3-0	240	0,00001	2,40E+08	2,25E+08	61,5385	
		CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	2/3				3-2-2	210	0,00001	2,10E+08			
		CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3					3-3-2	1100	0,0001	1,10E+08	7,80E+07	72,6316	
		CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/2					3-3-1	460	0,0001	4,60E+07			
	1 g	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3	0/3				3-2-1	150	0,0001	1,50E+07	1,50E+07	97,4359	
		CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3	0/3				3-2-1	150	0,0001	1,50E+07			
		CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	1/1					3-1-1	75	0,0001	7,50E+06	5,70E+06	98,0000	
		CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	1/1					3-0-1	39	0,0001	3,90E+06			
	3 g	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3					3-1-1	75	0,0001	7,50E+06	8,40E+06	98,5641	
		CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3				3-2-0	93	0,0001	9,30E+06			
		CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/1	0/1					3-0-0	23	0,0001	2,30E+06	2,35E+06	99,1754	
		CF D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/2						3-3-0	240	0,001	2,40E+06			
	7 g	CT D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3	0/3				3-1-0	43	0,0001	4,30E+06	3,30E+06	99,4359	
		CT D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	0/3	0/3				3-0-0	23	0,0001	2,30E+06			
		CF D1	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	1/1						3-0-1	39	0,001	3,90E+05	2,70E+05	99,9053	
		CF D2	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3							3-2-1	150	0,01	1,50E+05			

ANEXO 4 LECTURA DE TUBOS POSITIVOS Y NEGATIVOS PARA OBTENER EL VALOR DE NMP/100 ml (ENSAYO CON AGUA SINTÉTICA) (COTINUACIÓN)

VIRUTAS DE LATÓN (2 h)																			
DILUCIONES	Coliformes Duplicado	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	Combinación tubos positivos	índice NMP/100 ml	Dilución	NMP/100ml	Promedio	% Remoción	
Ci	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	0/3	0/3	3-3-0	240	0,000001	2,40E+09	2,40E+09	-	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	0/3	0/3	3-3-0	240	0,000001	2,40E+09			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3				3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09	7,80E+08	-	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3				3-3-1	460	0,00001	4,60E+08			
Control	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09	1,10E+09	54,1667	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	2/2			3-2-2	210	0,00001	2,10E+08	6,55E+08	16,0256	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/2				3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09			
P1	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09	6,10E+08	74,5833	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	2/3	0/3	0/3	3-1-2	120	0,00001	1,20E+08			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/2			3-2-1	150	0,00001	1,50E+08	3,05E+08	60,8974	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	1/3			3-3-1	460	0,00001	4,60E+08			
P2	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09	6,25E+08	73,9583	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3	0/3	0/3	3-2-1	150	0,00001	1,50E+08			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3			3-2-1	150	0,00001	1,50E+08	9,65E+07	87,6282	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3			3-1-0	43	0,00001	4,30E+07			
P3	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3	0/3	0/3	3-3-1	460	0,00001	4,60E+08	3,50E+08	85,4167	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	0/3	0/3	3-3-0	240	0,00001	2,40E+08			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	0/3	0/3	3-2-0	93	0,0001	9,30E+06	1,22E+07	98,4423	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3				3-2-1	150	0,0001	1,50E+07			

VIRUTAS DE BRONCE (2 h)																			
DILUCIONES	Coliformes Duplicado	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	Combinación tubos positivos	índice NMP/100 ml	Dilución	NMP/100ml	Promedio	% Remoción	
Ci	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	0/3	0/3	3-3-0	240	0,000001	2,40E+09	6,70E+09	-	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	3-3-2	1100	0,000001	1,10E+10			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3			3-2-1	150	0,00001	1,50E+08	1,22E+08	-	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3			3-2-0	93	0,00001	9,30E+07			
Control	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09	1,10E+09	83,5821	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/2			3-3-1	460	0,00001	4,60E+08	7,80E+08	-541,9753	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/2			3-3-2	1100	0,00001	1,10E+09			
P1	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3	0/3	3-3-1	460	0,00001	4,60E+08	4,60E+08	93,1343	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3	0/3	3-3-1	460	0,00001	4,60E+08			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3			3-1-0	43	0,00001	4,30E+07	4,30E+07	64,6091	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3			3-1-0	43	0,00001	4,30E+07			
P2	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	2/3	0/3	0/3	3-2-2	210	0,00001	2,10E+08	3,35E+08	95,0000	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3	0/3	3-3-1	460	0,00001	4,60E+08			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/2	0/2			3-2-0	93	0,0001	9,30E+06	9,30E+06	92,3457	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3			3-2-0	93	0,0001	9,30E+06			
P3	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	2/3	0/3	0/3	3-1-2	120	0,00001	1,20E+08	9,20E+07	98,6269	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	2/3			3-0-2	64	0,00001	6,40E+07			
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	1/3	0/1	0/2			3-1-1	75	0,001	7,50E+05	8,40E+05	99,3086	
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/0	0/2			3-2-0	93	0,001	9,30E+05			

ANEXO 5 CONSTANTES PARA LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

Unidades de velocidad de corrosión deseada	Constante K en la ecuación de velocidad de corrosión
Pulgadas por año (pul/año)	$3,45 \times 10^3$
Pulgadas por mes (pul/m)	$2,87 \times 10^2$
Milímetros por año (mm/año)	$8,76 \times 10^4$
Micrómetros por año ($\mu\text{m/año}$)	$8,76 \times 10^7$

FUENTE: (American Society of Testing Materials A.S.T.M., 1999)

ANEXO 7 LECTURA DE TUBOS POSITIVOS Y NEGATIVOS PARA OBTENER EL VALOR DE NMP/100 ml (ENSAYO CON AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA)

VIRUTAS DE COBRE, LATÓN Y BRONCE (2 h)																		
DILUCIONES	Coliformes Duplicado	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	Combinación tubos positivos	Índice NMP/100 ml	Dilución	NMP/100 ml	Promedio	% Remoción	
Ci	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-3-1	460	0,00001	4,60E+08	2,77E+08	-
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-2-0	93	0,00001	9,30E+07		
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/1				3-2-0	93	0,00001	9,30E+06	9,30E+06	-
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/2					3-2-0	93	0,00001	9,30E+06		
Control	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-3-0	240	0,00001	2,40E+07	1,95E+07	92,9476
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-2-1	150	0,00001	1,50E+07		
	CF	D1	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3						3-2-1	150	0,00001	1,50E+06	2,90E+06	68,8172
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	1/2	0/1					3-1-0	43	0,00001	4,30E+06		
COBRE (P= 7g)	CT	D1	3/3	3/3	3/3	2/3	2/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-2-2	210	0,00001	2,10E+06	2,10E+06	99,2405
		D2	3/3	3/3	3/3	2/3	2/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-2-2	210	0,00001	2,10E+06		
	CF	D1	2/3	0/3	0/3	0/2	0/2						2-0-0	9	0,1	9,00E+02	1,20E+03	99,9871
		D2	2/3	1/3	0/3	0/2	0/2						2-1-0	15	0,1	1,50E+03		
LATÓN (P= 7g)	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-2-0	93	0,00001	9,30E+06	5,12E+06	98,1501
		D2	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-2-0	93	0,00001	9,30E+05		
	CF	D1	3/3	2/3	2/3	0/3	0/2						3-2-2	210	0,1	2,10E+04	1,80E+04	99,8065
		D2	3/3	2/3	1/3	0/2							3-2-1	150	0,1	1,50E+04		
BRONCE (P=7g)	CT	D1	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-2-0	93	0,00001	9,30E+06	6,80E+06	97,5407
		D2	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3-1-0	43	0,00001	4,30E+06		
	CF	D1	3/3	2/3	0/3	0/3	0/2						3-2-0	93	0,1	9,30E+03	8,40E+03	99,9097
		D2	3/3	1/3	1/3	0/3	0/1						3-1-1	75	0,1	7,50E+03		