

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley Nro. 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



TESIS

**BIOSORCIÓN DE COBRE (Cu) Y PLOMO (Pb) PROVENIENTES
DE RELAVES MINEROS MEDIANTE EL USO DE BIOMASA
MICROBIANA, MINA BUENAVENTURA- JULCANI**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CONTAMINACIÓN POR MINERÍA - REMEDIACIÓN DE AGUA

PRESENTADO POR:

Bach. CAYLLAHUA RAMOS, MADYORI MONIC

Bach. GONZALES CARHUAPOMA, LIZBETH TANIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCAVELICA, PERÚ

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)
Ciudad Universitaria Paturpampa
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
SECRETARÍA DOCENTE



"Año de la universalización de la salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los veinte días del mes de octubre del año 2020, siendo las diecisiete horas con treinta minutos (17:30) se reunieron los miembros del Jurado Calificador, designados con la Resolución de Decano N°037-2019-FCI-UNH con fecha 17 de abril del 2019, conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : Ing. M.Sc. Pedro Antonio Palomino Pastrana
SECRETARIO : Ing. M.Sc. Jorge Luis Huere Peña
VOCAL : Ing. Dr. Fernando Martín Toribio Román

para llevar a cabo la sustentación de tesis por medio virtual de forma sincrónica, a través del aplicativo MEET la tesis titulada: BIOSORCIÓN DE COBRE (Cu) Y PLOMO (Pb) PROVENIENTES DE RELAVES MINEROS MEDIANTE EL USO DE BIOMASA MICROBIANA, MINA BUENAVENTURA-JULCANI, perteneciente a los Bachilleres:

CAYLLAHUA RAMOS Madyori Monic y
GONZALES CARHUAPOMA Lizbeth Tania

Terminada la sustentación y defensa de la tesis por medio virtual sincrónica, el presidente del Jurado Calificador comunica a los bachilleres y público asistente que el Jurado Calificador abandonará la reunión virtual sincrónica por un momento con el propósito de deliberar el acto de sustentación de tesis. Después de cinco minutos, el Jurado Calificador se reincorpora a dicha reunión virtual, donde el Secretario da lectura el acta de sustentación en el que se determina lo siguiente:

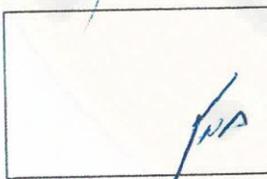
Bachiller, CAYLLAHUA RAMOS
Madyori Monic
Aprobado por: UNANIMIDAD
Desaprobado por:

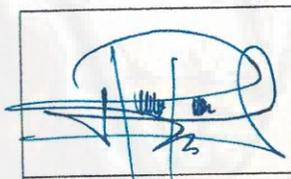
Bachiller, GONZALES CARHUAPOMA
Lizbeth Tania
Aprobado por: UNANIMIDAD
Desaprobado por:

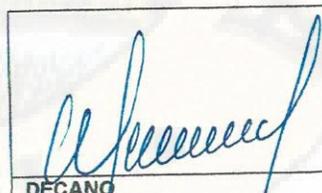
OBSERVACIONES:

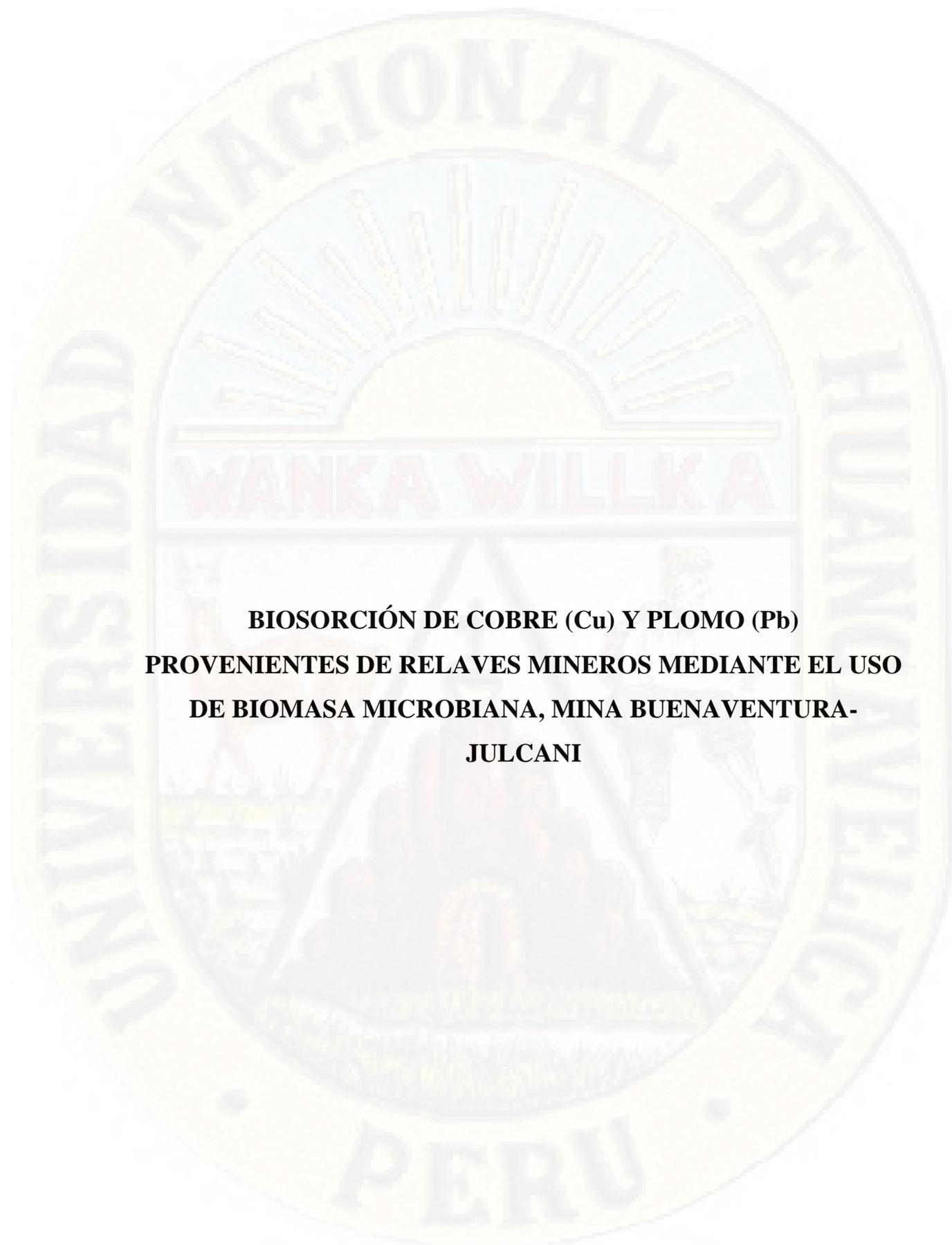
Los ejemplares de Tesis deberán ser entregados en forma física de acuerdo a las normas y formatos. Siendo las 7.00 p.m. del mismo día, se da por concluida la reunión y en señal de conformidad firmamos al pie:


PRESIDENTE
Ing. M.Sc. Pedro A. Palomino Pastrana

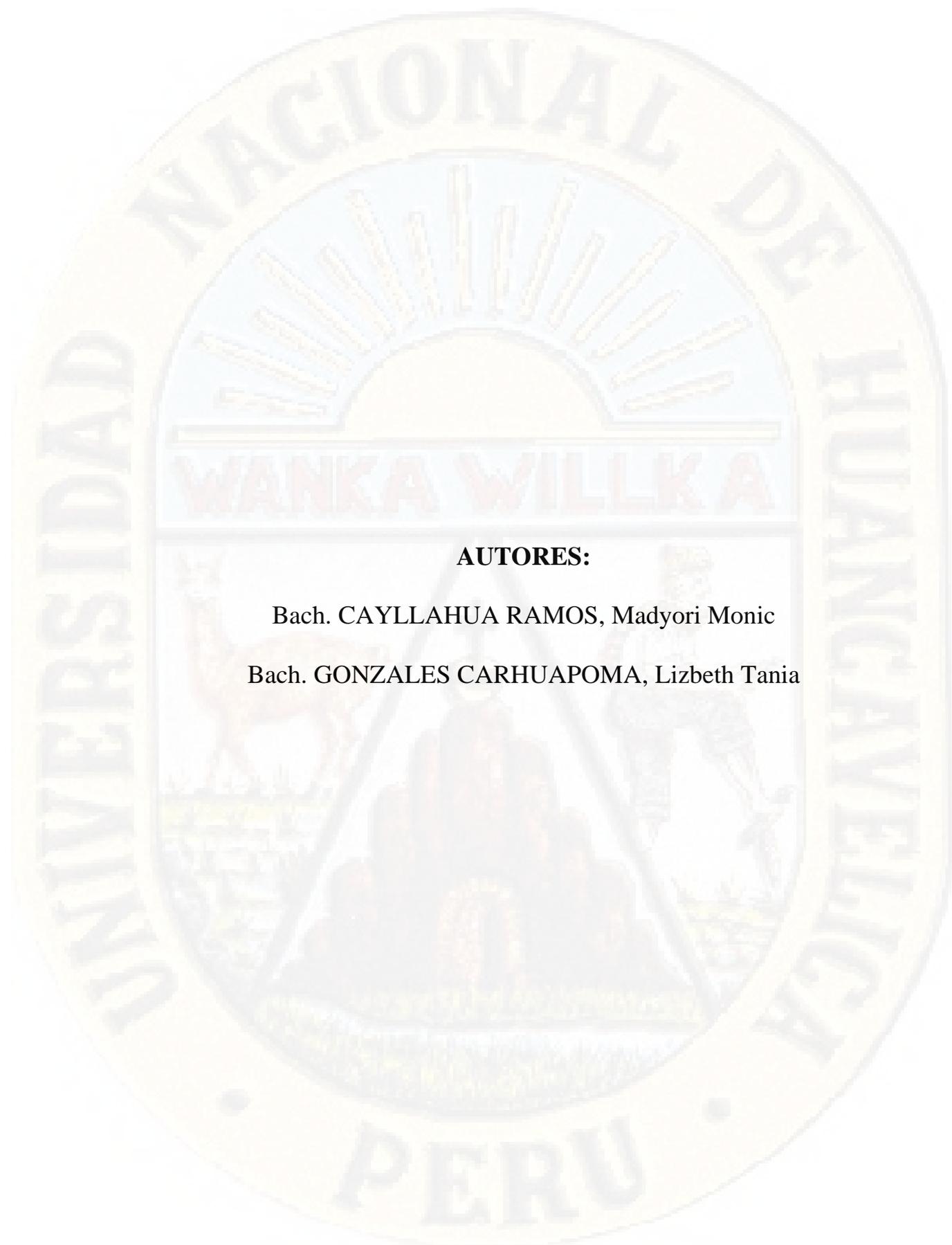

VOCAL
Ing. Dr. Fernando M. Toribio Román


SECRETARIO
Ing. M.Sc. Jorge L. Huere Peña


DECANO
Ing. M.Sc. William H. Salas Contreras



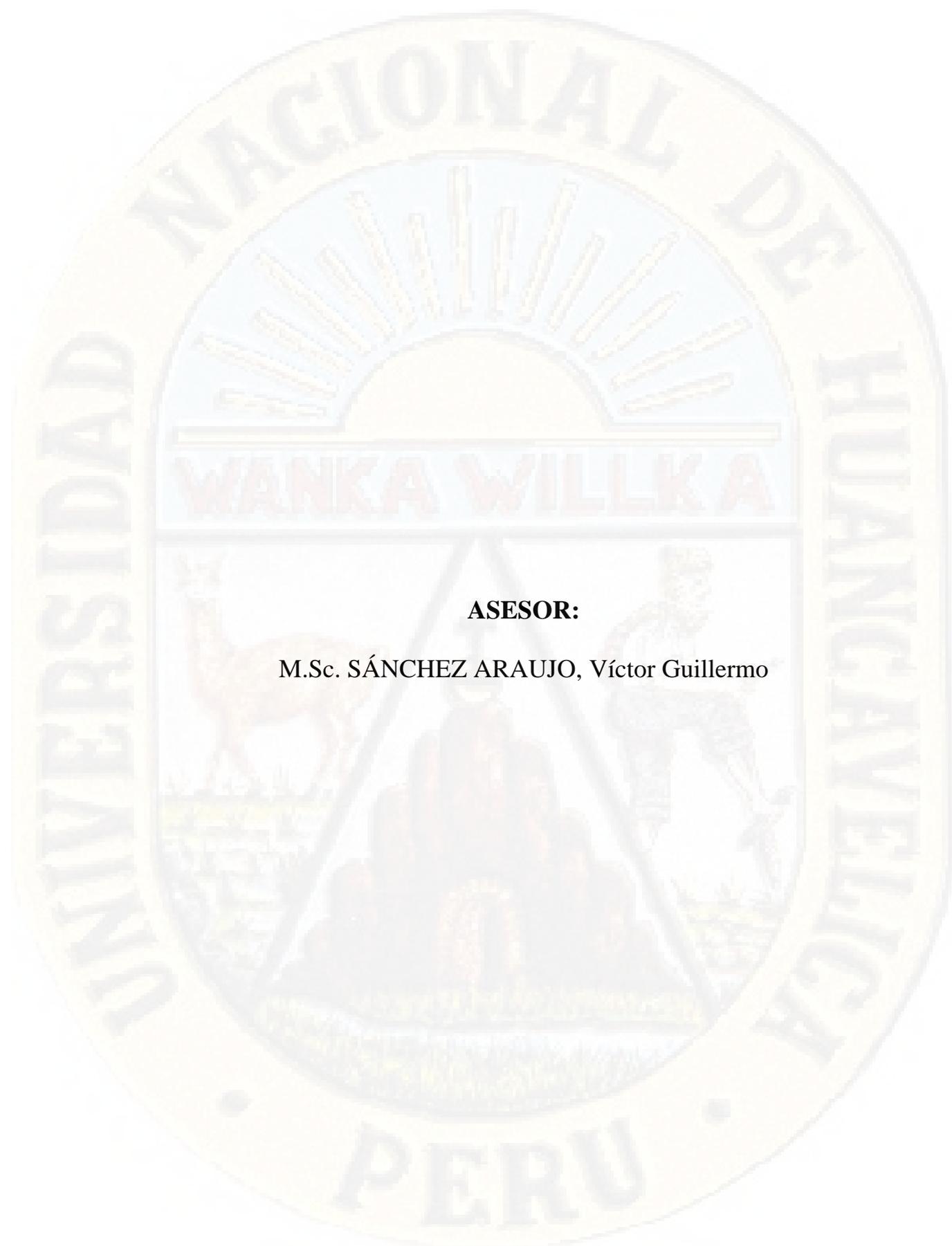
**BIOSORCIÓN DE COBRE (Cu) Y PLOMO (Pb)
PROVENIENTES DE RELAVES MINEROS MEDIANTE EL USO
DE BIOMASA MICROBIANA, MINA BUENAVENTURA-
JULCANI**



AUTORES:

Bach. CAYLLAHUA RAMOS, Madyori Monic

Bach. GONZALES CARHUAPOMA, Lizbeth Tania



ASESOR:

M.Sc. SÁNCHEZ ARAUJO, Víctor Guillermo

DEDICATORIA

MADYORI

A Dios por darme la fortaleza y soporte a mi vida.

A mi madre Dora Ramos Enríquez quien con su paciencia y constancia me impulso a iniciar con una de las metas más importantes en mi vida.

A mi abuela Rafaela Enríquez Escobar y hermanos quienes, con su apoyo incondicional, valores, motivación contante me impulsaron a culminar mi carrera profesional.

TANIA

A Dios por ser mi guía incondicional en mi vida.

A mi madre Cleofe Carhuapoma Ampa por ser ejemplo de superación y perseverancia, quien me enseñó a no rendirse jamás y a seguir adelante con las metas que te propongas y a mi hermano Percy que gracias a su apoyo y consejos ayudaron a terminar con este proyecto de vida y forjarme como un profesional y contribuir con el desarrollo.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios, por la fortaleza y perseverancia que impartió en nosotras para poder culminar con nuestro proyecto de investigación.

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Huancavelica–Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, a los docentes que gracias a los conocimientos impartidos nos ayudó con el planteamiento del trabajo de investigación.

A mi asesor de tesis, el M.Sc. Víctor Guillermo Sánchez Araujo, que nos acogió, motivo y absolvió las dudas en el desarrollo de nuestro trabajo investigación, brindándonos las facilidades para desenvolvemos. Le agradecemos su confianza y tiempo.

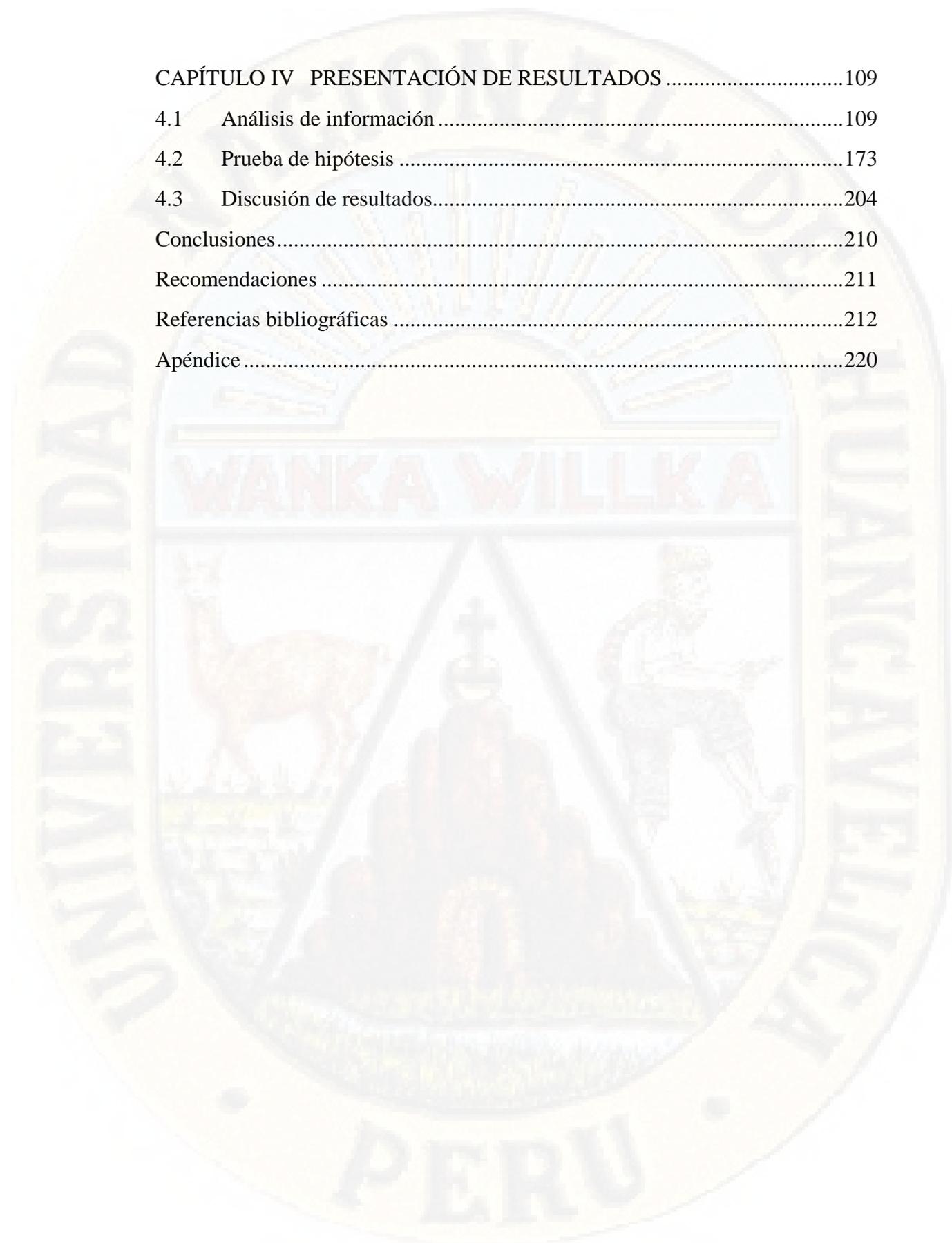
Al ingeniero y docente de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria Cesar Augusto Roca Vélchez por el apoyo desinteresado y valioso que nos brindó en el desarrollo de nuestro proyecto de investigación.

A los miembros del jurado de tesis al M.Sc. Jorge Luis Huere Peña, M.Sc. Pedro Palomino Pastrana y Dr. Fernando Martín Toribio Román por sus aportes y recomendaciones para realizar un buen trabajo de investigación.

Índice

Índice.....	vii
Índice de glosario.....	ix
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xv
Resumen	xxv
Abstract.....	xxvi
Introducción.....	xxvii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Formulación del problema	3
1.3 Objetivos	3
1.4 Justificación	4
1.5 Limitaciones.....	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	1
2.1 Antecedentes	1
2.2 Bases teóricas.....	12
2.3 Bases conceptuales.....	19
2.4 Definición de términos.....	42
2.5 Hipótesis	45
2.6 Variables	46
2.7 Operacionalización de variables:	47
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.1 Ámbito temporal y espacial	49
3.2 Tipo de investigación.....	59
3.3 Nivel de investigación.....	59
3.4 Población, muestra y muestreo	59
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	60
3.6 Técnicas y procesamiento de análisis de datos	106

CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	109
4.1 Análisis de información	109
4.2 Prueba de hipótesis	173
4.3 Discusión de resultados.....	204
Conclusiones.....	210
Recomendaciones	211
Referencias bibliográficas	212
Apéndice.....	220



Índice de glosario

ANA: Autoridad Nacional de Agua

ANOVA: Análisis de varianza

Cu: Cobre

DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental

EMAPA: Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado.

EPS: Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento

HSD de Tukey: *Honestly Significant Difference* de Tukey

Pb: Plomo

pH: Potencial de hidrógeno

PPM: Parte por millón

PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable

PTAR: Planta de Tratamiento de Agua Residual

SAS: *Statistical Analysis System* (paquete estadístico)

TMD: Toneladas Métricas por Día

TMS: Toneles de Materia Seca

UASB: *Using Uasb Anaerobic System* (Unidad Anaerobia de Flujo Ascendente)

U.E.A: Unidad Ejecutora Administrativa

m³/s: Metros cúbicos por segundo

Índice de tablas

Tabla 1	
<i>Carga Eléctrica y Masa de Partículas Constitutivas de un Átomo</i>	18
Tabla 2	
<i>Ventajas del Uso de Biomasa Viva y Muerta</i>	22
Tabla 3	
<i>Desventajas del Uso de Biomasa Viva y Muerta</i>	23
Tabla 4	
<i>Tipos de Biosorbentes</i>	26
Tabla 5	
<i>Cronograma de Actividades</i>	50
Tabla 6	
<i>Ubicación Geográfica de la Quebrada Accchilla</i>	51
Tabla 7	
<i>Ubicación Geográfica de los Puntos de Monitoreo</i>	52
Tabla 8	
<i>Ubicación Geográfica de la Unidad Minera Mimosa</i>	53
Tabla 9	
<i>Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Yauli</i>	54
Tabla 10	
<i>Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, EMAPA-Huancavelica</i>	56
Tabla 11	
<i>Ubicación Geográfica del Laboratorio de Nutrición Animal Zootecnia-Universidad Nacional de Huancavelica</i>	57
Tabla 12	
<i>Diseño Completamente al Azar (DCA) para Tiempo de Contacto y Proporción de Biomasa Microbiana</i>	64
Tabla 13	
<i>Proporciones de Biomasa Microbiana (g) en la Prueba de Biomasa Óptima para Cobre (Cu).</i>	88
Tabla 14	
<i>Proporciones de Biomasa Microbiana (g) en la Prueba de Biomasa Óptima para Plomo (Pb)</i>	91

Tabla 15	
<i>Intervalos de Tiempo de Contacto (h) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Cobre (Cu).</i>	94
Tabla 16	
<i>Intervalos de Tiempo de Contacto (h) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Plomo (Pb).</i>	97
Tabla 17	
<i>Concentración de Cobre (Cu) en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)</i>	109
Tabla 18	
<i>Concentración de Plomo (Pb) en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)</i>	111
Tabla 19	
<i>Datos de Caudal en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-1) de la Quebrada Acchilla – junio de 2019.</i>	112
Tabla 20	
<i>pH y Conductividad Eléctrica en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2) - junio de 2019</i>	114
Tabla 21	
<i>Concentración de Cobre (Cu) y Plomo (Pb) en la Biomasa Microbiana Seca</i>	116
Tabla 22	
<i>Variación del pH y Conductividad Eléctrica para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	117
Tabla 23	
<i>Variación del pH y Conductividad Eléctrica para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	121
Tabla 24	
<i>Variación del pH y Conductividad Eléctrica para la Prueba de Tiempo Óptimo (h) en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	125
Tabla 25	
<i>Variación del pH y Conductividad Eléctrica para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	128
Tabla 26	
<i>pH y Conductividad Eléctrica en un Sistema Multi-Componente que Contiene Metales de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)</i>	132
Tabla 27	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Cobre (Cu).</i>	135

Tabla 28	
<i>Prueba de Medias de Tuckey en la Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Microbiana Óptima para Cobre (Cu)</i>	142
Tabla 29	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Plomo (Pb)</i> . 143	
Tabla 30	
<i>Prueba de Medias de Tuckey en la Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Plomo (Pb)</i>	150
Tabla 31	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) para Cobre (Cu)</i>	151
Tabla 32	
<i>Prueba de Medias de Tuckey en la Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Cobre (Cu)</i>	158
Tabla 33	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) para Plomo (Pb)</i>	159
Tabla 34	
<i>Prueba de Medias de Tuckey en la Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo de Plomo (Pb)</i>	167
Tabla 35	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) de Cobre (Cu) en un Sistema Multi-Componente Proveniente de Relaves Mineros</i>	169
Tabla 36	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) de Plomo (Pb) en un Sistema Multi-Componente Proveniente de Relaves Mineros</i>	171
Tabla 37	
<i>Resumen de las Pruebas sobre la Eficiencia de Biosorción de los Sistemas Mono y Multi Componente</i>	173
Tabla 38	
<i>Test de Normalidad de la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	174
Tabla 39	
<i>Test de Normalidad de la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	175

Tabla 40	
<i>Test de Normalidad de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	175
Tabla 41	
<i>Test de Normalidad de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	176
Tabla 42	
<i>Test de Levene para la Homogeneidad de Varianza de la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	177
Tabla 43	
<i>Test de Levene para la Homogeneidad de Varianzas de la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	178
Tabla 44	
<i>Test de Levene para la Homogeneidad de Varianzas de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	180
Tabla 45	
<i>Test de Levene para la Homogeneidad de Varianzas de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	181
Tabla 46	
<i>Análisis de Varianza (ANOVA) para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	185
Tabla 47	
<i>Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu).</i>	187
Tabla 48	
<i>Prueba de Medias de Tukey para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	187
Tabla 49	
<i>Análisis de Varianza (ANOVA) para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	189
Tabla 50	
<i>Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	191
Tabla 51	
<i>Prueba de Medias de Tukey para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	191

Tabla 52	
<i>Análisis de Varianza (ANOVA) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	193
Tabla 53	
<i>Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	195
Tabla 54	
<i>Prueba de Medias de Tukey para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	195
Tabla 55	
<i>Análisis de Varianza (ANOVA) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	197
Tabla 56	
<i>Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	199
Tabla 57	
<i>Prueba de Medias de Tukey para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	199
Tabla 58	
<i>Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas</i>	220

Índice de figuras

Figura 1	
<i>Fuerzas de Interacción para Cargas Iguales y Diferentes</i>	18
Figura 2	
<i>Diagrama de Flujo de Biosorción de Metales Pesados</i>	21
Figura 3	
<i>Caracterización de Lodos de PTAR</i>	29
Figura 4	
<i>Mecanismos de Interacción entre el Metal Pesado y Microorganismo</i>	31
Figura 5	
<i>Operacionalización de Variables</i>	47
Figura 6	
<i>Quebrada Acchilla</i>	52
Figura 7	
<i>Ubicación Geográfica de la Unidad Minera Mimosa</i>	54
Figura 8	
<i>Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Yauli</i>	55
Figura 9	
<i>Planta de Tratamiento de Agua Potable, EMAPA-Huancavelica</i>	57
Figura 10	
<i>Laboratorio de Nutrición Animal, Zootecnia-Universidad Nacional de Huancavelica</i>	58
Figura 11	
<i>Partiendo la Variación Total en sus Componentes en un DCA</i>	62
Figura 12	
<i>Muestreo de Agua en la Quebrada Acchilla – junio de 2019</i>	69
Figura 13	
<i>Digestión de Muestras de los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)</i>	70
Figura 14	
<i>Lectura de Cobre (Cu) con el Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica</i>	73
Figura 15	
<i>Lectura de Plomo (Pb) con el Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica</i>	76

Figura 16	
<i>Recolección de Biomasa Microbiana de la PTAR del Distrito de Yauli- junio de 2019</i>	78
Figura 17	
<i>Digestión Acida de Biomasa Microbiana</i>	80
Figura 18	
<i>Lectura de Cobre (Cu) en la Biomasa Microbiana</i>	83
Figura 19	
<i>Lectura de Plomo (Pb) en la Biomasa Microbiana</i>	86
Figura 20	
<i>Elección de la Proporción Óptima de Biomasa Microbiana para la Biosorción de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)</i>	107
Figura 21	
<i>Elección del Tiempo Óptimo de Contacto para la Biosorción de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)</i>	107
Figura 22	
<i>Concentración de Cobre (Cu) en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)</i>	110
Figura 23	
<i>Concentración de Plomo en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)</i>	112
Figura 24	
<i>Caudal en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2) de la Quebrada Acchilla</i>	113
Figura 25	
<i>pH en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)</i>	114
Figura 26	
<i>Conductividad Eléctrica en los Puntos de Monitoreo (P-1 y P-2)</i>	115
Figura 27	
<i>Concentración de Cobre (Cu) y Plomo (Pb) en la Biomasa Microbiana</i>	116
Figura 28	
<i>Variación del pH para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	118
Figura 29	
<i>Variación de la Conductividad Eléctrica para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	120
Figura 30	
<i>Variación del pH para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	122

Figura 31	
<i>Variación de la Conductividad Eléctrica para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Plomo (Pb).....</i>	124
Figura 32	
<i>Variación del pH para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Cobre (Cu).....</i>	126
Figura 33	
<i>Variación de la Conductividad Eléctrica para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Cobre (Cu).....</i>	127
Figura 34	
<i>Variación del pH para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Plomo (Pb).....</i>	130
Figura 35	
<i>Variación de la Conductividad Eléctrica para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Plomo (Pb).....</i>	131
Figura 36	
<i>pH para un Sistema Multi-Componente que Contiene Metales de Cobre (Cu) y Plomo (Pb).</i>	133
Figura 37	
<i>Conductividad Eléctrica para un Sistema Multi-Componente que Contiene Metales de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)</i>	134
Figura 38	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Cobre (Cu). 141</i>	
Figura 39	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Plomo (Pb). 149</i>	
Figura 40	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Cobre (Cu)...</i>	157
Figura 41	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Plomo (Pb)...</i>	165
Figura 42	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) de Cobre (Cu) en un Sistema Multi-Componente Proveniente de Relaves Mineros</i>	170
Figura 43	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) de Plomo (Pb) en un Sistema Multi-Componente Proveniente de Relaves Mineros</i>	172

Figura 44	
<i>Homogeneidad de Varianza para la Prueba de Proporción de Biomasa Microbiana Óptima en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	178
Figura 45	
<i>Homogeneidad de Varianza de la Prueba de Proporción de Biomasa Microbiana Óptima en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	179
Figura 46	
<i>Homogeneidad de Varianzas para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	181
Figura 47	
<i>Homogeneidad de Varianzas de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	182
Figura 48	
<i>Valores Críticos para Aceptar o Rechazar la Hipótesis Nula en la Eficiencia de Biosorción de los Metales de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)</i>	184
Figura 49	
<i>Valor Crítico y el Valor de Fisher para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	186
Figura 50	
<i>Valor Crítico y el Valor de Fisher para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	190
Figura 51	
<i>Valor Crítico y Valor de Fisher para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)</i>	194
Figura 52	
<i>Valor Crítico y Valor de Fisher en la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)</i>	198
Figura 53	
<i>Curva de Calibración para Cobre (Cu)</i>	233
Figura 54	
<i>Línea de Absorbancia para Cobre (Cu)</i>	233
Figura 55	
<i>Curva de Calibración para Plomo (Pb)</i>	234
Figura 56	
<i>Línea de Absorbancia para Cobre (Cu)</i>	234

Figura 57	
<i>Calibración del Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica para la Lectura de Cobre (Cu)</i>	<i>235</i>
Figura 58	
<i>Calibración del Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica para la Lectura de Plomo (Pb)</i>	<i>235</i>
Figura 59	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Cobre (Cu) 2/1</i>	<i>236</i>
Figura 60	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Cobre (Cu) 2/2</i>	<i>236</i>
Figura 61	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Plomo (Pb) 4/1</i>	<i>237</i>
Figura 62	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Plomo (Pb) 4/2</i>	<i>237</i>
Figura 63	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Plomo (Pb) 4/3</i>	<i>238</i>
Figura 64	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Plomo (Pb) 4/4</i>	<i>238</i>
Figura 65	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Cobre (Cu) 3/1</i>	<i>239</i>
Figura 66	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Cobre (Cu) 3/2</i>	<i>239</i>
Figura 67	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Cobre (Cu) 3/3</i>	<i>240</i>
Figura 68	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Plomo (Pb) 3/1</i>	<i>240</i>

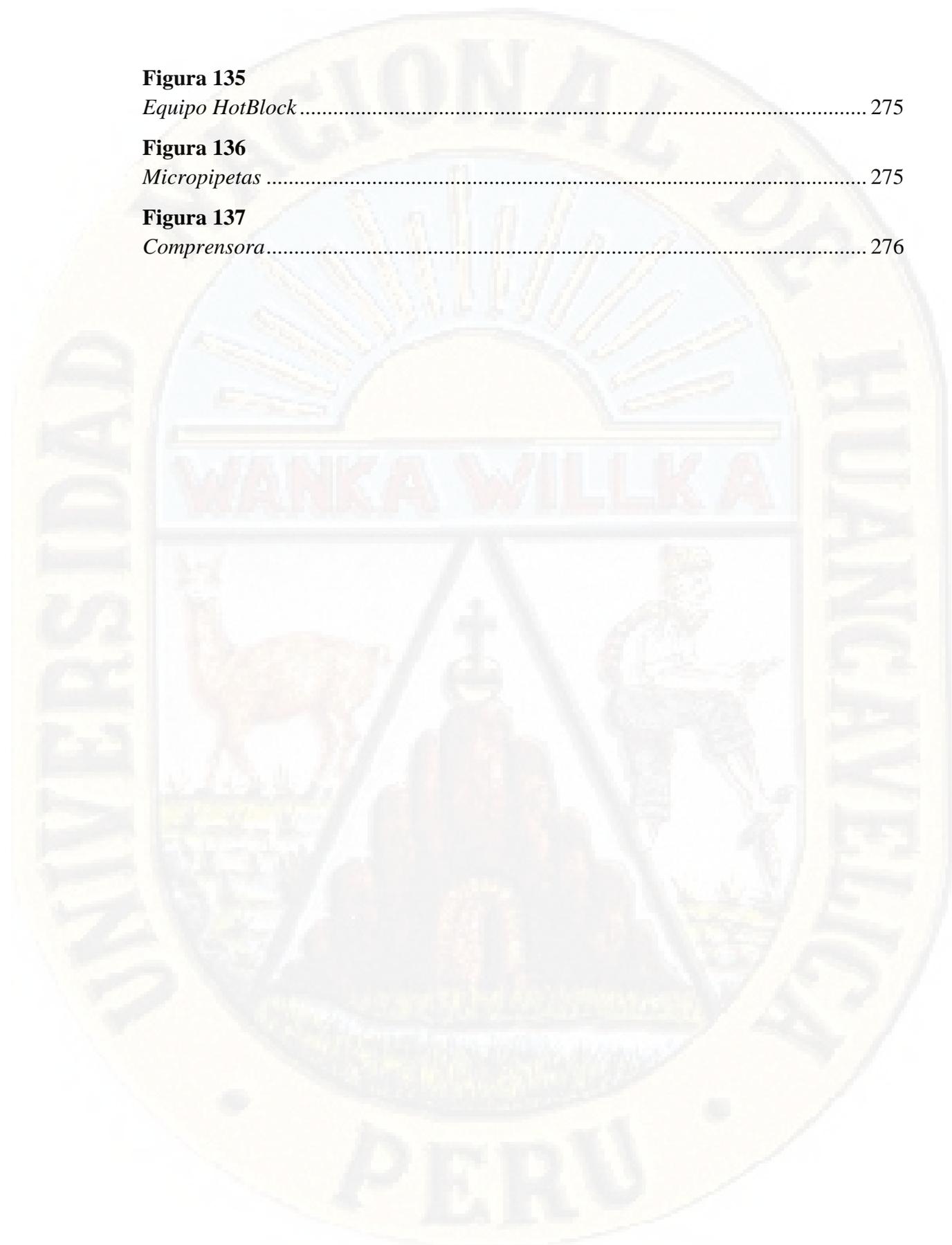
Figura 69	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Plomo (Pb) 3/2</i>	
.....	241
Figura 70	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Plomo (Pb) 3/3</i>	
.....	241
Figura 71	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) de Cobre (Cu) en un Sistema Multi-Componente</i>	
<i>Proveniente de Relaves Mineros</i>	242
Figura 72	
<i>Eficiencia de Biosorción (%) de Plomo (Pb) en un Sistema Multi-Componente</i>	
<i>Proveniente de Relaves Mineros</i>	242
Figura 73	
<i>Unidad Minera Mimosa</i>	244
Figura 74	
<i>Depósito de Relaves</i>	244
Figura 75	
<i>Agua Arriba de la Estación EJ-16</i>	245
Figura 76	
<i>Quebrada Acchilla</i>	245
Figura 77	
<i>Restos de Relaves Mineros</i>	246
Figura 78	
<i>Agua Abajo de la Estación EJ-16</i>	246
Figura 79	
<i>Instrumentos e Indumentaria</i>	247
Figura 80	
<i>Cálculo de Caudal</i>	247
Figura 81	
<i>Muestra de Agua del Punto P-1</i>	248
Figura 82	
<i>Etiquetado de la Muestra de Agua del Punto de Monitoreo</i>	248
Figura 83	
<i>Etiquetado de Muestra de Agua de los Puntos de Monitoreo</i>	249

Figura 84	
<i>Identificación del Punto de Muestra P-2</i>	249
Figura 85	
<i>Limpieza del Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica</i>	250
Figura 86	
<i>Estándares de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)</i>	250
Figura 87	
<i>Soluciones de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)</i>	251
Figura 88	
<i>Preparaciones Soluciones de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)</i>	251
Figura 89	
<i>Muestras de Agua</i>	252
Figura 90	
<i>Digestión de Muestras de Agua</i>	252
Figura 91	
<i>Lectura de Muestras Digestadas</i>	253
Figura 92	
<i>Muestras Digestadas</i>	253
Figura 93	
<i>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales-Distrito de Yauli</i>	254
Figura 94	
<i>Lecho de Secado</i>	254
Figura 95	
<i>Vestimenta e Instrumentos para la Recolección de Lodos de PTAR</i>	255
Figura 96	
<i>Recolección Lodos de PTAR</i>	255
Figura 97	
<i>Transporte de Lodos de PTAR</i>	256
Figura 98	
<i>Colección de Lodos de PTAR</i>	256
Figura 99	
<i>Secado de Lodos</i>	257
Figura 100	
<i>Tratamiento de Lodos</i>	257

Figura 101	
<i>Laboratorio de Mecánica de Suelos-Escuela Profesional de Civil</i>	258
Figura 102	
<i>Triturado de Biomasa Microbiana</i>	258
Figura 103	
<i>Pesado de Biomasa Microbiana</i>	259
Figura 104	
<i>Tamizado de Biomasa Microbiana</i>	259
Figura 105	
<i>Muestras de Biomasa Microbiana</i>	260
Figura 106	
<i>Pesado de la Biomasa Microbiana para su Digestión</i>	260
Figura 107	
<i>Muestras Digestadas</i>	261
Figura 108	
<i>Digestión de Muestras de Biomasa Microbiana</i>	261
Figura 109	
<i>Laboratorio de Análisis-EMAPA-Huancavelica</i>	262
Figura 110	
<i>Pesado de Muestras de Biomasa Microbiana</i>	262
Figura 111	
<i>Mezcla de Biomasa con Muestra de Agua</i>	263
Figura 112	<i>Prueba de Jarras</i>
	263
Figura 113	
<i>Muestras Tratadas con Biomasa Microbiana</i>	264
Figura 114	
<i>Prueba de Biomasa Óptima</i>	264
Figura 115	
<i>Filtrados de Muestras</i>	265
Figura 116	
<i>Muestras Filtradas</i>	265
Figura 117	
<i>Lectura de Muestras para Biomasa Óptima (3 g)</i>	266
Figura 118	
<i>Lectura de Muestras para Biomasa Óptima (9 g)</i>	266

Figura 119	
<i>Digestión de Muestras -Cobre (Cu)</i>	267
Figura 120	
<i>Digestión de Muestras - Plomo (Pb)</i>	267
Figura 121	
<i>Lectura de Muestras con Cobre (Cu) para la Prueba de Biomasa Óptima</i>	268
Figura 122	
<i>Lectura de Muestras con Plomo (Pb) para la Prueba de Biomasa Óptima</i>	268
Figura 123	
<i>Lectura de Muestras de Cobre (Cu) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (15 h)</i>	269
Figura 124	
<i>Prueba de Jarras para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto</i>	269
Figura 125	
<i>Lectura de Muestras con Cobre (Pb) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (9 h)</i>	270
Figura 126	
<i>Pruebas de Ensayo para un Sistema Multi-Componente de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)</i>	270
Figura 127	
<i>Pruebas de Ensayo de Muestra Acida Provenientes de Relaves Mineros</i>	271
Figura 128	
<i>Muestra Acida Digestadas Proveniente de Relaves Mineros</i>	271
Figura 129	
<i>Materiales y Reactivos Utilizados</i>	272
Figura 130	
<i>Lectura de Muestra Acida</i>	272
Figura 131	
<i>Equipo de Absorción Atómica</i>	273
Figura 132	
<i>Equipo Generador de Agua Ultra Pura</i>	273
Figura 133	
<i>Equipo de Prueba de Jarras</i>	274
Figura 134	
<i>Balanza Analítica</i>	274

Figura 135 <i>Equipo HotBlock</i>	275
Figura 136 <i>Micropipetas</i>	275
Figura 137 <i>Comprensora</i>	276



Resumen

El presente trabajo de investigación “Biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros mediante el uso de biomasa microbiana, Mina Buenaventura - Julcani”. Tiene el objetivo general de evaluar la eficiencia de biosorción (%) de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) mediante el uso de biomasa microbiana por medio de los objetivos específicos, determinar la proporción óptima (g) de biomasa microbiana y tiempo óptimo de contacto (h) para la biosorción de los metales en estudio. El tipo de investigación fue aplicada con un nivel explicativo o experimental. La recolección y análisis de datos se llevó a cabo en base al cronograma planteado mediante las siguientes actividades: acondicionamiento de laboratorios, muestreo y caracterización de la fuente de agua, pre análisis de agua y biomasa microbiana, ensayos de laboratorio y análisis de muestras finales. De este modo se llegó a determinar que la proporción óptima (g) de biomasa microbiana es de 27 gramos y el tiempo óptimo de contacto (h) de 3 horas. Aplicando la proporción óptima de biomasa microbiana y el tiempo óptimo de contacto, la eficiencia de biosorción en un sistema multi-componente proveniente de relaves mineros es de un 95,73 % para cobre (Cu) y 92,37 % para plomo (Pb). Por lo tanto, se concluyó que la eficiencia de biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros mediante el uso de biomasa microbiana, Mina Buenaventura – Julcani es mayor al 50 %.

Palabras claves: Biomasa microbiana, biosorción, metales pesados, relaves mineros, cobre (Cu), plomo (Pb).

Abstract

The currently research work "Biosorption of copper (Cu) and lead (Pb) from mining tailings through the use of microbial biomass, Buenaventura- Julcani Mine". It has the general objective of evaluating the biosorption efficiency (%) of heavy metals copper (Cu) and lead (Pb) by using microbial biomass through the specific objectives; determine the optimal proportion (g) of microbial biomass and the optimal contact time (h) for the biosorption of the metals under study. The type of research was applied with an explanatory or experimental level. The data collection and analysis procedure was carried out based on the proposed schedule through the following activities: laboratory conditioning, sampling and characterization of the water source, preanalysis of water and microbial biomass, laboratory testing and final sample analysis. In this way it was determined that the optimal proportion (g) of microbial biomass is 27 grams and the optimal contact time (h) is 3 hours, applying the optimal microbial biomass and the optimal contact time, the biosorption efficiency in a multicomponent system from mining tailings is 95.73% for copper (Cu) and 92.49% for lead (Pb). Therefore, it was concluded that the biosorption efficiency of copper (Cu) and lead (Pb) from mining tailings through the use of microbial biomass, Buenaventura - Julcani Mine has an efficiency greater than 50%.

Key words: Microbial biomass, biosorption, heavy metals, mine tailings, copper (Cu), lead (Pb).

Introducción

El uso indiscriminado de las fuentes de agua por diversas actividades antropogénicas causa serios problemas en el ecosistema acuático. Los principales contaminantes químicos son de origen inorgánico como los metales pesados provenientes de actividades mineras y relaves mineros, las cuales han recibido principal atención. La contaminación de estas fuentes de agua puede causar alteraciones irreversibles tanto en los ecosistemas acuáticos, terrestres o en la calidad de agua de consumo humano si sobrepasar los límites máximos permitidos o la capacidad de asimilación del medio ambiente.

Por otro lado, también se menciona el problema de disposición de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Problema presente actualmente en el Perú ya que el 70% de las aguas residuales y el lodo producido no tienen tratamiento y no se cuenta con una normativa eficiente que permita su uso o disposición definitiva.

La investigación comprende el tratamiento de aguas contaminadas con relaves mineros con especial interés en los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) mediante el uso de biomasa microbiana (lodo residual) proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yauli. El presente trabajo de investigación se llevó a cabo a nivel laboratorio con la ayuda de rotores giratorios que tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la biomasa microbiana en la remoción de iones metálicos de cobre (Cu) y plomo (Pb) del agua contaminada. Para ello se determinó la proporción óptima de biomasa microbiana y tiempo óptimo de contacto capaces de remover la mayor cantidad de iones metálicos en el agua.

La presente tesis de grado pretende obtener nuevas soluciones, eficientes y definitivas que produzca el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en la utilización de sustratos orgánicos para la eliminación de metales pesados por el proceso de biosorción debido a que los métodos convencionales para el tratamiento de efluentes contaminados con metales pesados implican procesos fisicoquímicos como floculación, precipitación, electrólisis y cristalización. Sin embargo, estos procesos

son muy caros y generan nuevos productos contaminantes. Por tal motivo, este trabajo de investigación comprende el desarrollo de IV capítulos.

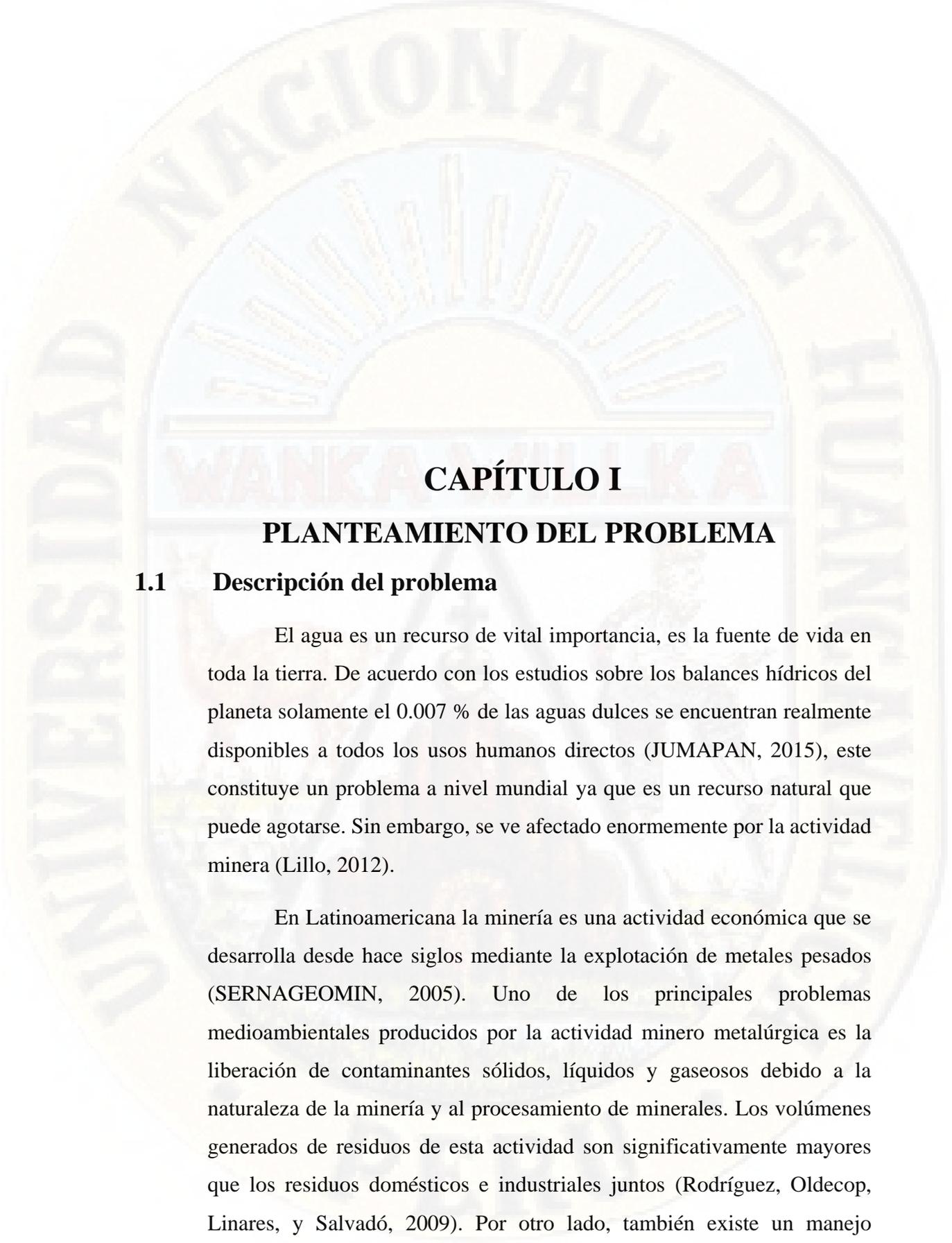
Capítulo I. Se detalla el planteamiento de problema, el cual es el punto de partida de la investigación donde se da a conocer la descripción del problema sobre el vertimiento de relaves mineros y los efectos que causan sobre el ecosistema, además de las alternativas para la biosorción de estos iones por medio de la biomasa microbiana que da lugar a la formulación de la problemática en el área de estudio. También se menciona al objetivo general; evaluar la eficiencia de la biomasa microbiana como sorbente en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb), justificando a nivel económico y ambiental, de esta manera se señala la importancia de la aplicación de sorbentes biológicos como una alternativa sustentable para el tratamiento de relaves mineros que son vertidos al ecosistema, por último, se describe las limitaciones.

Capítulo II. Se muestra los antecedentes nacionales e internacionales, marco teórico que se divide en bases teóricas, la cual permite explicar el fenómeno que ocurre en cada una de las pruebas realizadas e información científica del tema de investigación, bases conceptuales que permitirá reforzar la investigación y definición de términos, del mismo modo se muestra la hipótesis y las variables (dependiente e independiente).

Capítulo III. Se establece la metodología de investigación, que contiene información sobre el ámbito temporal-espacial, tipo y nivel de la investigación, por otro lado, se especifica la población, muestra y muestreo complementando con las técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de análisis de datos.

Capítulo IV. Contiene los resultados, que fueron obtenidos del análisis de información de los resultados, así mismo se realizó la prueba de hipótesis y las discusiones con trabajos de investigación de los antecedentes, Santos (2010), Lavado y Jimenez (2016), De los Milagros et al. (2016), Larenas et al. (2008), Oré, Lavado, y Bendezú (2015), Apiratikul et al. (2004), finalmente las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y apéndice.

Las Autoras.

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica is a large, semi-circular emblem. It features a central sun with rays, set against a light blue background. The sun is positioned above a horizontal line. The words "UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA" are written in a circular path around the sun. The word "WANKA" is written in a larger, bold font across the middle of the emblem, partially overlapping the sun and the horizontal line.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El agua es un recurso de vital importancia, es la fuente de vida en toda la tierra. De acuerdo con los estudios sobre los balances hídricos del planeta solamente el 0.007 % de las aguas dulces se encuentran realmente disponibles a todos los usos humanos directos (JUMAPAN, 2015), este constituye un problema a nivel mundial ya que es un recurso natural que puede agotarse. Sin embargo, se ve afectado enormemente por la actividad minera (Lillo, 2012).

En Latinoamérica la minería es una actividad económica que se desarrolla desde hace siglos mediante la explotación de metales pesados (SERNAGEOMIN, 2005). Uno de los principales problemas medioambientales producidos por la actividad minero metalúrgica es la liberación de contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos debido a la naturaleza de la minería y al procesamiento de minerales. Los volúmenes generados de residuos de esta actividad son significativamente mayores que los residuos domésticos e industriales juntos (Rodríguez, Oldecop, Linares, y Salvadó, 2009). Por otro lado, también existe un manejo

inadecuado de los residuos que generan las plantas de tratamientos de aguas residuales, a esto se suma la inexistencia de normas precisas que regulen su descarga, causando un gran peligro sobre las fuentes de agua que afecta la calidad de vida y el abastecimiento de agua de los habitantes actuales y futuros de la ciudad o área de influencia. Este problema también impacta a la población rural y sectores de la economía como la industrial, agrícola y pecuario (Izaquita, 2012).

El Perú es el segundo productor mundial de cobre, zinc y plata, según el último reporte del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), y en Latinoamérica mantiene la primera ubicación en oro, zinc y plomo (MINEM, 2017). Corzo (2015) describe esta problemática a nivel del Perú y en especial en zonas rurales afirmando: “Se estima que más de la mitad de 5818 comunidades campesinas ubicadas principalmente en la sierra del Perú coexisten con actividades mineras, lo cual constituye un riesgo ambiental al modo de vida rural” (p.2).

En Huancavelica, hace más de medio siglo, en la provincia de Angaraes, nació la compañía de minas Buenaventura con su unidad minera Julcani, hoy en día convertida en la primera empresa peruana del sector minero a nivel nacional; paradójicamente, la provincia que los cobijó, iniciaba desde aquel entonces su muerte lenta, hoy convertida en la provincia más pobre del departamento de Huancavelica (De la Flor, 2013).

Ante la problemática actual, existe un gran número de tratamientos a los que se pueden someter los residuos de relaves mineros, entre ellos podemos encontrar métodos físicos y químicos; sin embargo, todos ellos presentan ciertas desventajas, entre ellas su alta relación costo-efectividad, la adquisición del equipo y la generación de subproductos peligrosos o su ineficiencia en cuanto a los resultados de la concentración de metales pesados al final del tratamiento (Rimarachin y Huaranga, 2015).

Para la elección de la tecnología de tratamiento de relaves mineros también se requiere contar con las características de las aguas residuales de drenajes ácidos de mina y de los objetivos del tratamiento que se deseen lograr (Santos, 2010). Siendo esto motivo de preocupación y fuente de investigación en comunidades científicas a nivel Nacional e Internacional (Rodríguez et al., 2009).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general:

¿Cuánto será la eficiencia de la biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani?

1.2.2 Problema específico

- ✓ ¿Cuál es la proporción óptima (g) de biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani – Huancavelica?
- ✓ ¿Cuál es el tiempo óptimo de contacto (h) en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Evaluar la eficiencia de la biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

1.3.2 Objetivo específico:

- ✓ Determinar la proporción óptima (g) de biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.
- ✓ Determinar el tiempo óptimo de contacto (h) en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

1.4 Justificación

Actualmente existen diversas tecnologías convencionales para el tratamiento de drenajes ácidos de minas mediante la remoción de iones metálicos o metales pesados en soluciones acuosas (Wang y Chen, 2009), dentro de los cuales se incluyen, precipitación química, filtración, intercambio iónico, tratamiento electroquímico, tecnología de membranas, adsorción con carbón activado y evaporación, estos sistemas cuentan con un gran potencial de tratamiento pero con procedimientos difíciles y costosos que muchas veces generan más residuos contaminantes que los que tratan a consecuencia del uso de reactivos y energía que demanda aplicar (Gonzalez y Garzon, 2012).

Frente a ello se ha venido desarrollando técnicas eficientes de biosorción y nuevos materiales biosorbentes, con el objetivo principal de reducir costos energéticos, de mantenimiento y operacionales, que permitan su implementación y sostenibilidad (Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez, y Sandoval, 2015).

La biosorción mediante biosorbentes orgánicos presenta una solución eficiente en la remoción de metales pesados en fuentes de agua contaminados por relaves mineros, debido a que cuenta con gran capacidad de eliminación y recuperación de metales pesados en soluciones acuosas, además de tener un buen rendimiento y de ser una de las alternativas más económicas frente a otras tecnologías (Wang y Chen, 2009).

La biosorción mediante el empleo de biomasa microbiana como biosorbentes es un proceso rápido de remoción de metales pesados que permite la reutilización del material biosorbente además de ser un proceso en el que se puede emplear biomasa activa, inactiva o muerta (Santos, 2010).

Como una alternativa viable y sostenible se hará el uso de lodos o biomasa microbiana procedente de plantas de tratamiento de aguas

residuales como material biosorbente, debido a su naturaleza renovable, abundancia y disponibilidad, además de ello se sabe que en la actualidad los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales han presentado un problema a nivel del Perú debido a que no se cuenta con una normativa nacional para la disposición final ni criterios para el uso del lodo (SUNASS, 2015), de ese modo también se pretende generar nuevas alternativas para su uso sostenible mediante el empleo del lodo para la remoción de metales pesados en fuentes de agua contaminada. Por otro lado una de las desventajas del proceso de biosorción es la rápida saturación de los biosorbentes, siendo necesario remover el metal de los lugares de interacción antes de volver a reutilizarlos (Santos, 2010).

Mediante esta tecnología se pretende reemplazar sistemas convencionales por nuevas alternativas de tratamiento económicamente accesibles en unidades minero metalúrgicas, con el objetivo de reducir la concentración de los compuestos contaminantes como metales pesados antes de su descarga como lo establece el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM-LMP- Para Unidades Minero Metalúrgicas y Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM-ECA`s con el objetivo de buscar la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos contaminados o propenso a ser contaminados para la protección de los recursos hídricos y ecosistemas según lo establece Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM y Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, así como mejorar la calidad de vida del hombre, Ley General del Ambiente 28611.

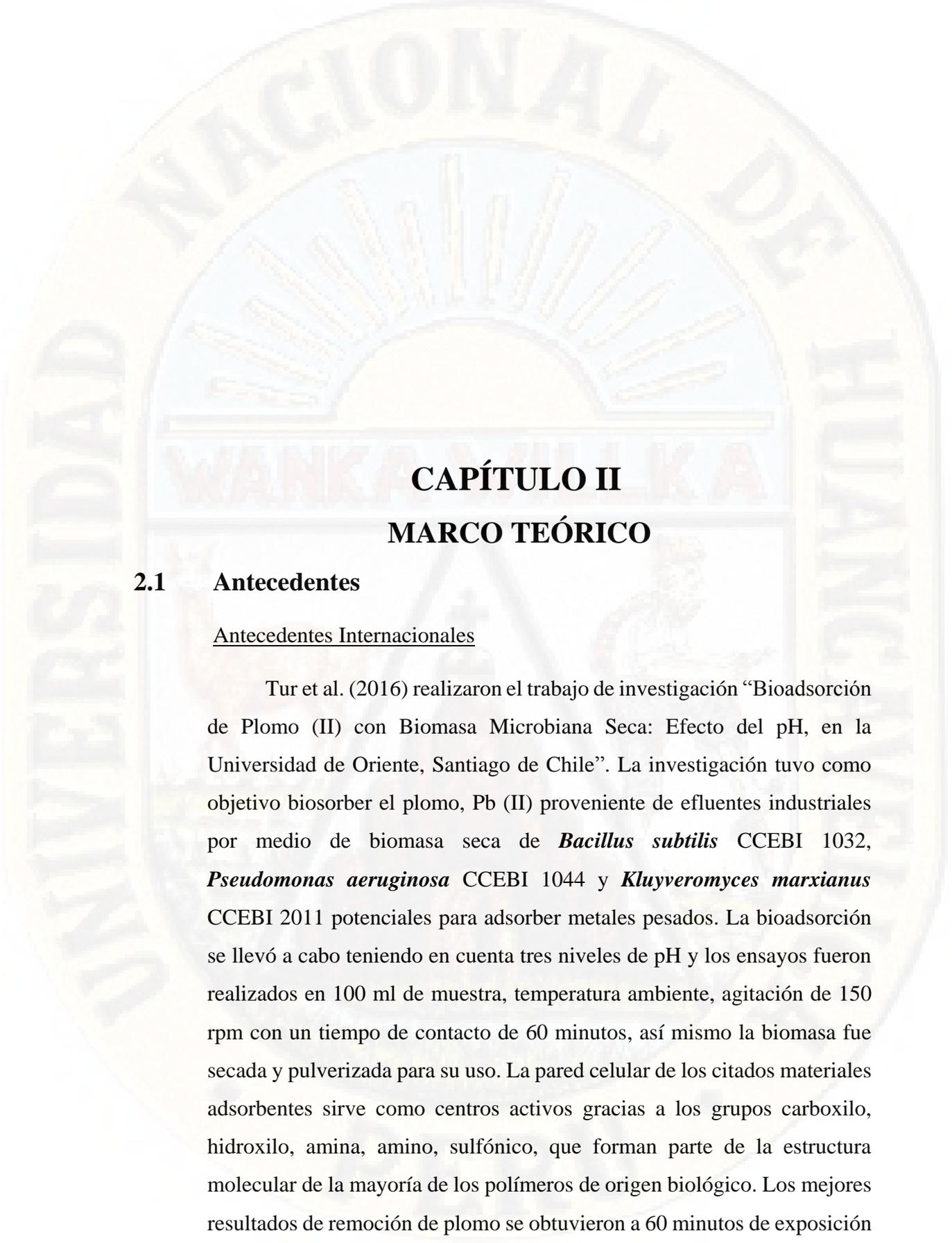
La Biosorción es un tema de investigación con un aporte muy importante en la comunidad industrial minero metalúrgica, por ser una alternativa técnica en la capacidad de depuración, el moderado coste de operación y por ser considerada una energía limpia en la eliminación de metales pesados y desechos de actividades productivas (Lara, 2008).

1.5 Limitaciones

El presente trabajo de investigación fue aplicado en fuentes de agua contaminadas con relaves mineros. Al inicio de la ejecución de la tesis se tuvo dificultades debido a que la Compañía minera Buenaventura no quiso brindar información sobre la explotación de minerales y procesos que se realiza para los antecedentes del lugar en estudio, cuyo problema amplió la etapa de investigación programada. Por otro lado, se carecieron de antecedentes locales sobre la investigación referente a la biosorción de metales pesados en fuentes contaminadas con relaves mineros.

La escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria no cuenta con laboratorios equipados por lo que se tuvo que solicitar laboratorios de otras escuelas para la ejecución de la investigación. Uno de los principales problemas fue que dichos ambientes se encontraban alejados, como la Planta de tratamiento de agua potable – EMAPA-Huancavelica y laboratorio de Nutrición Animal - Universidad Nacional de Huancavelica, lo que dificultó el traslado de muestras.

Se tuvo limitaciones en el acceso a los laboratorios, ya que se requería la entrada a diferentes horas del día y no era posible, llegando a solicitar un permiso especial.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Tur et al. (2016) realizaron el trabajo de investigación “Bioadsorción de Plomo (II) con Biomasa Microbiana Seca: Efecto del pH, en la Universidad de Oriente, Santiago de Chile”. La investigación tuvo como objetivo biosorber el plomo, Pb (II) proveniente de efluentes industriales por medio de biomasa seca de *Bacillus subtilis* CCEBI 1032, *Pseudomonas aeruginosa* CCEBI 1044 y *Kluyveromyces marxianus* CCEBI 2011 potenciales para adsorber metales pesados. La bioadsorción se llevó a cabo teniendo en cuenta tres niveles de pH y los ensayos fueron realizados en 100 ml de muestra, temperatura ambiente, agitación de 150 rpm con un tiempo de contacto de 60 minutos, así mismo la biomasa fue secada y pulverizada para su uso. La pared celular de los citados materiales adsorbentes sirve como centros activos gracias a los grupos carboxilo, hidroxilo, amina, amino, sulfónico, que forman parte de la estructura molecular de la mayoría de los polímeros de origen biológico. Los mejores resultados de remoción de plomo se obtuvieron a 60 minutos de exposición

y a valores de pH 4.2, 5.2 y 6.2 unidades para *Bacillus subtilis* CCEBI 1032, *Pseudomonas aeruginosa* CCEBI 1044 y *Kluyveromyces marxianus* CCEBI, respectivamente. En cuanto al porcentaje de biosorción los resultados obtenidos demuestran que *Bacillus subtilis* CCEBI 1032 es capaz de adsorber el plomo en un 83.1 % a un pH de 4.2, 29.1 % a un pH de 5.2 y un 76.6 % a un pH de 6.2; para *Pseudomonas aeruginosa* CCEBI 1044 tiene una capacidad de biosorción de 95 % y 97.4 % a pH de 4.2 y 5.2 respectivamente y disminuye hasta un 80.2 % a un pH de 6.2, por ultimo *Kluyveromyces marxianus* CCEBI es capaz de adsorber plomo a los tres niveles de pH ensayados, logrando una remoción de 97.2 % de plomo (II) presente en solución a pH 4.2 y 6.2 unidades y una bioadsorción de 93 % a pH 5.2 unidades, los resultados sugieren que *Kluyveromyces marxianus* CCEBI 2011 posee mayores potencialidades para la remoción de plomo en el intervalo de pH de 4.2 a 6.2 unidades.

Tejada, Herrera, y Ruiz (2016) realizaron el trabajo de investigación “Utilización de Biosorbentes para la Remoción de Níquel y Plomo en Sistemas Binarios”. La investigación tuvo el objetivo de estudiar la capacidad de biosorción competitiva de Pb (II) y Ni (II) usando biomasa residual a partir de cáscaras de ñame y bagazo de palma, las cuales provienen de desechos agroindustriales y por consiguiente son atractivas por su bajo costo y alta disponibilidad. La adsorción de Pb (II) y Ni (II) sobre cáscaras de ñame y bagazo de palma fueron sistemáticamente estudiadas en un sistema individual y binario. Los estudios fueron realizados en sistemas batch, a un pH de 6, tamaño de partícula de 1 mm, temperatura, 25° C y una velocidad de 150 rpm. Todas las mediciones de los metales en solución fueron hechas por absorción atómica. Se encontró que para las cáscaras de ñame se obtuvo una capacidad máxima de adsorción de 362.45 mg/g para el de níquel y 68.14 mg/g para el plomo. En el caso del bagazo de palma, se estimó una capacidad de adsorción de 162.64 mg/g para el de níquel y 90.28 mg/g para el de plomo. En un sistema

binario, se observó un efecto antagónico para la acción combinada de los metales, aunque la remoción de plomo se vio significativamente incrementada en las cáscaras de ñame cuando se encontraba en solución acusa con el níquel.

Vizcaíno y Fuentes (2014) realizaron el trabajo de investigación “Biosorción de Cd, Pb y Zn por Biomasa Pre Tratada de Algas Rojas, Cáscara de Naranja y Tuna, en la Universidad de La Guajira, Colombia”. La investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema para evaluar la remoción de Cd, Pb y Zn empleando biomasa de algas rojas, cáscaras de naranja (*Citrus sp.*) y tuna guajira (*Opuntia sp.*), donde se estudió la influencia del pretratamiento y el empaquetamiento mediante ensayos tipo batch en los que se emplearon soluciones de sodio y calcio donde se obtuvo resultados con mayor capacidad de sorción de las algas modificadas con NaOH a 0.1 M de la naranja y la tuna con modificación sucesiva con NaOH y CaCl₂ a 0.2 M, posteriormente se determinó la eficiencia de remoción mediante un reactor de flujo continuo de columna fija con un volumen líquido de 400 ml, 75 gramos de biomasa y tiempos de retención promedio de 1 y 2 horas, los resultados mostraron una eficiencia similar de las tres biomásas para remover Cd y Pb con promedios superiores al 95 %, mientras que el Zn se removió con una eficiencia de 62 % al emplear tuna modificada como sorbente.

Mejia y Noyola (2010) realizaron el trabajo de investigación “Biosorción de Plomo por Lodo Granular Anaerobio, Instituto de Ingeniería”. La investigación tuvo como objetivo el uso de dos lotes de lodo granular anaerobio como biosorbente del plomo de distintas procedencias, la cual fue extraída de la purga de dos reactores tipo UASB, así mismo el lodo fue caracterizado física y microbiológicamente, y se cuantificó la

presencia de exopolímeros, como uno de los factores que favorecen la biosorción. El experimento se realizó en pruebas por lote poniendo en contacto lodo con soluciones de distintas concentraciones del plomo (Pb) a temperatura constante con muestras a diferentes tiempos. El pH inicial de la solución fue de 4 y al estar en contacto con la biomasa, éste se incrementó, tal cambio en el pH provoca que la especie predominante de plomo no sea únicamente la iónica, ya que también se encuentran los hidróxidos, que pueden precipitar. El tiempo de establecimiento de equilibrio fue de 2 horas, obteniéndose eficiencias de remoción de 97.5 %.

Larenas et al. (2008) realizaron el trabajo de investigación “Estudio Isotérmico de Biosorción de Plomo en Aguas Utilizando Residuos Vegetales, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador”. La investigación tuvo como objetivo biosorber el plomo presente en aguas industriales mediante desechos vegetales provenientes de actividades domésticas o agroindustriales. Bajo estos criterios se estudió la capacidad de biosorción de materiales celulósicos en función del pH en rangos de 3, 4, 5, 6, 7, 8 y tiempo de biosorción de 1, 5, 10, 15, 30, 90, 120 minutos, además se trabajó con una sola proporción de biosorbente de 0.1 gramos y soluciones de plomo a 100 ppm y concentraciones mayores a 500 ppm, Obteniendo como resultado un pH óptimo igual a 6.0. En valores superiores o inferiores a este pH se aprecia una disminución progresiva de biosorción, también se determinó la mayor tasa de sorción, la cual se encuentra entre 15 y 30 minutos para concentraciones mayor a 500 ppm y 5 minutos para concentraciones de hasta 100 ppm. Observando una máxima biosorción en los primeros tiempos, debido a que posteriormente se produce una saturación progresiva del biosorbente a medida que transcurre el tiempo, es decir que el Pb^{+2} se une más débilmente a la superficie del biosorbente a medida que este se va saturando. Además, mediante el estudio isotérmico se calculó la capacidad máxima del biosorbente ($q_{m\acute{a}x}$), siendo en

condiciones óptimas 182 mg de plomo/g biosorbente. Todos los ensayos se obtuvieron a 22° C, temperatura ambiente.

Monge, Valenzuela, Acedo, Certucha, y Almendáriz (2008) realizaron el trabajo de investigación “Biosorción de Cobre en un Sistema por Lote Continuo con Bacterias Aerobias Inmovilizadas en Zeolita Natural (*clinoptilolita*), en la Universidad de Sonora, México”. La investigación tuvo como objetivo el estudio de la biosorción de cobre utilizando bacterias aisladas del río San Pedro, Sonora, México donde se aislaron 123 cepas bacterianas en tres muestreos realizados en diferentes épocas del año y se seleccionaron *Escherichia coli* y *Burkholderia cepacia* para realizar pruebas de biosorción en lote, las cuales presentaron un 73 % de biosorción del cobre en 75 minutos, mientras que al utilizar zeolita sin activar como soporte de la bacteria se obtuvo un 72 % de biosorción en el mismo tiempo, las pruebas fueron realizadas durante 28 días en un reactor aerobio de flujo ascendente empacado con zeolita (RAEFA-EZ), el cual fue inoculado con un consorcio de 10 cepas seleccionadas debido a que se desarrollaron en un medio ácido y se mantuvo en recirculación hasta obtener 1 g/l de biomasa, posteriormente se alimentó con solución sintética de cobre a 50 mg/l Cu (II), flujo de alimentación de 2.5 ml/min, flujo de aire a 36 ml/min, tiempo de retención hidráulico (TRH) de 0.87 días, temperatura a 30° C y pH entre 3 y 4. La capacidad de biosorción de RAEFA-EZ fue de un 97 % en el primer día de experimentación y finalmente llega a la saturación a partir del onceavo día. Se concluye que la biomasa activa utilizada es capaz de biosorber metales pesados como el cobre.

Gulnaz, Saygideger, y Kusvuran (2005) realizaron el trabajo de investigación “Estudio de la Biosorción de Cu (II) por Lodos Activados Secos: Efecto del Entorno Físico-Químico y Estudio Cinético”. La investigación tuvo como objetivo el estudio de la biosorción en soluciones acuosas, específicamente biosorción de iones de Cu (II) mediante lodo activado seco en un sistema de adsorción por lotes y el estudio del efecto de algunos parámetros fisicoquímicos sobre la biosorción de Cu (II) como el rango de tamaño de partícula de lodo activado seco, concentración inicial de Cu (II), pH de la solución y temperatura. El pH y la temperatura adecuados para las condiciones estudiadas se determinaron en 4.0 y 20° C, respectivamente. La capacidad máxima teórica de biosorción del lodo activado fue de 294 mg de ion de cobre/g de biosorbente, para un tamaño de partícula <0.063 mm. El tamaño de partícula del lodo activado seco y la concentración inicial de metal influyeron en la capacidad de biosorción. Un aumento en la concentración de metal inicial aumento la capacidad de biosorción. Según los resultados de FT-IR para lodos activados secos demostraron que contiene diferentes grupos funcionales, estos grupos funcionales son capaces de reaccionar con cationes divalentes en solución acuosa. Este estudio demostró que la biomasa de lodos activados podría utilizarse como un biosorbente eficaz para el tratamiento de aguas residuales que contienen iones Cu (II). Además de ser una biomasa abundante y natural de bajo costo.

Apiratikul et al. (2004) realizaron la tesis de doctorado “Biosorción de Mezclas Binarias de Metales Pesados por Algas Verdes Macro, *Lentillifera Caulerpa*, University Heights Newark”. La investigación tuvo como objetivo la adsorción competitiva de Cu, Cd, Pb y Zn mediante el empleo de *Lentillifera Caulerpa* seco (macro alga marina), para ello se empleó un pH de 5 para las soluciones el cual no presenta precipitación de ninguno de los metales disueltos y temperatura ambiente de 23° C. Se

encontró que entre los cuatro metales, la biomasa exhibió eficiencia de sorción más bajo para Cd de 48 %, mientras que para los otros tres metales (Cu, Pb, Zn) se encontró a un rango de biosorción de 90 % a 95 %, además se observó que la sorción de mezcla binaria de solución de metales pesados sobre la superficie de las algas es competitiva, disminuyendo de 10 a 40 % en presencia de los otros metales, se observó que la capacidad de adsorción del alga para una mezcla binaria es siempre menor que para el sistema de un solo componente. Otro de los fenómenos observados fue que el Cu y el Zn fueron adsorbidos en un primer tiempo a comparación del Pb que todavía no había alcanzado su capacidad máxima.

Antecedentes Nacionales:

Choque (2017) realizó la tesis de doctorado “Remoción de Iones de Cadmio (II), Plomo (II) y Níquel (II) de Lodos Sedimentados en la Bahía Interior de Puno-Lago Titicaca Utilizando Biosorbente Acuoso de la Semilla de Tarwi (*Lupinus mutabilis*) en la Universidad Nacional del Altiplano”. La investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de remoción de los iones Cadmio (II), Plomo (II) y Níquel (II) del lodo sedimentado en la bahía interior de Puno-Lago Titicaca, mediante el empleo de la semilla de Tarwi, en la cual se utilizó el método de Mass y un Spectrometer (ICP-MS) para determinar la concentración de metales pesados. Se aplicó una solución acuosa de semilla de Tarwi por bioprecipitación para extraer los metales pesados. Se trabajó en condiciones de humedad de lodos de 81.52 %, el pH de la solución acuosa inicial fue de 9.3 y después de cinco días el pH fue de 5.3. La concentración de Cadmio inicial fue de 6.05 mg/kg, después de absorción bajo a 1,0 mg/kg, el porcentaje de remoción fue 83.47 %, por otro lado, para el níquel inicial fue de 6.8 mg/kg y disminuyó a 6.2 mg/kg con porcentaje de remoción baja de 8.82 %. y finalmente para el plomo inicial de 342.3 mg/kg, la capacidad de adsorción fue 85.45 mg/kg, con un porcentaje de

remoción es 75.02 %. La cinética de adsorción fue bastante rápida mediante la bioprecipitación orgánica de alcaloides de Tarwi. Por tanto, es necesario ampliar la investigación a $\text{pH} < 5.5$ y el tiempo de sorción mediante un proceso abierto de tratamiento de sedimentos.

Sanga (2016) realizó la tesis de investigación “Biosorción de Plomo por Biomasa Inactiva de Bacterias Aisladas en Sedimentos de Lixiviados del Botadero de Haqira-Cusco”. La investigación tuvo como objetivo optimizar parámetros y evaluar el proceso de biosorción de plomo en agua por medio de biomasa inactiva bacteriana como sorbente, obtenida a partir de la cepa aislada de sedimentos de lixiviados del botadero de Haqira de Cusco. Del proceso de enriquecimiento se aislaron cinco cepas. Las cinco cepas fueron sometidas a concentraciones crecientes de plomo de 0, 62.56, 187.7, 375.35, 500.47, 625.59, 688.15, 750.71, 813.36, 875.82 mg/l, para evaluar su resistencia a este metal. Las pruebas de biosorción se desarrollaron a escala de laboratorio instalando sistemas en frascos conteniendo soluciones acuosas de plomo con el biosorbente bacteriano, bajo condiciones de agitación de 130 rpm y 18° C. El plomo residual se determinó por espectrofotometría de absorción atómica (EAA). Los parámetros optimizados fueron: pH de 5, biomasa 1 g/l y tiempo de contacto 180 minutos. La capacidad máxima de biosorción (Q_{max}) fue de 80.64 mg de plomo/gramo de biomasa bacteriana inactiva, que implica la formación de una monocapa molecular de unión entre el metal y la biomasa, además se sugiere que se lleve a cabo una quimiosorción, la cual se corroboró con espectroscopía por transformada de Fourier (FTIR) de la biomasa, la cual revela intercambios iónicos entre el plomo y los grupos hidroxilos, aminas y carboxilatos de la pared bacteriana

Lavado y Jimenez (2016) realizaron el trabajo de investigación “Estudio de la Biosorción de Plomo Divalente de Soluciones Acuosas Usando Biomasa Modificada de Marlo de Maíz (*Zea mays*) en la Universidad Nacional de Ingeniería”. La investigación tuvo como objetivo la remoción de los iones de Pb (II) de soluciones acuosas utilizando la biomasa del marlo de maíz (MZM), modificada químicamente con una solución de 0.2 M de NaOH mediante sistema Bach. El marlo de maíz fue secado y triturado para su uso. Por otro lado, se caracterizó por espectrofotometría infrarroja con transformadas de Fourier (FTIR) determinándose grupos funcionales como OH y grupos carboxilo los cuales favoreces el proceso de biosorción. Se determinó el área superficial siendo esta igual a 2.2 m²/g. Los ensayos fueron realizados en muestras de 100 ml a temperatura ambiente con agitación de 150 rpm. Asimismo, se evaluó la capacidad de adsorción del MZM en función del tiempo de contacto en rango de 1 a 180 minutos, dosis del biosorbente (0.1, 0.2, 0.4 y 0.8 g) en 100 ml, pH de rangos de 2-6 y concentración inicial de la solución de Pb (II) en rangos de 5 a 70 mg/L. Se observó una biosorción escasa del metal de plomo (II) en un primer momento, que aumenta en función de la dosis de biosorbente. Este incremento está relacionado al aumento del área de contacto del sólido adsorbente con el adsorbato, de esta manera va aumentando el número de los sitios de biosorción disponibles. Se observa también que un aumento de la concentración del biosorbente después de 0.4 gramos no provoca un cambio sustancial en el porcentaje de biosorción motivo por el cual se tomara como dosis óptima, por otro lado, los ensayos muestran que las moléculas de Pb (II) tienen más dificultad para encontrar un sitio activo de adsorción por ese motivo el tiempo de equilibrio es de 60 minutos. Por lo tanto, se dice que las condiciones óptimas para la remoción de Pb (II) fueron 0.4 gramos de MZM, tiempo de agitación de 60 minutos y pH igual a 5.0.

Oré et al. (2015) realizaron el trabajo de investigación “Biosorción de Pb (II) de Aguas Residuales de Mina Usando el Marlo de Maíz (*Zea mays*)”. La investigación tuvo como objetivo la remoción de los iones de plomo desde soluciones acuosas utilizando marlo de maíz (MRLZ) tratada y triturada, mediante un sistema batch, en función del tiempo de contacto (1-180 min), dosis del biosorbente (1, 2, 4, 8, 12 y 16 g/l), pH inicial de la solución (2-6) y concentración inicial de la solución de plomo (2-50 mg/l de Pb (II)). Se estudió la influencia de los iones competitivos observando un decrecimiento en el porcentaje de biosorción de Pb (II). El MRLZ posee una capacidad máxima de biosorción en monocapa de 7.9 mg/g. Se logró remover el 97 % del Pb (II) contenido en las aguas residuales de mina en un tiempo óptimo de 10 primeros minutos, pH de 5, concentración inicial de 30 ppm de plomo y una cantidad de 4 g/l de biosorbente.

Salazar (2013) realizó la tesis de maestría “Evaluación del Proceso de Biosorción de Pb (II) y Cd en Agua Utilizando el Residuo Agrícola de *Phaseolus Vulgaris L.* (Frejol)”. La investigación tuvo como objetivo de investigar el proceso de biosorción de los iones metálicos de Cd (II) y Pb (II) mediante el residuo agrícola de *Phaseolus vulgaris L.* (frejol). Para ello se evaluó la influencia del pH, concentración inicial del ion metálico, concentración de biosorbente y temperatura en un sistema batch empleando un diseño experimental. Se utilizó un pH de 3.5 a 5, concentración inicial de 1 a 10 mg/l para cada metal, 5 a 10 g/l de biosorbente y temperaturas de 20, 30 y 40° C. Posterior a la pruebas se obtuvo el máximo porcentaje de biosorción de 87.70 y 95.58 % para Cd (II) y Pb (II), respectivamente a un pH de 4.3, 9.14 mg/l de concentración inicial para cada metal y 7.4 g/l de biosorbente. La caracterización por FTIR mostró que los grupos funcionales involucrados en el proceso de biosorción fueron principalmente -OH, -CN y C-O-C. El residuo de *Phaseolus vulgaris L.* mostró gran capacidad de biosorción para los iones metálicos por lo que

puede ser destinado para el tratamiento de aguas residuales o efluentes industriales.

Santos (2010) realizó la tesis de maestría “Biosorción de Metales Pesados Empleando Lodos Activados, en la Universidad Nacional de Ingeniería”, La investigación tuvo como objetivo estudiar la biosorción de cobre (Cu) y Zinc (Zn) provenientes de la mina túnel Kingsmill, para ello de preparo soluciones de cobre (Cu) y zinc (Zn) a diferentes concentraciones mediante el uso de reactivos. Se empleó lodos activos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales como material biosorbente, Cabe mencionar que el lodo no fue sometido a mejoramiento o acondicionamiento algunos. En las pruebas experimentales se determino los principales parámetros (masa óptima de biosorbente, capacidad de biosorción, tiempo de equilibrio y pH), que influyen en el proceso de biosorción. El proceso de biosorción fue mediante el contacto del biosorbente con la solución metálica de Cu y Zn a una agitación de 200 rpm y diferentes intervalos de tiempo. Los parámetros determinados fueron: masa óptima de biosorbente de 1.5 gramos, tiempo de equilibrio de 24 horas para 100 ml de muestra con rango de pH de 3.5 a 4. El pH no tiene influencia significativa en el material biosorbido, debido a la gran cantidad de cationes intercambiables en la superficie del biosorbente con las especies metálicas. Se observó que la capacidad de biosorción del sistema binario Zn-Cu es mayor que para el sistema mono-componente, indicando que, si bien la mayoría de los sitios de biosorción son capaces de ligarse a ambos metales, algunos sitios pueden ser específicamente para el Cu (II) o Zn (II), además mientras se aumenta más la concentración de los metales la velocidad de biosorción disminuye, debido a la rápida saturación de los sitios activos. En las muestras de agua de drenaje de ácido de mina provenientes de la mina túnel Kingsmill, se obtuvo eficiencias de remoción del 98.73 % y 67.97 % para el Zn y Cu, respectivamente Se concluye que

los lodos activados empleados como biosorbentes, son una alternativa para la remoción de metales pesados de drenaje ácido de minas.

Villanueva (2006) realizó la tesis de investigación “Biosorción De Cobre (II) por Biomasa Pretratada de Cáscara Naranja (*Citrus Sinensis*), Limón (*Citrus Limonium*) y Palmeta de Nopal (*Opuntia Ficus*), en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos”. La investigación tuvo como objetivo investigar la biosorción de Cu (II) por las biomásas de Cáscara Naranja (*Citrus Sinensis*), Limón (*Citrus Limonium*) y Palmeta De Nopal (*Opuntia Ficus*). Las biomásas fueron tratadas con cloruro de calcio, el cual le da una mayor estabilidad mecánica al material bioadsorbente. Los experimentos sobre el efecto del pH en el proceso de biosorción de Cu (II) por los materiales biosorbentes mostraron que el rango óptimo de pH se encuentra entre 4.5 a 5.0. Los datos experimentales obtenidos se procesaron usando las ecuaciones adsorción de Langmuir y Freundlich. La máxima capacidad de biosorción de Cu (II) por las biomásas fueron: 36.1011 mg/g para la cáscara de naranja, 47.0436 mg/g para cáscara de limón y 44.2567 mg/g para palmeta de nopal.

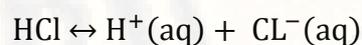
2.2 Bases teóricas

2.2.1 Teoría de equilibrio de ácido base

2.1.1.1 Teoría de la Ionización

El concepto de ácido y base que hoy en día sigue prevaleciendo, fue propuesto por Svante Arrhenius en 1884 Svante Arrhenius en sus experimentos de disociación observó que:

Cuando el HCl se disuelve en el agua (aq) sus moléculas se disocian en forma de:



Este mismo comportamiento lo observó igualmente en los ácidos típicos. De acuerdo con su idea de disociación iónica, la existencia en todos los casos de iones H^+ libres en la disolución, llevó a Arrhenius a postular que el carácter ácido está relacionado directamente con la capacidad de una sustancia para dar en disolución acuosa iones H^+ . Así, afirmó que un ácido es un compuesto que en disolución acuosa produce protones. La base es toda aquella sustancia que en medio acuoso se disocia dando aniones hidroxilo OH^- , ya que los hidróxidos eran las bases mejor conocidas. Según esta teoría, los ácidos contienen hidrogeno reemplazable por un metal o por un radical positivo para formar sales y las bases contiene uno o más iones hidroxilo que pueden ser reemplazados por aniones o radicales negativos para formar sales. Las definiciones de Arrhenius se refieren únicamente a sustancias en disolución acuosa e ignoran, por tanto, la posibilidad de que existan ácidos y bases en condiciones diferentes. De acuerdo con todo lo anterior, las nociones de ácido y base de Arrhenius, sin ser falsas, poseen una validez limitada. (Fernandez, 2010, pp. 2-6)

2.1.1.2 Teoría de Bronsted – Lowry

Según Bronsted y Lowry en 1924 realizaron investigaciones acerca del ácido y lo definieron como una sustancia capaz de ceder uno o más protones a otra molécula. Ambos científicos buscaron una definición que se pudiera relacionar con la base, tal y como lo estaban las propiedades químicas de ambos tipos de sustancias, puesto

que las bases presentaban propiedades opuestas a las de los ácidos (Fernandez, 2010).

La definición de base debería reflejar esta oposición. Así, Bronsted y Lowry definieron:

Las bases son sustancias capaces de captar uno o más protones de otra molécula y los ácidos son capaces de donar una o más protones. Estas nuevas definiciones de ácido y de base salvan los inconvenientes de Arrhenius, pudiendo ser aplicadas independientemente de cuál sea el medio disolvente en el que tiene lugar el proceso de donación o de aceptación de protones. Es por ello que, se deduce el papel decisivo del disolvente en los equilibrios ácido-base. Un ácido sólo puede manifestarse como tal frente a un disolvente capaz de aceptar protones y una base sólo lo será frente a un disolvente capaz de ceder protones. De aquí de la relatividad de la denominación ácido-base. Según la citada teoría, una sustancia actuará como ácido frente a otra de menor acidez y como base frente a otra de mayor acidez, es decir, que hasta un ácido puede actuar como base. La teoría de Brönsted - Lowry también tiene sus limitaciones, ya que hay sustancias con un comportamiento típicamente ácido y que no poseen átomos de hidrógeno. (Fernandez, 2010, pp. 6-9)

2.1.1.3 Teoría de Lewis

Lewis en 1923, anunció una teoría más amplia sobre ácidos y bases, que engloba a los procesos de transferencia iónica (H^+) como casos especiales.

Para Lewis el concepto de ácidos y bases en base a compuestos no iónicos son:

Ácido: Es cualquier sustancia portadora de un orbital atómico o molecular vacío que pueda aceptar un par electrónico.

Base: Es cualquier sustancia portadora de un átomo capaz de ceder un par solitario de electrones.

Neutralización: Formación de un enlace coordinado. (Fernandez, 2010, p. 10)

2.2.2 Teoría del intercambio iónico

El fenómeno del intercambio iónico fue notado vagamente por H. S. Thompson mediante el uso práctico de materiales de intercambio iónico, quien observó y reportó que al pasar un líquido que contenía amoníaco a través de tierras vegetales, las sales de amoníaco se absorbían en dichas tierras vegetales, y cuando dichas tierras fueron subsecuentemente tratadas con cal, el amoníaco fue recuperado, estos estudios fueron continuados por Thomas Way durante los años de 1850 y 1854 quien reportó sus investigaciones, que no fue sino hasta 1905 cuando en Alemania el químico Robert Ganga, sintetizó minerales de intercambio iónico. Pero lo más espectacular evolucionó en 1935 cuando los señores químicos ingleses Adams y Holmes notaron que las resinas usadas en la manufactura acusaban propiedades de intercambio iónico, donde se llegó a estudiar a los iones y el intercambio iónico. Para entender este fenómeno es necesario saber que fundamento fisicoquímico tiene. Para poder definir los iones, hay que recordar que la materia en sus formas más simples se ha determinado que está formada por diversas agrupaciones de partículas tales como protones, electrones, neutrones etc., para formar átomos y estos a su vez moléculas de acuerdo a los arreglos atómicos para dar compuestos químicos de características muy diversas. En estas agrupaciones atómicas, se

distinguen químicamente, uniones electrovalentes, uniones covalentes y uniones coordinadas. Los compuestos electrovalentes son partículas unidas electrostáticamente y dichas partículas están constituidas desde agrupaciones de átomo por uniones diferentes a la electrovalente, hasta la forma simple del átomo (Lugo, 1967).

A los compuestos electrovalentes se les ha dado el nombre de electrolitos, porque al disolverse en el agua, lo hacen en partículas cargadas eléctricamente, este fenómeno es conocido como disociación electrolítica, y las partículas han recibido el nombre de iones (palabra de origen griego que significa caminante), así podemos ver que en una solución de cloruro de sodio (NaCl) no son moléculas de NaCl , sino son iones sodio (Na^+) con carga positiva y iones de cloro (Cl^-) de carga negativa. Básicamente el mecanismo de intercambio iónico es el proceso mediante el cual, iones que entran en contacto con determinada sustancia sólida (cambiadores de iones) son absorbidas por estas cediendo a la vez otros iones. Este intercambio solo puede realizarse entre iones que tengan la misma naturaleza eléctrica, es decir, iones positivos solo se intercambian con iones positivos. Las sustancias insolubles portadoras de la propiedad de intercambio iónico, son conocidas como intercambiadores de iones. Los intercambiadores de iones, que cambian iones positivos, es decir, cationes, son llamados intercambiadores de cationes y las que cambian iones negativos o aniones son denominadas intercambiadores de aniones. El intercambio iónico se efectúa en una cantidad equivalente estequiométricamente por iones del mismo signo. Las fases insolubles son compuestos de origen inorgánico y orgánico, dichos intercambiadores de iones incorporan en sus estructuras moleculares, grupos iónicos de diversa naturaleza (Lugo, 1967).

2.2.3 Ley de Coulomb (Fuerza electrostática)

En 1785, Charles Agustín Coulomb (1736-1806) el físico francés estableció la ley fundamental que establece la fuerza eléctrica de interacción entre dos partículas cargadas en reposo. Experimentalmente encontró que la fuerza eléctrica tiene las siguientes propiedades:

- La fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de las separaciones entre las dos partículas, denotado con la letra “r”, y está dirigida a lo largo de la línea que los une (cuando se reduce la distancia entre las cargas puntuales, la fuerza eléctrica aumenta y cuando aumenta esta distancia la fuerza eléctrica disminuye).
- La fuerza es proporcional al producto de las cargas q_1 y q_2 de las partículas.
- La fuerza atrae las partículas si las cargas son de signo opuesto y las rechaza si las cargas tienen el mismo signo.
- Un átomo tiene el mismo número de electrones y protones, al que se denomina neutrón, pero al perder uno o más electrones se denomina ion positivo y al ganar electrones ion negativo.
- La carga no se crea ni se destruye solo se transfiere por frotamiento, contacto e inducción.

A partir de estas observaciones, Coulomb pudo expresar la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales como:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Donde, K es una constante conocida como la constante de Coulomb o constante eléctrica del vacío (Vettorel, Tabares, y Oliva, 2017).

La siguiente tabla muestra los valores de carga eléctrica y masa para las partículas constitutivas de un átomo.

Tabla 1

Carga Eléctrica y Masa de Partículas Constitutivas de un Átomo

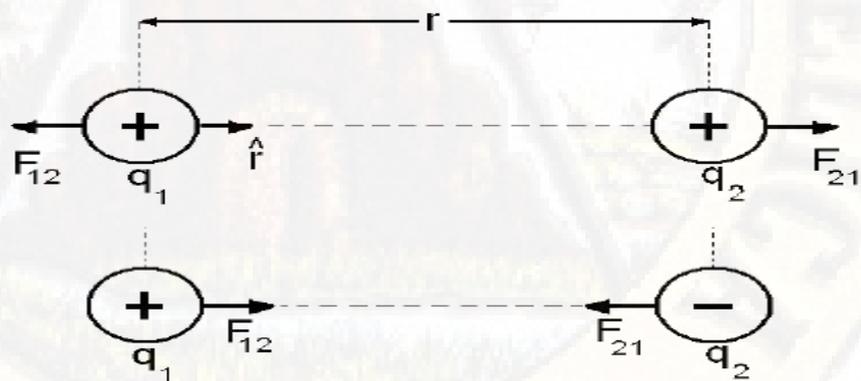
Partícula	Símbolo	Carga	Masa (Kg)
Protón	P	e+	$1,67261 \cdot 10^{-27}$
Neutrón	N	0	$1,67261 \cdot 10^{-27}$
Electrón	E	e-	$9,10956 \cdot 10^{-31}$

Fuente: Vettorel et al. (2017)

Puesto que la ley de Coulomb obedece a la tercera Ley de Newton o principio de acción y reacción, la fuerza eléctrica ejercida sobre q_1 por q_2 es igual en magnitud a la fuerza ejercida sobre q_2 por q_1 . Por último, vemos que q_1 y q_2 tiene el mismo signo, el producto q_1q_2 es positivo y la fuerza es repulsiva. Si q_1 y q_2 son de signos opuestos, el producto de q_1q_2 es negativo y la fuerza es atractiva como se muestra en la figura 1 (Vettorel et al., 2017).

Figura 1

Fuerzas de Interacción para Cargas Iguales y Diferentes



Fuente: Vettorel et al. (2017)

2.3 Bases conceptuales

2.3.1 Uso de biomasa microbiana

2.3.1.1 Tiempo óptimo

Tiempo que produce un estado mejor o más favorable, esto se mide en horas (Pacheco, Pimentel, y Roque, 2010).

2.3.1.2 Biomasa óptima

Es la cantidad en gramos de biomasa que proporciona mejores resultados en cuanto a la biosorción de iones metálicos en una solución líquida, se mide en gramos (Santos, 2010).

2.3.1.3 Biomasa microbiana

Son células bacterianas o microorganismos que presentan una pared celular eficiente en el proceso de biosorción debido a que tiene una estructura muy compleja. La pared celular de la biomasa microbiana está conformada por péptidos y carbohidratos que a su vez forman una red de polímeros orgánicos llamados peptidoglucanos. El peptidoglucano está conformado por unidades repetitivas de dos derivados de azúcares como N-acetilglucosamina, N-acetilmurámico y oligopéptidos conformados por L-alanina, D-alanina, D-glutámico y lisina. Además de estar conformado por una alta densidad de grupos funcionales ionizables, los cuales al desprotonarse a un pH determinado tienen la capacidad de unir los metales pesados (cationes positivos) (Mejía, 2006).

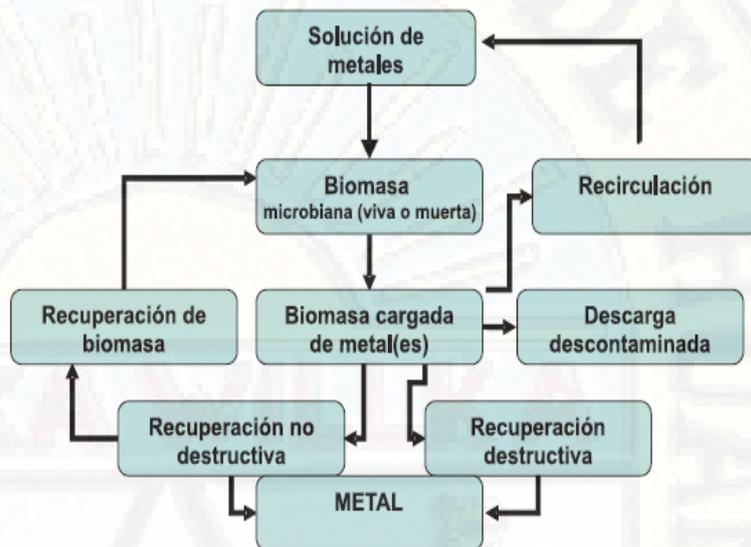
2.3.1.4 Proceso de biosorción

El concepto de biosorción de metales pesados, se refiere a la captación de iones metálicos por medio de una biomasa viva o muerta a través de mecanismos físicos o químicos por medio de la adsorción y el intercambio iónico.

La biosorción comprende una fase sólida (biosorbente), como las membranas o paredes celulares y una fase líquida (solvente) el agua con especies metálicas a ser biosorbida (sorbato). Debido a la gran afinidad del biosorbente por el sorbato, este es atraído hacia el sólido siendo atrapado por diversos mecanismos, como las interacciones con los diferentes grupos funcionales que se encuentran en las superficies celulares de los microorganismos, no necesariamente se requiere actividad biológica, así que también se puede hacer el uso de biomasa muerta. Los sitios de unión entre los iones metálicos y la pared celular son los hidroxilos, sulfhídricos, amidas, aminos, entre otros. El proceso de biosorción es continuo, hasta que se establece un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato biosorbido por la biomasa. El tipo y la calidad del biosorbente ya sea biomasa viva o biomasa muerta, está dada por la cantidad de sorbato que puede atraer y retener en un instante determinado. En un proceso de recuperación y descontaminación de un medio acuoso contaminado con metales pesados, los microorganismos son puestos en contacto con este y una vez que esta biomasa ha removido los iones metálicos del medio acuoso se tiene la opción de recuperar la biomasa viva y volver a utilizar como biorremediación. El procedimiento de recuperación es por medio de químicos suaves para bajar el pH y retirar los metales sin destruir las células bacterianas, si se utiliza biomasa muerta los metales se pueden retirar por métodos más drásticos como la incineración (Mejía, 2006).

Figura 2

Diagrama de Flujo de Biosorción de Metales Pesados



Fuente: Mejía (2006)

2.3.1.5 Pared celular de la biomasa microbiana

Las paredes celulares de la biomasa microbiana están principalmente compuestas por estructuras orgánicas (ácidos carboxilos, fenólicos y compuestos hidrolíticos, entre otra) e inorgánicas (compuestos de nitrógeno, sulfuro, fosfato, hierro y otros) así como también de polisacáridos, proteínas y lípidos que contiene abundantes grupos ligantes de metal como carboxilo, sulfatos y grupos amino (Barros, Prasad, Leite, y Souza, 2006).

2.3.1.6 Bioadsorción con biomasa inertes y viva

El fenómeno de biosorción de iones metálicos, usando materiales biológicos como sorbentes, se puede realizar mediante diversos mecanismos fisicoquímicos y metabólicos en los cuales, el proceso de captación de los metales pesados puede diferir, debido a que se puede usar biomasa viva o muerte. Cada una de ellas presenta

desventajas y ventajas en el uso de tratamiento en aguas contaminadas con iones metálicos que se muestran en la tabla 2 y tabla 3 (Tejada, Villabona, y Garcés, 2015).

Tabla 2

Ventajas del Uso de Biomasa Viva y Muerta

Sorción por Biomasa Muerta o Inerte	Sorción por Biomasa Viva
Ventajas	
<ul style="list-style-type: none"> • Proceso pasivo • Realiza el proceso de biosorción • Los metales están unidos a la superficie celular. • No necesita de nutrientes en la solución de alimentación, ni productos metabólicos • Los procesos no están gobernados por limitaciones biológicas • Es un proceso reversible • No está sujeto a las limitaciones de toxicidad. o inactividad térmica • Son muy rápidos y eficientes en la remoción 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso activo • Realiza el proceso de bioacumulación • Los metales están unidos a la superficie de la pared celular y acumulada en el interior de la célula. • Aunque cada célula puede llegar a saturarse, el sistema se auto restablece debido al crecimiento, que es controlado por el metabolismo. • La actividad metabólica puede ser la única forma económica de lograr cambios en estado de valencia o degradar

Sorción por Biomasa Muerta o Inerte	Sorción por Biomasa Viva
Ventajas	
<p>de metales, la biomasa se comporta como un intercambiador de iones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los metales pueden ser liberados fácilmente y recuperados por procesos de desorción 	<p>compuestos organometálicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden mejorar las cepas por medio del aislamiento o la manipulación genética, debido a que esta es una propiedad microbiana. • Se puede emplear más de dos organismos de una manera cinegética

Fuente: Tejada et al. (2015)

Tabla 3

Desventajas del Uso de Biomasa Viva y Muerta

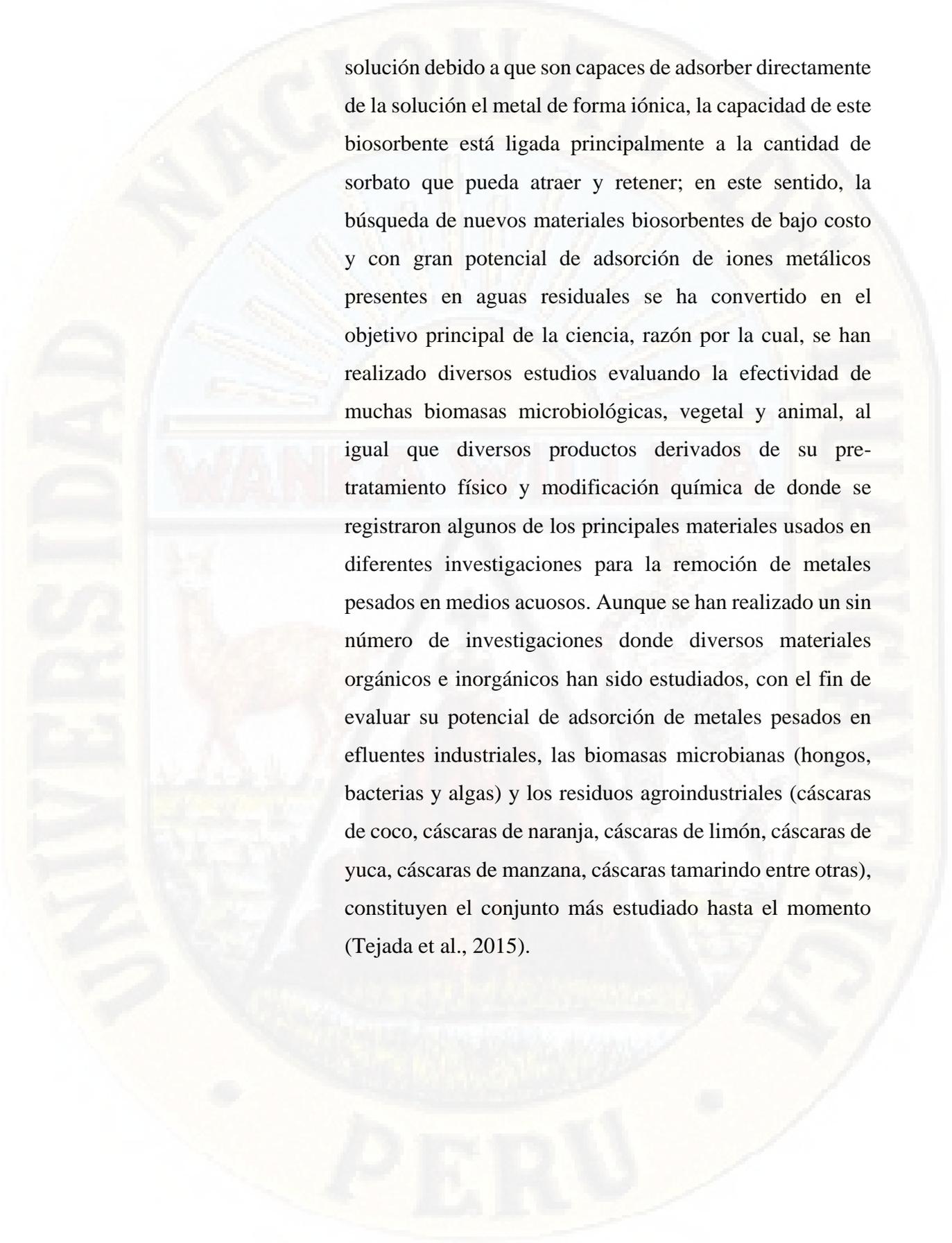
Sorción por Biomasa Muerta o Inerte	Sorción por Biomasa Viva
Desventajas	
<ul style="list-style-type: none"> • Rápida saturación, cuando los sitios de interacción del metal están ocupados, es necesario remover el 	<ul style="list-style-type: none"> • En necesario alimentar los flujos bajo condiciones fisiológicamente permisibles • Se necesitan nutrientes para el crecimiento celular

Sorción por Biomasa Muerta o Inerte	Sorción por Biomasa Viva
<p>metal antes de utilizarlos nuevamente</p> <ul style="list-style-type: none"> • No hay crecimiento celular • El secuestro por absorción es sensible al pH • El estado de valencia del metal no puede ser alterado biológicamente para dar formas menos solubles • El mejoramiento de estos procesos biológicos es limitado ya que las células no efectúan un metabolismo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las disposiciones de los productos metabólicos pueden formar complejos con los metales, impidiendo la precipitación • El modelamiento de un sistema no definido representa grandes dificultades matemáticas • Se ve afectado por el efecto toxico de contaminantes • Alcanza muy bajas concentraciones de equilibrio de los contaminantes. • La biomasa puede recuperarse.

Fuente: Tejada et al. (2015)

2.3.1.7 Otros tipos de biosorbente

Los biosorbentes son materiales provenientes de la flora microbiana, algas, plantas, biomasa residual, productos agroindustriales o algunos biopolímeros, los cuales son sometidos a tratamientos fisicoquímicos sencillos y de bajo costo con el fin de mejorar su capacidad de adsorción en los procesos de aplicación como remoción de metales pesados o recuperación de especies metálicas en



solución debido a que son capaces de adsorber directamente de la solución el metal de forma iónica, la capacidad de este biosorbente está ligada principalmente a la cantidad de sorbato que pueda atraer y retener; en este sentido, la búsqueda de nuevos materiales biosorbentes de bajo costo y con gran potencial de adsorción de iones metálicos presentes en aguas residuales se ha convertido en el objetivo principal de la ciencia, razón por la cual, se han realizado diversos estudios evaluando la efectividad de muchas biomásas microbiológicas, vegetal y animal, al igual que diversos productos derivados de su pretratamiento físico y modificación química de donde se registraron algunos de los principales materiales usados en diferentes investigaciones para la remoción de metales pesados en medios acuosos. Aunque se han realizado un sin número de investigaciones donde diversos materiales orgánicos e inorgánicos han sido estudiados, con el fin de evaluar su potencial de adsorción de metales pesados en efluentes industriales, las biomásas microbianas (hongos, bacterias y algas) y los residuos agroindustriales (cáscaras de coco, cáscaras de naranja, cáscaras de limón, cáscaras de yuca, cáscaras de manzana, cáscaras tamarindo entre otras), constituyen el conjunto más estudiado hasta el momento (Tejada et al., 2015).

Tabla 4*Tipos de Biosorbentes*

Tipo de Biosorbente	Biosorbentes
Organismos vivos	<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Paecilomyces</i>
Biomاسas	Cascara de tamarindo, Cascara de naranja, Cascara y semilla de manzana, Cebada (<i>Hordecum vulgare</i>)
Biopolímeros	Bentonita- Quitosano Quitosano-Hepiclorhidrinatrilfosfato
Carbones Activados	Carbón activado a partir de <i>Escherichia coli</i> y carbón activado a partir de <i>Arthrobacter viscosus</i> , Carbón activado a partir de cascara de naranja, Carbón activado a partir de cascara de coco.
Modificaciones Químicas	Biomasa reticulada con glutaraldehído, Biomasa reticulada con cloruro de calcio, Biomasa modificada con ácido cítrico
Otros Materiales	Arena, Zeolita, Ceniza

Fuente: Tejada et al. (2015)

2.3.1.8 Fundamentos fisicoquímicos

El fenómeno de sorción se puede ver afectado de manera positiva o negativa, por ciertas variables como la temperatura, pH, tamaño de partículas o simplemente por la presencia de otros iones. Estos parámetros pueden aumentar o disminuir la captación de los iones metálicos.

➤ Efecto de la temperatura

Un aumento elevado de la temperatura puede causar un cambio en la textura del sorbente y un deterioro del material que desembocan en una pérdida de capacidad de sorción.

➤ Efecto de pH

El pH de la solución acuosa es un parámetro importante que controla los procesos de sorción de metales en diferentes sorbentes, debido a que los iones hidrógeno se constituyen en un adsorbato fuertemente competitivo. La adsorción de iones metálicos depende tanto de la naturaleza de la superficie adsorbente como de la distribución de las especies químicas del metal en la solución acuosa. El valor del pH de la fase acuosa es el factor más importante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos. Así, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4.5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1.5 y 4.

➤ Efecto del tamaño de la partícula

La adsorción tiene lugar fundamentalmente en el interior de las partículas, sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato (soluto) que se puede adsorber es directamente

proporcional al volumen, y es bien conocido que este volumen es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial, o sea mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa.

➤ Presencia de iones metálicos

La presencia de iones en la disolución hace que estos puedan competir con el metal en el interés de las zonas de sorción (Tejada et al., 2015).

2.3.1.9 Transformaciones mediadas por microorganismos

Todas las interacciones entre los microorganismos y metales son componentes fundamentales del ciclo biogeoquímico, como las interacciones metal-microbiota que son estudiadas en profundidad en el contexto de la biotecnología ambiental con el objeto de implementar métodos de remoción, recuperación o detoxificación de metales pesados. Dependiendo del estado de oxidación que presente un metal y de la especie que esté conformando un microorganismo puede realizar dos transformaciones posibles, la movilización del metal, es decir, el pasaje de un estado insoluble inicial (metales asociados a suelos, sulfuros u óxidos metálicos) correspondientes a una fase sólida, a un estado soluble final, en fase acuosa, este proceso se conoce con el nombre de lixiviación microbiana y la inmovilización del metal, es decir, el pasaje de un estado soluble inicial en fase acuosa a uno insoluble final en fase sólida (Vullo, 2003).

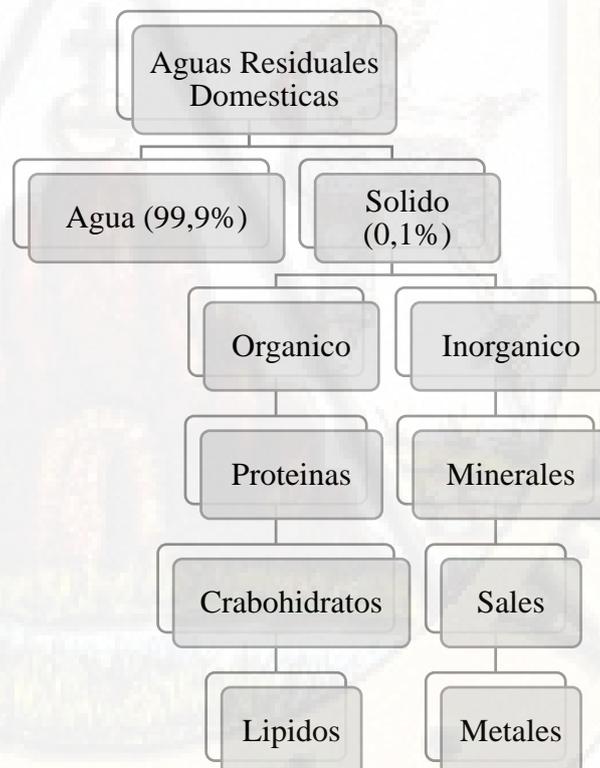
2.3.1.10 Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales

El lodo procedente del tratamiento de las aguas residuales municipales, han ganado importancia debido a que es un sedimento residual formado del tratamiento de

dichas aguas y porque los lodos generados son un problema de disposición. Este problema empeora a medida que transcurre el tiempo debido al incremento en el volumen de lodo producido y al aumento de plantas de tratamiento de aguas residuales. Los lodos residuales son de naturaleza carbonosa con un alto contenido en material orgánica (proteínas, carbohidratos, lípidos) y materia inorgánica (minerales, sales, metales) que permite su uso como un sólido biosorbente de tipo carbonoso con costos reducidos a comparación de los absorbentes convencionales (Santos, 2010).

Figura 3

Caracterización de Lodos de PTAR



Fuente: Santos (2010)

2.3.1.11 Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yauli

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se ubica en el distrito de Yauli, región y provincia de Huancavelica a 1000 m de la plaza principal de Yauli. La PTAR empezó a operar en octubre del 2014 con un caudal de entrada de 20 l/s. Actualmente la PTAR cuenta con diversas unidades. Para el pre-tratamiento cuenta con la cámara de rejillas, medidor de caudal y canal de distribución. El tratamiento primario (sedimentador) consta de 2 tanques de 10.0 x 2.0 m²; para el tratamiento secundario cuenta con 2 biofiltros o filtros percoladores con diámetro interno de 10.00 m y altura efectiva del material de relleno de 2.50 m, Además cuenta con un lecho de secado para disposición de lodos. Las aguas son evacuadas al río Ichu que actúa como cuerpo receptor (UNH, 2016).

2.3.2 Biosorción de metales pesados.

2.3.2.1 Tecnologías para la remoción de metales

Los metales pesados no pueden degradarse, solo transformarse o retirarse del medio contaminado, actualmente existe diversos métodos tecnológicos de remediación de los iones metálicos, entre los cuales son:

- Biológicos
 - Biorremediación
 - Fitorremediación.
 - Biorremediación animal.
- Físico-químicos:
 - Intercambio Iónico
 - Precipitación química.
 - Membranas líquidas
 - Carbones activados

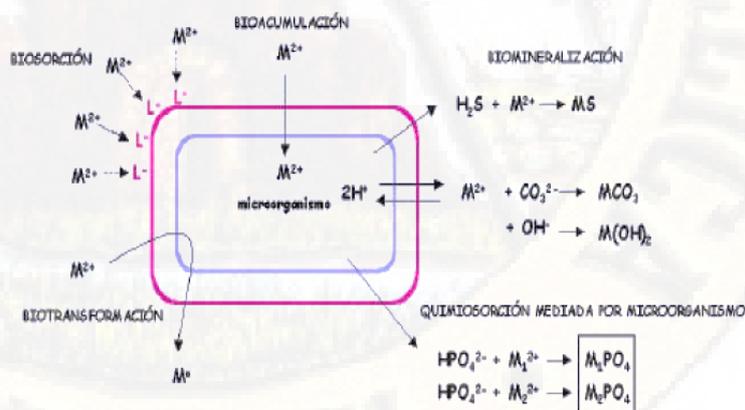
- Osmosis Inversa
- Nanofiltración (INECC, 2014)

2.3.2.2 Inmovilización de metales

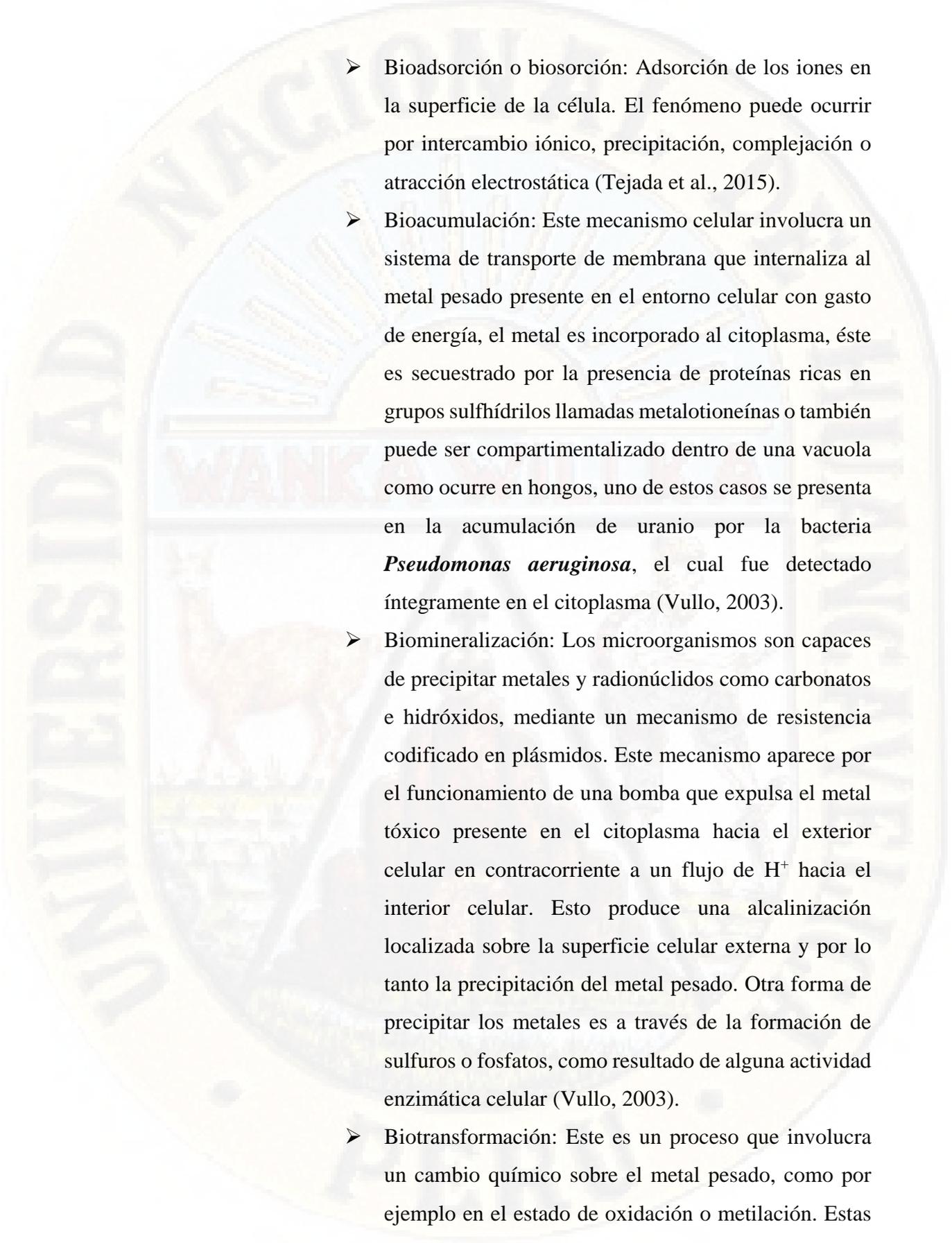
Dentro de la amplia diversidad microbiana, existen microorganismos resistentes y microorganismos tolerantes a metales que se caracterizan por poseer mecanismos de detoxificación codificados genéticamente inducidos por la presencia del metal. Los tolerantes son indiferentes a la presencia o ausencia del metal. Los microorganismos resistentes son de particular interés como captores de metales en sitios contaminados gracias a la acción de diferentes mecanismos como la biosorción, bioacumulación, biomineralización, biotransformación y quimiosorción mediada por microorganismos (Vullo, 2003).

Figura 4

Mecanismos de Interacción entre el Metal Pesado y Microorganismo



Fuente: Vullo (2003)

- 
- Bioadsorción o biosorción: Adsorción de los iones en la superficie de la célula. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación o atracción electrostática (Tejada et al., 2015).
 - Bioacumulación: Este mecanismo celular involucra un sistema de transporte de membrana que internaliza al metal pesado presente en el entorno celular con gasto de energía, el metal es incorporado al citoplasma, éste es secuestrado por la presencia de proteínas ricas en grupos sulfhídricos llamadas metalotioneínas o también puede ser compartimentalizado dentro de una vacuola como ocurre en hongos, uno de estos casos se presenta en la acumulación de uranio por la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*, el cual fue detectado íntegramente en el citoplasma (Vullo, 2003).
 - Biomineralización: Los microorganismos son capaces de precipitar metales y radionúclidos como carbonatos e hidróxidos, mediante un mecanismo de resistencia codificado en plásmidos. Este mecanismo aparece por el funcionamiento de una bomba que expulsa el metal tóxico presente en el citoplasma hacia el exterior celular en contracorriente a un flujo de H^+ hacia el interior celular. Esto produce una alcalinización localizada sobre la superficie celular externa y por lo tanto la precipitación del metal pesado. Otra forma de precipitar los metales es a través de la formación de sulfuros o fosfatos, como resultado de alguna actividad enzimática celular (Vullo, 2003).
 - Biotransformación: Este es un proceso que involucra un cambio químico sobre el metal pesado, como por ejemplo en el estado de oxidación o metilación. Estas

transformaciones biológicas resultan tóxicas debido a que pueden dar como resultado compuestos poco solubles en agua o bien compuestos volátiles. El ejemplo más claro es el ciclo del mercurio (Hg) en la naturaleza, donde la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* puede reducir el catión Hg^{2+} a Hg^0 y otros organismos pueden luego metilarlo dando como producto el CH_3Hg^+ y $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, que son volátiles y aún más tóxicos que el propio Hg (Vullo, 2003).

- Quimiosorción: Son reacciones en donde los microorganismos biomineralizan un metal, formando un depósito primario. Este depósito primario funciona como núcleo de cristalización, con la subsecuente deposición del metal de interés, promoviendo y acelerando así el mecanismo de mineralización. Un ejemplo de este proceso es el agregado de hierro (Fe) en un efluente a tratar, en presencia de bacterias reductoras del sulfato. Estos microorganismos producen sulfuros que precipitan en forma de FeS , sobre la superficie celular (Vullo, 2003).

2.3.2.3 Mecanismo de biosorción de iones de metal

La compleja estructura de los microorganismos implica que hay muchas maneras para remover el metal por las células microbianas (Ahayla y Ramachandra, 1995). Existen muchos mecanismos de biosorción y muchos de ellos son difíciles de comprender. Estos pueden ser clasificados de acuerdo a varios criterios. Los mecanismos de biosorción pueden dividirse de acuerdo a la dependencia del metabolismo celular:

- Mecanismo dependiente: Dependiente del metabolismo celular en presencia de metales tóxicos,

los microorganismos producen compuestos que favorece el proceso de precipitación del metal.

- Mecanismo independiente: Biosorción independiente del metabolismo, la remoción del metal es por interacción físico-química entre el metal y los grupos funcionales presentes en la superficie celular microbiana. La cual está basada en la adsorción física, intercambio iónico y sorción química, la cual es independiente del metabolismo celular.

De acuerdo a la ubicación donde se encuentra el metal removido de la solución, la biosorción puede clasificarse:

- Acumulación o precipitación extracelular: En el caso de precipitación, la remoción del metal puede tomar lugar en la solución y en la superficie celular. Sin embargo, puede ser dependiente del metabolismo celular. Los microorganismos producen compuestos que favorece el proceso de precipitación
- Sorción o precipitación en la superficie celular: Las paredes celulares de la biomasa microbiana, están principalmente compuestas de polisacáridos, proteínas y lípidos que tiene abundantes grupos ligantes de metal como carboxilo, sulfato, fosfato y grupo amino. Este tipo de biosorción es relativamente rápida y puede ser reversible. La precipitación puede ser independiente del metabolismo celular.
- Acumulación intracelular: Es la acumulación intracelular debido al transporte del metal a través de la membrana celular, el cual es dependiente del metabolismo celular, pudiendo tomar lugar solamente con células viables. Siendo con frecuencia asociado

con una defensa activa de los microorganismos, el cual reacciona en la presencia de metales tóxicos (Vullo, 2003).

Los mecanismos de biosorción son muy variados y dependen del metal y el tipo de material sorbente, además debido a la compleja estructura de estos materiales se cree que probablemente varios mecanismos actúen simultáneamente en el proceso de biosorción, entre las cuales podemos mencionar:

- Intercambio Iónico: Gran parte de los biosorbentes contiene sales de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en sus estructuras, estos cationes pueden ser intercambiados con los iones metálicos y quedar unidos al material.
- Adsorción Física: la unión entre la superficie del biosorbente y el metal se produce por fuerzas de atracción electrostática o de Van Der Waals. Este mecanismo está presente en la biosorción de diversos metales con la biomasa microbiana.
- Complejación: La unión entre el biosorbente y el metal se produce a través de formaciones complejas en la superficie del metal, esta contiene ligandos unidentados o polidentados (quelación), según si puede coordinar uno o más electrones con el metal (Ahayla y Ramachandra, 1995).

2.3.2.4 Relave minero

Los relaves mineros son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas (CIPER, 2012).

2.3.2.5 Metales pesados

Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles, como por ejemplo, el plomo, cadmio y el cobre que se utiliza mucho para la producción de tuberías (Romero, 2013).

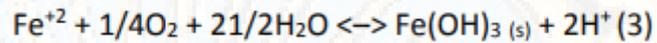
2.3.2.6 Drenaje ácido de minas

El trabajo de explotación minera en el ámbito mundial para la obtención de diferentes materiales de interés ha venido generando desde hace siglos enormes impactos ambientales, que solo hace tres décadas comenzaron a ser estudiados y considerados con mayor seriedad. Uno de los principales impactos generados en la minería de metales y carbón son los Drenajes Ácidos de Mina (DAM), que se generan a partir de la oxidación de sulfuros metálicos, especialmente los de hierro como la pirita (FeS_2) en presencia de oxígeno atmosférico y agua. El proceso de formación de los DAM, inicia cuando los minerales sulfurados como la pirita se exponen a los efectos del oxígeno y el agua. Esto sucede cuando se hace remoción de material como apertura de tajos, túneles y se disponen los relaves sin ningún tipo de control civil. En la reacción se muestra el proceso de oxidación de la pirita, en este paso el oxígeno actúa como agente oxidante principal y los sulfuros se oxidan a sulfatos (Chaparro, 2015).

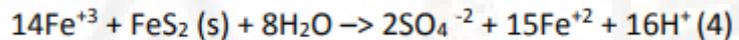


En esta etapa el pH aún permanece a valores por encima de 4.5. Posteriormente el hierro en estado ferroso es oxidado. El Fe^{+2} puede sufrir dos procesos dependiendo del pH del agua, si el pH se encuentra por encima de 4.5 el

proceso que sucede se describe en la ecuación 3 en donde el hierro ferroso se oxida e hidroliza para formar hidróxidos que son precipitados de color rojo- naranja muy característicos de los DAM (Jennings, Neuman, y Blincker, 2008).



Si el pH del agua se encuentra a valores de 4.5 o menores el proceso que sucederá mayoritariamente será la oxidación del hierro ferroso a férrico y este último actuará como el agente oxidante principal de la pirita reemplazando al oxígeno atmosférico y generándose mayor acidez tal como se muestra en la reacción 4 (Chaparro, 2015).



Por lo tanto, la reacción final para estabilizar el ion férrico formado a partir de la oxidación de la pirita se muestra en la reacción (Aduvire, 1991).



En general los minerales sulfurados pueden ser potenciales generadores de acidez, debido a que se caracterizan por tener una relación metal/azufre inferior a 1 como por ejemplo la pirita FeS_2 cuya relación es 1/2, sin embargo, cuando el drenaje se encuentra en una fase de acidificación avanzada en la que la reacción 4 ya ha tenido lugar, los demás sulfuros metálicos son susceptibles de ser oxidados por la acción del hierro férrico, como en el caso de drenaje de mina o de roca que se encuentra en un estado de acidificación avanzada, el proceso fisicoquímico de oxidación de los sulfuros de hierro como la pirita pasa a un

segundo plano pues es desplazado por la oxidación microbológica; donde participan varios grupos de bacterias acidófilas y quimiolitótrofas, como las *Acidithiobacillus ferrooxidans*, que obtienen su energía de la oxidación del hierro. El DAM son efluentes de trabajos mineros que contaminan fuentes hídricas superficiales y cuerpos de agua subterráneos porque presentan valores de pH entre 1.5 y 6 y aportan una gran cantidad de acidez debida a la formación de ácido sulfúrico y elevadas concentraciones de metales pesados como el cobre, plomo, arsénico, entre otros; que son solubles a valores de pH bajos. Una de las características más importantes de los DAM en cuanto a impactos de la minería radica en que una vez sido generados el proceso de formación es cíclico e irreversible y perdura por años o décadas hasta que no sea eliminado uno de los principales agentes que lo causan (Chaparro, 2015).

2.3.2.7 Metales pesados y su toxicidad

La contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, y González, 2016). A nivel mundial se aborda el problema específico de contaminación por mercurio (Hg), Arsénico (As), Cadmio (Cd), y Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en el ambiente.

➤ Plomo (Pb)

El plomo es un metal pesado que se ha utilizado durante muchos años debido a su resistencia a la corrosión, ductilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel. Las

principales vías de exposición son: inhalación de partículas de plomo generadas por combustión de algunos materiales y la ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados ya que tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo. La intoxicación por plomo varía de acuerdo a la edad de la persona y su nivel de exposición (Reyes et al., 2016).

➤ Cobre (Cu)

La producción mundial de cobre está todavía creciendo, esto significa que más cobre terminara en el medio ambiente debido al vertido de aguas residuales contaminadas con este metal. El cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión y a menudo es encontrado cerca de minas, asentamientos industriales, vertederos y lugares de residuos (Reyes et al., 2016).

2.3.2.8 Unidad Económica Administrativa Julcani, compañía Minera Buenaventura.

La U.E.A. Julcani se encuentran ubicadas políticamente en el distrito de Ccochaccasa, provincia de Angaraes, departamento y región de Huancavelica, aproximadamente a 64 km al sureste de esta ciudad. La U.E.A. Julcani se ubica en tres sectores, el Sector Julcani se ubica en la parte alta de la quebrada Palcas, afluente del río Opamayo, mientras el Sector Acchilla en la microcuenca de San Pedro de Mimosa y el Sector Ccochaccasa en la quebrada Tablapampa, estas dos últimas quebradas son afluentes a la quebrada Moyopampa y está quebrada a su vez afluente al río Opamayo. La Planta Concentradora de la Compañía Minera Buenaventura inició sus operaciones en

el año 1953. Cuenta con una capacidad instalada y autorizada de funcionamiento de 600 TMD. El proceso metalúrgico de la planta concentradora incluye un sistema de chancado primario y secundario, con un circuito de molienda, almacenamiento, circuito de flotación bulk, un circuito de espesado y filtrado de concentrado de Pb-Ag, Cu-Ag y Zn-Ag, así como con un sistema de despacho de concentrados y una zona de bombeo de relaves, para ser dispuestos en el depósito de relaves N° 9 ubicado en la zona Acchilla. Actualmente en la U.E.A. Julcani existen 288,914 TMS de mineral de reserva, 187,862 TMS de mineral indicado y 283,857 TMS de mineral potencial. Desde los inicios de la operación de la U.E.A. Julcani se han construido nueve canchas de relaves, siete de las cuales se encuentran ubicadas en el sector Julcani, mientras que las dos restantes se ubican en el sector Herminia y Acchilla, respectivamente. Es importante indicar que actualmente solo se encuentra operativa la cancha de relaves N° 9 del sector Acchilla. El depósito de relaves N° 9 comenzó a operar en el año 1997, se encuentra ubicadas aguas abajo de la confluencia de los sistemas de drenaje de Mimosa y Peña (HATCH, 2018).

En el área de la U.E.A. Julcani se han identificado 2 microcuencas involucradas: Huajya (Palcas) y San Pedro. Todas las quebradas son tributarias del río Opamayo. La mayor parte de la descarga desde la propiedad minera desemboca finalmente al río Opamayo, que fluye hacia el este aproximadamente 15 km al sur del área del campamento minero. Actualmente, la U.E.A. Julcani cuenta con 239 botaderos de material estéril en las diferentes zonas: Julcani, Mimosa, San José, Manto,

Herminia, Tentadora, Acchilla y Condoray. Asimismo, ha ejecutado el cierre de 64 botaderos que también se encontraban ubicados en las zonas mencionadas. Cabe precisar que producto de las labores de exploración y desarrollo se genera un promedio de 8,364 m³/mes de relaves, en superficie se dispone de 300 m³/mes de relaves (HATCH, 2018).

La Compañía Buenaventura contempla continuar la explotación de diversas minas, entre las que destacan principalmente las minas Acchilla y Estela. Este laboreo se realizará mediante minado subterráneo considerando, principalmente, los métodos de explotación de corte y relleno ascendente convencional. Así también, se cuenta con infraestructura de izaje, transporte, ventilación, bombeo de agua y otros servicios auxiliares (HATCH, 2018).

2.3.2.9 Impacto ambiental

Los metales pesados son especies químicas no degradables que pueden distribuirse entre los entornos de aire, agua y suelo, a veces pueden cambiar su estado de oxidación o incorporarse a los seres vivos. El impacto ambiental de los contaminantes metálicos en suelos y agua es estrictamente dependiente de la capacidad de complejamiento de estos componentes con el medio ambiente y su respuesta a las condiciones fisicoquímicas y biológicas de su entorno. Este problema trae consigo búsqueda de soluciones, dentro de las que podemos mencionar, el procesos de adsorción y la formación de complejos metálicos en medios naturales (Vullo, 2003).

2.3.2.10 Contaminación del agua

La contaminación del agua generalmente es provocada por el hombre que altera la calidad del agua haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y actividades recreativas, así como para el consumo por los animales domésticos y la vida natural (Sabatini, Ruiz, y Calcagno, 2012).

2.3.2.11 Legislación y límites máximos permisibles

El estado peruano establece mediante el decreto supremo N° 010-2010-MINAM los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos a una concentración de 0.5 mg/l para el metal de cobre en cualquier momento y 0.4 mg/l para el promedio anual. Así mismo una concentración de 0.2 mg/l para el metal de plomo en cualquier momento y 0.16 mg/l para el promedio anual provenientes de efluentes de industrias minero metalúrgicas. Mientras que los estándares de calidad ambiental establecen un nivel de concentración presente en agua en su condición de cuerpo receptor en un nivel de 0.2 mg/l para cobre y 0.05 mg/l para plomo en la categoría 3 (riego de vegetales) y 0.5 mg/l para cobre y 0.05 mg/l para plomo en la misma categoría para bebida de animales (MINAM, 2010).

2.4 Definición de términos

2.4.1 Agua:

El agua es un compuesto con características únicas, de gran importancia para la vida, es el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural (SIAC, 2007).

2.4.2 Biosorción:

Es un término que describe la eliminación de metales pesados por la unión pasiva a biomasa no viva a partir de soluciones acuosas. El mecanismo de remoción no está controlado por el metabolismo (Sala et al., 2010).

2.4.3 Biosorbente:

Material de origen biológico utilizado como sorbente para remover iones de metales provenientes de diversas actividades industriales (Sala et al., 2010).

2.4.4 Cepa:

Una cepa es un conjunto de células homogéneas o clones que deriva de la reproducción de una célula inicial única, seleccionada y aislada. También suele referirse a las cepas como colonias puras de bacterias (Coronel, 2015).

2.4.5 Conductividad Eléctrica:

La conductividad eléctrica (símbolo σ) es la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él. La conductividad depende de la estructura atómica y molecular del material. Los metales son buenos conductores porque tienen una estructura con muchos electrones con vínculos débiles y esto permite su movimiento. La conductividad también depende de otros factores físicos del propio material y de la temperatura (Cordero, 2018).

2.4.6 Contaminante:

Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y químicos que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural altere o modifique su composición y condición natural (INECC, 2014).

2.4.7 Contaminación:

La contaminación es la presencia o incorporación al ambiente de sustancias o elementos tóxicos que son perjudiciales

para el hombre o los ecosistemas (seres vivos). Existen diferentes tipos de contaminación. Los tipos de contaminación más importantes son los que afectan a los recursos naturales básicos como el aire, los suelos y el agua. Algunas de las alteraciones medioambientales más graves relacionadas con los fenómenos de contaminación son los escapes radiactivos, el smog, el efecto invernadero, la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono, la eutrofización de las aguas o las mareas negras y contaminación con DAM. Existen diferentes tipos de contaminación que dependen de determinados factores y que afectan distintamente a cada ambiente (Bermúdez, 2010).

2.4.8 Eficiencia:

Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función (RAE, 2019).

2.4.9 Efluente:

La descarga de un contaminante líquido desde una instalación o proceso industrial (también llamado desecho o residuo líquido) (RAE, 2019).

2.4.10 Evaluar:

Atribuir o determinar el valor de algo o de alguien, teniendo en cuenta diversos elementos o juicios (RAE, 2019).

2.4.11 Lixiviación:

La lixiviación es un proceso químico en la minería para extraer minerales valiosos del mineral. La lixiviación también tiene lugar en la naturaleza, donde las rocas se disuelven por el agua y estas quedan con una proporción menor de minerales de lo que originalmente contenían (MINEM, 2010).

2.4.12 Metal:

Elemento químico, compuesto o aleación caracterizada por una alta conductividad eléctrica. El metal es un buen conductor de calor. forma catión y enlaces iónicos con no metales (RAE, 2019).

2.4.13 pH:

Coficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa (RAE, 2019).

2.4.14 Remediación:

Reparación del daño ambiental y/o ecológico, logrando reducir el riesgo a niveles aceptables. La forma e intensidad de la intervención quedará establecida en función del tipo y detalle de la evaluación de riesgo realizada en el sitio (Brack, Gonzales, y Roca, 2010).

2.4.15 Sorbato:

Ion o molécula que es potencialmente capaz de unirse a un sorbente (Volesky, 1980).

2.4.16 Sorbente:

Material orgánico o inorgánico capaz de unir iones o moléculas (Volesky, 1980).

2.4.17 Toxicidad:

El grado en el que una sustancia es capaz de dañar a un organismo expuesto. La toxicidad puede referirse a los efectos en todo un organismo, como un animal, una bacteria o planta, así como a los efectos en la subestructura del organismo. (MINSa, 2005).

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis General:

La biomasa microbiana tiene una eficiencia de biosorción mayor al 50% de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

2.5.2 Hipótesis Específica:

- La proporción óptima de biomasa microbiana será menor a 30 g en la biosorción cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

- El tiempo óptimo de contacto será menor a 24 horas en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

2.6 Variables

2.6.1 Variable independiente: Uso de biomasa microbiana

Indicadores

- ✓ Proporción óptima de Biomasa Microbiana (g)
- ✓ Tiempo óptimo de biosorción (h)

2.6.2 Variable Dependiente: Biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb)

Dimensión física

Concentración de metal biosorbido

- ✓ Cobre (ppm)
- ✓ Plomo (ppm)

2.6.3 Variable interviniente

- ✓ Potencial de hidrogeno (pH)
- ✓ Conductividad eléctrica

2.7 Operacionalización de variables:

Figura 5

Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumento	
Variable Independiente							
Uso de Biomasa Microbiana	La biomasa microbiana son desechos de plantas de tratamiento de aguas residuales que sirven como base para los procesos de biosorción de metales pesados. La biomasa microbiana puede ser usada en su estado natural o modificada para mejorar la eficiencia de biosorción, por eso la biomasa microbiana de los lodos activados parece ser un sistema eficiente disponible (Cañizares, 2000).	Se extraerá la biomasa microbiana proveniente de plantas de tratamiento de aguas residuales y se realizará pruebas con diferentes proporciones hasta encontrar una proporción óptima para biosorber la mayor cantidad de metales pesados para posteriormente encontrar el tiempo óptimo de biosorción, mediante diferentes intervalos de tiempo y aplicarla en aguas contaminadas con relaves mineros.	Proporciones de biomasa microbiana (lodo residual de PTAR)	P ₁	3	Gramos (g)	Balanza analítica
				P ₂	6		
				P ₃	9		
				P ₄	12		
				P ₅	15		
				P ₆	18		
				P ₇	21		
				P ₈	24		
			Intervalos de tiempo de contacto	P ₉	27	Horas (h)	Cronómetro
				P ₁	30		
				T ₁	3		
				T ₂	6		
				T ₃	9		
				T ₄	12		
T ₅	15						
T ₆	18						
T ₇	21						

T₈ 24
 T₉ 27
 T₁₀ 30

Variable Dependiente

Biosorción de Cu y Pb	<p>El concepto biosorción de metales pesados, se refiere a la captación de iones metálicos por medio de una biomasa viva o muerta. La biosorción involucra una fase sólida (biosorbente, como las membranas o paredes celulares) y una fase líquida (solvente, generalmente es agua) en el cual están la(s) especie(s) metálica(s) a ser biosorbida por el sorbente, existe una gran afinidad del biosorbente por el sorbato, ya que es atraído hacia el sólido siendo atrapado por diversos mecanismos debido a los grupos funcionales que se encuentran en las superficies celulares de los microorganismos. El proceso de biosorción es continuo, hasta que se establece un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato biosorbido por la biomasa metálica(s) a ser biosorbida(s) (sorbato) (Mejía, 2006).</p>	<p>Se realizará diferentes pruebas, y se pondrá en contacto el agua contaminada con cobre (Cu) y plomo (Pb) con una proporción de biosorbente (g) en un tiempo de equilibrio, en un agitador mecánico, posteriormente se filtrará la muestra para determinar la concentración residual de los metales presentes (Cu y Pb) por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama.</p>	<p>Parámetro físico</p> <p>Concentración de metales pesados</p> <p>✓ Plomo (Pb)</p> <p>✓ Cobre (Cu)</p> <p>✓ Concentración final de plomo (Pb) en la solución.</p> <p>✓ Concentración final de cobre (Cu) en la solución.</p>	ppm	Espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA)
-----------------------	---	--	---	-----	--



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 **Ámbito temporal y espacial**

El ámbito de estudio para la presente tesis “Biosorción de Cobre (Cu) y Plomo (Pb) Provenientes de Relaves Mineros Mediante el Uso de Biomasa Microbiana, Mina Buenaventura- Julcani” está considerado en el ámbito espacial y en ámbito temporal.

3.1.1 **Ámbito temporal**

El ámbito temporal del presente trabajo de investigación está de acuerdo al tiempo de estudio del proyecto que fue desde el 15 de marzo del 2019 hasta el 10 de diciembre del año 2019.

Tabla 5

Cronograma de Actividades

Descripción	Año 2018		Año 2019	
	Meses		Meses	
	N	D	E F M A M	J J A S O N D
1. Planteamiento del problema de investigación	X	X		
2. Elaboración y presentación del plan de investigación		X	X X	
3. Aprobación del plan de investigación			X X	
4. Acondicionamiento del área de trabajo				X
5. Capacitación y fortalecimiento para la elaboración del proyecto de investigación				X X
6. Toma de muestras				X X X X
7. Pruebas y análisis de laboratorio				X X X X
8. Procesamiento y análisis de datos				X X X X X
9. Discusión de resultados				X X
10. Redacción de informe técnico y económico final				X X

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 **Ámbito espacial**

El espacio del trabajo de investigación se encuentra conformado por:

- La fuente de agua de la quebrada Accchilla que pertenece a la microcuenca San Pedro de Mimosa afluente a la quebrada Moyopampa y esta a su vez afluente al río Opamayo que vierte sus aguas a la cuenca del río Mantaro. La Quebrada Accchilla colinda y recibe los vertimientos de uno de los tres sectores que conforman la Unidad Económica Administrativa (U.E.A) Julcani que se encuentra dentro de la Unidad Minera Mimosa perteneciente a la Compañía Minera Buenaventura S.A., donde se ubica un depósito de relaves que se encuentra en funcionamiento hasta la actualidad (HATCH, 2018). Según la Resolución Jefatural 202-2010-ANA clasifica al río Opamayo como categoría 3 y clase 3. Por ende, la quebrada Accchilla y microcuenca San Pedro de Mimosa tiene la misma categoría y clase que el río (ANA, 2010).

Tabla 6

Ubicación Geográfica de la Quebrada Accchilla

Quebrada Accchilla	
Departamento	Huancavelica
Provincia	Angaraes
Distrito	Ccochaccasa
Centro poblado	San Pedro de Mimosa
Nombre del área de monitoreo de agua	Quebrada Accchilla
Clasificación de categoría del cuerpo de agua	Categoría 3

Quebrada Acchilla	
Coordenadas WGS84	8588506.05 S 516188.14 E
Altitud:	3375 msnm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Ubicación Geográfica de los Puntos de Monitoreo

Puntos de Monitoreo	P-1 (Aguas Arriba de la Estación EJ-16)	P-2 (Aguas Abajo de la Estación EJ-16)
Coordenadas WGS84	8571 291 N 521 250 E	8571870 N 522367 E
Altitud	4165.5 msnm	4101 msnm

Fuente: Elaboración propia

Figura 6

Quebrada Acchilla



Fuente: Elaboración Propia

- Depósito de relaves mineros, Unidad Minera Mimosa-Julcani

Tabla 8

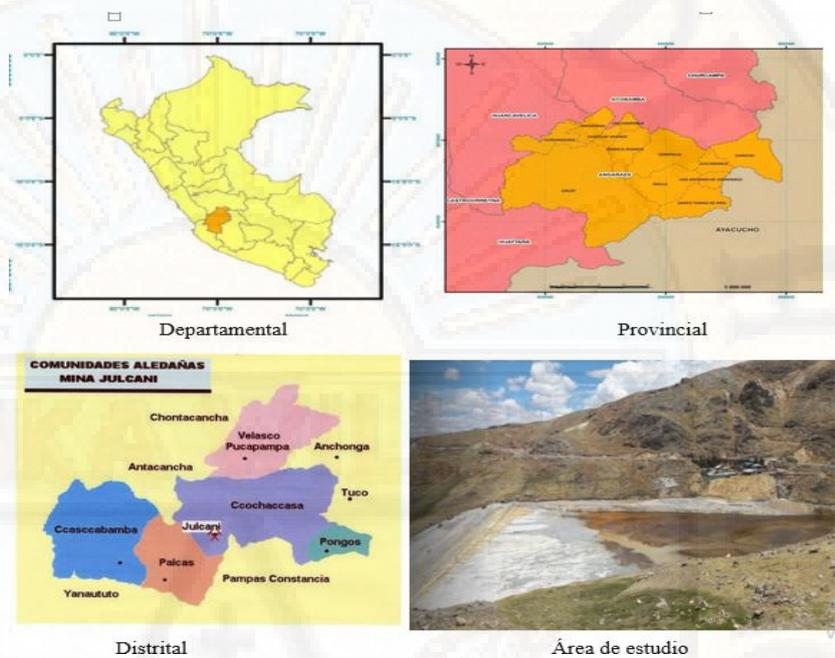
Ubicación Geográfica de la Unidad Minera Mimosa

Unidad Minera Mimosa (Estación EJ-16)	
Departamento	Huancavelica
Provincia	Angaraes
Distrito	Ccochaccasa
Centro poblado	San Pedro de Mimosa
Compañía minera	Buenaventura S. A
Unidad económica administrativa	Julcani
Unidad minera	Mimosa
Coordenadas WGS84	8588707.01 S
	516195.28 E
Altitud:	3382 msnm

Fuente: Elaboración propia

Figura 7

Ubicación Geográfica de la Unidad Minera Mimosa



Fuente: Elaboración propia

- La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del distrito de Yauli provincia de Huancavelica. Los lodos (biomasa microbiana) para ser empleados como biosorbentes fueron recolectados de la unidad de Lecho de Secado.

Tabla 9

Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Yauli

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Área de Recolección de Biomasa Microbiana)	
Departamento	Huancavelica
Provincia	Huancavelica

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
(Área de Recolección de Biomasa Microbiana)

Distrito:	Yauli
Referencia	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
Coordenadas Geográficas	8587526.85 S 504215.72 E
Altitud	3814 msnm

Fuente: Elaboración propia

Figura 8

Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Yauli



Fuente: Google Earth Pro

- Área de estudio donde se llevó a cabo las pruebas de laboratorio.

Tabla 10

Ubicación Geográfica de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, EMAPA-Huancavelica

Laboratorio Físicoquímico de la Planta de Tratamiento de Aguas Potable, EMAPA-Huancavelica
(Pruebas de Laboratorio)

Departamento:	Huancavelica
Provincia:	Huancavelica
Distrito:	Huancavelica
Referencia:	Planta de Tratamiento de Agua Potable (Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento, EMAPA-Huancavelica)
Laboratorio:	Laboratorio Físicoquímico
Coordenadas Geográficas	8587526.85 S 504215.72 E
Altitud:	3814 msnm

Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Planta de Tratamiento de Agua Potable, EMAPA-Huancavelica



Fuente: Google Earth Pro

- Área de estudio donde se llevó a cabo el análisis de muestras obtenidas de las pruebas de laboratorio

Tabla 11

*Ubicación Geográfica del Laboratorio de Nutrición Animal
Zootecnia-Universidad Nacional de Huancavelica*

Laboratorio de Nutrición Animal, Universidad Nacional de
Huancavelica
(Pruebas de Laboratorio)

Departamento:	Huancavelica
Provincia:	Huancavelica
Distrito:	Huancavelica

Laboratorio de Nutrición Animal, Universidad Nacional de
Huancavelica
(Pruebas de Laboratorio)

Referencia:	Universidad Nacional de Huancavelica
Laboratorio:	Laboratorio de Nutrición Animal- Zootecnia-Laboratorio Central
Coordenadas Geográficas	8587986.11 S 499990.89 E
Altitud:	3789 msnm

Fuente: Elaboración propia

Figura 10

*Laboratorio de Nutrición Animal, Zootecnia-Universidad
Nacional de Huancavelica*



Fuente: Google Earth Pro

3.2 Tipo de investigación

Investigación aplicada

Se utilizó el tipo de investigación aplicada. Este tipo de investigación está dirigido a la resolución de problemas prácticos de algún fenómeno o aspecto de la realidad perteneciente al dominio de estudio de una disciplina científica; se caracteriza porque busca la aplicación y generación de conocimientos (Hernández, 2014).

3.3 Nivel de investigación

Nivel Explicativo o experimental

El trabajo de investigación está dentro del nivel de investigación explicativo o experimental ya que el investigador manipula una o más variables que controla y mide cualquier cambio en otras variables. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar porque ocurre un fenómeno, es decir, responder por las causas de los eventos y en qué condiciones se manifiesta o porque se relacionan dos o más variables. Las investigaciones experimentales son más estructuradas y pretenden establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian (Hernández, 2014).

3.4 Población, muestra y muestreo

3.4.1 Población:

La población para el presente estudio está constituida por el efluente total de la Quebrada Accchilla perteneciente a la microcuenca San Pedro de Mimosa contaminado con drenaje ácido provenientes de la poza relavera que se encuentra dentro de la Mina Buenaventura, Julcani.

3.4.2 Muestra:

Se identificó 2 puntos (P-1 y P-2) dentro de la Quebrada Accchilla perteneciente a la microcuenca San Pedro de Mimosa para la toma de muestras.

- En la primera visita a campo se tomó dos muestras de agua de 3 litros en cada uno de los puntos de monitoreo (P-1 y P-2).
- En la segunda visita se recolectó 10 litros de agua contaminada con relaves mineros del P-2 para los ensayos y pruebas de laboratorio.

3.4.3 Muestreo

La técnica aplicada para el muestro de agua contaminada con relaves mineros fue no probabilística o por conveniencia ya que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con el propósito y decisión del investigador (Hernández, 2014). Para la recolección de las muestras se utilizó la guía **“Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales de la Dirección de Ecología y Protección del Ambiente, Área de Protección de los Recursos Hídricos, Ministerio de salud – DIGESA”** que tiene como objetivo establecer procedimientos utilizados en la ejecución del Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad de los Recursos Hídricos de la Autoridad Sanitaria, Dirección General de Salud Ambiental para evaluar la calidad sanitaria, así mismo sirve de instrumento de trabajo para cualquier usuario. Dentro del protocolo podemos encontrar el procedimiento, pautas y tipo de material a utilizar antes durante y después de la toma de muestra de parámetros físico-químicos como metales pesados.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas principales que se utilizaron en la recolección de datos fueron a través de la técnica de la experimentación para realizar una acción y posteriormente la técnica de la observación para examinar las consecuencias del experimento, para ello se hizo el uso del equipo, espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA) y el multiparámetro para la medición de pH y conductividad

eléctrica. Dichos equipos cumplen con tres requisitos esenciales de confiabilidad, validez y objetividad (Hernández, 2014).

3.5.1.1 Diseño de investigación

El diseño de investigación más conveniente para la presente tesis, se planteó en base al objetivo del experimento; por lo tanto, se aplicó el diseño para comparar los resultados de cada factor planteado.

El diseño completamente al azar (DCA), es el diseño más simple de todos los que se utilizan para comparar dos o más tratamientos, dado que solo consideran dos fuentes de variabilidad; los tratamientos y el error aleatorio. Se llama completamente al azar porque todas las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo. De esta manera, si durante el estudio se hacen en total N pruebas, éstas se corren al azar, de manera que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos (Gutiérrez y De la Vara, 2016).

ANOVA para el diseño completamente al azar (DCA)

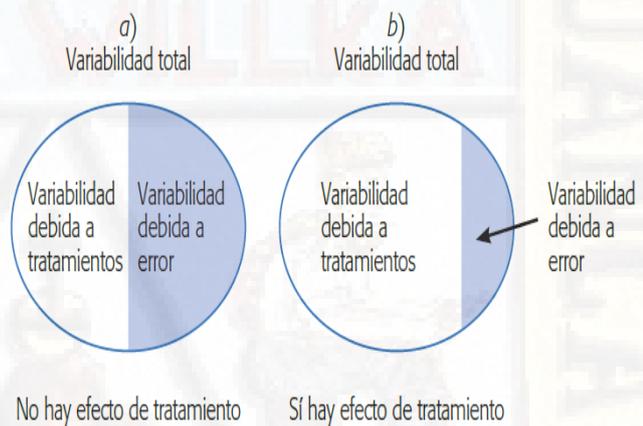
Gutiérrez y De la Vara (2016) abordaron sobre el análisis de varianza (ANOVA) para el caso del diseño completamente al azar (DCA) definieron que:

El análisis de varianza (ANOVA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento. En el caso del DCA se separa la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera (variabilidad por tratamientos) predomina claramente sobre la segunda (variabilidad por error), es cuando se

concluye que los tratamientos tienen efecto, o, dicho de otra manera, las medias son diferentes. Cuando los tratamientos no dominan o contribuyen igual o menos que el error se concluye que las medias son iguales. (pp. 65-66)

Figura 11

Partiendo la Variación Total en sus Componentes en un DCA.



Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2016)

El objetivo del análisis de varianza en el DCA es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos con respecto a la media de la correspondiente variable de respuesta (Gutiérrez y De la Vara, 2016).

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

$$H_o: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

Donde μ_i es el efecto del tratamiento i sobre la variable respuesta. Si se acepta H_o se confirma que los efectos sobre la respuesta de los k tratamientos son estadísticamente nulos. En caso de rechazar se estaría

concluyendo que al menos un efecto es significativo (Gutiérrez y De la Vara, 2016).

Para determinar el tiempo óptimo de biosorción y proporción óptima de biomasa microbiana que contribuyen a evaluar la eficiencia de biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) se utilizó el diseño de completamente al azar (DCA) cuyo modelo estadístico es:

$$Y_i = u + T_i + E_i$$
$$Z_j = u + T_j + E_j$$

Donde

Y_i = Se refiere a la eficiencia de biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb)

Z_j = Se refiere a la eficiencia de biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb)

u = Es la media general de la variable expuesta de cualquier unidad experimental

T_i = Es el efecto del tratamiento i aplicando diferentes tiempos de contacto, variando i de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10

T_j = Es el efecto del tratamiento j aplicando diferentes proporciones de biomasa microbiana, variando j de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10

E_{ij} = Es la variable aleatoria error

Tabla 12

Diseño Completamente al Azar (DCA) para Tiempo de Contacto y Proporción de Biomasa Microbiana

Dimensiones	Niveles	Repeticiones
Tiempos de Contacto (h)	$t_1 = 3$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$t_2 = 6$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$t_3 = 9$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$t_4 = 12$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$t_5 = 15$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$t_6 = 18$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$t_7 = 21$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$t_8 = 24$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$t_9 = 27$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$t_{10} = 30$ h	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
Proporciones de Biomasa Microbiana (g)	$p_1 = 3$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$p_2 = 6$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$p_3 = 9$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$p_4 = 12$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$p_5 = 15$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$p_6 = 18$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$p_7 = 21$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$p_8 = 24$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$p_9 = 27$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$
	$p_{10} = 27$ g	$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Instrumentos de recolección de datos

3.5.2.1 Variable independiente: Uso de biomasa microbiana

- Balanza analítica
- Estufa of-300
- Mortero
- Desecador

3.5.2.2 Variable Dependiente: Biosorción de metales pesados de cobre (Cu) y plomo (Pb)

- Test de jarras
- Multiparámetro
- Espectrofotómetro de absorción a atómica tipo llama (FLAA)
- Equipo generador de agua ultra pura
- Equipo generador de agua destilada
- Equipo de baño maría (ultrasonido)
- Micropipeta
- Hot Blook
- Comprensora

3.5.3 Instrumentos de recolección de datos en campo y laboratorio

3.5.3.1 Análisis y recolección de muestras de agua con metales pesados

A. Selección de los puntos de muestreo para las pruebas de laboratorio.

Se identificó y seleccionó 2 puntos de muestreo a lo largo de la quebrada Accchilla, aguas arriba (P-1) y aguas abajo (P-2) del pozo de relave mineros (estación EJ-16). El primer y segundo puntos fueron identificados para observar la concentración de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) antes y después de la contaminación con relaves mineros, además de los

parámetros básicos de pH y conductividad eléctrica. Los puntos de monitoreo fueron identificados en base al “**Protocolo de Monitoreo de Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales de la Dirección de Ecología y Protección del Ambiente, Área de Protección de los Recursos Hídricos- DIGESA**”, la cual menciona que:

- Como mínimo debe ubicarse dos puntos de muestreo, aguas arriba y aguas abajo que permitirán determinar la calidad del recurso, y si la descarga del efluente líquido de la actividad productiva contribuye a la contaminación del cuerpo receptor y en qué nivel están afectando.
- El punto de muestreo aguas arriba estará ubicado lo suficientemente distante para asegurarse que no exista influencia de la descarga de un efluente líquido que altere sus características.
- La ubicación del punto de muestreo aguas abajo debe estar en un punto en el que la descarga se haya mezclado completamente con el agua receptora, 100 m aguas abajo aproximadamente.

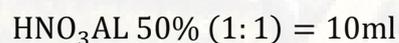
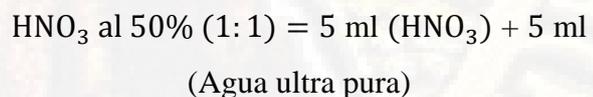
Procedimiento:

Muestreo de agua

- Se realizó 3 recolecciones de muestra de agua contaminada en dos tiempos.
- En la primera visita a campo se recolectó dos muestras de agua contaminada de 3 litros en la quebrada Accchilla, una muestra en cada punto de monitoreo, aguas abajo (P-1) y arriba (P-2) del depósito de relaves mineros de la Unidad Minera Mimosa-Julcani (Estación EJ-16).

- En la segunda visita a campo se recolectó 10 litros de agua del punto de monitoreo P-2 para los ensayos y pruebas de laboratorio.
- El monitoreo se llevó a cabo con un Sistema de Posicionamiento Satelital GPS el cual nos ayudó a registrar las coordenadas UTM y un flexómetro para la ubicación de los puntos de muestreo.
- Se utilizó la indumentaria de protección personal para realizar el muestreo, el cual está constituido por una bata, gorra, impermeable, botines de seguridad, botas de jebe, guantes quirúrgicos y mascarilla.
- Se utilizó materiales de campo como soga, balde, muestreador con extensión, cronómetro, caja térmica o ice pack.
- Se preparó 10 envases de polietileno de 1 litro, esterilizadas.
- Se adicionó 1 ml de HNO₃ al 50% (1:1), para estandarizar y preservar las muestras. Dicha solución fue preparada en el laboratorio y añadida en cada envase.

Preparación de HNO₃ al 50% (1:1) para 10 botellas



- Las botellas fueron trasladadas en un cooler para la preservación de la solución y las muestras.
- Nos ubicamos en el centro de la corriente de agua de la quebrada Acchilla a 100 m de distancia del vertimiento de los relaves mineros.

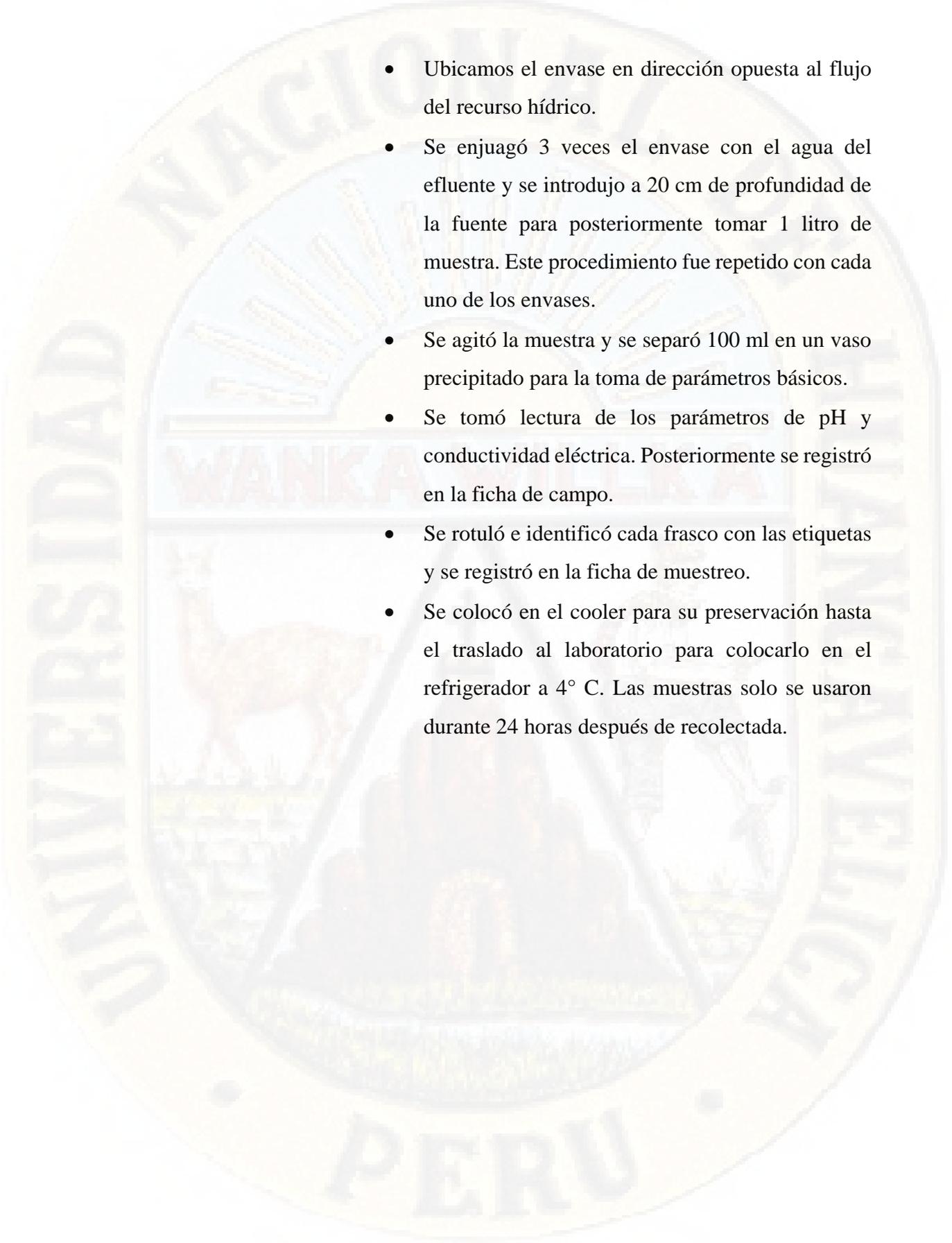
- 
- Ubicamos el envase en dirección opuesta al flujo del recurso hídrico.
 - Se enjuagó 3 veces el envase con el agua del efluente y se introdujo a 20 cm de profundidad de la fuente para posteriormente tomar 1 litro de muestra. Este procedimiento fue repetido con cada uno de los envases.
 - Se agitó la muestra y se separó 100 ml en un vaso precipitado para la toma de parámetros básicos.
 - Se tomó lectura de los parámetros de pH y conductividad eléctrica. Posteriormente se registró en la ficha de campo.
 - Se rotuló e identificó cada frasco con las etiquetas y se registró en la ficha de muestreo.
 - Se colocó en el cooler para su preservación hasta el traslado al laboratorio para colocarlo en el refrigerador a 4° C. Las muestras solo se usaron durante 24 horas después de recolectada.

Figura 12

*Muestreo de Agua en la Quebrada Acchilla –
junio de 2019*



Fuente: Elaboración propia

B. Digestión de muestras de los puntos de muestreo (P-1 y P-2)

- Se agitó los envases con las muestras recolectadas en campo de los puntos (P-1 y P-2) y se filtró con papel Quality N° 41 en un nuevo envase.
- Se tomó 50 ml de la muestra filtrada de cada envase y se enrazó en un tubo de polipropileno de 50 ml para su digestión. Por cada muestra se enrazó dos tubos de polipropileno. Obteniendo 4 tubos con muestra de agua contaminada con metales pesados.
- Se adicionó 2 ml de ácido nítrico (HNO_3) y 1 ml de ácido clorhídrico (HCl) a una concentración de 50% a cada uno de los tubos.

(HNO_3)	—————→	2 ml (1:1)
(HCl)	—————→	1ml (1:1)

Preparación de HNO₃ al 50% (1:1) para 4 tubos de polipropileno

HNO₃ al 50% (1: 1) = 4 ml (HNO₃) + 4 ml (Agua ultra pura)

HNO₃ al 50% (1: 1) = 8 ml

Preparación de HCl al 50% (1:1) para 4 tubos de polipropileno

HCl al 50% (1: 1) = 2 ml (HCl) + 2 ml (Agua ultra pura)

HCl al 50% (1: 1) = 4 ml

- Se colocó los tubos en el bloque digestor a una temperatura de 85° C durante 3 horas.
- Se retiró los tubos hasta que enfríe a temperatura ambiente y se enrazó con agua ultra pura hasta 50 ml para posteriormente taparlos y agitarlos.
- Se analizó con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica

Figura 13

Digestión de Muestras de los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)



Fuente: Elaboración propia

C. Lectura de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) de los puntos de muestreo (P-1 y P-2)

Para proceder con la lectura de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) se inició con el lavado del equipo espectrofotómetro de absorción atómica. Con ayuda del equipo Ultrasonido se lavó los componentes del equipo y para el secado se utilizó la estufa a una temperatura de 40° C.

Lectura de cobre (Cu) con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica

- Se armó el equipo espectrofotómetro de absorción atómica y se instaló la lámpara de cátodo de cobre (Cu) para la lectura.
- Se preparó la solución intermedia de cobre (Cu) (STOCK) a una concentración de 100 ppm del estándar madre en su concentración original a 1000 ppm y se aforó en una fiola de 100 ml con agua ultra pura.

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} * 100 \text{ ppm}$$

$$V1 = 10 \text{ ml}$$

Donde:

V1= Volumen de estándar madre a adicionar para la preparación de la solución intermedia (ml)

C1= Concentración del estándar madre (ppm)

v1= Volumen de solución a preparar (ml)

c1= Concentración de la solución a preparar (ppm)

- Se agregó 1 ml de ácido nítrico puro (HNO₃) en 1 % a la solución intermedia de 100 ml para su conservación. La solución fue conservada en una refrigeradora a 4° C.

Solucion intermedia = 100 ml (100%)

HNO_3 (puro) = 1ml (1%)

*Se agregó 1 ml de ácido nítrico (HNO_3) en 1%

- Se preparó una solución de cobre (Cu) a concentración de 5 ppm a partir de la solución intermedia de 100 ppm para la calibración del equipo de espectrofotómetro de absorción atómica. Se usó una fiola de 100 ml y se aforó con agua ultra pura.

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} * 5 \text{ ppm}$$

$$V1 = 5 \text{ ml}$$

*Se agregó 1 ml de ácido nítrico (HNO_3) en 1%

- Se preparó soluciones de cobre (Cu) de 0 ppm, 2 ppm, 4 ppm y 6 ppm para la construcción de la curva de calibración a partir de la solución intermedia de 100 ppm. Se usó fiolas de 50 ml y se aforó con agua ultra pura.

Concentración a 0 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 0 \text{ ppm}$$

$$V1 = 0 \text{ ml}$$

Concentración a 2 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 2 \text{ ppm}$$

$$V1 = 1 \text{ ml}$$

Concentración a 4 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 4 \text{ ppm}$$

$$V1 = 2 \text{ ml}$$

Concentración a 6 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 6 \text{ ppm}$$

$$V1 = 3 \text{ ml}$$

- Se agregó ácido nítrico (HNO_3) en 1% a cada una de las soluciones preparadas para su conservación

$$50 \text{ ml} = 100\%$$

$$0.5 \text{ ml} = 1 \%$$

$$\text{HNO}_3 = 0.5 \text{ ml}$$

*Se agregó 0.5 ml de ácido nítrico (HNO_3) en 1%

- Construida la línea de calibración de cobre (Cu) se inició con la lectura de muestras digestadas que se encuentran en los tubos de polipropileno de 50 ml. Se obtuvieron dos tubos con muestras de agua por cada punto de muestreo (P-1 y P-2). Cada tubo con muestra de agua contaminada se leyó por triplicado, obteniendo 06 lecturas.

Figura 14

Lectura de Cobre (Cu) con el Equipo

Espectrofotómetro de Absorción Atómica



Fuente: Elaboración propia

Lectura de plomo (Pb) con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica

- Se armó el equipo espectrofotómetro de absorción atómica y se instaló la lámpara de cátodo de plomo (Pb) para la lectura.
- Se preparó la solución intermedia de plomo (Pb) (STOCK) a una concentración de 100 ppm del estándar madre en su concentración original a 1000 ppm y se aforó en una fiola de 100 ml con agua ultra pura.

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} * 100 \text{ ppm}$$

$$V1 = 10 \text{ ml}$$

Donde:

V1= Volumen de estándar madre a adicionar para la preparación de la solución intermedia (ml)

C1= Concentración del estándar madre (ppm)

v1= Volumen de solución a preparar (ml)

c1= Concentración de la solución a preparar (ppm)

- Se agregó 1 ml de ácido nítrico puro (HNO₃) en 1% a la solución intermedia de 100 ml para su conservación. La solución fue conservada en una refrigeradora a 4° C.

$$\text{Solucion intemedia} = 100 \text{ ml (100\%)}$$

$$\text{HNO}_3_{(\text{puro})} = 1\text{ml (1\%)}$$

*Se agregó 1 ml de ácido nítrico (HNO₃) en 1%

- Se preparó una solución de plomo (Pb) a una concentración de 5 ppm para la calibración del

equipo a partir de la solución intermedia. Se usó una fiola de 50 ml y se aforó con agua ultra pura.

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 5 \text{ ppm}$$

$$V1 = 2.5 \text{ ml}$$

*Se agregó 1 ml de ácido nítrico (HNO_3) en 1 %

- Se preparó soluciones de plomo (Pb) de 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm y 15 ppm para la construcción de la curva de calibración a partir de la solución intermedia de 100 ppm. Se usó fiolas de 50 ml y se aforó con agua ultra pura.

Concentración a 0 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 0 \text{ ppm}$$

$$V1 = 0 \text{ ml}$$

Concentración a 5 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 5 \text{ ppm}$$

$$V1 = 2.5 \text{ ml}$$

Concentración a 10 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 10 \text{ ppm}$$

$$V1 = 5 \text{ ml}$$

Concentración a 15 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 15 \text{ ppm}$$

$$V1 = 7.5 \text{ ml}$$

- Se agregó Ácido Nítrico (HNO_3) en 1% a cada una de las soluciones preparadas para su conservación

$$50 \text{ ml} = 100\%$$

$$X = 1 \% \text{ ml}$$

$\text{HNO}_3 = 0.5 \text{ ml}$

*Se agregó 0.5 ml de Ácido Nítrico (HNO_3) al 1%

- Construida la curva de calibración de plomo (Pb) se inició con la lectura de muestras digestadas que se encuentran en los tubos de polipropileno de 50 ml. Se obtuvieron dos tubos con muestras de agua por cada punto de muestreo (P-1 y P-2). Cada tubo con muestra de agua contaminada se leyó por triplicado, obteniendo 06 lecturas.

Figura 15

Lectura de Plomo (Pb) con el Equipo

Espectrofotómetro de Absorción Atómica



Fuente: Elaboración propia

3.5.3.2 Análisis y recolección de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) en biomasa microbiana seca usada como biosorbente

A. Preparación y acondicionamiento de la biomasa microbiana

La biomasa microbiana utilizada como biosorbente para el tratamiento de agua contaminada

con relaves mineros que contiene cobre (Cu) y plomo (Pb) fue obtenida de los lodos de purga de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Yauli. Para la recolección de la biomasa microbiana (lodo de PTAR) se siguió el siguiente procedimiento:

- Se utilizó la indumentaria de protección personal que está constituido por una bata, gorra, impermeable, botines de seguridad, botas de jebe, guantes quirúrgicos, mascarilla. También se utilizó materiales de campo como balde, pala pequeña, caja térmica o ice pack.
- Se colectó la biomasa microbiana de la zona de lodos de purga con la ayuda de una pala hacia un envase de polietileno y se cerró herméticamente.
- Se colocó el envase dentro del cooler para su preservación y traslado hasta el laboratorio.
- Se filtró el agua del lodo y se puso a secar en la estufa a 105° C durante 12 horas hasta su deshidratación.
- Se molió la biomasa seca con la ayuda de un mortero y pilón para posteriormente tamizarlo con el tamiz N° 12 y obtener una mezcla homogénea de un tamaño de grano de 1.7 mm. Mientras más pequeño son los granos existe mayor superficie de contacto. La biomasa que no fue utilizada fue conservada en un desecador de vidrio.

Figura 16

Recolección de Biomasa Microbiana de la PTAR del Distrito de Yauli- junio de 2019



Fuente: Elaboración propia

B. Digestión de la biomasa microbiana

Para la digestión y la lectura de metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) en la biomasa microbiana se utilizó el método de **Digestión Ácida de Sedimento, Lodos y Suelo EPA 3050B1 para Análisis por Absorción Atómica de Llama (FLAA) o Espectrofotometría**

- Se inició con la homogeneización de la muestra de biomasa microbiana.
- Se pesó 5 gramos de biomasa microbiana para la digestión y se introdujo en un tubo de polipropileno de 50 ml. Este procedimiento se hizo por duplicado, obteniendo 2 tubos.
- Se agregó 2.5 ml de HNO_3 al 50 % (1:1) a cada tubo y se dejó en contacto durante 10 minutos.

Preparación de HNO₃ al 50% (1:1) para 2 tubos de polipropileno

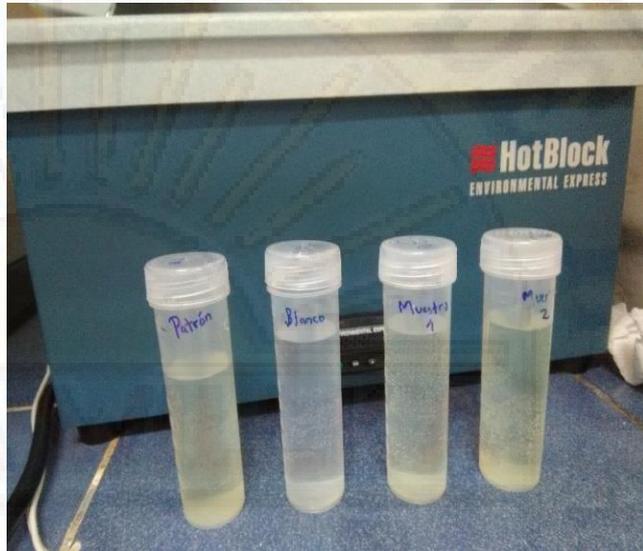
HNO₃ al 50% (1: 1) = 2.5 ml (HNO₃) + 2.5 ml
(Agua ultra pura)

HNO₃ AL 50% (1: 1) = 5 ml

- Se ingresó los tubos al equipo HOTBLOOK para su digestión a una temperatura de 95° C durante 5 minutos.
- Se agregó 2.5 ml de HNO₃ concentrado y se dejó durante 30 minutos más en el HOTBLOOK hasta que la oxidación se complete y la muestra baje a 50 ml.
- Se apagó el equipo y retiro las muestras durante 30 minutos hasta que enfrié a temperatura ambiente.
- Se agregó 1 ml de agua ultra pura y 1.5 ml de peróxido de hidrogeno (H₂O₂).
- Se prendió el equipo HOTBLOOK y se ingresó nuevamente las muestras a una temperatura de 95° C.
- Se agregó 1 ml de peróxido de hidrogeno (H₂O₂) hasta observar la formación de burbujas en la superficie.
- Se esperó hasta que el volumen de la muestra disminuya hasta 2.5 ml.
- Se adicionó 5 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y se digesto durante 5 minutos.
- Se sacó las muestras y dejó enfriar a temperatura ambiente durante 15 minutos.
- Se filtró y enrazó a 50 ml con agua ultra pura y se agitó.

Figura 17

Digestión Ácida de Biomasa Microbiana



Fuente: Elaboración propia

C. Lectura de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) en la biomasa microbiana

Para proceder con la lectura de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) se inició con el lavado de equipo espectrofotómetro de absorción atómica. Con ayuda del equipo Ultrasonido se lavó los componentes del equipo y para el secado se utilizó la estufa a una temperatura de 40° C.

Lectura de cobre (Cu) con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA)

- Se armó el equipo y se instaló la lámpara de cátodo de cobre (Cu) para la lectura.
- Se preparó la solución intermedia de cobre (Cu) (STOCK) a una concentración de 100 ppm del estándar madre en su concentración original de

1000 ppm y se aforó en una fiola de 100 ml con agua ultra pura.

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} * 100 \text{ ppm}$$

$$V1 = 10 \text{ ml}$$

Donde:

V1= Volumen de estándar madre a adicionar para la preparación de la solución intermedia (ml)

C1= Concentración del estándar madre (ppm)

v1= Volumen de solución a preparar (ml)

c1= Concentración de la solución a preparar (ppm)

- Se agregó 1 ml de ácido nítrico puro (HNO₃) en 1 % a la solución intermedia de 100 ml para su conservación. La solución fue conservada en una refrigeradora a 4° C.

$$\text{Solucion intemedia} = 100 \text{ ml (100\%)}$$

$$\text{HNO}_3_{(\text{puro})} = 1 \text{ ml (1\%)}$$

*Se agregó 1 ml de ácido nítrico (HNO₃) en 1%

- Se preparó una solución de cobre (Cu) a concentración de 5 ppm a partir de la solución intermedia para la calibración del equipo espectrofotómetro de absorción atómica. Se usó una fiola de 100 ml y se aforó con agua ultra pura.

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} * 5 \text{ ppm}$$

$$V1 = 5 \text{ ml}$$

*Se agregó 1 ml de ácido nítrico (HNO₃) en 1%

- Se preparó soluciones de cobre a 0 ppm, 2 ppm, 4 ppm y 6 ppm para la construcción de la curva de

calibración a partir de la solución intermedia. Se usó fiolas de 50 ml y se aforó con agua ultra pura.

Concentración a 0 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 0 \text{ ppm}$$

$$V1 = 0 \text{ ml}$$

Concentración a 2 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 2 \text{ ppm}$$

$$V1 = 1 \text{ ml}$$

Concentración a 4 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 4 \text{ ppm}$$

$$V1 = 2 \text{ ml}$$

Concentración a 6 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 6 \text{ ppm}$$

$$V1 = 3 \text{ ml}$$

- Se agregó ácido nítrico (HNO_3) en 1% a cada una de las soluciones preparadas para su conservación

$$50 \text{ ml} = 100\%$$

$$0.5 \text{ ml} = 1\%$$

$$\text{HNO}_3 = 0.5 \text{ ml}$$

*Se agregó 0.5 ml de ácido nítrico (HNO_3) en 1%

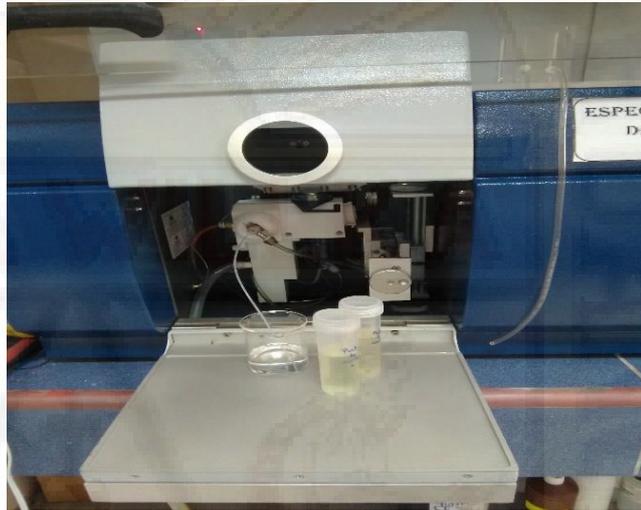
- Construida la línea de calibración de cobre (Cu) se inició con la lectura de muestras digestadas que se encuentran en los tubos de polipropileno de 50 ml.

Se obtuvo dos tubos con muestras. Cada tubo se leetó por triplicado, obteniendo 06 lecturas.

Figura 18

Lectura de Cobre (Cu) en la Biomasa

Microbiana



Fuente: Elaboración propia

Lectura de plomo (Pb) con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA)

- Se armó el equipo y se instaló la lámpara de cátodo de plomo (Pb) para la lectura de la muestra.
- Se preparó la solución intermedia de plomo (Pb) (STOCK) a una concentración de 100 ppm del estándar madre en su concentración original a 1000 ppm y se aforó en una fiola de 100 ml con agua ultra pura.

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ ml} * 100 \text{ ppm}$$

$$V1 = 10 \text{ ml}$$

Donde:

V1= Volumen de estándar madre a adicionar para la preparación de la solución intermedia (ml)

C1= Concentración del estándar madre (ppm)

v1= Volumen de solución a preparar (ml)

c1= Concentración de la solución a preparar (ppm)

- Se agregó 1 ml ácido nítrico puro (HNO₃) en 1% a la solución intermedia de 100 ml para su conservación. La solución fue conservada en una refrigeradora a 4° C.

$$\text{Solucion intemedia} = 100 \text{ ml (100\%)}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ (puro)} = 1 \text{ ml (1\%)}$$

- Se preparó una solución de plomo (Pb) a concentración de 5 ppm para la calibración del equipo a partir de la solución intermedia. Se usó una fiola de 50 ml y se aforó con agua ultra pura.

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 5 \text{ ppm}$$

$$V1 = 2.5 \text{ ml}$$

*Se agregó 1 ml de ácido nítrico (HNO₃) en 1%

- Se preparó soluciones de plomo (Pb) a 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm y 15 ppm para la construcción de la curva de calibración a partir de la solución intermedia. Se usó fiolas de 50 ml y se aforó con agua ultra pura.

Concentración a 0 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 0 \text{ ppm}$$

$$V1 = 0 \text{ ml}$$

Concentración a 5 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 5 \text{ ppm}$$

$$V1 = 2.5 \text{ ml}$$

Concentración a 10 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 10 \text{ ppm}$$

$$V1 = 5 \text{ ml}$$

Concentración a 15 ppm (Fiola de 50 ml)

$$V1 * C1 = v1 * c1$$

$$V1 * 100 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} * 15 \text{ ppm}$$

$$V1 = 7.5 \text{ ml}$$

- Se agregó ácido nítrico (HNO_3) en 1% a cada una de las soluciones preparadas para su conservación

$$50 \text{ ml} = 100\%$$

$$X = 1 \% \text{ ml}$$

$$\text{HNO}_3 = 0.5 \text{ ml}$$

*Se agregó 0.5 ml de ácido nítrico (HNO_3) en 1%

- Construida la línea de calibración de plomo (Pb) se inició con la lectura de muestras que se encuentran en los tubos de polipropileno de 50 ml. Se obtuvo dos tubos con muestras. Cada tubo se lecturo por triplicado, obteniendo 06 lecturas.

Figura 19

Lectura de Plomo (Pb) en la Biomasa

Microbiana



Fuente: Elaboración propia

3.5.3.3 Prueba de proporción óptima de la biomasa microbiana para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb)

A. Proporción óptima de biomasa microbiana para cobre (Cu)

- Se preparó soluciones de cobre (Cu) en 10 vasos precipitados de 600 ml a una concentración de 2 ppm cada una, a partir de un estándar de cobre (Cu) en su concentración original a 1000 ppm. Para hallar la cantidad en mililitros de estándar de cobre (Cu) puro a añadir se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 2 \text{ ppm} \times 600 \text{ ml}$$

$$V_1 = 1.2 \text{ ml}$$

Donde:

V1= Volumen del estándar en su concentración original a adicionar para la preparación de la solución (ml)

C1= Concentración del estándar madre (ppm)

v1= Volumen de solución a preparar (ml)

c1= Concentración de solución a preparar (ppm)

- Se añadió 1.2 ml del estándar de cobre (Cu) en su concentración original y se aforó hasta 600 ml con agua ultra pura en cada uno de los vasos precipitados.
- Se agitó la solución con una bureta y se añadió diferentes proporciones de biomasa microbiana a cada uno de los vasos como muestra la tabla 13. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente de 14° C, agitados durante 24 horas a 150 rpm con un pH de 2.82.

Tabla 13

Proporciones de Biomasa Microbiana (g) en la Prueba de Biomasa Óptima para Cobre (Cu).

Numero de Vasos	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Tiempo de Contacto (h)	Velocidad de Rotores (rpm)
1	3		
2	6		
3	9		
4	12		
5	15		
6	18	24	150
7	21		
8	24		
9	27		
10	30		

Fuente: Elaboración propia

- Se ubicó cada vaso precipitado con cobre (Cu) a 2 ppm y proporción de biomasa microbiana de forma adecuada en la prueba de jarras.
- Se programó para un tiempo de 24 horas y una velocidad de 150 RPM (Santos, 2010).
- Una vez cumplido el tiempo establecido se retiró los 10 vasos precipitados de la prueba de jarras y se dejó sedimentar por un tiempo de 15 minutos.
- Se filtró las muestras de los vasos con papel Quality N° 41 en tubos de polipropileno de 50 ml.

Este procedimiento se llevó a cabo por duplicado para cada vaso. Obteniendo 20 tubos con muestras.

- Se procedió a lecturar los parámetros básicos de pH y conductividad eléctrica en cada una de las muestras de los tubos de polipropileno.
- Se adicionó 2 ml de Ácido Nítrico (HNO_3) y 1 ml Ácido Clorhídrico (HCl) a una concentración de 50 % a cada uno de los tubos.

$(\text{HNO}_3) \longrightarrow 2 \text{ ml (1:1)}$

$(\text{HCl}) \longrightarrow 1 \text{ ml (1:1)}$

Preparación de HNO_3 al 50 % (1:1) para 20 tubos de polipropileno.

HNO_3 al 50% (1:1) = 20 ml (HNO_3) + 20 ml
(Agua ultra pura)

HNO_3 al 50% (1:1) = 40 ml

Preparación de HCl al 50% (1:1) para 20 tubos de polipropileno

HCl al 50% (1:1) = 10 ml (HCl) + 10 ml (Agua
ultra pura)

HCl al 50% (1:1) = 20 ml

- Se llevó las muestras al equipo HOTBLOOK para su digestión a una temperatura de 95°C durante 3 horas.
- Se dejó enfriar las muestras y se procedió a lecturar mediante el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo de llama (FLAA).

B. Proporción óptima de biomasa microbiana para plomo (Pb)

- Se preparó soluciones de plomo (Pb) en 10 vasos precipitados de 600 ml a una concentración de 5 ppm cada una, a partir de un estándar de plomo (Pb) en su concentración original a 1000 ppm.

Para hallar la cantidad en mililitro de estándar de plomo (Pb) puro a añadir se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$
$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 5 \text{ ppm} \times 600 \text{ ml}$$
$$V_1 = 3 \text{ ml}$$

Donde:

V1= Volumen del estándar en su concentración original a adicionar para la preparación de la solución (ml)

C1= Concentración del estándar madre (ppm)

v1= Volumen de solución a preparar (ml)

c1= Concentración de solución a preparar (ppm)

- Se añadió 3 ml del estándar de plomo (Pb) en su concentración original de 1000 ppm y se aforó en un vaso precipitado hasta 600 ml con agua ultra pura para cada uno de los vasos.
- Se agitó la solución con una bureta y se añadió diferentes proporciones de biomasa microbiana a cada uno de los vasos precipitados como muestra la tabla 14. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente de 13° C, agitados durante 24 horas a 150 RPM con un pH de 3.43.

Tabla 14

Proporciones de Biomasa Microbiana (g) en la Prueba de Biomasa Óptima para Plomo (Pb)

Numero de Vasos	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Tiempo de Contacto (h)	Velocidad de Rotores (rpm)
1	3		
2	6		
3	9		
4	12		
5	15		
6	18	24	150
7	21		
8	24		
9	27		
10	30		

Fuente: Elaboración propia

- Se ubicó cada vaso precipitado con plomo (Pb) a 5 ppm y proporción de biomasa microbiana de forma adecuada en la prueba de jarras.
- Se programó para un tiempo de 24 horas y una velocidad de 150 RPM (Santos, 2010).
- Una vez cumplido el tiempo establecido se retiró los 10 vasos precipitados de la prueba de jarras y se dejó sedimentar por un tiempo de 15 minutos.
- Las muestras de los vasos se filtraron con papel Quality N° 41 en tubos de polipropileno de 50 ml.

Este procedimiento se llevó a cabo por duplicado en cada vaso. Obteniendo 20 tubos con muestras.

- Se procedió a lecturar los parámetros básicos de pH y conductividad eléctrica en cada una de las muestras de los tubos de polipropileno.
- Se adicionó 2 ml de ácido nítrico (HNO_3) y 1 ml ácido clorhídrico (HCl) a una concentración de 50 % a cada uno de los tubos.

$(\text{HNO}_3) \longrightarrow 2 \text{ ml (1:1)}$

$(\text{HCl}) \longrightarrow 1 \text{ ml (1:1)}$

Preparación de HNO_3 al 50% (1:1) para 20 tubos de polipropileno

HNO_3 al 50% (1:1) = 20 ml (HNO_3) + 20 ml
(Agua ultra pura)

HNO_3 al 50% (1:1) = 40 ml

Preparación de HCl al 50% (1:1) para 20 tubos de polipropileno

HCl al 50% (1:1) = 10 ml (HCl) + 10 ml (Agua ultra pura)

HCl al 50% (1:1) = 20 ml

- Las muestras se llevaron al equipo HOTBLOOK para su digestión a una temperatura de 95°C durante 3 horas.
- Se dejó enfriar las muestras y se procedió a lecturar mediante el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA).

3.5.3.4 Prueba de tiempo óptimo de contacto para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb)

A. Prueba de tiempo óptimo de contacto para cobre (Cu):

- Se preparó soluciones de cobre (Cu) en 10 vasos precipitados de 600 ml a una concentración de 2 ppm cada una, a partir de un estándar de cobre (Cu) en su concentración original a 1000 ppm.

Para hallar la cantidad en mililitro de estándar de cobre (Cu) puro a añadir se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 2 \text{ ppm} \times 600 \text{ ml}$$

$$V_1 = 1.2 \text{ ml}$$

Donde:

V1= Volumen de estándar en su concentración original a adicionar para la preparación de la solución (ml)

C1= Concentración del estándar madre (ppm)

v1= Volumen de solución a preparar (ml)

c1= Concentración de solución a preparar (ppm)

- Se añadió 1.2 ml del estándar de cobre (Cu) en su concentración original y se aforó hasta 600 ml con agua ultra pura.
- Se añadió a cada vaso 27 gramos de biomasa microbiana obtenida y seleccionada de la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana de cobre (Cu) y plomo (Pb).
- Se agitó la solución con ayuda de una bureta y se ubicó cada vaso precipitado con cobre (Cu) y biomasa microbiana de 27 gramos de forma

adecuada en la prueba de jarras. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente de 11° C

- Cada vaso se programó para un intervalo de tiempo como muestra la tabla 15 y una velocidad de 150 RPM (Santos, 2010).

Tabla 15

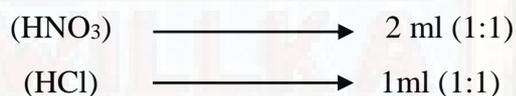
Intervalos de Tiempo de Contacto (h) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Cobre (Cu).

Numero de Vasos	Tiempo de Contacto (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Velocidad de Rotores (rpm)
1	3		
2	6		
3	9		
4	12		
5	15		
6	18	27	150
7	21		
8	24		
9	27		
10	30		

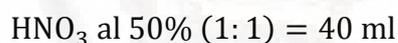
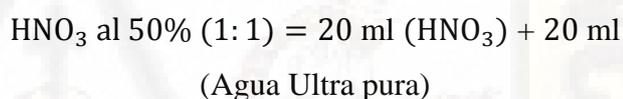
Fuente: Elaboración propia

- Una vez cumplido el tiempo establecido según muestra la tabla 15 se procedió a sacar los vasos progresivamente y se dejó sedimentar por un tiempo de 15 minutos cada uno.

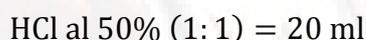
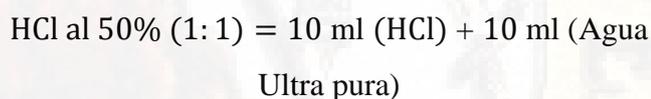
- Se filtró las muestras con papel Quality N° 41 en tubos de polipropileno de 50 ml. Este procedimiento se llevó a cabo por duplicado. Obteniendo 20 tubos con muestras.
- Se procedió a lecturar los parámetros básicos de pH y conductividad eléctrica de cada una de las muestras de los tubos de polipropileno.
- Se adicionó 2 ml de Ácido Nítrico (HNO₃) y 1 ml Ácido Clorhídrico (HCl) a una concentración de 50 % a cada uno de los tubos.



Preparación de HNO₃ al 50% (1:1) para 20 tubos de polipropileno



Preparación de HCl al 50% (1:1) para 20 tubos de polipropileno



- Las muestras se llevaron al equipo HOTBLOOK para su digestión a una temperatura de 95° C durante 3 horas.
- Se dejó enfriar las muestras y se procedió a lecturar mediante el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA).
- Cada muestra que se obtuvo según el tiempo programado fue conservada con soluciones de ácido nítrico (HNO₃) y ácido clorhídrico (HCl) al

instante después de tomar la lectura de los parámetros básicos para posteriormente digerirla y evitar alteraciones en la muestra.

B. Prueba de tiempo óptimo de contacto para plomo (Pb)

- Se preparó soluciones de plomo (Pb) en 10 vasos precipitados de 600 ml a una concentración de 5 ppm cada una, a partir de un estándar de plomo (Pb) en su concentración original a 1000 ppm.

Para hallar la cantidad en mililitro de estándar de plomo (Pb) puro a añadir se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 5 \text{ ppm} \times 600 \text{ ml}$$

$$V_1 = 3 \text{ ml}$$

Donde:

V1= Volumen de estándar en su concentración original a adicionar para la preparación de la solución (ml)

C1= Concentración del estándar madre (ppm)

v1= Volumen de solución de a preparar (ml)

c1= Concentración de solución a preparar (ppm)

- Se añadió 3 ml del estándar de plomo (Pb) en su concentración original de 1000 ppm y se aforó hasta 600 ml con agua ultra pura.
- Se añadió a cada vaso 27 g de biomasa microbiana obtenida y seleccionada de la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana de plomo (Pb) y cobre (Cu).
- Se agitó la solución con ayuda de una bureta y se ubicó cada vaso precipitado con plomo (Pb) y

biomasa microbiana de 27 gramos de forma adecuada en la prueba de jarras. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente de 12° C

- Cada vaso se programó para un intervalo de tiempo como muestra la tabla 16 y una velocidad de 150 RPM (Santos, 2010).

Tabla 16

Intervalos de Tiempo de Contacto (h) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Plomo (Pb).

Numero de Vasos	Tiempo de Contacto (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Velocidad de Rotores (rpm)
1	3		
2	6		
3	9		
4	12		
5	15		
6	18	27	150
7	21		
8	24		
9	27		
10	30		

Fuente: Elaboración propia

- Una vez cumplido el tiempo establecido según muestra la tabla 16 se procedió a sacar los vasos

progresivamente y se dejó sedimentar por un tiempo de 15 minutos cada uno.

- Cada muestra fue filtrada con papel Quality N° 41 en tubos de polipropileno de 50 ml. Este procedimiento se llevó a cabo por duplicado. Obteniendo 20 tubos con muestras.
- Se procedió a lecturar los parámetros básicos de pH y conductividad eléctrica de cada una de las muestras de los tubos de polipropileno.
- Se adicionó 2 ml de Ácido Nítrico (HNO_3) y 1 ml Ácido Clorhídrico (HCl) a una concentración de 50% a cada uno de los tubos.

$(\text{HNO}_3) \longrightarrow 2 \text{ ml (1:1)}$

$(\text{HCl}) \longrightarrow 1 \text{ ml (1:1)}$

Preparación de HNO_3 al 50% (1:1) para 20 tubos de polipropileno

HNO_3 al 50% (1: 1) = 20ml (HNO_3) +
20 ml (Agua ultra pura)

HNO_3 AL 50% (1: 1) = 40 ml

Preparación de HCl al 50% (1:1) para 20 tubos de polipropileno

HCl al 50% (1: 1) = 10 ml (HCl) + 10 ml (Agua ultra pura)

HCl al 50% (1: 1) = 20 ml

- Las muestras se llevaron al equipo HOTBLOOK para su digestión a una temperatura de 95°C durante 3 horas.
- Se dejó enfriar las muestras y se procedió a lecturar mediante el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA).

- Cada muestra que se obtuvo según el tiempo programado fue conservada con soluciones de ácido nítrico (HNO_3) y ácido clorhídrico (HCl) al instante después de tomar la lectura de los parámetros básicos para posteriormente digerarla y evitar alteraciones en la muestra.

3.5.3.5 Prueba para un sistema multi-componente con metales de cobre (Cu) y plomo (Pb)

- Se agregó 600 ml de muestra de agua contaminada con relaves mineros en un vaso precipitado.
- Se agregó 27 gramos de biomasa microbiana determinada anteriormente como proporción óptima.
- Se mezcló con una bureta con movimientos lentos.
- Se colocó en la prueba de jarras a 150 rpm a un tiempo de 3 horas determinada anteriormente como tiempo óptimo de contacto.
- Cumplido el tiempo establecido se retiró el vaso precipitado de la prueba de jarras y se dejó sedimentar durante 15 minutos.
- Se filtró las muestras de los vasos con papel Quality N° 41 en tubos de polipropileno de 50 ml. Este procedimiento se llevó a cabo por duplicado. Obteniendo 2 tubos con muestras.
- Se procedió a lecturar los parámetros básicos de pH y conductividad eléctrica en cada una de las muestras de los tubos de polipropileno.
- Se adicionó 2 ml de Ácido Nítrico (HNO_3) y 1 ml Ácido Clorhídrico (HCl) a una concentración de 50 % a cada uno de los tubos.

(HNO_3) \longrightarrow 2 ml (1:1)

(HCl) \longrightarrow 1ml (1:1)

Preparación de HNO₃ al 50 % (1:1) para 2 tubos de polipropileno.

HNO₃ al 50% (1:1) = 2 ml (HNO₃) + 2 ml

(Agua ultra pura)

HNO₃ al 50% (1:1) = 4 ml

Preparación de HCl al 50% (1:1) para 2 tubos de polipropileno

HCl al 50% (1:1) = 1 ml (HCl) + 1 ml (Agua ultra pura)

HCl al 50% (1:1) = 2 ml

- Se llevó las muestras al equipo HOTBLOOK para su digestión a una temperatura de 95° C durante 3 horas.
- Se dejó enfriar las muestras y se procedió a lecturar mediante el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo de llama (FLAA).

3.5.3.6 Parámetros de medición

A. Caudal

El caudal fue determinado por medio del método del Flotador según el “**Protocolo de Monitoreo de Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales de la Dirección de Ecología y Protección del Ambiente, Área de Protección de los Recursos Hídricos- DIGESA**”.

Procedimiento:

El método del flotador se utiliza cuando no se cuenta con equipos de medición y para este fin se tiene que conocer el área de la sección y la velocidad del agua. Para medir la velocidad se utilizó un flotador, con el que se midió la velocidad del agua de la superficie,

pudiendo utilizarse como flotador cualquier cuerpo pequeño que flote.

El cálculo consiste en:

$$V = \frac{e}{t}$$
$$Q = A \times V$$

Donde:

A: Área de la sección transversal (m²)

Q: Caudal (m³/s)

V: Velocidad (m/s)

e: Espacio recorrido en metros por el flotador (m)

t: Tiempo de recorrido del flotador (s)

B. Biomasa óptima

La biomasa óptima fue determinada por medio de la prueba de Análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de medias de Tukey con unidad de medida en gramos (g).

C. Tiempo óptimo

El tiempo óptimo fue determinado por medio de la prueba de Análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de medias Tukey con unidad de medida en horas (h).

D. Concentración de metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) en la biomasa microbiana seca (Cc, Cp)

La concentración de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) en la biomasa microbiana seca (biosorbente) se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica tipo llama (FLAA) en unidades de partes por millón (ppm).

E. Concentración de cobre (Cu) en biomasa microbiana seca (Cc)

En el análisis de la concentración de cobre (Cu) en la biomasa seca se obtuvo 0.2211 ppm de cobre (Cu) en 5 gramos de biomasa microbiana seca.

Para obtener la concentración de cobre (Cu) en una cantidad determina de biomasa microbiana seca se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_c = \frac{M \times 0.2211}{5}$$

Donde:

Cc: Concentración de cobre (Cu) en la biomasa microbiana seca (ppm)

M: Peso de la biomasa microbiana seca (g)

F. Concentración de plomo (Pb) en biomasa microbiana seca (Cp)

En el análisis de la concentración de plomo (Pb) en la biomasa seca se obtuvo 0.1875 ppm de plomo (Pb) en 5 gramos de biomasa microbiana seca.

Para obtener la concentración de plomo (Pb) en una cantidad determina de biomasa microbiana seca se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_p = \frac{M \times 0.1875}{5}$$

Donde:

Cp: Concentración de plomo (Pb) en la biomasa microbiana seca (ppm)

M: Peso de la biomasa microbiana seca (g)

G. Concentración total de cobre (Cu) inicial (Cci)

La concentración total de cobre (Cu) inicial a biosorber con la biomasa microbiana será la concentración de cobre (Cu) en la solución o muestra

de agua más la concentración de cobre (Cu) en la biomasa microbiana seca (biosorbente).

$$C_{ci} = C_{cs} + C_c$$

$$C_{ci} = C_{Cs} + \frac{M \times 0.2211}{5}$$

Donde:

C_{ci} : Concentración total de cobre (Cu) inicial a tratar (ppm)

C_{cs} : Concentración de cobre (Cu) en solución o muestra de agua (ppm)

C_c : Concentración de cobre (Cu) en la biomasa microbiana seca (ppm)

H. Concentración total de plomo (Pb) inicial (C_{pi})

La concentración total de plomo (Pb) inicial a biosorber con la biomasa microbiana será la concentración de plomo (Pb) en la solución o muestra de agua más la concentración de plomo (Pb) en la biomasa microbiana seca (biosorbente).

$$C_{pi} = C_{ps} + C_p$$

$$C_{pi} = C_{ps} + \frac{M \times 0.1875}{5}$$

Donde:

C_{pi} : Concentración total de plomo (Pb) a tratar (ppm)

C_{ps} : Concentración de plomo (Pb) en solución o muestra de agua (ppm)

C_p : Concentración de plomo (Pb) en la biomasa microbiana seca (ppm)

I. Concentración final de los metales de plomo (Pb) y cobre (Cu) después del tratamiento con el biosorbente (C_{cf} y C_{pf})

La concentración final de los metales de plomo (Pb) y cobre (Cu) después del tratamiento con la

biomasa microbiana en solución o muestras de agua se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica (FLAA) en unidades de partes por millón (ppm).

J. Cantidad de cobre (Cu) biosorbido (Mc)

La cantidad de cobre (Cu) biosorbido fue determinado mediante la diferencia entre la concentración total inicial de cobre (Cu) antes de la biosorción y la concentración final después de la biosorción.

$$Mc = Cci - Ccf$$

Donde:

Mc: Cantidad de metal biosorbido (ppm)

Cci: Concentración inicial de cobre (Cu) a biosorber en solución (ppm)

Ccf: Concentración final de cobre (Cu) en solución (Cu) (ppm)

K. Cantidad de plomo (Pb) biosorbido (Mp)

La cantidad de plomo (Pb) biosorbido fue determinado mediante la diferencia entre la concentración inicial de plomo (Pb) antes de la biosorción y la concentración final después de la biosorción.

$$Mp = Cpi - Cpf$$

Donde:

Mp: Cantidad de metal biosorbido (ppm)

Cpi: Concentración inicial de plomo (Pb) a biosorber en solución (ppm)

Cpf: Concentración final de plomo (Pb) en solución (ppm)

L. Capacidad de biosorción (q_e) para cobre (Cu)

La cantidad de iones de metal retenidos o biosorbido por el biosorbente que se interpreta como miligramos de ion metálico biosorbido por gramo de biomasa microbiana seca se determinó mediante:

$$q_e = \frac{(C_{ci} - C_{cf})}{M} \times v$$

Donde:

q_e : Capacidad de biosorción (mg/g)

C_{ci} : Concentración total de cobre (Cu) inicial a tratar en solución (ppm)

C_{cf} : Concentración final de cobre (Cu) en solución (ppm)

M: Peso de la biomasa microbiana seca (g)

v: Volumen de la solución (l)

M. Capacidad de biosorción (q_e) para plomo (Pb)

La cantidad de iones de metal retenidos o biosorbido por el biosorbente que se interpreta como miligramos de ion metálico biosorbido por gramo de biomasa microbiana seca se determinó mediante:

$$q_e = \frac{(C_{pi} - C_{pf})}{M} \times v$$

Donde:

q_e : Capacidad de biosorción (mg/g)

C_{pi} : Concentración total de plomo (Pb) inicial a tratar en solución (ppm)

C_{pf} : Concentración final de plomo (Pb) en solución (ppm)

M: Peso de la biomasa microbiana seca (g)

v: Volumen de la solución (l)

N. Eficiencia de biosorción (R) para cobre (Cu)

Eficiencia de eliminación de iones metálicos por el biosorbente (%) se determinó mediante:

$$\% R = \frac{(C_{ci} - C_{cf})}{C_{ci}} \times 100$$

Donde:

R %: Eficiencia de remoción %

C_{ci}: Concentración total de cobre (Cu) inicial a tratar en solución (ppm)

C_{cf}: Concentración final de cobre (Cu) en solución (ppm)

O. Eficiencia de biosorción (R) para plomo (Pb)

Eficiencia de eliminación de iones metálicos por el biosorbente (%) se determinó mediante:

$$\% R = \frac{(C_{pi} - C_{pf})}{C_{pi}} \times 100$$

Donde:

R %: Eficiencia de remoción %

C_{pi}: Concentración total de plomo (Pb) inicial a tratar en solución (ppm)

C_{pf}: Concentración final de plomo (Pb) en solución (ppm)

3.6 Técnicas y procesamiento de análisis de datos

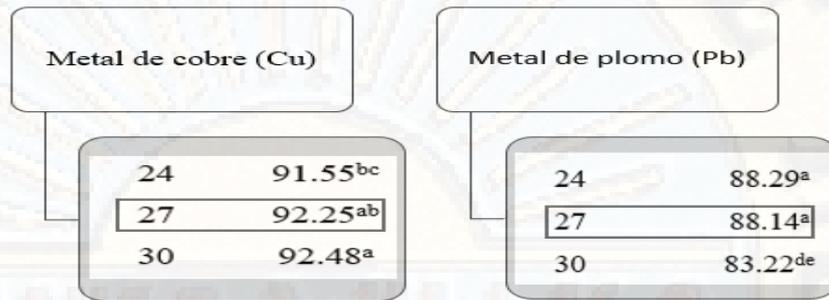
3.6.1 Técnica de análisis de datos

Proporción óptima de biomasa microbiana

La presente investigación tiene un diseño completamente al azar (DCA) para comparar los tratamientos de las diferentes proporciones de biomasa microbiana que se aplicó para la remoción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) con el objetivo de identificar una sola proporción óptima de biomasa microbiana que coincida en la biosorción máxima de ambos metales.

Figura 20

Elección de la Proporción Óptima de Biomasa Microbiana para la Biosorción de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)



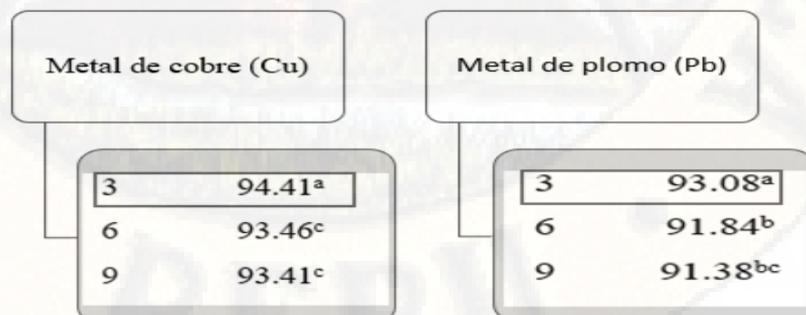
Fuente: Elaboración propia

Tiempo óptimo de contacto

La presente investigación tiene un diseño completamente al azar (DCA) para comparar los tratamientos con los diferentes tiempos de contacto que se aplicó con el objetivo de identificar un tiempo óptimo de contacto que coincida en la biosorción máxima de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) en un solo sistema.

Figura 21

Elección del Tiempo Óptimo de Contacto para la Biosorción de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

Eficiencia de biosorción

Para obtener la máxima eficiencia de biosorción se aplicó la proporción óptima de biomasa microbiana y tiempo óptimo de contacto en una muestra proveniente de relaves mineros que contenga los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) para obtener una máxima biosorción.

3.6.2 Procesamiento de datos

La información obtenida de la recolección de muestras en campo y pruebas de laboratorio de la presente tesis “**Biosorción de cobre (Cu) y Plomo (Pb) Provenientes de Relaves Mineros Mediante el Uso de Biomasa Microbiana, Mina Buenaventura-Julcani**” fueron procesadas por medio del programa Software Microsoft Excel 2019 para el manejo y organización de datos y el programa computacional SAS (Statistical Analysis Software) para la prueba de hipótesis en su versión de prueba gratuita, así mismo para el análisis de datos cuantitativos se creó una matriz de doble entrada para la variable independiente y dependiente.

Se hizo el uso del análisis de varianza de ANOVA con un Diseño Completamente al Azar (DCA) y se aplicó la prueba de homogeneidad y normalidad para posteriormente aplicar la prueba de Tukey y determinar entre que tratamientos hay significancia estadística e identificar cuál de las proporciones de biomasa microbiana y tiempos de contacto producen una máxima biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb). Se trabajó con un nivel confianza del 95% y relativamente con un nivel de significancia del 5 %.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de información

4.1.1 Análisis de la concentración de metales pesados de cobre (Cu), plomo (Pb) y parámetros básicos en los puntos de monitoreo de agua (P-1 y P-2).

En la tabla 17 se muestra los resultados de la concentración de cobre (Cu) en los puntos de muestreo, aguas arriba (P-1) y aguas abajo (P-2) del pozo de relaves (Estación EJ-16). Los análisis se realizaron con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA), con 6 repeticiones por cada muestra.

Tabla 17

Concentración de Cobre (Cu) en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)

Metal Analizado	Concentración (ppm)	
	P-1	P-2
Cobre (Cu)	0.2703	2.0336
	0.2802	2.0409
	0.2710	2.0549

	0.2717	2.0865
	0.2834	2.0944
	0.2656	2.0997
Promedio	0.2737	2.0683

Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 se observa que el cobre (Cu) en el primer punto de muestreo (P-1), antes del vertimiento de los relaves mineros tiene una concentración promedio de 0.2737 ppm, y como la concentración aumenta abruptamente 10 veces su valor en el en segundo punto de muestreo (P-2), después del vertimiento de los relaves mineros con un valor de 2.0683 ppm, este aumento de concentración ocurre debido a que el agua de la Quebrada Acchilla tiene un punto de unión aguas abajo con los efluentes del pozo de relaves mineros, además de existir fugas de este contaminante que son arrastrados por la lluvia hasta la quebrada.

Figura 22

Concentración de Cobre (Cu) en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 se muestra los resultados de la concentración de plomo (Pb) en los puntos de muestreo, aguas arriba (P-1) y aguas abajo (P-2) del pozo de relaves (Estación EJ-16). Los análisis se realizaron con 6 repeticiones por muestra con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA).

Tabla 18

Concentración de Plomo (Pb) en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)

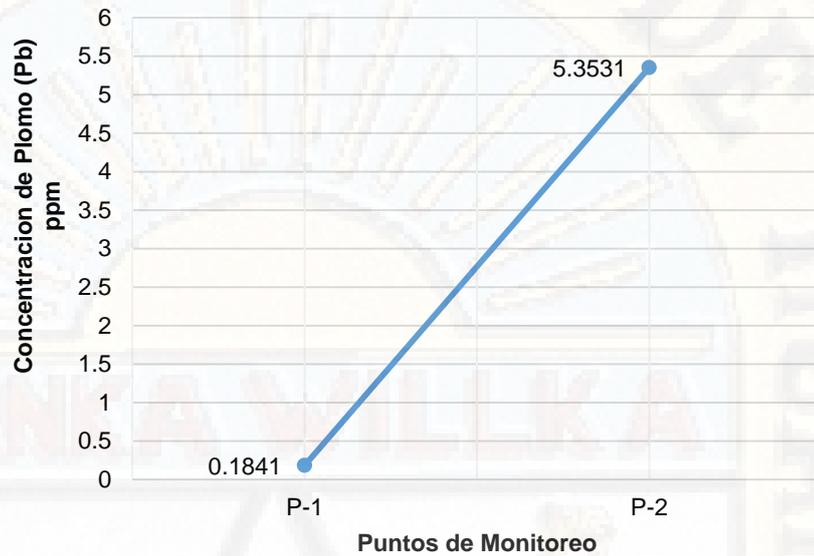
Metal Analizado	Concentración (ppm)	
	P-1	P-2
Plomo (Pb)	0.1932	5.6530
	0.1745	5.6181
	0.1924	5.5916
	0.1806	5.1133
	0.1718	5.0435
	0.1921	5.0993
Promedio	0.1841	5.3531

Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se observa que el plomo (Pb) en el primer punto de muestreo (P-1), antes del vertimiento de los relaves mineros tiene una concentración promedio de 0.1841 ppm y como la concentración aumenta abruptamente en 15 veces su valor en el segundo punto de muestreo (P-2), después del vertimiento de relaves mineros con una concentración promedio de 5.3531 ppm, este aumento ocurre debido a que el agua de la Quebrada Acchilla tiene un punto de unión aguas abajo con los efluentes del pozo de relaves mineros, además de existir fugas directas de este contaminante a la fuente de agua.

Figura 23

Concentración de Plomo en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 se muestra los datos de caudal mínimo, máximo y promedio de los puntos de muestreo de aguas arriba (P-1) y aguas abajo (P-2) del pozo de relaves mineros.

Tabla 19

Datos de Caudal en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2) de la Quebrada Acchilla – junio de 2019

Caudal de los Puntos de Monitoreo						
Und.	P-1			P-2		
	Min	Max	Prom	Min	Max	Prom
m ³ /día	59	5535	1590	5125	11724	7614
l/s	1	64	18	59	136	88

Fuente: Elaboración propia

En la figura 24 se muestra los datos de caudal del punto de muestreo de aguas arriba (P-1) con un valor de 1590 m³/día y del punto de muestreo de aguas abajo (P-2) con un valor 7614 m³/día. La diferencia de caudales se debe a que aguas abajo de la quebrada Acchilla existe un punto de unión con el efluente que proviene de la poza relavera. Dicho caudal supera al caudal de la Quebrada Acchilla.

Figura 24

Caudal en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2) de la Quebrada Acchilla.



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se muestra los datos de potencial de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica que se tomaron en los puntos de muestreo aguas arriba (P-1) y aguas abajo (P-2) del pozo de relaves.

Tabla 20

pH y Conductividad Eléctrica en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2) - junio de 2019

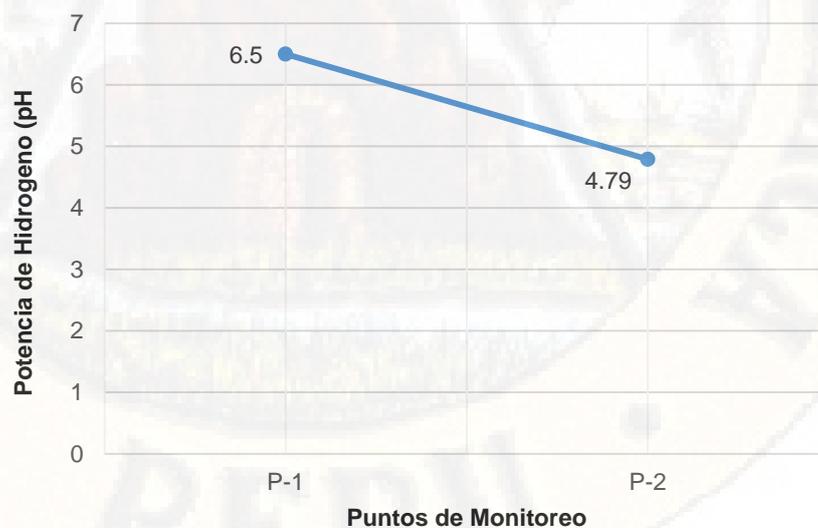
Puntos de Monitoreo	pH	Conductividad Eléctrica (us/cm)
P-1	6.5	404
P-2	4.79	3290

Fuente: Elaboración propia

En la figura 25 se puede observar un pH básico en el punto de muestreo (P-1), antes del vertimiento de relaves mineros con un valor de 6.50, mientras que en el punto de monitoreo después del vertimiento de relaves mineros (P-2) se observa un pH ácido con un valor de 4.79, este fenómeno ocurre debido a que aguas abajo (P-2) existe descargas de relaves mineros que básicamente contienen gran cantidad de metales pesados y por lo tanto tiene característica ácida.

Figura 25

pH en los Puntos de Muestreo (P-1 y P-2)

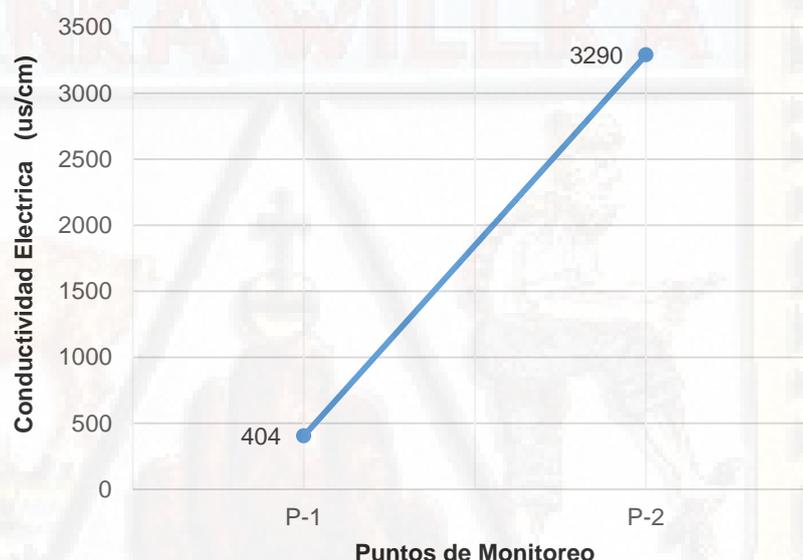


Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 se puede observar la conductividad eléctrica en el punto de muestreo antes del vertimiento de relaves mineros (P-1) con un valor de 404 us/cm y en el punto de monitoreo después del vertimiento de relaves mineros (P-2) con un valor de 3290 us/cm, la diferencia de conductividad eléctrica se debe al aumento de iones metálicos provenientes de los relaves mineros aguas abajo (P-2) del pozo de relaves.

Figura 26

Conductividad Eléctrica en los Puntos de Monitoreo (P-1 y P-2)



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Análisis de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) en la biomasa microbiana seca.

En la tabla 21 se muestra los datos de la concentración de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) obtenidos del análisis en 5 gramos de biomasa microbiana recolectada de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 21

Concentración de Cobre (Cu) y Plomo (Pb) en la Biomasa

Microbiana Seca

Peso de Biomasa Microbiana	Metales Analizados	Concentración de Metales (ppm)
5 g	Cobre (Cu)	0,2211
	Plomo (Pb)	0,1875

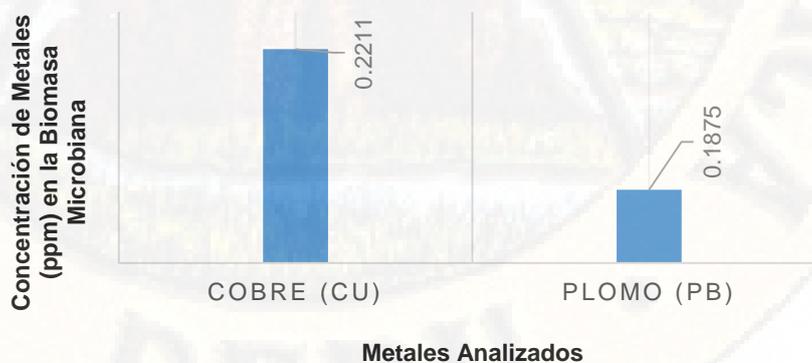
Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se muestra una concentración de 0.221 ppm del cobre (Cu) y 0.187 ppm de plomo (Pb) en 5 gramos de biomasa microbiana. Los metales presentes en la biomasa microbiana se deben a que las aguas residuales domesticas colectadas por la planta de tratamiento de aguas residuales contiene restos de metales procedentes de la de limpieza de metales de soldaduras, uso de cañerías de cobre, trabajos de recubrimientos y curados.

Figura 27

Concentración de Cobre (Cu) y Plomo (Pb) en la Biomasa

Microbiana



Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Variación del potencial de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica para la prueba de biomasa óptima (g) en la biosorción de cobre (Cu).

La tabla 22 muestra los resultados de pH y conductividad eléctrica en la biosorción de cobre (Cu) en función a la variación de las proporciones de biomasa microbiana. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente de 14° C, agitado durante 24 horas, pH inicial de 2.82 y conductividad eléctrica inicial de 411 us/cm.

Tabla 22

Variación del pH y Conductividad Eléctrica para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Cobre (Cu)

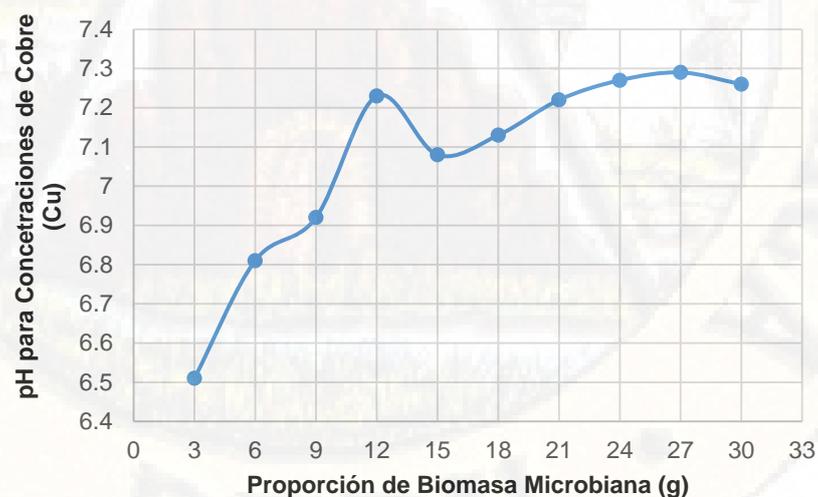
Parámetros Básicos			
Sin Tratamiento	pH Inicial	Conductividad Eléctrica inicial (us/cm)	
	2.82	411	
	Proporciones de Biomasa Microbiana (g)	pH	Conductividad Eléctrica (us/cm)
Con Tratamiento	3	6.51	500
	6	6.81	463
	9	6.92	502
	12	7.23	608
	15	7.08	707
	18	7.13	804
	21	7.22	885
	24	7.27	949
	27	7.29	1032
	30	7.26	1125

Fuente: Elaboración propia

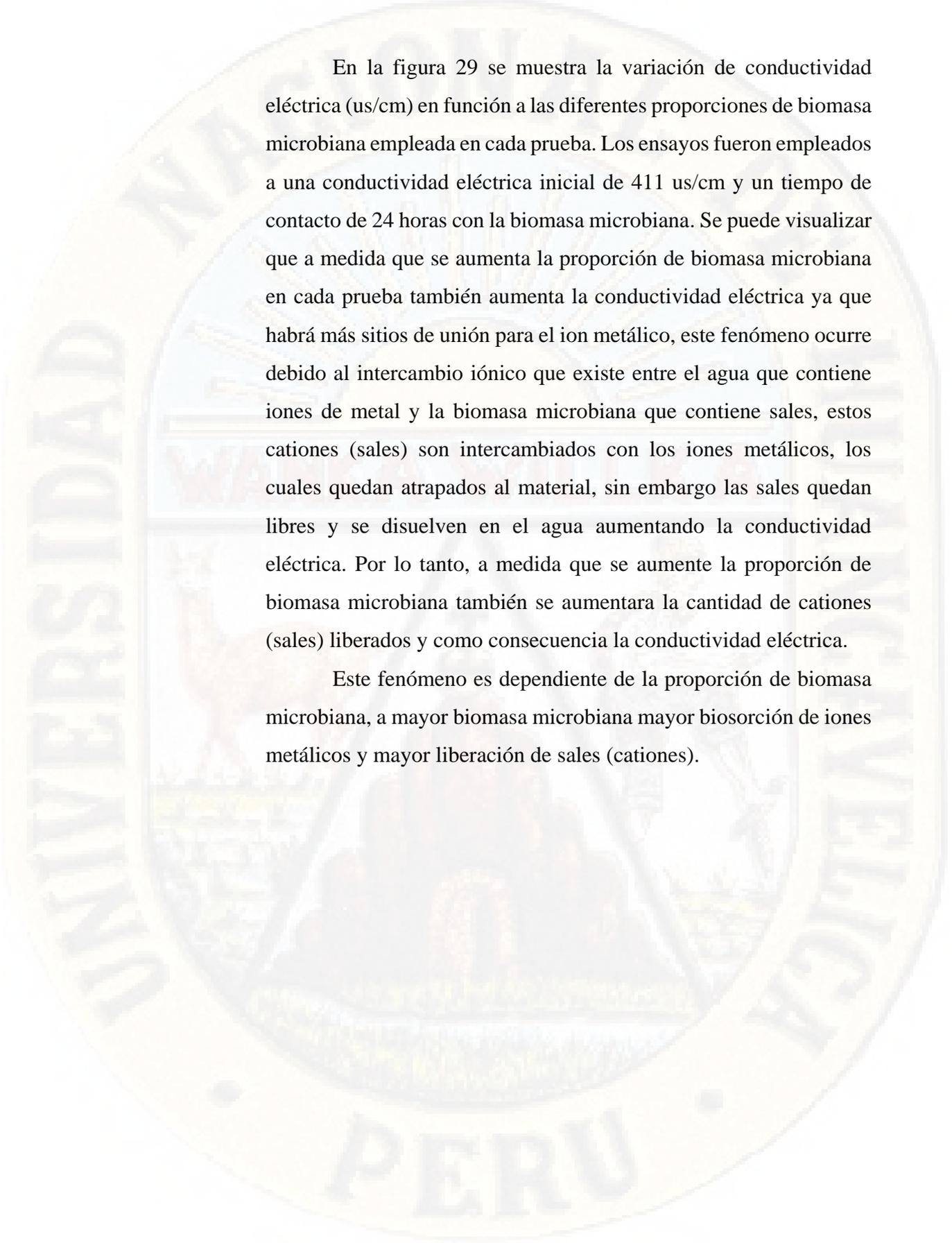
En la figura 28 se muestra la variación de pH en función a las diferentes proporciones de biomasa microbiana empleada en cada prueba. Los ensayos fueron realizados a un pH inicial ácido de 2.82 con un tiempo de contacto de 24 horas con la biomasa microbiana. Se puede visualizar que a medida que se aumenta la proporción de biomasa microbiana en cada prueba también aumenta el pH, indistintamente obteniendo al final un pH básico para todas las pruebas. Este fenómeno ocurre debido al intercambio iónico que se produce cuando la biomasa microbiana captura los iones metálicos del agua reduciendo su acidez y liberando otros iones en lugar de los capturados. Según Carmencita, Maria del Rosario, y Salvador (2010) indican que “Si el pH final es mayor al pH inicial, la reacción entre el agua y la superficie del biosorbente produce la liberación de OH incrementándose de esta manera el valor del pH final”.

Figura 28

Variación del pH para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

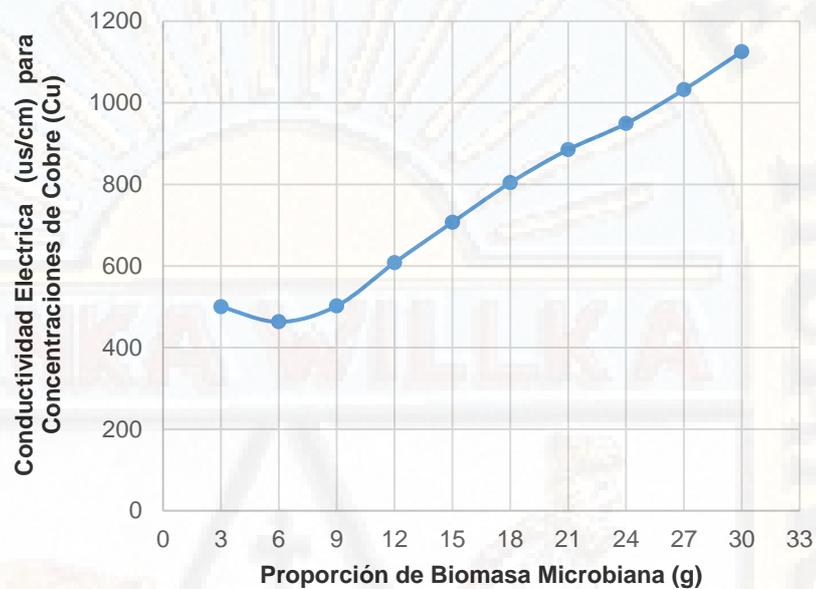


En la figura 29 se muestra la variación de conductividad eléctrica (us/cm) en función a las diferentes proporciones de biomasa microbiana empleada en cada prueba. Los ensayos fueron empleados a una conductividad eléctrica inicial de 411 us/cm y un tiempo de contacto de 24 horas con la biomasa microbiana. Se puede visualizar que a medida que se aumenta la proporción de biomasa microbiana en cada prueba también aumenta la conductividad eléctrica ya que habrá más sitios de unión para el ion metálico, este fenómeno ocurre debido al intercambio iónico que existe entre el agua que contiene iones de metal y la biomasa microbiana que contiene sales, estos cationes (sales) son intercambiados con los iones metálicos, los cuales quedan atrapados al material, sin embargo las sales quedan libres y se disuelven en el agua aumentando la conductividad eléctrica. Por lo tanto, a medida que se aumente la proporción de biomasa microbiana también se aumentara la cantidad de cationes (sales) liberados y como consecuencia la conductividad eléctrica.

Este fenómeno es dependiente de la proporción de biomasa microbiana, a mayor biomasa microbiana mayor biosorción de iones metálicos y mayor liberación de sales (cationes).

Figura 29

Variación de la Conductividad Eléctrica para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Variación del potencial de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica para la prueba de biomasa óptima (g) en la biosorción de plomo (Pb).

En la tabla 23 se observa los resultados de pH y conductividad eléctrica (us/cm) en la biosorción de plomo (Pb) en función a la variación de las proporciones de biomasa microbiana. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente de 14° C, agitado durante 24 horas a pH inicial de 3.43 y conductividad eléctrica inicial de 220 us/cm.

Tabla 23

Variación del pH y Conductividad Eléctrica para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Plomo (Pb)

Parámetros Básicos			
Sin Tratamiento	pH Inicial	Conductividad Eléctrica Inicial (us/cm)	
	3.43	220	
Con Tratamiento	Proporción de Biomasa Microbiana(g)	pH	Conductividad Eléctrica (us/cm)
	3	7.85	241
	6	7.92	354
	9	8.02	466
	12	7.85	574
	15	8.06	643
	18	7.99	751
	21	7.62	898
	24	7.87	946
	27	7.81	1053
30	7.86	1138	

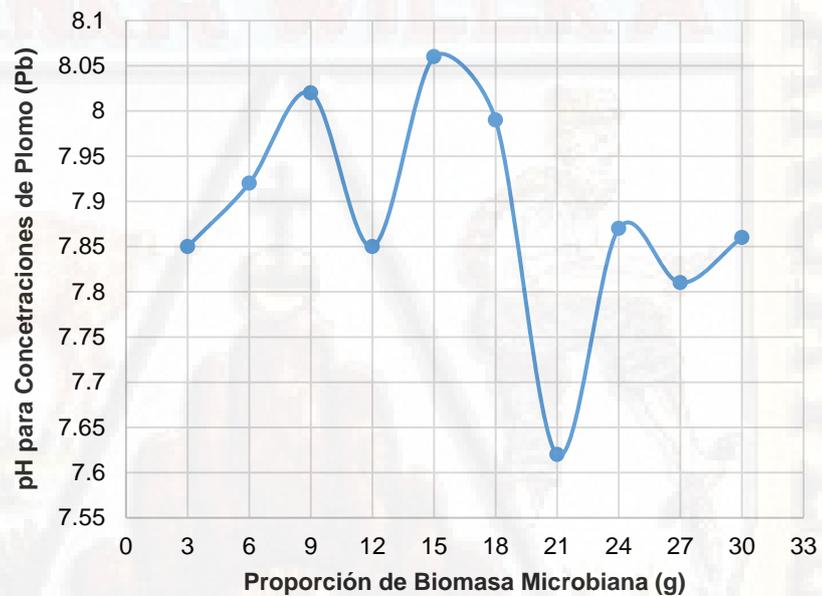
Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 muestra la variación de pH en función a las diferentes proporciones de biomasa microbiana empleada en cada prueba. Los ensayos fueron realizados a un pH ácido inicial de 3.43 y un tiempo de contacto de 24 horas con la biomasa microbiana. Se puede visualizar que todas las pruebas después del tratamiento con la biomasa microbiana sobrepasan el pH básico de 7.0 esto debido al intercambio iónico que se produce entre la biomasa microbiana y la muestra de agua con iones metálicos. Según Carmencita et al. (2010)

“Si el pH final es mayor al pH inicial, la reacción entre el agua y la superficie del biosorbente produce la liberación de OH^- incrementándose de esta manera el valor del pH final”. Por otro lado, el ion de plomo (Pb^{2+}) tiene gran afinidad para ligarse a la capa del biosorbente con un tiempo constante. Este fenómeno produce una biosorción de iones en los sitios activos de biosorción.

Figura 30

Variación del pH para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

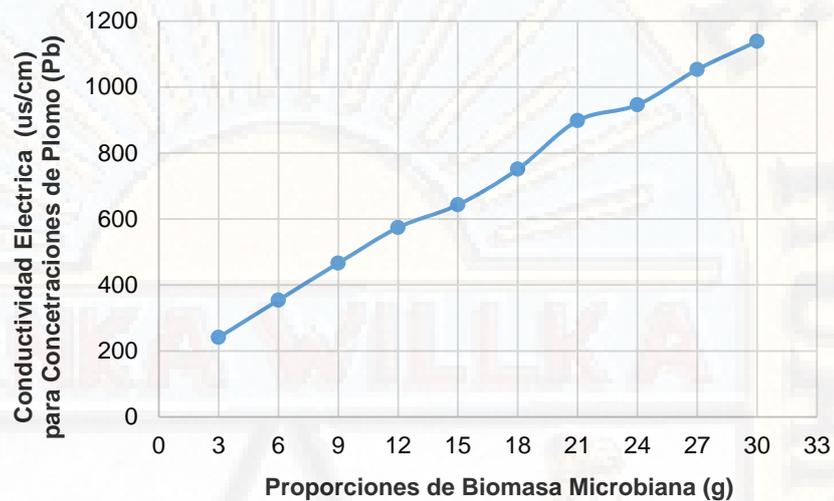
En la figura 31 se muestra la variación de conductividad eléctrica (us/cm) en función a las diferentes proporciones de biomasa microbiana empleada en cada prueba, los ensayos fueron realizados a una conductividad eléctrica inicial de 220 us/cm y un tiempo de contacto de 24 horas con la biomasa microbiana. Se puede visualizar que a medida que se aumenta la proporción de biomasa microbiana en cada prueba también aumenta la conductividad eléctrica debido a

que existen mayor cantidad de sitios de unión con los iones metálicos. Este fenómeno ocurre debido al intercambio iónico que existe entre el agua que contiene iones de metal y la biomasa microbiana que contiene sales. Estos cationes (sales) son intercambiados con los iones metálicos, los cuales quedan atrapados al material, sin embargo, las sales quedan libres y se disuelven en el agua aumentando la conductividad eléctrica. Por lo tanto, a medida que se aumente la proporción de biomasa microbiana también se aumentara la cantidad de cationes (sales) liberados y como consecuencia la conductividad eléctrica. Este fenómeno es dependiente de la proporción, a mayor biomasa microbiana mayor biosorción de iones metálicos y mayor liberación de sales (cationes).

Una de las propiedades de cobre (Cu) es que aumenta la conductividad eléctrica en un primer momento (intercambio iónico rápido) y tiene mayor dependencia con la proporción de biomasa microbiana (número de sitios activo) mientras que el plomo (Pb) requiere de un intervalo de tiempo mayor para encontrar un sitio activo de sorción (intercambio iónico lento) y mayor dependencia del tiempo de contacto. A mayor tiempo de contacto más sitios activos estarán siendo ocupados progresivamente.

Figura 31

Variación de la Conductividad Eléctrica para la Prueba de Biomasa Óptima (g) en la Biosorción de Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Variación del potencial de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica para la prueba de tiempo óptimo de contacto (h) en la biosorción de cobre (Cu)

En la tabla 24 se observa los resultados de pH y conductividad eléctrica en la biosorción de cobre (Cu) en función a la variación del tiempo de contacto. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente de 13° C, proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos obtenida de la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb), pH inicial de 3.14 y conductividad eléctrica inicial de 435 us/cm.

Tabla 24

Variación del pH y Conductividad Eléctrica para la Prueba de Tiempo Óptimo (h) en la Biosorción de Cobre (Cu)

Parámetros Básicos			
Sin Tratamiento	pH	Conductividad Eléctrica (us/cm)	
	3.14	435	
Con Tratamiento	Tiempo (h)	pH	
		Conductividad Eléctrica (us/cm)	
	3	6,94	1006
	6	7,65	943
	9	7,68	962
	12	7,42	964
	15	8,27	966
	18	8,29	971
	21	7,79	1006
	24	7,52	1043
27	7,75	1177	
30	7,39	1132	

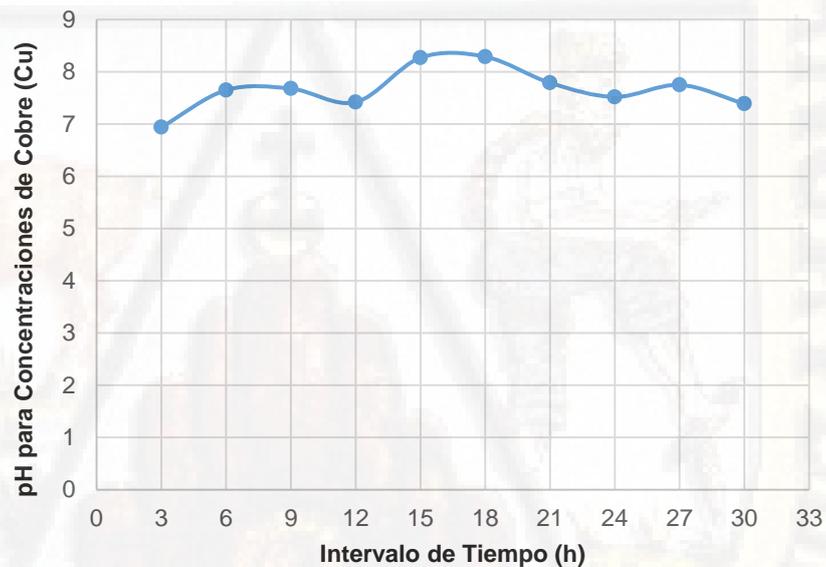
Fuente: Elaboración propia

En la figura 32 se puede visualizar la variación de pH en función a los diferentes intervalos de tiempo de contacto aplicado a cada prueba. Los ensayos fueron realizados a un pH inicial de 3.14 con la proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos determinada en las pruebas anteriores para cobre (Cu) y Plomo (Pb). Se observa que el pH de cada prueba no varía drásticamente debido a que se usó la misma proporción de biomasa microbiana en cada uno de los intervalos de tiempo. Además, que el cobre (Cu) es más

dependiente de la proporción de biomasa microbiana que del tiempo de contacto. A consecuencia de esto se produce una biosorción similar para todas las pruebas desde un primer momento. Carmencita et al. (2010) indica que “Si el pH final es mayor al pH inicial, la reacción entre el agua y la superficie del biosorbente produce la liberación de OH^- incrementándose de esta manera el valor del pH final”.

Figura 32

Variación del pH para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

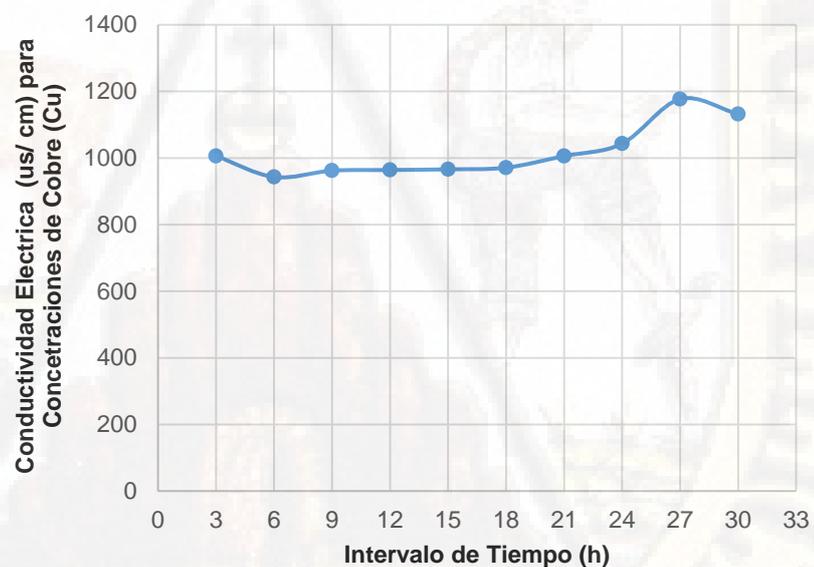
En la figura 33 se muestra la variación de conductividad eléctrica (us/cm) en función a los diferentes intervalos de tiempo aplicado a cada prueba. Los ensayos fueron realizados a una conductividad eléctrica inicial de 435 us/cm.

Se puede visualizar que no existe diferencias drásticas de conductividad eléctrica en cada prueba, debido a que se utilizó una sola proporción de biomasa microbiana óptima de 27 gramos en

todas las pruebas, la cual fue determinada en la prueba de biomasa óptima para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) y por medio del fenómeno de intercambio iónico la biomasa microbiana aplicada libera cationes (sales) por la captura de iones de cobre (Cu^{+2}) en cantidades similares en todas las pruebas. También se puede observar que el ion de cobre (Cu^{+2}) es biosorbido en un primer momento, siendo más dependiente de la variación de la proporción de biomasa microbiana que del tiempo de contacto a diferencia del plomo (Pb) que es dependiente del tiempo de contacto.

Figura 33

Variación de la Conductividad Eléctrica para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Variación del potencial de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica para la prueba de tiempo óptimo (h) en la biosorción de plomo (Pb).

En la tabla 25 se observa los resultados de pH y conductividad eléctrica en la biosorción de plomo (Pb) en función a

la variación del tiempo de contacto. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente de 14° C, proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos obtenida de la prueba de biomasa óptima para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb), pH inicial de 3.31 y conductividad eléctrica inicial de 812 us/cm.

Tabla 25

Variación del pH y Conductividad Eléctrica para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Plomo (Pb)

Parámetros Básicos		
Sin Tratamiento	pH	Conductividad Eléctrica (us/cm)
	3.31	812
Con Tratamiento		
Tiempo (h)	pH	Conductividad Eléctrica (us/cm)
3	8.59	838
6	8.38	875
9	8.35	894
12	8.10	894
15	8.14	902
18	8.08	941
21	8.10	925
24	8.19	967
27	7.94	961
30	8.07	987

Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 se muestra la variación de pH en función a los diferentes intervalos de tiempo de contacto aplicado a cada prueba. Los ensayos fueron realizados a un pH inicial de 3.31 con la proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos determinada en la prueba de biomasa óptima para cobre (Cu) y plomo (Pb).

En la figura 34 se puede visualizar que todos los pH de las muestras de agua después de tratamiento se encuentran alrededor de un pH básico de 8, debido a la proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos aplicada, que fue capaz de capturar los iones de plomo (Pb^{+2}) de la solución, reduciendo su acidez. Además de que el ion de plomo (Pb^{+2}) posee gran afinidad por la capa de la biomasa microbiana y busca todos los sitios activos de biosorción para ser ocupados progresivamente. También se puede observar que el plomo (Pb) tiene mayor relación con el tiempo de contacto, por ello el pH va oscilando a media que transcurre el tiempo, pasando por pequeñas absorción y desorciones.

Figura 34

Variación del pH para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

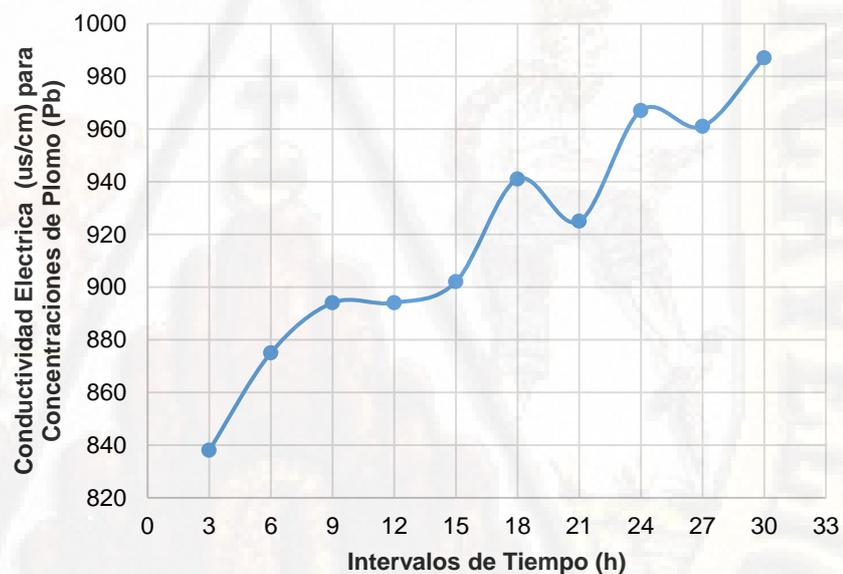
En la figura 35 se muestra la variación de conductividad eléctrica (us/cm) en función a los diferentes intervalos de tiempo aplicado a cada prueba. Los ensayos fueron realizados a una conductividad eléctrica inicial de 812 us/cm y biomasa microbiana óptima de 27 gramos para todas las pruebas.

Se puede visualizar que a medida que se aumenta el tiempo de contacto en cada prueba también aumenta la conductividad eléctrica, este fenómeno ocurre debido al intercambio iónico que existe entre el agua que contiene iones de metal y la biomasa microbiana que contiene sales, estos cationes (sales) son intercambiados con los iones metálicos, los cuales quedan atrapados al material, sin embargo, las sales quedan libres y se disuelven en el agua aumentando la conductividad eléctrica. Independiente del fenómeno de intercambio iónico la biomasa microbiana también puede liberar pequeñas cantidades de sales (cationes). Una de las

propiedades del plomo (Pb) es que la biosorción es progresiva y variante en el tiempo y por lo tanto la conductividad eléctrica oscila, a diferencia del cobre (Cu) que es más estable y no varía mucho en el transcurso del tiempo, además de tener una gran facilidad para ser biosorbido en un primer contacto en base a la proporción de biomasa microbiana. Así mismo se observa que a medida que transcurre el tiempo se producen fenómenos de biosorción y desorción en proporciones pequeñas entre el plomo (Pb) y la biomasa microbiana.

Figura 35

Variación de la Conductividad Eléctrica para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) en la Biosorción de Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

4.1.7 Potencial de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica en un sistema multi-componente de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros, mina Buenaventura.

En la tabla 26 se observa los resultados de pH y conductividad eléctrica en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) en un sistema multi-componente. Los ensayos fueron realizados con

un tiempo óptimo de contacto de 3 horas y proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos en las pruebas de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) determinados anteriormente, temperatura ambiente de 15° C, pH inicial de 4.79 y conductividad eléctrica inicial de 3290 us/cm.

Tabla 26

pH y Conductividad Eléctrica en un Sistema Multi-Componente que Contiene Metales de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)

Tratamientos	pH	Conductividad Eléctrica
Sin Tratamiento	4.79	3290 us/cm
Con Tratamiento	6.39	4040 us/cm

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36 se puede visualizar que no existe un cambio drástico del pH para un sistema multi-componente con metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) a comparación de las pruebas anteriores debido a que el agua contiene gran cantidad de metales pesados aparte de los estudiados, y un porcentaje de ellos son ligados a la biomasa microbiana dejando otro porcentaje de metales en solución. A comparación de un sistema mono-componente que contiene un solo metal pesados en la muestra de agua.

A pesar de tener una concentración de múltiples metales en la muestra de agua proveniente de relaves mineros se redujo la acidez del agua de un pH ácido de 4.79 a un pH básico de 6.39 después del tratamiento.

Figura 36

pH para un Sistema Multi-Componente que Contiene Metales de Cobre (Cu) y Plomo (Pb).

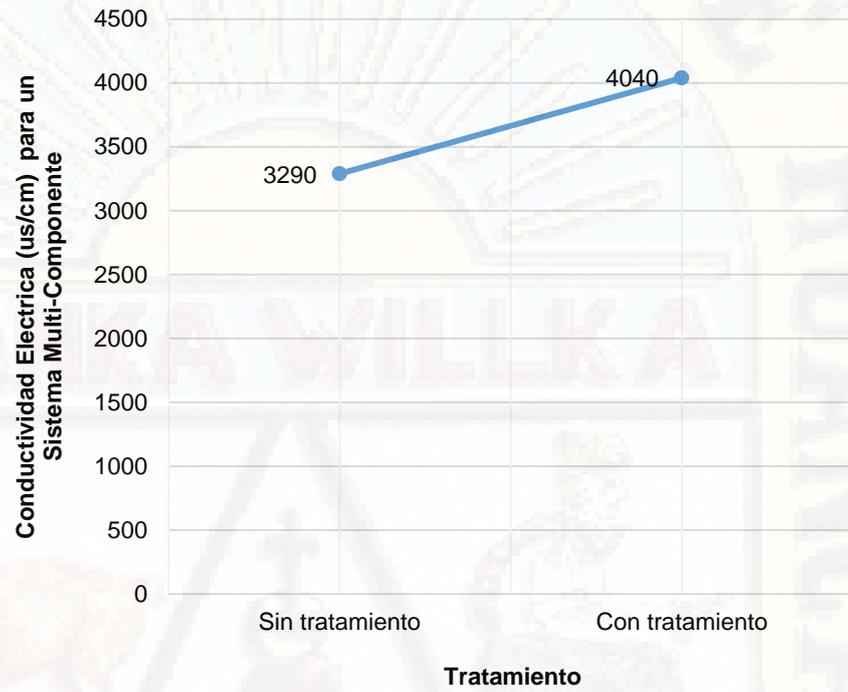


Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se puede visualizar un cambio no tan significativo de la conductividad eléctrica (us/cm) antes y después del tratamiento para un sistema multi-componente debido a que la biomasa microbiana solo captura cierta cantidad de metales pesados incluidos los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) que se encuentra dentro de la muestra de agua contaminada con relaves mineros, lo que produce un intercambio iónico en menor escala a comparación de las pruebas para un sistema mono-componente. Por lo tanto, la conductividad eléctrica que se incrementa después del tratamiento se debe al intercambio de sales (cationes) de la biomasa que se disuelven en el agua y los iones metálicos presentes en solución, produciendo un aumento de 3290 us/cm a 4040 us/cm.

Figura 37

Conductividad Eléctrica para un Sistema Multi-Componente que Contiene Metales de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

4.1.8 Eficiencia de biosorción (%) en la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de cobre.

La tabla 27 muestra los resultados de las pruebas realizadas con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA) en la eficiencia de biosorción de cobre (Cu) en función a la variación de las proporciones de biomasa microbiana. La concentración inicial para todas las soluciones de cobre (Cu) varía en base a la proporción de biomasa microbiana aplicada en cada prueba. Los experimentos fueron realizados a temperatura ambiente de 13° C con un tiempo de contacto de 24 horas a una velocidad de 150 rpm.

Tabla 27

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Cobre (Cu)

Eficiencia de Biosorción de Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	3	3,327	0,7434	2,5832	0,5166	77,65 %
24	3	3,327	0,7605	2,5661	0,5132	77,14 %
24	3	3,327	0,7701	2,5565	0,5113	76,85 %
24	3	3,327	0,7896	2,5370	0,5074	76,26 %
24	3	3,327	0,7917	2,5349	0,5070	76,20 %

Eficiencia de Biosorción de Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	3	3,327	0,7998	2,5268	0,5054	75,96 %
24	6	4,653	0,8145	3,8387	0,3839	82,50 %
24	6	4,653	0,8157	3,8375	0,3838	82,47 %
24	6	4,653	0,8170	3,8362	0,3836	82,44 %
24	6	4,653	0,8197	3,8335	0,3834	82,38 %
24	6	4,653	0,8115	3,8417	0,3842	82,56 %
24	6	4,653	0,9050	3,7482	0,3748	80,55 %
24	9	5,980	0,8784	5,1014	0,3401	85,31 %
24	9	5,980	0,8528	5,1270	0,3418	85,74 %
24	9	5,980	0,8803	5,0995	0,3400	85,28 %
24	9	5,980	0,9252	5,0546	0,3370	84,53 %
24	9	5,980	0,9017	5,0781	0,3385	84,92 %
24	9	5,980	0,9254	5,0544	0,3370	84,52 %
24	12	7,306	0,9475	6,3589	0,3179	87,03 %

Eficiencia de Biosorción de Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	12	7,306	0,9579	6,3485	0,3174	86,89 %
24	12	7,306	0,9645	6,3419	0,3171	86,80 %
24	12	7,306	0,9769	6,3295	0,3165	86,63 %
24	12	7,306	0,9654	6,3410	0,3171	86,79 %
24	12	7,306	0,9671	6,3393	0,3170	86,76 %
24	15	8,633	0,9220	7,7110	0,3084	89,32 %
24	15	8,633	0,9184	7,7146	0,3086	89,36 %
24	15	8,633	0,9178	7,7152	0,3086	89,37 %
24	15	8,633	0,9172	7,7158	0,3086	89,38 %
24	15	8,633	0,9525	7,6805	0,3072	88,97 %
24	15	8,633	0,9622	7,6708	0,3068	88,85 %
24	18	9,960	0,9850	8,9746	0,2992	90,11 %
24	18	9,960	0,9959	8,9637	0,2988	90,00 %
24	18	9,960	0,9801	8,9795	0,2993	90,16 %

Eficiencia de Biosorción de Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	18	9,960	0,9880	8,9716	0,2991	90,08 %
24	18	9,960	0,9919	8,9677	0,2989	90,04 %
24	18	9,960	0,9986	8,9610	0,2987	89,97 %
24	21	11,286	0,9430	10,3432	0,2955	91,64 %
24	21	11,286	0,9743	10,3119	0,2946	91,37 %
24	21	11,286	0,9787	10,3075	0,2945	91,33 %
24	21	11,286	0,9867	10,2995	0,2943	91,26 %
24	21	11,286	0,9910	10,2952	0,2941	91,22 %
24	21	11,286	0,9980	10,2882	0,2939	91,16 %
24	24	12,613	1,0480	11,5648	0,2891	91,69 %
24	24	12,613	1,0536	11,5592	0,2890	91,65 %
24	24	12,613	1,0604	11,5524	0,2888	91,59 %
24	24	12,613	1,0714	11,5414	0,2885	91,51 %
24	24	12,613	1,0799	11,5329	0,2883	91,44 %

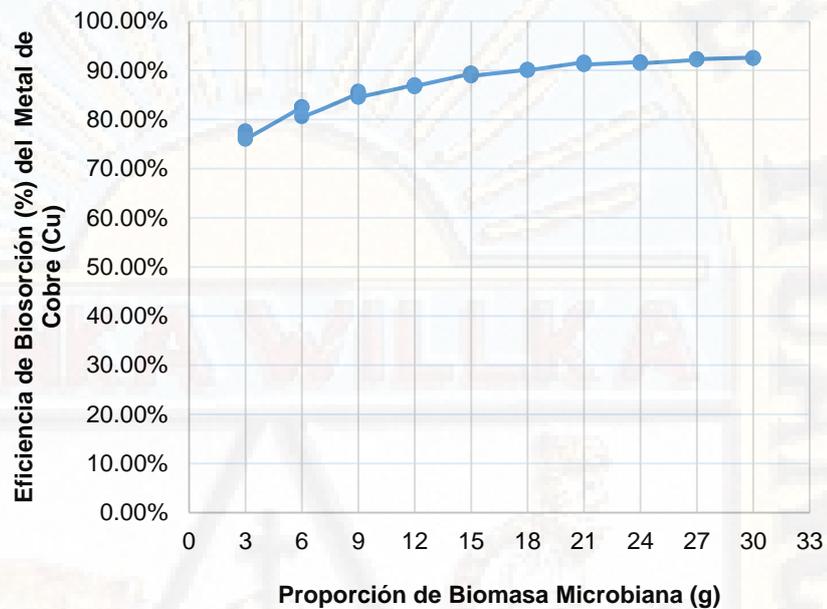
Eficiencia de Biosorción de Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	24	12,613	1,0827	11,5301	0,2883	91,42 %
24	27	13,939	1,0974	12,8420	0,2854	92,13 %
24	27	13,939	1,0781	12,8613	0,2858	92,27 %
24	27	13,939	1,0761	12,8633	0,2859	92,28 %
24	27	13,939	1,0744	12,8650	0,2859	92,29 %
24	27	13,939	1,0757	12,8637	0,2859	92,28 %
24	27	13,939	1,0771	12,8623	0,2858	92,27 %
24	30	15,266	1,1320	14,1340	0,2827	92,58 %
24	30	15,266	1,1501	14,1159	0,2823	92,47 %
24	30	15,266	1,1472	14,1188	0,2824	92,49 %
24	30	15,266	1,1456	14,1204	0,2824	92,50 %
24	30	15,266	1,1513	14,1147	0,2823	92,46 %
24	30	15,266	1,1551	14,1109	0,2822	92,43 %

Fuente: Elaboración propia

En la figura 38 se muestra el gráfico de la eficiencia de biosorción de cobre (Cu) en base a la variación de la proporción de biomasa microbiana. Se observa que, en las proporciones de 3 y 6 gramos de biomasa microbiana, primeros tiempos de contacto, existe una biosorción inicial de cobre (Cu) de manera significativa, de 76.67 % y 82.15 % respectivamente, para posteriormente continuar con una absorción continua y lenta hasta 30 gramos. La absorción es continua debido a que se aumentan la proporción de biomasa microbiana y por lo tanto existe mayor número de sitio de biosorción, y el proceso comienza a ser lento a medida que transcurre el tiempo porque la mayor cantidad de iones ya fueron capturados (biosorbido) en un primer contacto y por ende existe menor disponibilidad de sitios en el biosorbente, como consecuencia se disminuye progresivamente la concentración de soluto (ion de cobre) en la solución. Este proceso continúa hasta llegar a una eficiencia máxima de biosorción de 92.25 % y 92.48 % a los 27 y 30 gramos respectivamente. Además, se puede observar que la línea de biosorción no presenta fenómenos de desorción debido a que el cobre (Cu) es más estable y tiene la capacidad de ser biosorbido en gran porcentaje desde un primer momento de contacto, para continuar con una biosorción lenta y ascendente, entonces se puede decir que para la biosorción máxima de cobre (Cu) requiere como primer factor la proporción de biomasa microbiana y como segundo factor el tiempo de contacto, sin restarle importancia.

Figura 38

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28 se observa la prueba de medias Tuckey para comparar las medias de los tratamientos con diferentes proporciones de biomasa microbiana y obtener el mejor tratamiento para una mayor eficiencia de biosorción (%) de cobre (Cu). Se puede visualizar que los mejores tratamientos son los que usan proporciones de 27 y 30 gramos obteniendo eficiencia de biosorción de 92.25 % y 92.48 % respectivamente.

Tabla 28

Prueba de Medias de Tuckey en la Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Microbiana Óptima para Cobre (Cu)

Prueba de Medias de Tukey en la Eficiencia de Biosorción para Cobre (Cu)				
Variable	Proporción (g)	Nº	Media (Tuckey Agrupamiento) *	Desviación Estándar
Proporción de Cobre (Cu)	3	6	76.67 ⁱ	± 0.64
Proporción de Cobre (Cu)	6	6	82.15 ^h	± 0.78
Proporción de Cobre (Cu)	9	6	85.05 ^g	± 0.48
Proporción de Cobre (Cu)	12	6	86.81 ^f	± 0.13
Proporción de Cobre (Cu)	15	6	89.20 ^e	± 0.23
Proporción de Cobre (Cu)	18	6	90.06 ^d	± 0.07
Proporción de Cobre (Cu)	21	6	91.33 ^c	± 0.16
Proporción de Cobre (Cu)	24	6	91.55 ^{bc}	± 0.11
Proporción de Cobre (Cu)	27	6	92.25 ^{ab}	± 0.06
Proporción de Cobre (Cu)	30	6	92.48 ^a	± 0.05

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Fuente: Elaboración propia

4.1.9 Eficiencia de biosorción (%) en la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de plomo

La tabla 29 muestra los resultados de las pruebas realizadas con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA) en la eficiencia de biosorción de plomo (Pb) en función a la variación de las proporciones de biomasa microbiana. La concentración inicial para todas las soluciones de plomo (Pb) variaron en base a las proporciones de biomasa microbiana que se empleó en cada prueba. Los experimentos fueron realizados a temperatura ambiente de 13° C con un tiempo de contacto de 24 horas a una velocidad de 150 rpm.

Tabla 29

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Plomo (Pb)

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	3	6,1250	1,0550	5,0700	1,0140	82,78 %
24	3	6,1250	1,0371	5,0879	1,0176	83,07 %
24	3	6,1250	1,0630	5,0620	1,0124	82,64 %
24	3	6,1250	1,1099	5,0151	1,0030	81,88 %
24	3	6,1250	1,1232	5,0018	1,0004	81,66 %

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	3	6,1250	1,1289	4,9961	0,9992	81,57 %
24	6	7,2500	1,1004	6,1496	0,6150	84,82 %
24	6	7,2500	1,1200	6,1300	0,6130	84,55 %
24	6	7,2500	1,1398	6,1102	0,6110	84,28 %
24	6	7,2500	1,2324	6,0176	0,6018	83,00 %
24	6	7,2500	1,2715	5,9785	0,5979	82,46 %
24	6	7,2500	1,3302	5,9198	0,5920	81,65 %
24	9	8,3750	1,3414	7,0336	0,4689	83,98 %
24	9	8,3750	1,3115	7,0635	0,4709	84,34 %
24	9	8,3750	1,2828	7,0922	0,4728	84,68 %
24	9	8,3750	1,3131	7,0619	0,4708	84,32 %
24	9	8,3750	1,3405	7,0345	0,4690	83,99 %
24	9	8,3750	1,3628	7,0122	0,4675	83,73 %
24	12	9,5000	1,5052	7,9948	0,3997	84,16 %

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	12	9,5000	1,4902	8,0098	0,4005	84,31 %
24	12	9,5000	1,4689	8,0311	0,4016	84,54 %
24	12	9,5000	1,3933	8,1067	0,4053	85,33 %
24	12	9,5000	1,4067	8,0933	0,4047	85,19 %
24	12	9,5000	1,4077	8,0923	0,4046	85,18 %
24	15	10,6250	1,4491	9,1759	0,3670	86,36 %
24	15	10,6250	1,4667	9,1583	0,3663	86,20 %
24	15	10,6250	1,4783	9,1467	0,3659	86,09 %
24	15	10,6250	1,3888	9,2362	0,3694	86,93 %
24	15	10,6250	1,3872	9,2378	0,3695	86,94 %
24	15	10,6250	1,3871	9,2379	0,3695	86,94 %
24	18	11,7500	1,5446	10,2054	0,3402	86,85 %
24	18	11,7500	1,5165	10,2335	0,3411	87,09 %
24	18	11,7500	1,5353	10,2147	0,3405	86,93 %

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	18	11,7500	1,6586	10,0914	0,3364	85,88 %
24	18	11,7500	1,6354	10,1146	0,3372	86,08 %
24	18	11,7500	1,6496	10,1004	0,3367	85,96 %
24	21	12,8750	1,5946	11,2804	0,3223	87,61 %
24	21	12,8750	1,5832	11,2918	0,3226	87,70 %
24	21	12,8750	1,5781	11,2969	0,3228	87,74 %
24	21	12,8750	1,6339	11,2411	0,3212	87,31 %
24	21	12,8750	1,5982	11,2768	0,3222	87,59 %
24	21	12,8750	1,6198	11,2552	0,3216	87,42 %
24	24	14,0000	1,6664	12,3336	0,3083	88,10 %
24	24	14,0000	1,6768	12,3232	0,3081	88,02 %
24	24	14,0000	1,5950	12,4050	0,3101	88,61 %
24	24	14,0000	1,6400	12,3600	0,3090	88,29 %
24	24	14,0000	1,6303	12,3697	0,3092	88,36 %

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	24	14,0000	1,6301	12,3699	0,3092	88,36 %
24	27	15,1250	1,7535	13,3715	0,2971	88,41 %
24	27	15,1250	1,7584	13,3666	0,2970	88,37 %
24	27	15,1250	1,7472	13,3778	0,2973	88,45 %
24	27	15,1250	1,8383	13,2867	0,2953	87,85 %
24	27	15,1250	1,8364	13,2886	0,2953	87,86 %
24	27	15,1250	1,8223	13,3027	0,2956	87,95 %
24	30	16,2500	3,0022	13,2478	0,2650	81,52 %
24	30	16,2500	2,9809	13,2691	0,2654	81,66 %
24	30	16,2500	2,9782	13,2718	0,2654	81,67 %
24	30	16,2500	2,4527	13,7973	0,2759	84,91 %
24	30	16,2500	2,4514	13,7986	0,2760	84,91 %
24	30	16,2500	2,4930	13,7570	0,2751	84,66 %

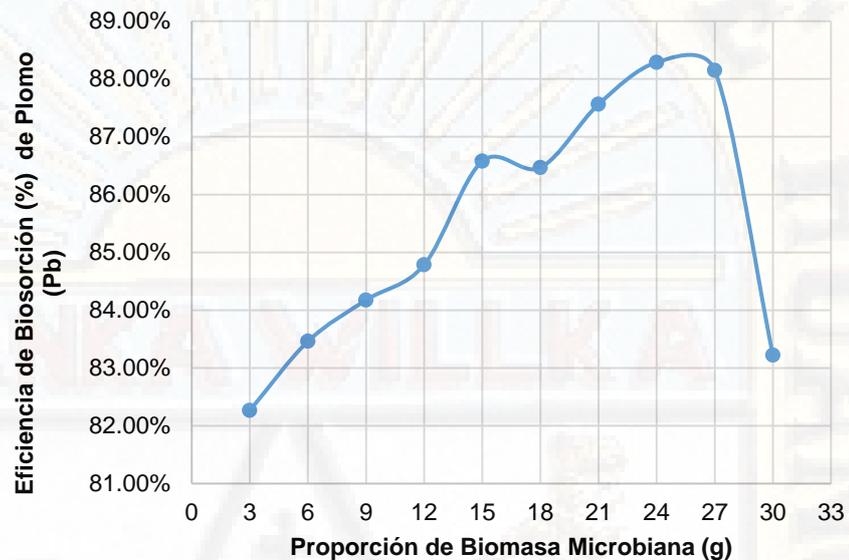
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 39 se muestra el gráfico de la eficiencia de biosorción de plomo (Pb) en base a la variación de las proporciones de biomasa microbiana.

Se sabe que el plomo (Pb) requiere de un tiempo de contacto determinado para obtener una biosorción máxima. En la figura 39 se puede visualizar una biosorción ascendente que inicia con 3 gramos de biomasa microbiana y una eficiencia de biosorción de 82.26 %, Al aumentar la proporción de biomasa microbiana esta eficiencia asciende debido a que se tiene mayor número de sitios activos. La captura de los iones de plomo (Pb^{2+}) sucede en el transcurso del tiempo progresivamente. La biosorción continua hasta llegar a una biosorción máxima de 88.29 % y 88.14 % a 24 y 27 gramos respectivamente. Pero para una proporción de 30 gramos de observa una desorción de plomo (Pb) con una eficiencia de biosorción de 83.22 % debido a un elevado tiempo de contacto entre el biosorbente y la muestra que contiene al metal, produciendo una reversibilidad en la absorción entre los iones de plomo (Pb^{2+}) que fueron capturados por la biomasa microbiana y los cationes (sales) que fueron liberados por la misma, que al ser una cantidad suficientemente grande liberada por la biomasa microbiana son capaces de desplazar al ion de plomo (Pb^{2+}) que ya fue biosorbido. Se debe tener en cuenta que es necesario tener una proporción mayor de moles de iones (cationes) que el plomo (Pb) biosorbido para producirse una desorción (desplazamiento). El ion de plomo (Pb^{+2}) posee dos cargas positivas facilitándole una absorción con más fuerza, es por ello que la desorción de Pb^{2+} solo ocurre en presencia de una elevada concentración de cationes que sumen una mayor cantidad de cargas electrónicas capaces de desplazarla (Marta, 2001).

Figura 39

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 30 se observa la prueba de medias Tuckey para comparar las medias de los tratamientos de las diferentes proporciones de biomasa microbiana y poder obtener el mejor tratamiento para una mayor eficiencia de biosorción (%) de plomo (Pb). Se puede visualizar que los mejores tratamientos son los que usan proporciones de 24 y 27 gramos de biomasa microbiana obteniendo eficiencias de biosorción de 88.29 % y 88.14 % respectivamente.

Para la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana de cobre (Cu) y plomo (Pb) se determinó que la PROPORCIÓN ÓPTIMA DE BIOMASA MICROBIANA fue de 27 gramos para ambos metales. Esta proporción será aplicada en la prueba Multi-componente que contiene a ambos metales.

Tabla 30

Prueba de Medias de Tuckey en la Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima para Plomo (Pb)

Prueba de Medias de Tukey en la Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)				
Variable	Proporción (g)	Nº	Media (Tuckey Agrupamiento)*	Desviación Estándar
Proporción de Plomo (Pb)	3	6	82.26 ^e	± 0.64
Proporción de Plomo (Pb)	6	6	83.46 ^{cde}	± 1.28
Proporción de Plomo (Pb)	9	6	84.17 ^{cd}	± 0.33
Proporción de Plomo (Pb)	12	6	84.78 ^c	± 0.50
Proporción de Plomo (Pb)	15	6	86.57 ^b	± 0.40
Proporción de Plomo (Pb)	18	6	86.46 ^b	± 0.54
Proporción de Plomo (Pb)	21	6	87.56 ^{ab}	± 0.16
Proporción de Plomo (Pb)	24	6	88.29 ^a	± 0.21
Proporción de Plomo (Pb)	27	6	88.14 ^a	± 0.28
Proporción de Plomo (Pb)	30	6	83.22 ^{de}	± 1.76

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Fuente: Elaboración propia

4.1.10 Eficiencia de biosorción (%) en la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de cobre (Cu)

La tabla 31 muestra los resultados de las pruebas realizadas con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA) en la eficiencia de biosorción de cobre (Cu) en función a la variación del tiempo de contacto. La concentración inicial para todas las soluciones de cobre (Cu) fue de 13.9394 ppm con una proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos determinada en la prueba de biomasa óptima para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb). Los experimentos fueron realizados a temperatura ambiente de 13° C con un tiempo variante a una velocidad de 150 rpm.

Tabla 31

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) para Cobre (Cu)

Eficiencia de Biosorción para Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
3	27	13,9394	0,7459	13,1935	0,2932	94,65 %
3	27	13,9394	0,7380	13,2014	0,2934	94,71 %
3	27	13,9394	0,7476	13,1918	0,2932	94,64 %
3	27	13,9394	0,8114	13,1280	0,2917	94,18 %
3	27	13,9394	0,8096	13,1298	0,2918	94,19 %

Eficiencia de Biosorción para Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
3	27	13,9394	0,8093	13,1301	0,2918	94,19 %
6	27	13,9394	0,8876	13,0518	0,2900	93,63 %
6	27	13,9394	0,8738	13,0656	0,2903	93,73 %
6	27	13,9394	0,8841	13,0553	0,2901	93,66 %
6	27	13,9394	0,9531	12,9863	0,2886	93,16 %
6	27	13,9394	0,9399	12,9995	0,2889	93,26 %
6	27	13,9394	0,9427	12,9967	0,2888	93,24 %
9	27	13,9394	0,9394	13,0000	0,2889	93,26 %
9	27	13,9394	0,9245	13,0149	0,2892	93,37 %
9	27	13,9394	0,9138	13,0256	0,2895	93,44 %
9	27	13,9394	0,9102	13,0292	0,2895	93,47 %
9	27	13,9394	0,9177	13,0217	0,2894	93,42 %
9	27	13,9394	0,9121	13,0273	0,2895	93,46 %
12	27	13,9394	0,8528	13,0866	0,2908	93,88 %

Eficiencia de Biosorción para Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
12	27	13,9394	0,8591	13,0803	0,2907	93,84 %
12	27	13,9394	0,8626	13,0768	0,2906	93,81 %
12	27	13,9394	0,9659	12,9735	0,2883	93,07 %
12	27	13,9394	0,9751	12,9643	0,2881	93,00 %
12	27	13,9394	0,9807	12,9587	0,2880	92,96 %
15	27	13,9394	0,9570	12,9824	0,2885	93,13 %
15	27	13,9394	0,9503	12,9891	0,2886	93,18 %
15	27	13,9394	0,9610	12,9784	0,2884	93,11 %
15	27	13,9394	0,9071	13,0323	0,2896	93,49 %
15	27	13,9394	0,8956	13,0438	0,2899	93,58 %
15	27	13,9394	0,8952	13,0442	0,2899	93,58 %
18	27	13,9394	0,9975	12,9419	0,2876	92,84 %
18	27	13,9394	0,9884	12,9510	0,2878	92,91 %
18	27	13,9394	0,9953	12,9441	0,2876	92,86 %

Eficiencia de Biosorción para Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
18	27	13,9394	0,7723	13,1671	0,2926	94,46 %
18	27	13,9394	0,7668	13,1726	0,2927	94,50 %
18	27	13,9394	0,7787	13,1607	0,2925	94,41 %
21	27	13,9394	0,8409	13,0985	0,2911	93,97 %
21	27	13,9394	0,8398	13,0996	0,2911	93,98 %
21	27	13,9394	0,8438	13,0956	0,2910	93,95 %
21	27	13,9394	0,7691	13,1703	0,2927	94,48 %
21	27	13,9394	0,7808	13,1586	0,2924	94,40 %
21	27	13,9394	0,7727	13,1667	0,2926	94,46 %
24	27	13,9394	0,8100	13,1294	0,2918	94,19 %
24	27	13,9394	0,8102	13,1292	0,2918	94,19 %
24	27	13,9394	0,8095	13,1299	0,2918	94,19 %
24	27	13,9394	0,8085	13,1309	0,2918	94,20 %
24	27	13,9394	0,8190	13,1204	0,2916	94,12 %

Eficiencia de Biosorción para Cobre (Cu)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	27	13,9394	0,8146	13,1248	0,2917	94,16 %
27	27	13,9394	0,8511	13,0883	0,2909	93,89 %
27	27	13,9394	0,8414	13,0980	0,2911	93,96 %
27	27	13,9394	0,8569	13,0825	0,2907	93,85 %
27	27	13,9394	0,8488	13,0906	0,2909	93,91 %
27	27	13,9394	0,8447	13,0947	0,2910	93,94 %
27	27	13,9394	0,8551	13,0843	0,2908	93,87 %
30	27	13,9394	0,9134	13,0260	0,2895	93,45 %
30	27	13,9394	0,9117	13,0277	0,2895	93,46 %
30	27	13,9394	0,9250	13,0144	0,2892	93,36 %
30	27	13,9394	0,9415	12,9979	0,2888	93,25 %
30	27	13,9394	0,9391	13,0003	0,2889	93,26 %
30	27	13,9394	0,9420	12,9974	0,2888	93,24 %

Fuente: Elaboración propia

La figura 40 muestra la gráfica de la eficiencia de biosorción de cobre (Cu) en base a la variación del tiempo de contacto con una proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos obtenida de las pruebas anterior para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb).

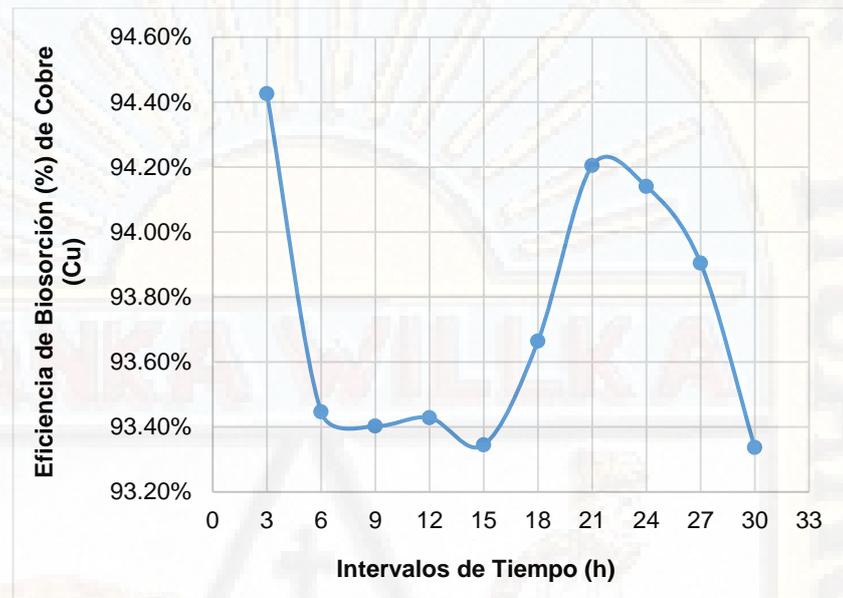
Se puede observar que inicia con una eficiencia de biosorción de 94.41 % de cobre (Cu) en el primer tiempo de contacto de 3 horas, para posteriormente producir leves desorciones alrededor del 93 % en los tiempos de contacto de 6 hasta 18 horas, para volver a alcanzar nuevamente una biosorción de 94.21 % y 94.15 % a las 21 y 24 horas respectivamente y continuar alrededor de 93 % para los tiempos de 27 y 30 horas. Así mismo para todos los tiempos de contacto aplicado se observa una biosorción mayor al 93 %, debido a que la biosorción de cobre (Cu) tiene como factor principal la proporción de biomasa microbiana y como segundo factor al tiempo de contacto. Por tal motivo al aplicar una sola proporción de biomasa microbiana de 27 gramos para todos los tiempos, las eficiencias de biosorción no varían significativamente entre sí.

Se observa que la máxima eficiencia de biosorción se presenta con un tiempo de contacto de 3 horas suficiente para capturar el metal en solución a una eficiencia de biosorción de 94.41 %, y 27 gramos de biomasa microbiana con suficiente número de sitios activos de biosorción para ligar los iones del metal cobre (Cu^{+2}).

La biosorción y desorción mínima ocurren debido a que a medida que transcurre el tiempo un porcentaje mínimo de soluto (iones de cobre) en solución capturados por la biomasa microbiana son desplazados por los cationes (sales) liberados por la misma por medio del fenómeno de intercambio iónico

Figura 40

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32 se observa la prueba de medias de Tuckey para comparar las medias de los tratamientos con diferentes tiempos de contacto y poder obtener el mejor tratamiento para una mayor eficiencia de biosorción (%) de cobre (Cu). Se puede visualizar que la máxima eficiencia de biosorción es de 94.41 % a un tiempo de contacto de 3 horas y 27 gramos de biomasa microbiana.

Tabla 32

Prueba de Medias de Tuckey en la Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Cobre (Cu)

Prueba de Medias de Tukey en la Eficiencia de Biosorción para Cobre (Cu)				
Variable	Tiempo (h)	N	Media (Tuckey Agrupamiento) *	Desviación Estándar
Proporción de Cobre (Cu)	3	6	94.41 ^a	± 0.24
Proporción de Cobre (Cu)	6	6	93.46 ^c	± 0.25
Proporción de Cobre (Cu)	9	6	93.41 ^c	± 0.08
Proporción de Cobre (Cu)	12	6	93.42 ^c	± 0.47
Proporción de Cobre (Cu)	15	6	93.32 ^c	± 0.21
Proporción de Cobre (Cu)	18	6	93.65 ^{bc}	± 0.87
Proporción de Cobre (Cu)	21	6	94.21 ^{ab}	± 0.26
Proporción de Cobre (Cu)	24	6	94.15 ^{ab}	± 0.03
Proporción de Cobre (Cu)	27	6	93.88 ^{abc}	± 0.05
Proporción de Cobre (Cu)	30	6	93.34 ^c	± 0.10

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Fuente: Elaboración propia

4.1.11 Eficiencia de biosorción (%) en la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de plomo (Pb)

La tabla 33 muestra los resultados de las pruebas realizadas con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA) en la eficiencia de biosorción de plomo (Pb) en función a la variación del tiempo de contacto. La concentración inicial para todas las soluciones de plomo (Pb) fue de 15.1250 ppm con una proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos determinada en la prueba de biomasa óptima para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb). Los experimentos fueron realizados a temperatura ambiente de 13° C con un tiempo de contacto de 24 horas a una velocidad de 150 rpm.

Tabla 33

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (h) para Plomo (Pb)

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
3	27	15,1250	1,0406	14,0844	0,3130	93,12 %
3	27	15,1250	1,0506	14,0744	0,3128	93,05 %
3	27	15,1250	1,0488	14,0762	0,3128	93,07 %
3	27	15,1250	1,0475	14,0775	0,3128	93,07 %

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
3	27	15,1250	1,0452	14,0798	0,3129	93,09 %
3	27	15,1250	1,0468	14,0782	0,3128	93,08 %
6	27	15,1250	1,2264	13,8986	0,3089	91,89 %
6	27	15,1250	1,2519	13,8731	0,3083	91,72 %
6	27	15,1250	1,2375	13,8875	0,3086	91,82 %
6	27	15,1250	1,2437	13,8813	0,3085	91,78 %
6	27	15,1250	1,2385	13,8865	0,3086	91,81 %
6	27	15,1250	1,2054	13,9196	0,3093	92,03 %
9	27	15,1250	1,1890	13,9360	0,3097	92,14 %
9	27	15,1250	1,2127	13,9123	0,3092	91,98 %
9	27	15,1250	1,2166	13,9084	0,3091	91,96 %
9	27	15,1250	1,5164	13,6086	0,3024	89,97 %
9	27	15,1250	1,5277	13,5973	0,3022	89,90 %
9	27	15,1250	1,1521	13,9729	0,3105	92,38 %

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
12	27	15,1250	1,2633	13,8617	0,3080	91,65 %
12	27	15,1250	1,2723	13,8527	0,3078	91,59 %
12	27	15,1250	1,2559	13,8691	0,3082	91,70 %
12	27	15,1250	1,3392	13,7858	0,3064	91,15 %
12	27	15,1250	1,3612	13,7638	0,3059	91,00 %
12	27	15,1250	1,3644	13,7606	0,3058	90,98 %
15	27	15,1250	1,4166	13,7084	0,3046	90,63 %
15	27	15,1250	1,3745	13,7505	0,3056	90,91 %
15	27	15,1250	1,4261	13,6989	0,3044	90,57 %
15	27	15,1250	1,4203	13,7047	0,3045	90,61 %
15	27	15,1250	1,4659	13,6591	0,3035	90,31 %
15	27	15,1250	1,4510	13,6740	0,3039	90,41 %
18	27	15,1250	1,5520	13,5730	0,3016	89,74 %
18	27	15,1250	1,5512	13,5738	0,3016	89,74 %

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
18	27	15,1250	1,5500	13,5750	0,3017	89,75 %
18	27	15,1250	1,4775	13,6475	0,3033	90,23 %
18	27	15,1250	1,4917	13,6333	0,3030	90,14 %
18	27	15,1250	1,5204	13,6046	0,3023	89,95 %
21	27	15,1250	1,5389	13,5861	0,3019	89,83 %
21	27	15,1250	1,5742	13,5508	0,3011	89,59 %
21	27	15,1250	1,5603	13,5647	0,3014	89,68 %
21	27	15,1250	1,6027	13,5223	0,3005	89,40 %
21	27	15,1250	1,5558	13,5692	0,3015	89,71 %
21	27	15,1250	1,5777	13,5473	0,3011	89,57 %
24	27	15,1250	1,2915	13,8335	0,3074	91,46 %
24	27	15,1250	1,2346	13,8904	0,3087	91,84 %
24	27	15,1250	1,2652	13,8598	0,3080	91,64 %
24	27	15,1250	1,4968	13,6282	0,3028	90,10 %

Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
24	27	15,1250	1,4463	13,6787	0,3040	90,44 %
24	27	15,1250	1,4078	13,7172	0,3048	90,69 %
27	27	15,1250	1,2163	13,9087	0,3091	91,96 %
27	27	15,1250	1,2626	13,8624	0,3081	91,65 %
27	27	15,1250	1,2907	13,8343	0,3074	91,47 %
27	27	15,1250	1,4191	13,7059	0,3046	90,62 %
27	27	15,1250	1,3825	13,7425	0,3054	90,86 %
27	27	15,1250	1,4003	13,7247	0,3050	90,74 %
30	27	15,1250	1,5445	13,5805	0,3018	89,79 %
30	27	15,1250	1,6332	13,4918	0,2998	89,20 %
30	27	15,1250	1,5757	13,5493	0,3011	89,58 %
30	27	15,1250	1,6251	13,4999	0,3000	89,26 %
30	27	15,1250	1,5835	13,5415	0,3009	89,53 %

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 41 se muestra la gráfica de la eficiencia de biosorción de plomo (Pb) en base a la variación del tiempo de contacto. Se sabe que el plomo (Pb) requiere como primer factor un tiempo de contacto determinado para obtener una biosorción máxima, debido a que en un intervalo de tiempo pequeño no se podría generar una biosorción máxima de iones metálicos en solución y en un intervalo de tiempo mayor podría ocurrir la desorción de los iones metálicos ya capturados.

Además, se puede observar que la eficiencia máxima de biosorción es producida en el primer tiempo de contacto de 3 horas con una eficiencia de biosorción de 93.08 %, para posteriormente producir desorciones mínimas debido a la influencia del tiempo de contacto, oscilando alrededor de 91 % y 89 % en el rango de 6 a 30 horas, todas con una proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos determinada en las pruebas anteriores para cobre (Cu) y plomo (Pb).

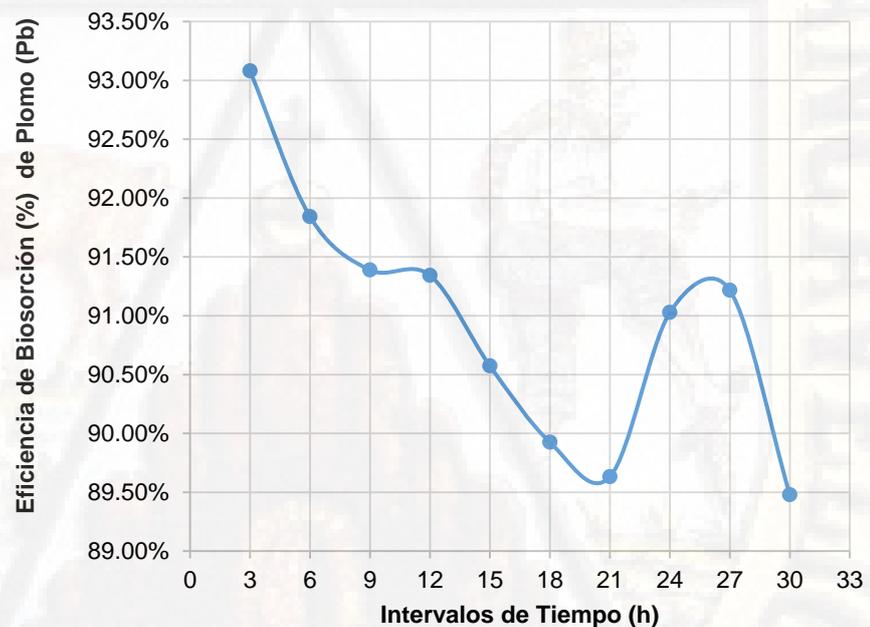
La biosorción máxima a las 3 horas de contacto es producida debido a la aplicación de una proporción óptima de 27 gramos suficiente y capaz de contener gran cantidad de sitios activos para la sorción de los iones de plomo (Pb^{+2}), la cual compensa el tiempo que demoraría en biosorber si se aplicaría una proporción menor, produciendo un punto de equilibrio de máxima eficiencia de biosorción.

Posteriormente para los próximos tiempos de contacto se observa una desorción en un porcentaje mínimo de plomo (Pb) debido a que se produce una reversibilidad en la absorción de iones de plomo (Pb^{2+}) con los cationes (sales) liberados por la biomasa microbiana, suficientes como para desplazar los iones metálicos que fueron capturados por el biosorbente. Otro fenómeno que puede ocurrir es que en el transcurso del tiempo y al tener un pH ácido inicial produce la liberación de iones OH^- de la biomasa microbiana,

produciendo una protonación de su superficie para quedar cargada positivamente y provocar una repulsión electrostática con los iones metálicos y a consecuencia disminuir la biosorción. Adicionalmente, existiría un efecto competitivo por los sitios activos de sorción entre los iones de plomo (Pb^{2+}) y los protones (H^+) presentes en la solución ácida, esto produciría la desorción del metal en algunos intervalos de tiempo (Carmencita et al., 2010).

Figura 41

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo para Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 34 se observa la prueba de medias de Tuckey para comparar las medias de los tratamientos con diferentes tiempos de contacto y poder obtener el mejor tratamiento para una mayor eficiencia de biosorción (%) de plomo (Pb). Se puede visualizar que

la mayor eficiencia de biosorción es de 93.08 % con un tiempo de contacto de 3 horas y 27 gramos de biomasa microbiana.

Para la prueba de tiempo óptimo de contacto para cobre (Cu) y plomo (Pb) se determinó que EL TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO fue de 3 horas para ambos metales. Este tiempo será aplicado en la prueba Multi-componente que contiene a ambos metales.

Tabla 34

Prueba de Medias de Tuckey en la Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo de Plomo (Pb)

Prueba de Medias de Tukey en la Eficiencia de Biosorción para Plomo (Pb)				
Variable	Tiempo (h)	N	Media (Tuckey Agrupamiento) *	Desviación Estándar
Proporción de Plomo (Pb)	3	6	93.08 ^a	± 0.02
Proporción de Plomo (Pb)	6	6	91.84 ^b	± 0.10
Proporción de Plomo (Pb)	9	6	91.38 ^{bc}	± 1.13
Proporción de Plomo (Pb)	12	6	91.34 ^{bc}	± 0.33
Proporción de Plomo (Pb)	15	6	90.57 ^{cd}	± 0.20
Proporción de Plomo (Pb)	18	6	89.92 ^{de}	± 0.21
Proporción de Plomo (Pb)	21	6	89.63 ^e	± 0.14
Proporción de Plomo (Pb)	24	6	91.02 ^{bc}	± 0.71
Proporción de Plomo (Pb)	27	6	91.21 ^{bc}	± 0.55
Proporción de Plomo (Pb)	30	6	89.47 ^e	± 0.21

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Fuente: Elaboración propia

4.1.12 Eficiencia de biosorción (%) de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) en un sistema multi-componente proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura

Para el sistema multi-componente se aplicó la proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos y un tiempo óptimo de contacto de 3 horas que se obtuvo de las pruebas mono-componente que produce una eficiencia máxima de biosorción para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) de 94.41 % y 93.08 % respectivamente. La tabla 35 muestra los resultados de la prueba Multi-componente realizada con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica tipo llama (FLAA). Durante esta prueba se obtuvo como resultado una eficiencia máxima de biosorción de 95.73 % para cobre (Cu) y 92.37 % para plomo (Pb). Los experimentos fueron realizados a temperatura ambiente de 13° C a una velocidad de 150 rpm.

Tabla 35*Eficiencia de Biosorción (%) de Cobre (Cu) en un Sistema Multi-Componente Proveniente de Relaves Mineros*

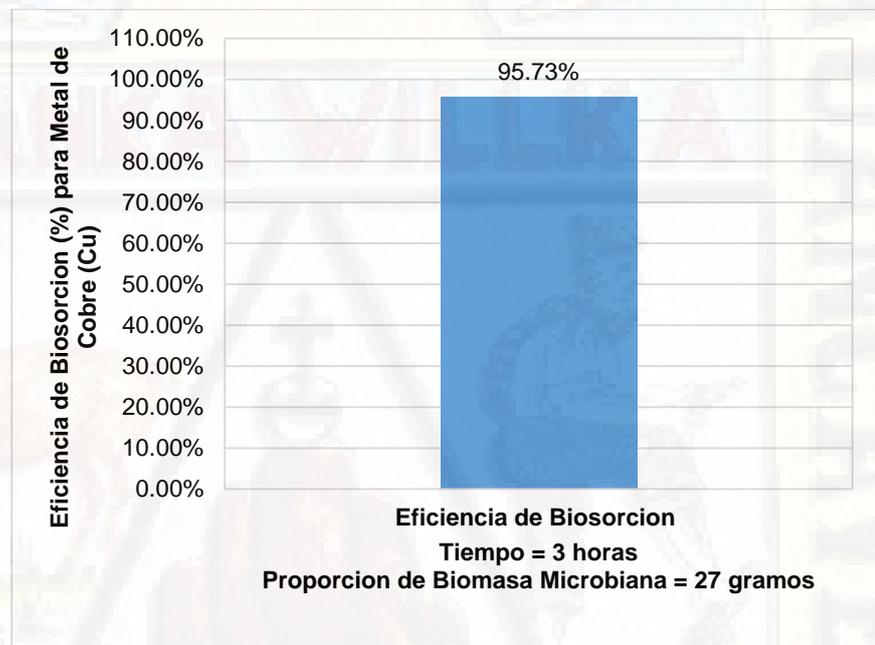
Eficiencia de Biosorción de Cobre (Cu) en un Sistema Multi-Componente						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
3	27	14,0077	0,6346	13,3731	0,2972	95,47 %
3	27	14,0077	0,6355	13,3722	0,2972	95,46 %
3	27	14,0077	0,6484	13,3593	0,2969	95,37 %
3	27	14,0077	0,5541	13,4536	0,2990	96,04 %
3	27	14,0077	0,5570	13,4507	0,2989	96,02 %
3	27	14,0077	0,5618	13,4459	0,2988	95,99 %
Promedio						95.73 %

Fuente: Elaboración propia

En la figura 42 se muestra la eficiencia de biosorción de cobre (Cu) para un sistema multi-componente proveniente de relaves mineros aplicando la proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos y tiempo óptimo de contacto de 3 horas.

Figura 42

Eficiencia de Biosorción (%) de Cobre (Cu) en un Sistema Multi-Componente Proveniente de Relaves Mineros



Fuente: Elaboración propia

La tabla 36 muestra los resultados de la prueba realizada con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica en la eficiencia de biosorción de plomo (Pb) en un sistema Multi-componente.

Durante esta prueba se obtuvo como resultado una eficiencia de biosorción de 92.37 % para plomo (Pb). Los experimentos fueron realizados a temperatura ambiente de 13° C a una velocidad de 150 rpm.

Tabla 36*Eficiencia de Biosorción (%) de Plomo (Pb) en un Sistema Multi-Componente Proveniente de Relaves Mineros*

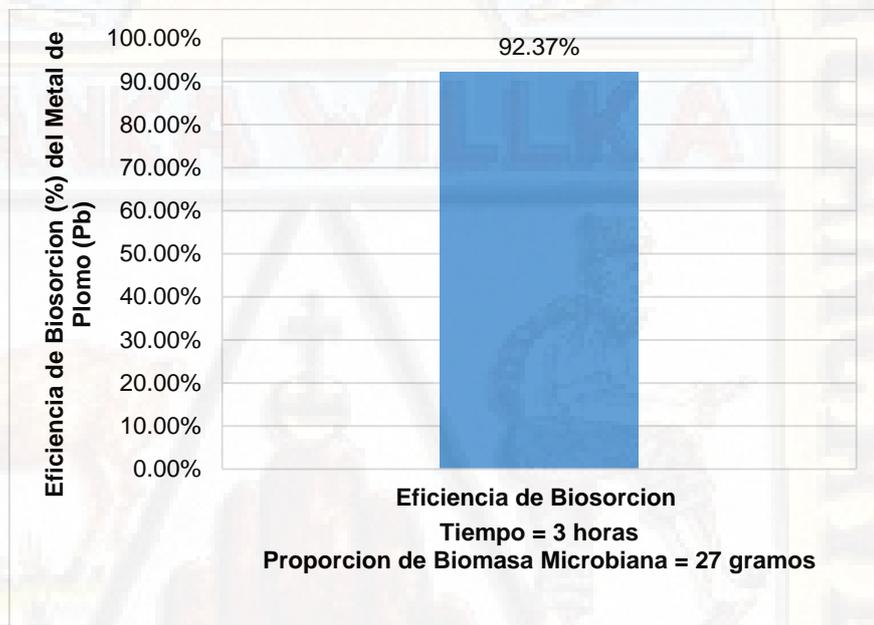
Eficiencia de Biosorción de Plomo (Pb) en un Sistema Multi-Componente						
Tiempo (h)	Proporción de Biomasa Microbiana (g)	Concentración Inicial (ppm)	Concentración Final (ppm)	Cantidad de Metal Biosorbido (ppm)	Capacidad de Biosorción (mg/g)	Eficiencia de Biosorción (%)
3	27	15,4781	1,0707	14,4074	0,3202	93,08 %
3	27	15,4781	1,0589	14,4192	0,3204	93,16 %
3	27	15,4781	1,0164	14,4617	0,3214	93,43 %
3	27	15,4781	1,2805	14,1976	0,3155	91,73 %
3	27	15,4781	1,3029	14,1752	0,3150	91,58 %
3	27	15,4781	1,2488	14,2293	0,3162	91,93 %
Promedio						92,37 %

Fuente: Elaboración propia

En la figura 43 se muestra la eficiencia de biosorción de plomo (Pb) en un sistema multi-componente proveniente de relaves mineros aplicando la proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos y tiempo óptimo de contacto de 3 horas.

Figura 43

Eficiencia de Biosorción (%) de Plomo (Pb) en un Sistema Multi-Componente Proveniente de Relaves Mineros



Fuente: Elaboración propia

La tabla 37 muestra el resumen de las eficiencias máximas de biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) con la proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos y tiempo de contacto óptimo de 3 horas para los sistemas mono-componente que hace referencia a un solo metal en solución y multi-componente que hace referencia a varios metales en solución, este último proveniente de relaves mineros.

Tabla 37

Resumen de las Pruebas sobre la Eficiencia de Biosorción de los Sistemas Mono y Multi Componente

	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)
Eficiencia de Biosorción	Sistema Mono-Componente	
	93.88 %	91.21 %
	Sistema Multi-Componente	
	95.73 %	92.37 %

Fuente: Elaboración propia

4.2 Prueba de hipótesis

La contrastación de hipótesis se resume en 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula Hernández (2014). Atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis.

1. Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
2. Escoger un nivel de significancia o riesgo α .
3. Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
4. Establecer la región crítica.
5. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño "n".
6. Decisión estadística. Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar) en el otro caso.

4.2.1 Contrastación de las hipótesis

A. Test de normalidad

Comprobamos el nivel de significación, si es menor que 0.05 la distribución no es normal, si es mayor que 0.05 la distribución es normal

✚ Test de normalidad de la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu)

Tabla 38

Test de Normalidad de la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)

Test para Normalidad				
Test	Estadístico		p Valor	
Kolmogorov-Smirnov	D	0.3333	Pr > D	0.3259

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Kolmogorov-Smirnov el cual nos indica que los datos de biosorción de cobre (Cu) en la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana muestra un comportamiento normal debido a que el valor P de 0.3259 es mayor que 0.05. Por lo tanto, cumple con los supuestos de normalidad.

✚ Test de normalidad de la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de plomo (Pb)

Tabla 39

Test de Normalidad de la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)

Test para Normalidad				
Test		Estadístico		p Valor
Kolmogorov-Smirnov	D	0.2283	Pr > D	>0.1500

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Kolmogorov-Smirnov el cual nos indica que los datos de biosorción de plomo (Pb) en la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana muestran un comportamiento normal debido a que el valor P de 0.1500 es mayor que 0.05. Por lo tanto, cumple con los supuestos de normalidad.

✚ Test de normalidad de la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de cobre (Cu)

Tabla 40

Test de Normalidad de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)

Test para Normalidad				
Test		Estadístico		p Valor
Kolmogorov-Smirnov	D	0.3165	Pr >D	0.0585

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Kolmogorov-Smirnov el cual nos indica que los datos de

biosorción de cobre (Cu) en la prueba de tiempo óptimo de contacto muestran un comportamiento normal debido a que el valor P de 0.0585 es mayor que 0.05. Por lo tanto, cumple con los supuestos de normalidad.

✚ **Test de normalidad de la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de plomo (Pb)**

Tabla 41

Test de Normalidad de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)

Test para Normalidad		
Test	Estadístico	p Valor
Kolmogorov-Smirnov	D	0.1696
		Pr >D >0.1500

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Kolmogorov-Smirnov el cual nos indica que los datos de biosorción de plomo (Pb) en la prueba de tiempo óptimo de contacto, muestran un comportamiento normal debido a que el valor P de 0.1500 es mayor que 0.05. Por lo tanto, cumple con los supuestos de normalidad.

B. Prueba de homogeneidad de varianza

✚ Prueba de homogeneidad de varianza para la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu)

Tabla 42

Test de Levene para la Homogeneidad de Varianza de la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)

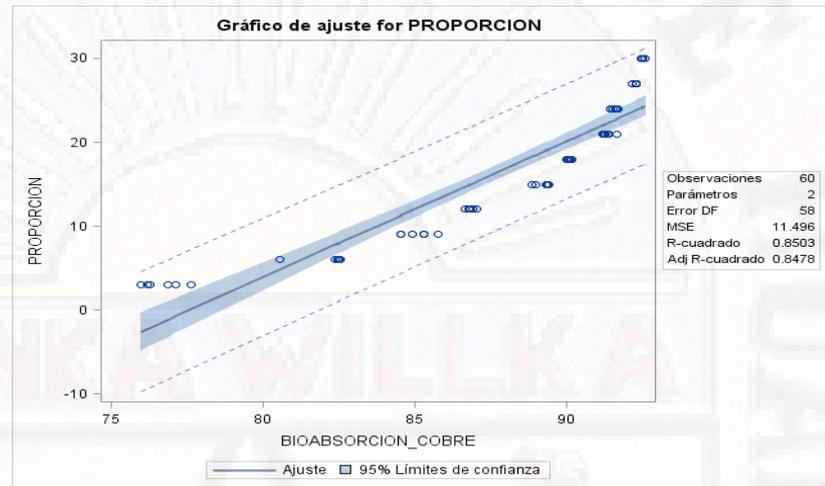
Test de Levene para Homogeneidad de Varianza					
Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
Proporción	9	1.7612	0.1957	1.70	0.1138
Error	50	5.7552	0.1151		

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el test de homogeneidad de varianza con el estadístico de Levene porque se ha encontrado que este estadístico de prueba para igualdad de varianzas es robusto bajo condiciones de poca normalidad, el cual nos indica que la biosorción de cobre (Cu) en la prueba de biomasa óptima presenta homogeneidad de varianzas debido a que el valor 0.1138 es mayor que 0.05.

Figura 44

Homogeneidad de Varianza para la Prueba de Proporción de Biomasa Microbiana Óptima en la Biosorción de Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

Prueba de homogeneidad de varianza para la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de plomo (Pb)

Tabla 43

Test de Levene para la Homogeneidad de Varianzas de la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)

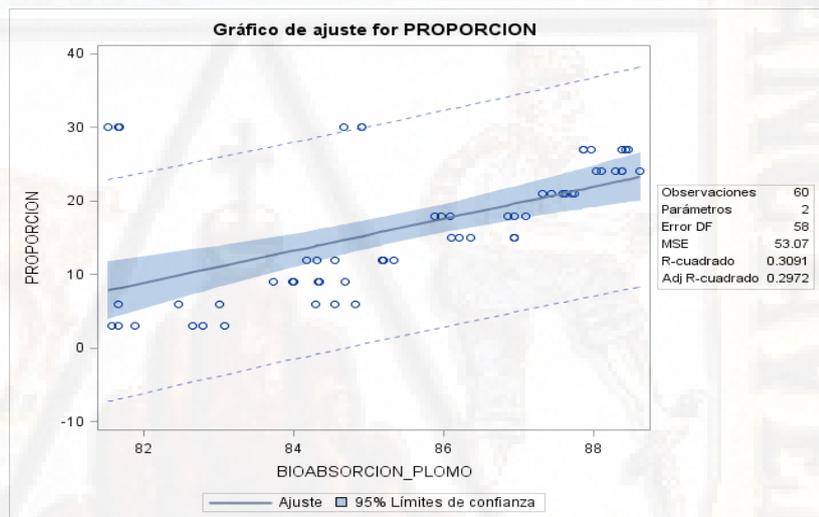
Test de Levene para Homogeneidad de Varianza					
Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
Proporción	9	37.1349	4.1261	30.25	0.5679
Error	50	6.8196	0.1364		

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el test de homogeneidad de varianza con el estadístico de Levene porque se ha encontrado que este estadístico de prueba para igualdad de varianzas es robusto bajo condiciones de poca normalidad, el cual nos indica que la biosorción de plomo (Pb) en la prueba de biomasa óptima presentan homogeneidad de varianza debido a que el valor 0.5679 es mayor que 0.05.

Figura 45

Homogeneidad de Varianza de la Prueba de Proporción de Biomasa Microbiana Óptima en la Biosorción de Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

Prueba de homogeneidad de varianza para la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de cobre (Cu)

Tabla 44

Test de Levene para la Homogeneidad de Varianzas de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)

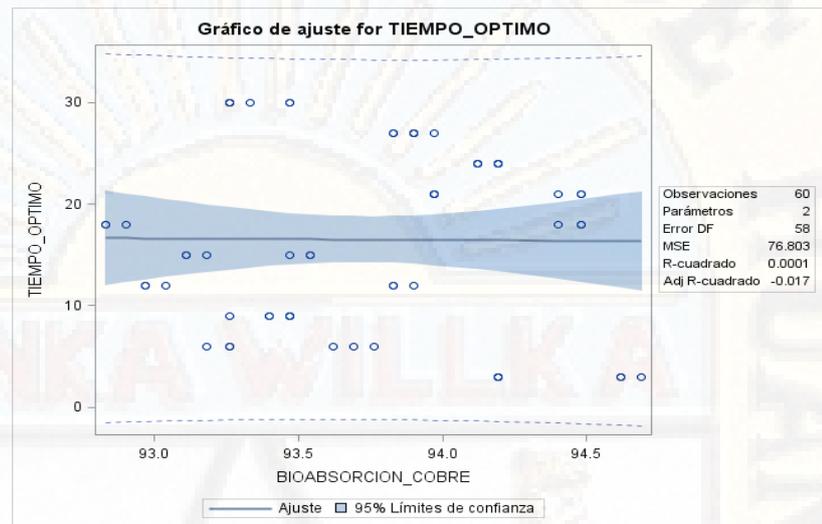
Test de Levene para Homogeneidad de Varianza					
Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
Tiempo	9	2.0794	0.2310	389.19	0.7879
Error	50	0.0297	0.000594		

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el test de homogeneidad de varianza con el estadístico de Levene porque se ha encontrado que este estadístico de prueba para igualdad de varianzas es robusto bajo condiciones de poca normalidad, el cual nos indica que la biosorción de cobre (Cu) en la prueba de tiempo óptimo presentan homogeneidad de varianza debido a que el valor 0.7879 es mayor que 0.05.

Figura 46

Homogeneidad de Varianzas para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

Prueba de homogeneidad de varianza para la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de plomo (Pb)

Tabla 45

Test de Levene para la Homogeneidad de Varianzas de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)

Test de Levene para Homogeneidad de Varianza					
Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
Tiempo	9	6.1063	0.6785	8.21	0.2342
Error	50	4.1302	0.0826		

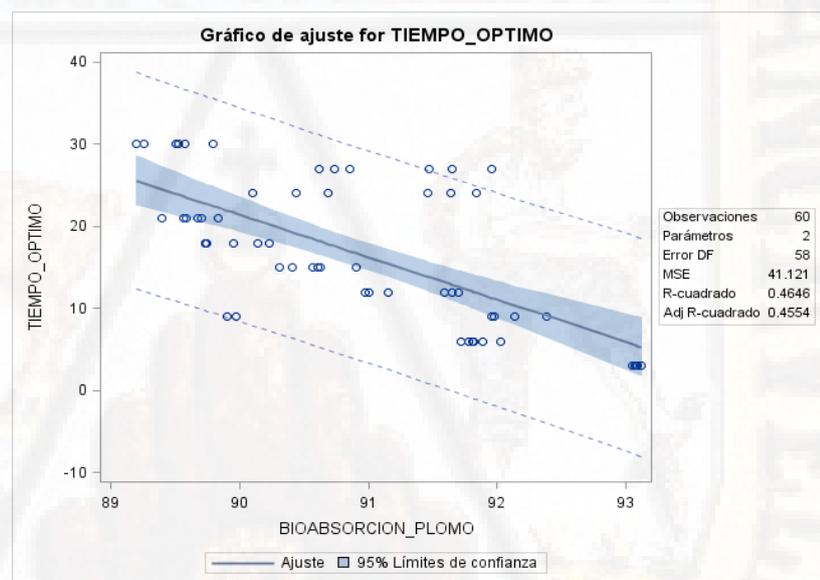
Nota: DF (Grados de Libertad)

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el test de homogeneidad de varianza con el estadístico de Levene porque se ha encontrado que este estadístico de prueba para igualdad de varianzas es robusto bajo condiciones de poca normalidad, el cual nos indica que la biosorción de plomo (Pb) aplicando diferentes tiempos de contacto presentan homogeneidad de varianza debido a que el valor 0.2342 es mayor que 0.05.

Figura 47

Homogeneidad de Varianzas de la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

C. Formulación de la hipótesis estadística

✚ Hipótesis general

Hipótesis alterna (Ha): La biomasa microbiana tiene una eficiencia de biosorción mayor al 50% de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

Hipótesis nula (H₀): La biomasa microbiana tiene una eficiencia de biosorción menor al 50% de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

+ Hipótesis específica

Hipótesis específica 1

Hipótesis alterna (H_a): La proporción óptima de biomasa microbiana será menor a 30 gramos en la biosorción cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

Hipótesis nula (H₀): La proporción óptima de biomasa microbiana será mayor a 30 gramos en la biosorción cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

Hipótesis específica 2

Hipótesis alterna (H_a): El tiempo óptimo será menor a 24 horas en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

Hipótesis nula (H₀): El tiempo óptimo será mayor a 24 horas en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

D. Nivel de significación

En la presente investigación se trabajó con un error de 5 %; es decir, $\alpha = 0.05$, por lo que el error del trabajo no debe ser mayor al planteado y con un grado de confianza de 95 %, es decir con $1-\alpha = 0.095$.

E. Estadístico de prueba

El estadístico de prueba utilizado fue la F de Fisher para el análisis de varianza ANOVA y la prueba de medias de Tukey, que es una prueba estadística para analizar sí más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y

varianzas. Visto de otro modo para determinar cuál de los tratamientos es más eficiente (Hernández, 2014)

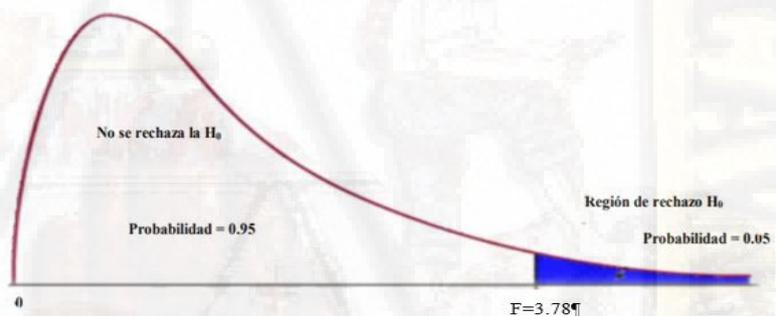
F. Valor crítico y regla de decisión

Para la prueba de una cola con $\alpha=0.05$ en la tabla de Fisher tenemos los valores críticos de $F \alpha, V_1, V_2$.

- $F_{\text{tabla}} = 9/59 = 3.78$
- $F_{\text{cal}} < F_{\text{tabla}}$; se acepta la hipótesis nula
- $F_{\text{cal}} > F_{\text{tabla}}$; se rechaza la hipótesis nula.

Figura 48

Valores Críticos para Aceptar o Rechazar la Hipótesis Nula en la Eficiencia de Biosorción de los Metales de Cobre (Cu) y Plomo (Pb).



Fuente: Elaboración propia

G. Cálculo de los estadígrafos de prueba

Se realizó el análisis de varianza de ANOVA para las dimensiones; proporciones de biomasa microbiana y tiempos de contacto para evaluar la máxima eficiencia de biosorción de la biomasa microbiana en los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb).

✚ Análisis de varianza (ANOVA) para la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu).

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para la prueba de proporción óptima (g) de biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu). Según la prueba de Fisher la eficiencia de biosorción de cobre (Cu) fue significativa, $Pr < 0.0001$ es menor que 0.05. Por lo tanto, se deduce que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos con diferentes proporciones de biomasa microbiana.

Tabla 46

Análisis de Varianza (ANOVA) para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)

Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
Tratamientos (proporciones)	9	1437.541067	159.726785	1142.61	<.0001
Error	50	6.989567	0.139791		
Total, Corregido	59	1444.530633			
CV %	0.42				

Nota: DF (Grados de Libertad), CV (Coeficiente de Variación)

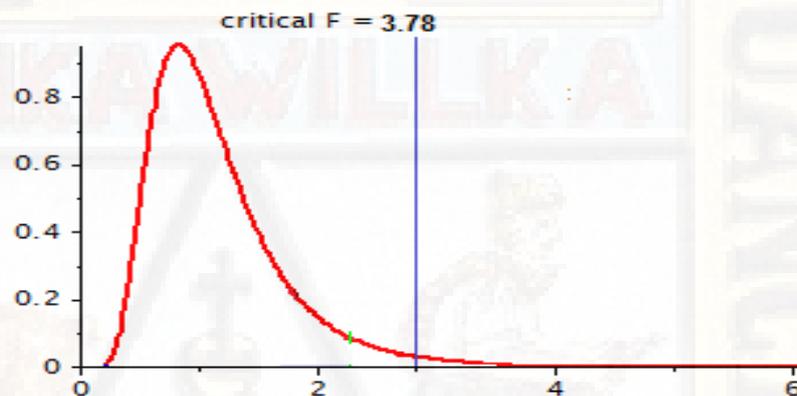
Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior para el análisis de varianza (ANOVA) en la prueba de proporción óptima (g) de biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu) se muestra que el

valor F calculado es igual a 1142.61, y es mayor que el valor de F de la tabla igual a 3.78, rechazando la hipótesis nula y aceptando la alterna.

Figura 49

Valor Crítico y el Valor de Fisher para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

▣ Pruebas de medias de Tukey para la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de cobre (Cu).

El presente análisis es una comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia Alpha de 0.05, para lo cual presenta diferencia estadística entre las proporciones de biomasa microbiana aplicada para la biosorción de cobre (Cu). Por lo tanto, se realizó la comparación de medias para la variable proporción óptima.

Tabla 47

Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu).

Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD)	
Alpha	0.05
Grados de Error de Libertad	50
Error de Cuadrado Medio	0.139791
Valor Crítico del Rango Estudentizado	4.68143
Diferencia Significativa Mínima	0.7146

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48

Prueba de Medias de Tukey para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Cobre (Cu)

Tukey Agrupamiento	Media	N	Proporción de Biomasa Microbiana (Unidades de Tratamiento)
A	92.4883	6	30
A			
B	92.2533	6	27
B			

Tukey Agrupamiento	Media	N	Proporción de Biomasa Microbiana (Unidades de Tratamiento)
B	91.5500	6	24
C			
C	91.3300	6	21
D	90.0600	6	18
E	89.2083	6	15
F	86.8167	6	12
G	85.0500	6	9
H	82.1500	6	6
I	76.6767	6	3

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se observa que se obtuvo como valores máximos de biosorción a 92.48 % y 92.25 % de las proporciones de biomasa microbiana de 30 y 27 gramos respectivamente. También se observa que con respecto a la

diferencia mínima significativa delta (DMS) de 0.7146, que los tratamientos con proporciones de 30 y 27 gramos presentan tratamientos estadísticamente iguales.

✚ Análisis de varianza (ANOVA) para la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de plomo (Pb).

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para prueba de proporción óptima (g) de biomasa microbiana en la biosorción de plomo (Pb). Según la prueba de Fisher la eficiencia de biosorción de plomo (Pb) fue significativa, $Pr = < 0.0001$ es menor que 0.05. Por lo tanto, se deduce que existe diferencia estadística significativa en los tratamientos con diferentes proporciones de biomasa microbiana.

Tabla 49

Análisis de Varianza (ANOVA) para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)

Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
Tratamientos Proporciones	9	259.2991483	28.8110165	46.89	<.0001
Error	50	30.7215500	0.6144310		
Total, Corregido	59	290.0206983			
CV %	0.91				

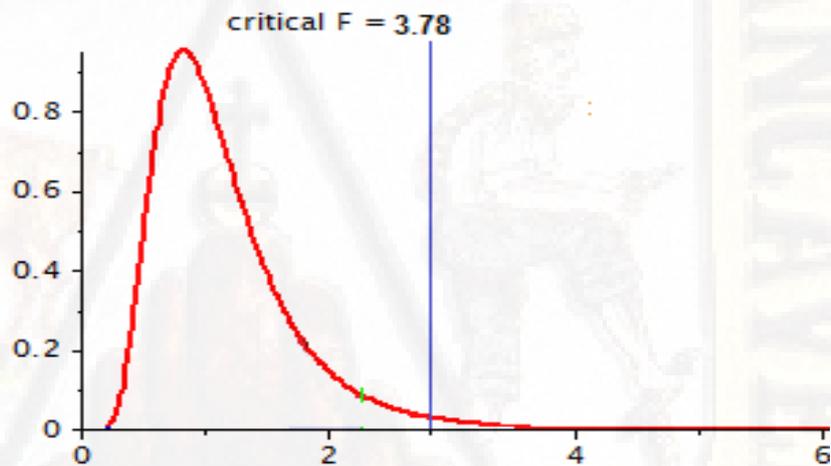
Nota: DF (Grados de Libertad), CV (Coeficiente de Variación)

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior para el análisis de varianza (ANOVA) en la prueba de proporción óptima (g) de biomasa microbiana en la biosorción de plomo (Pb) se muestra que el valor F calculado es igual a 46.89, y es mayor que el valor de F de la tabla igual a 3.78, rechazando la hipótesis nula y aceptando la alterna.

Figura 50

Valor Crítico y el Valor de Fisher para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

Pruebas de medias de Tukey para la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana en la biosorción de plomo (Pb)

El presente análisis es una comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia Alpha de 0.05, para lo cual presenta diferencia estadística entre las proporciones de biomasa microbiana aplicada para la biosorción de plomo (Pb).

Por lo tanto, se realizó la comparación de medias para la variable proporción óptima.

Tabla 50

Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)

Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD)	
Alpha	0.05
Grados de Error de Libertad	50
Error de Cuadrado Medio	0.614431
Valor Crítico del Rango Estudentizado	4.68143
Diferencia Significativa Mínima	1.4981

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51

Prueba de Medias de Tukey para la Prueba de Proporción Óptima de Biomasa Microbiana en la Biosorción de Plomo (Pb)

Tukey Agrupamiento	Media	N	Proporción de Biomasa Microbiana (Unidades de Tratamiento)
A	88.2900	6	24
A			

Tukey		Media	N	Proporción de Biomasa Microbiana (Unidades de Tratamiento)	
Agrupamiento					
B	A	88.1483	6		27
B	A				
B	A	87.5617	6		21
B	A				
B	A	86.5767	6		15
B					
B	C	86.4650	6		18
	C				
D	C	84.7850	6		12
D					
D		84.1733	6		9
D					
D	E	83.4600	6		6
D	E				
D	E	83.2217	6		30
	E				
E		82.2667	6		3

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se observa que se obtuvo como valores máximos de biosorción a 88.29 % y 88.14 % de las

proporciones de biomasa microbiana de 24 y 27 gramos respectivamente. También se observa que con respecto a la diferencia mínima significativa delta (DMS) de 1.4981, los tratamientos con proporciones de 24 y 27 gramos presentan tratamientos estadísticamente iguales.

✚ Análisis de varianza (ANOVA) para la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de cobre (Cu)

Se realizó el análisis de varianza para la prueba de tiempo óptimo de contacto (h) en la biosorción de cobre (Cu).

Según la prueba de Fisher la eficiencia de biosorción de cobre (Cu) fue significativa, $Pr = < 0.0001$ es menor que 0.05. Por lo tanto, se deduce que existe diferencia estadística entre cada uno de los tratamientos con diferentes tiempos de contacto.

Tabla 52

Análisis de Varianza (ANOVA) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)

Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
Tiempo de Contacto	9	8.98370167	0.99818907	7.93	<.0001
Error	50	6.29131667	0.12582633		
Total, Corregido	59	15.27501833			
CV %	0.37				

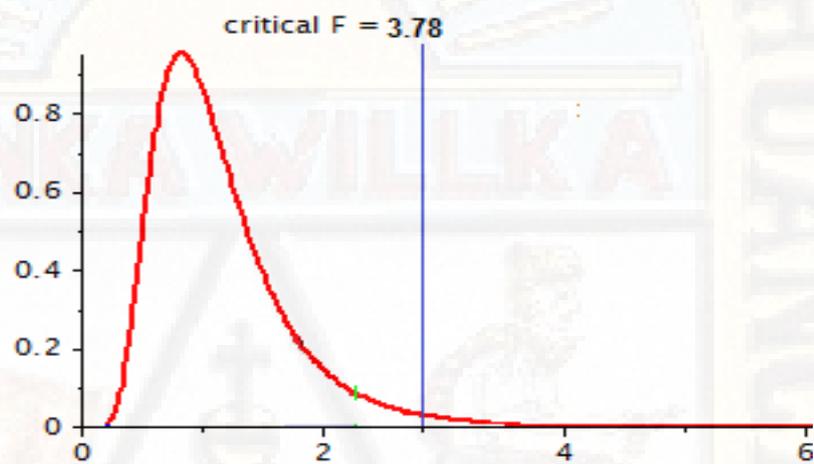
Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior para el análisis de varianza (ANOVA) en la prueba de tiempo óptimo de contacto (h) en la

biosorción de cobre (Cu) se muestra que el valor F calculado es igual a 7.93, y es mayor que el valor de F de la tabla igual a 3.78, rechazando la hipótesis nula y aceptando la alterna

Figura 51

Valor Crítico y Valor de Fisher para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)



Fuente: Elaboración propia

✚ Prueba de medias de Tukey para la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de cobre (Cu)

El presente análisis es una comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia Alpha de 0.05, para lo cual presenta diferencia estadística entre los diferentes tiempos de contacto aplicado en la biosorción de cobre (Cu). Por lo tanto, se realizó la comparación de medias para la variable tiempo de contacto.

Tabla 53

Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)

Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD)	
Alpha	0.05
Grados de Libertad	50
Error de Cuadrado Medio	0.125826
Valor Crítico del Rango Estudentizado	4.68143
Diferencia Significativa Mínima	0.6779

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54

Prueba de Medias de Tukey para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Cobre (Cu)

Tukey Agrupamiento	Media	N	Intervalos de Tiempo de Contacto (Unidades de Tratamiento)
A	94.4167	6	3
A			
B A	94.2117	6	21
B A			

Tukey		Media	N	Intervalos de Tiempo de Contacto (Unidades de Tratamiento)
Agrupamiento				
B	A	94.1550	6	24
B	A			
B	A C	93.8883	6	27
B	C			
B	C	93.6533	6	18
	C			
	C	93.4617	6	6
	C			
	C	93.4233	6	12
	C			
	C	93.4117	6	9
	C			
	C	93.3417	6	30
	C			
	C	93.3250	6	15

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se observa que se obtuvo como valor máximo de biosorción a 94.41 % para un tiempo de contacto de 3 horas. También se observa que con respecto a la diferencia mínima significativa delta (DMS) de 0.6779, que los

tratamientos con tiempo de contacto de 21, 24 y 27 horas presentan tratamientos estadísticamente iguales.

✚ **Análisis de varianza (ANOVA) para la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de plomo (Pb)**

Se realizó el análisis de varianza para la prueba de tiempo óptimo de contacto (h) en la biosorción de plomo (Pb). Según la prueba de Fisher la eficiencia de biosorción de plomo (Pb) fue significativa, $Pr < 0.0001$ es menor que 0.05. Por lo tanto, se deduce que existe diferencia estadística entre los tratamientos con diferentes tiempos de contacto.

Tabla 55

Análisis de Varianza (ANOVA) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)

Fuente	DF	Suma de Cuadrados	de Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
Tiempo de Contacto	9	65.14847333	7.23871926	30.33	<.0001
Error	50	11.93490000	0.23869800		
Total, Corregido	59	77.08337333			
CV %	0.53				

Nota: DF (Grados de Error de Libertad), CV (Coeficiente de Variación)

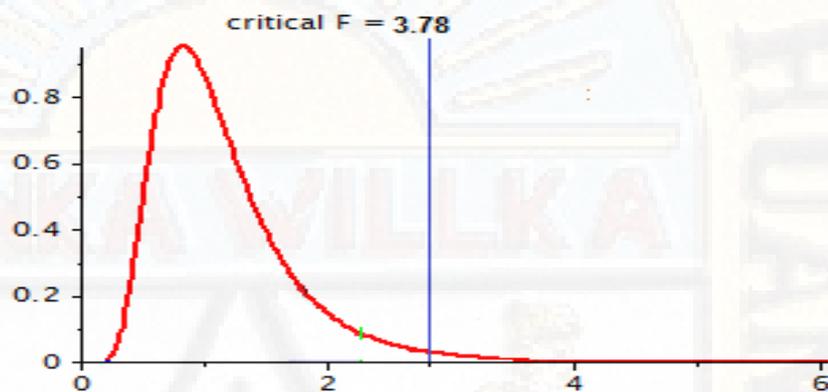
Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior para el análisis de varianza (ANOVA) en la prueba de tiempo óptimo de contacto (h) en la biosorción de plomo (Pb) se muestra que el valor F calculado es igual a 30.33, y es mayor que el valor de F de la tabla igual a

3.78, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

Figura 52

Valor Crítico y Valor de Fisher en la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)



Fuente: Elaboración propia

▣ Pruebas de medias de Tukey para la prueba de tiempo óptimo de contacto en la biosorción de plomo (Pb)

El presente análisis es una comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia Alpha de 0.05, para lo cual presenta diferencia estadística entre los diferentes tiempos de contacto aplicado en la biosorción de plomo (Pb). Por lo tanto, se realizó la comparación de medias de la variable tiempo de contacto.

Tabla 56

Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)

Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD)	
Alpha	0.05
Grados de Libertad	50
Error de Cuadrado Medio	0.238698
Valor Crítico del Rango Estudentizado	4.68143
Diferencia Significativa Mínima	0.9337

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57

Prueba de Medias de Tukey para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto en la Biosorción de Plomo (Pb)

Tukey Agrupamiento	Media	N	Intervalos de Tiempo de Contacto (Unidades de Tratamiento)
A	93.0800	6	3
B	91.8417	6	6
B			
C	91.3883	6	9

Tukey		Media	N	Intervalos de Tiempo de Contacto (Unidades de Tratamiento)
Agrupamiento				
C	B			
C	B	91.3450	6	12
C	B			
C	B	91.2167	6	27
C	B			
C	B	91.0283	6	24
C				
C	D	90.5733	6	15
	D			
E	D	89.9250	6	18
E				
E		89.6300	6	21
E				
E		89.4783	6	30

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se observa que se obtuvo como valor máximo de biosorción a 93.08 % para un tiempo de contacto de 3 horas. También se observa que con respecto a la diferencia mínima significativa delta (DMS) de 0.9337, los tratamientos

con tiempo de contacto de 6, 9, 12, 27, 24 horas presentan tratamientos estadísticamente iguales.

H. Decisión estadística

+ Hipótesis general

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a) Debido que el valor de ANOVA es significativo. Demostrando que existe una biosorción de 95.73 % y 92.49 % para los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) respectivamente. Afirmando que: **La biomasa microbiana tiene una eficiencia de biosorción mayor al 50% de Cu y Pb provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.**

+ Hipótesis específica 1

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a) Debido que el valor de ANOVA es significativo. La prueba de Tuckey con grado de significancia estadística alfa de 0.05 demuestra que existe diferencia entre los tratamientos con diferentes proporciones de biomasa microbiana, obteniendo que la biomasa microbiana óptima es de 27 gramos para una biosorción máxima de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb). Por lo tanto, se afirma que: **La proporción óptima de biomasa microbiana será menor a 30 g en la biosorción cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.**

+ Hipótesis específica 2

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a) Debido que el valor de ANOVA es significativo. La prueba de Tuckey con grado de significancia estadística alfa de 0.05 demuestra que existe diferencia entre los tratamientos con diferentes tiempos de contacto, obteniendo que el tiempo óptimo de contacto es de 3 horas para una biosorción máxima de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb). Por lo tanto, se afirma que:

El tiempo óptimo de contacto será menor a 24 horas en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

4.2.2 Conclusión de la prueba de hipótesis

Según el análisis de varianza (ANOVA) para ambos parámetros; proporción de biomasa microbiana y tiempo de contacto, se deduce que existe diferencia estadística significativa debido a que los P valores (Pr) son menores a 0.05. Por esa razón se aplica la prueba de Tukey para comparar los tratamientos e identificar cual produce una mayor eficiencia de biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb).

Según la prueba de Tukey en la biosorción de cobre (Cu) aplicando diferentes proporciones de biomasa microbiana en un sistema mono-componente, las proporciones óptimas son de 30 y 27 gramos con eficiencia de biosorción máximo de 92.48 % y 92.25 % respectivamente y para plomo (Pb) con proporciones óptimas de 24 y 27 gramos con eficiencia de biosorción máximo de 88.29 % y 88.14 %, seleccionando como única proporción óptima de biomasa microbiana con mayor eficiencia de biosorción de ambos metales a 27 gramos de biomasa microbiana.

Según la prueba de Tukey en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) aplicando diferentes tiempos de contacto en un sistema mono-componente, el tiempo de contacto óptimo para ambos metales fue de 3 horas con una eficiencia máxima de biosorción de 94.41 % para cobre (Cu) y 93.08 % para plomo (Pb).

Aplicando la proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos y tiempo óptimo de contacto de 3 horas a un sistema multi-componente proveniente de relaves mineros de obtuvo una eficiencia de biosorción máxima de 95.73 % para cobre (Cu) y 92.37 % para plomo (Pb).

De esta manera se afirma con un 95% de confianza que:

La proporción óptima de biomasa microbiana es menor a 30 gramos en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros de la mina Buena Aventura, Julcani, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la alterna (H_a).

El tiempo óptimo de contacto es menor a 24 horas en la biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros de la mina Buena Aventura, Julcani. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la alterna (H_a).

La biomasa microbiana tiene una eficiencia de biosorción mayor al 50% de metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la alterna (H_a).

4.3 Discusión de resultados

4.3.1 Proporción de biomasa microbiana óptima en la biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb)

Los resultados obtenidos en la presente tesis permitieron determinar la proporción óptima de biomasa microbiana a emplear en la biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros, mina Buenaventura-Julcani.

La proporción óptima de biomasa microbiana para cobre (Cu) fue determinada a partir de la prueba de biosorción mono-componente. La cual tuvo un comportamiento creciente y significativo con la primera proporción de biomasa microbiana de 3 gramos, produciendo una biosorción de 76.67 %, para posteriormente observar un aumento constante pero poco significativo a medida que se incrementó la proporción, hasta alcanzar una biosorción máxima a 27 gramos de biomasa microbiana con una eficiencia de biosorción de 92.25 % Según Santos (2010) quien hizo ensayos a una escala menor de cobre (Cu) mostro este mismo comportamiento para un sistema mono-componente produciendo una biosorción inicial significativa de 48.4 % con una primera proporción de 0.05 gramos de biomasa microbiana hasta alcanzar progresivamente a medida que aumenta esta proporción una biosorción máxima de 62.5 % a 1.5 gramos de biomasa microbiana, explicando que los iones de cobre (Cu^{+2}) en solución al entrar en contacto con el biosorbente en un primer momento buscan rápidamente un sitio activo en la pared de la biomasa microbiana para posteriormente biosorber en menor cantidad los iones restantes que aún quedan en el agua y de esta forma alcanzar una biosorción máxima. Así mismo Monge et al., (2008) también muestra resultados de biosorción máxima de cobre de 73 % con bacterias anaerobias y afirma que el porcentaje de remoción de cobre en soluciones acuosas depende de la cantidad del metal que puede adsorber la biomasa y

esta cantidad a su vez es función de la capacidad de intercambio de la biomasa y el metal. Con base en esto, consideró que la biomasa que tiene la mayor capacidad de intercambio del ion de cobre (Cu) es aquella que exhibe el mayor porcentaje de remoción.

En la biosorción de plomo (Pb) se observa que no existe una biosorción acelerada en un primer contacto con la biomasa microbiana, sino una biosorción progresiva a medida que se aumenta la proporción, según Lavado y Jimenez (2016) el plomo (Pb) requiere de un tiempo de contacto determinado, pudiendo ser un rango de tiempo mayor o menor para producir una biosorción máxima. Como se trabajó a un tiempo único de 24 horas para la prueba de proporción óptima de biomasa microbiana, la eficiencia de biosorción de plomo (Pb) solo aumenta con la variación de las proporciones aplicadas, alcanzando una biosorción máxima de 88.14 % a una proporción de 27 gramos, la cual coincide con Tur et al. (2016) quienes también utilizaron material biológico como biosorbente, observaron que la biosorción máxima de los iones de plomo (II) fue de 97.4 % con una proporción de biomasa de 0.6 gramos para muestras de 25 ml y un tiempo de contacto de 60 minutos, y afirmaron que el plomo (Pb) tiene mayor capacidad de ser biosorbido que otros metales pesados con un porcentaje mayor al 80 % de los iones presentes en solución por un material biológico, utilizando la proporción, tiempos y pH adecuados, Así mismo Vizcaíno y Fuentes (2014) obtuvieron una eficiencia de biosorción mayor al 95 % utilizando tuna modificada como biosorbente y afirmaron que los iones de plomo (Pb) tienen mayor afinidad con la biomasa y una mejor relación con los sitios activos presentes en la superficie del biosorbente.

4.3.2 Tiempo óptimo de contacto en la biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb)

Los resultados obtenidos en la presente tesis permitieron determinar el tiempo óptimo de contacto a emplear en la biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) proveniente de relaves mineros, mina Buenaventura-Julcani.

El tiempo óptimo de contacto para cobre (Cu) fue determinado a partir de la prueba de biosorción mono-componente. El cual tuvo una eficiencia de biosorción máxima de 94.41 % para cobre (Cu) en el primer tiempo de contacto de 3 horas aplicado, para posteriormente observar una leve desorción alrededor del 93 % en el rango de tiempo de contacto de 6 a 21 horas, para volver a alcanzar nuevamente una biosorción de 94.15 % a las 24 horas y continuar alrededor de 93 % para los tiempos de 27 y 30 horas. Según Santos (2010) quien utilizó 8 tiempos de contacto crecientes de 15, 30, 60, 120, 180, 240, 960, 1440 minutos para la biosorción de cobre (Cu), obtuvo un ascenso en la biosorción del metal a medida que incrementaba el intervalo de tiempo. Obteniendo una biosorción máxima a un tiempo de contacto de 24 horas (1440 minutos), caso contrario sucedió en los experimentos realizados en la presente investigación, ya que se observa un biosorción máxima de cobre (Cu) en el menor y primer intervalo de tiempo de 3 horas para posteriormente observar una disminución significativa provocada por la desorción y nuevamente una biosorción. Dicho fenómeno es producido por el intercambio iónico. Analizando estos dos panoramas se afirma que en la primera prueba elaborado por Santos (2010), se tiene concentraciones de cobre (Cu) entre 10 y 100 ppm con una proporción de biomasa microbiana de 1.5 gramos en 100 ml de muestra. Por este motivo el proceso de biosorción requiere de un mayor tiempo de contacto para una capturar una cantidad máxima de iones metálicos hasta llegar a un punto de saturación. Por otro

lado, en la prueba realizada en la investigación, la concentración de cobre se encuentra alrededor de 13 ppm con una proporción de biomasa microbiana de 27 gramos en 600 ml de muestra. Al tener una concentración menor de iones metálicos, la biosorción máxima ocurrirá en el primer tiempo para posteriormente provocar una desorción por la saturación del metal

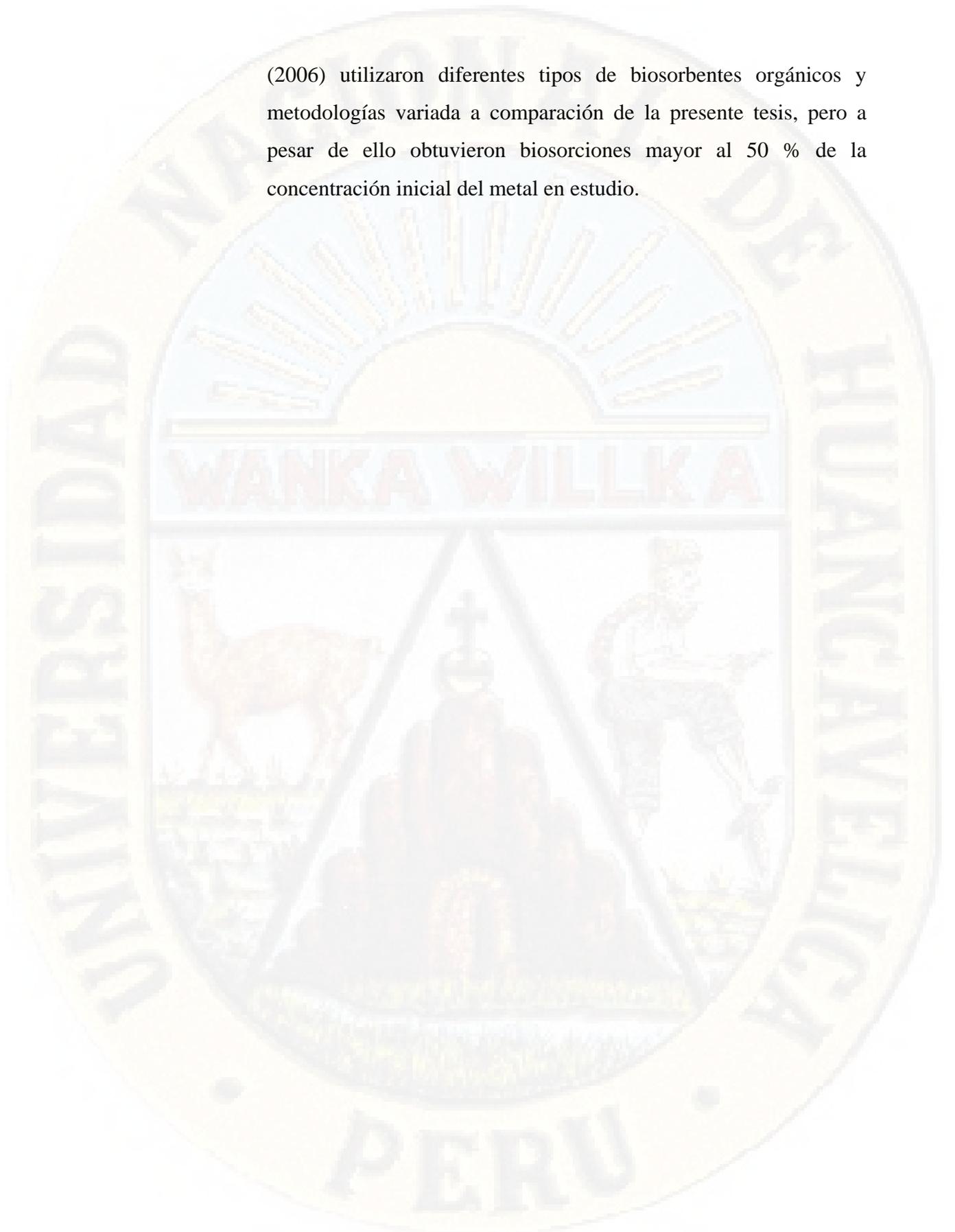
Para plomo (Pb) se produce un fenómeno similar, iniciando con una eficiencia de biosorción máxima de 93.08 % en el primer tiempo de contacto de 3 horas, para posteriormente producirse una desorción mínima debido a la influencia del tiempo de contacto, oscilando alrededor de 91 % y 89 % en las siguientes horas de prueba de 6 a 30 horas. Según Larenas et al. (2008) quien experimento con biomasa de residuos vegetales en la biosorción de plomo (Pb) en un sistema mono-componente aplicando 7 tiempos diferentes de 5, 10, 15, 30, 60, 90 y 120 minutos, ocurrió este mismo fenómeno, produciendo la biosorción máxima en el primer tiempo de contacto de 5 minutos y una desorción para los próximos tiempos. Larenas et al. (2008) explica que este fenómeno ocurre debido a que se produce una saturación progresiva del biosorbente a medida que transcurre el tiempo, es decir que el Pb^{+2} se une más débilmente a la superficie del biosorbente a medida que este se va saturando, además según Oré et al. (2015) afirma que para los máximos tiempos de contacto se produce una desorción del metal debido a que el tiempo de contacto tiene gran influencia sobre la biosorción de plomo (Pb), produciendo una reversibilidad en la absorción de ion de plomo (Pb^{2+}) con cationes liberados por parte de la biomasa microbiana suficientes como para desplazar los iones de plomo (Pb^{2+}) que hay en el sistema.

4.3.3 Eficiencia de biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) en un sistema mono y multi-componente

Durante la investigación se obtuvo para un sistema mono-componente de cobre (Cu) una biosorción máxima de 94.41 % y para plomo (Pb) una biosorción máxima de 93.08 %. Por otro lado, para un sistema multi-componente proveniente de relaves mineros una biosorción de 95.72 % para cobre (Cu) y 92.40 % para plomo (Pb). Se observó que la biosorción en un sistema multi-componente a comparación de un sistema mono presenta un pequeño incremento en biosorción alrededor de 1.3 % para cobre (Cu) y 0.5 % para plomo (Pb). Santos (2010) quien analizó los metales de cobre (Cu) y de zinc (Zn) con eficiencias de biosorción de 67.97 % y 98.73 % respectivamente en un sistema multi-componente y 60 % y 90 % en un sistema mono-componente, menciona que en un sistema multi-componente existió mayor biosorción por más del 7 % que un sistema mono-componente para ambos metales. Indica que la capacidad de biosorción de un sistema multi-componente es mayor que para un sistema mono-componente, debido a que, si bien la mayoría de los sitios de biosorción para la biomasa microbiana utilizada como biosorbente son capaces de ligar a ambos metales, existen algunos sitios que pueden ser específicamente para cada uno de ellos. Por otro lado Apiratikul & Marhabab (2014) menciona que las aguas contaminadas con relaves mineros contienen gran variedad de metales pesados y que la mayoría de trabajo de investigación solo se centra en una sola sorción de metal y solo existen pocos trabajos sobre la adsorción de una mezcla de metales que se encuentran dentro de la literatura, coincidiendo con lo que menciona el autor no se encontró información específica sobre el estudio de biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) en un único sistema.

Los trabajos de investigación Tejada et al. (2016), Mejía y Noyola (2010), Gulnaz et al. (2005), Choque (2017) y Villanueva

(2006) utilizaron diferentes tipos de biosorbentes orgánicos y metodologías variada a comparación de la presente tesis, pero a pesar de ello obtuvieron biosorciones mayor al 50 % de la concentración inicial del metal en estudio.



Conclusiones

Las conclusiones que se llegaron al finalizar la presente tesis fueron las siguientes

- ✓ La proporción óptima de biomasa microbiana para la biosorción máxima de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) fue de 27 gramos de biomasa microbiana. Así mismo concuerda con lo planteado en la hipótesis donde menciona que la proporción óptima de biomasa microbiana es menor a 30 gramos.
- ✓ El tiempo óptimo de contacto para la biosorción máxima de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) fue de 3 horas. Así mismo concuerda con lo planteado en la hipótesis donde menciona que el tiempo óptimo de biosorción es menor a 24 horas.
- ✓ Aplicando la proporción óptima de biomasa microbiana de 27 gramos y tiempo óptimo de contacto de 3 horas, la eficiencia de la biomasa microbiana en la biosorción de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani fue de 95.73 % y 92.37 % respectivamente superando significativamente al 50 % de biosorción planteado en la hipótesis. Siendo un biosorbente con gran capacidad de eliminación de iones metálicos.

Recomendaciones

- ✓ Se recomienda realizar pruebas empleado más de dos metales pesados provenientes de relaves mineros con el objetivo de ver la competencia de iones metálicos y el porcentaje de biosorción en cada uno de ellos.
- ✓ Se recomienda realizar pruebas con tiempos menores a 3 horas para observar el comportamiento de los iones metálicos frente a la biomasa microbiana y la eficiencia de biosorción.
- ✓ Se recomienda realizar pruebas de biosorción con biomasa microbiana viva y comparar la eficiencia de biosorción y ventajas frente a la biomasa microbiana muerta.
- ✓ Se recomienda analizar la influencia del pH inicial de la solución en la biosorción de iones metálicos debido a que a menudo se ha aceptado que muchos biosorbentes tiene alta capacidad de sorción de metales pesados a pH alto, sin embargo, también se afirma que a pH demasiado alto podría producirse la precipitación del metal, interrumpiendo su biosorción, por lo tanto, es importante identificar un pH adecuado para la sorción de metales en los próximos trabajos a realizar.
- ✓ Se recomienda implementar equipos a los laboratorios de Ingeniería Ambiental y Sanitaria para facilitar el desarrollo de trabajos de investigación.

Referencias bibliográficas

- Aduvire, O. (1991). Drenaje Ácido de Mina. Generación y Tratamiento. En *Instituto Geológico y Minero de España* (2a ed.). Madrid.
- Ahayla, & Ramachandra. (1995). Biosorption of heavy metals. *Biotechnology progress*, 11(3), 235–250. <https://doi.org/10.1021/bp00033a001>
- ANA, A. N. del A. (2010). *RJ N° 202-2010-ANA, Clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino-costeros* (pp. 1–9). pp. 1–9. Peú.
- Apiratikul, R., & Marhaba, T. F. (2014). *Biosorption of binary mixtures of heavy metals by green macro alga , Caulerpa lentillifera*. (May).
- Apiratikul, R., Marhaba, T., Wattanachira, S., & Pavasant, P. (2004). Biosorption of binary mixtures of heavy metals by green macro alga, *Caulerpa lentillifera*. *New Jersey Institute of Technology*, 16 (May 2004), 465–473. Recuperado de <http://www.aseanbiodiversity.info/Abstract/53004164.pdf>
- Barros, M., Prasad, S., Leite, D., & Souza, G. (2006). The process of biosorption of heavy metals in bioreactors loaded with sanitary sewage sludge. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 23(2), 153–162. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322006000200001>
- Bermúdez, M. (2010). *Contaminacion y Turismos Sostenible*.
- Brack, A., Gonzales, A., & Roca, R. (2010). *Guia de Evaluación de Riesgos Ambientales*.
- Cañizares, R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42(3), 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.02.024>
- Carmencita, L., Maria del Rosario, S., & Salvador, B. (2010). Adsorción de Plomo de Efluentes Industriales Usando Carbones Activados con H₃PO₄. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(2), 165–178.

- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., & Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 73–90.
- Chaparro, L. (2015). Drenajes ácidos de mina formación y manejo. *Revista ESAICA*, 1(1), 53–57. <https://doi.org/10.15649/24225126.272>
- Choque, M. (2017). *Remocion de iones de cadmio (II), plomo (II) y niquel (II) de lodos sedimentados en la bahía interior de Puno – Lago Titica utilizando biosorbente acuosa de la semilla de Tarwi (Lupinus mutabalis)*. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6209/EPG878-00878-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CIPER, C. de I. P. (2012, octubre). Documental sobre los graves peligros de los relaves mineros | NO A LA MINA ESQUEL. Recuperado el 30 de julio de 2020, de <https://noalamina.org/latinoamerica/chile/item/10101-documental-sobre-los-graves-peligros-de-los-relaves-mineros>
- Cordero, J. (2018). *Estudio de la conductividad de películas delgadas de cobre (CU) mediante electrodeposición* (Universidad Nacional Mayor de San Marcos). https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10027/Cordero_uj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Coronel, D. (2015). *Aislamiento e Identificación de Taxa de Levaduras presentes en el fruto de mortiño on capacidad fermentativa y resiliencia alcoholica*. Quito.
- Corzo, A. (2015). *Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hidrico de la microcuenca Quebrada Parac distrito de San Mateo de Huanchor, Lima* (Universidad Pontificia Catolica del Peru). Recuperado de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/6160/CORZO_REMIGIO_AMELIA_IMPACTO_MINEROS%0A\(1\).pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/6160/CORZO_REMIGIO_AMELIA_IMPACTO_MINEROS%0A(1).pdf?sequence=1&isAllowed=y)

De la Flor, M. Á. (2013). *Buenaventura 60 años de historia*.

Fernandez, P. (2010). Equilibrio Acido - Base. Recuperado de https://previa.uclm.es/profesorado/pablofernandez/QG-05-equilibrio_acido_base/equilibrio_acido_base.pdf

Gonzalez, L., & Garzon, J. (2012). *Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cascara de naranja* (Universidad de Cartagena). Recuperado de [http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/68/1/Adsorción de Cr %28VI%29 a partir de cáscara de naranja y carbón activado obtenido de la misma %2819.12.12%29.pdf](http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/68/1/Adsorción_de_Cr_%28VI%29_a_partir_de_cáscara_de_naranja_y_carbón_activado_obtenido_de_la_misma_%2819.12.12%29.pdf)

Gulnaz, O., Saygideger, S., & Kusvuran, E. (2005). Estudio de la Biosorción de Cu (II) por Lodos Activados Secos: Efecto del Entorno Físico-Químico y Estudio Cinético. *Journal of Hazardous Materials*, 120(1–3), 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.01.003>

Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2016). Analisis y Diseño de Experimentos. En *Turkish Journal of Medical Sciences* (Vol. 46). <https://doi.org/10.3906/sag-1507-147>

HATCH, C. B. A. (2018). *Actualización del Plan Integral para la Adecuación e Implementación a los LMP de descarga de Efluente Minero Metalúrgicos y Adecuación a los ECA para Agua*.

Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*.

INECC, I. N. de E. (2014). Instituto Nacional de Ecología. Recuperado el 30 de julio de 2020, de <http://www.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/18/6.html>

Izaquita, A. (2012). EFECTOS DE LA MINERÍA SOBRE LAS FUENTES DE AGUA. Recuperado el 31 de marzo de 2019, de <http://angela-izaquita.blogspot.com/p/efectos-de-la-mineria-sobre-las-fuentes.html>

Jennings, S. R., Neuman, D. R., & Blincker, P. S. (2008). Acid mine drainage and effects on fish health and ecology: a review. *Reclamation Research Group*,

I(1), 1–26.

JUMAPAN. (2015). Distribución de Agua en el Planeta | Jumapam. Recuperado el 24 de septiembre de 2018, de <http://jumapam.gob.mx/cultura-del-agua/distribucion-de-agua-en-el-planeta/>

Lara, A. (2008). Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados. En *Universidad De Granada, Facultad De Ciencias, Departamento De Ingeniería Química*.

Larenas, C., Andrango, D., & Inga, P. (2008). Estudio isotérmico de biosorción de plomo en aguas utilizando residuos vegetales. *La Granja*, 8(2), 3. <https://doi.org/10.17163/lgr.n8.2008.01>

Lavado, C., & Jimenez, F. (2016). Estudio de la biosorción de Pb divalente de soluciones acuosas usando biomasa modificada de Marlon de Maiz (Zea Mays). *SCIELO*, 82(4).

Lillo, J. (2012). *Impactos de la minería en el medio natural*.

Lugo, C. (1967). *Teoría y generalidades sobre intercambio iónico*. Madrid.

Marta, C. (2001). *Adsorción-Desorción del Metal de Plomo (II) a Modelos de Partículas Coloidales*.

Mejía, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, (1), 77–99.

Mejía, M., & Noyola, A. (2010). Biosorción de plomo por lodo granular anaerobio. *Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria la Molina*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01510e14.pdf>

MINAM, M. del A. P. (2010). Aprueban Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Dfluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas (RM N° 194-2010-PCM). *El Peruano*, (0), 4.

MINEM. (2010). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros*.

- MINEM. (2017). Ministerio de Energía y Minas - Perú es el único de los cinco principales países productores de cobre que aumentó su producción en el 2017. Recuperado el 27 de julio de 2020, de http://www.minem.gob.pe/_detallenoticia.php?idSector=1&idTitular=8289
- MINSA, M. de S. (2005). *Información general sobre sustancias tóxicas e intoxicaciones*.
- Monge, O., Valenzuela, J., Acedo, E., Certucha, M., & Almendáriz, F. (2008). Biosorción de cobre en sistema por lote y continuo con bacterias aerobias inmovilizadas en Zeolita Natural (Clinoptilolita). *Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia*, 24(3), 107–115. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v24n3/v24n3a2.pdf>
- Oré, F., Lavado, C., & Bendejú, S. (2015). Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(2), 122–134. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v81i2.20>
- Pacheco, E., Pimentel, J., & Roque, W. (2010). Cinética de la biadsorción de iones Cadmio (II) y plomo (II) de soluciones acuosas por biomasa residual de café (*Coffea arabica* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(3), 279–292. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2010000300009&script=sci_arttext&tlng=pt
- RAE, R. A. E. (2019a). Diccionario de la lengua española (RAE - ASALE) evaluar -Definición. Recuperado el 30 de julio de 2020, de <https://dle.rae.es/evaluar>
- RAE, R. A. E. (2019b). Diccionario de la lengua española (RAE - ASALE) metal -Definición. Recuperado el 30 de julio de 2020, de <https://dle.rae.es/metal>
- RAE, R. A. E. (2019c). Diccionario de la lengua española (RAE - ASALE) pH -Definición. Recuperado el 30 de julio de 2020, de <https://dle.rae.es/pH>
- RAE, R. A. E. (2019d). eficiencia-Definición. Recuperado el 30 de julio de 2020, de <https://dle.rae.es/eficiencia>

- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación Por Metales Pesados: Implicaciones En Salud, Ambiente Y Seguridad Alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
- Rimarachin, P., & Huaranga, F. (2015). Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. *Sciendó*, 18(2), 20–29.
- Rodríguez, R., Oldecop, L., Linares, R., & Salvadó, V. (2009). Los grandes desastres medioambientales producidos por la actividad minero-metalúrgica a nivel mundial: causas y consecuencias ecológicas y sociales. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 12(24), 7–25. Recuperado de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/351/308>
- Romero, K. (2013). Contaminación Por Metales Pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*.
- Sabatini, S., Ruiz, M., & Calcagno, J. (2012). *Los Indicadores de la Contaminación de las Aguas*.
- Sala, L., García, S., González, J., Frascaroli, M., Bellú, S., Mangiameli, F., ... Peregrin, S. (2010). *Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho*. 114.
- Salazar, B. (2013). Evaluación del Proceso de Biosorción de Pb (II) y Cd en Agua Utilizando el Residuo Agrícola de Phaseolus Vulgaris L. (Frejol). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sanga, J. (2016). *Biosorción de Plomo por Biomasa Inactiva de Bacterias Aisladas en Sedimentos de Lixiviados del Botadero de Haquira-Cusco*.
- Santos, K. (2010). *Biosorción de metales pesados empleando lodos activados*. Universidad Nacional de Ingeniería.

- SERNAGEOMIN. (2005). “ PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN SUDAMÉRICA ” Informe elaborado para la CEPAL , el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales , BGR , y el Servicio Nacional de Geología y Minería , SERNAGEOMIN por. En *Pasivos ambientales mineros en sudamerica*. Recuperado de [http://www.eclac.cl/drni/noticias/seminarios/4/13604/Informe Pasivos Ambientales Mineros en Sudam?rica.pdf](http://www.eclac.cl/drni/noticias/seminarios/4/13604/Informe_Pasivos_Ambientales_Mineros_en_Sudam?rica.pdf)
- SIAC, S. de I. A. de C. (2007). El Agua. Recuperado el 1 de abril de 2019, de <http://www.siac.gov.co/aguaques>
- SUNASS. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. En *Sunass*. Recuperado de <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- Tejada, C., Herrera, P., & Ruiz, E. (2016). Utilización de Biosorbentes para la Remoción de Níquel y Plomo en Sistemas Binarios. *Ciencia En Desarrollo*, 7(1), 31–36. <https://doi.org/10.19053/01217488.4228>
- Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109–123. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Tur, E., De los Milagros, Teresa Romagosa, Y., & Perez, R. (2016). Bioadsorción de plomo (II) por biomasa microbiana seca: Efectos del pH. *Revista Cubana de Quimica*, (April 2013).
- UNH, U. N. de H. (2016). *Evaluacion de la DBO5 en el sistema de palnta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del distrito de Yauli*.
- Vettorel, S., Tabares, I., & Oliva, A. (2017). Electrostatica. *Universidad Nacional de Rosario*, 4, 0–54. Recuperado de [https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/7084/7403-17 FISICA Electrostatica.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/7084/7403-17_FISICA_Electrostatica.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Villanueva, C. (2006). *Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de Citrus Sinensis (naranja), Citrus Limonium (limón) y Opuntia Ficus (palmeta de nopal)*. Recuperado de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/2112/Villanueva_hc.pdf?sequence=1

Vizcaíno, L., & Fuentes, N. (2014). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Granadina*, 25, 43–61. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a04.pdf>

Volesky, B. (1980). *Equilibrio de Adsorción*.

Vullo, D. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del ambiente. En *Química Viva*.

Wang, J., & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27(2), 195–226. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>

Apéndice

Apéndice A. Límites Máximo Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividad Minero Metalúrgica- Decreto supremo N° 010-2010-MINAM

Los valores de los niveles máximos permisibles de los efluentes de industrias minero metalúrgicas, de acuerdo Decreto supremo N° 010-2010-MINAM, que indica que solo podrá ser descargado en cuerpos de agua cuando alcancen un valor de 0,5 mg/l (valor en cualquier momento) y 0,4 (valor promedio anual) para el cobre (Cu) y 0,2 mg/l (valor en cualquier momento) y 0,16 mg/l (valor promedio anual) para plomo (Pb) valores establecidos, ver tabla 58.

Tabla 58

Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Límite en Cualquier Momento	Límite para el Promedio Anual
pH	mg/l	6-9	6-9
Sólidos totales en Suspensión	mg/l	50	25
Aceites y Grasa	mg/l	20	16
Cianuro Total	mg/l	1	0,8
Arsénico Total	mg/l	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/l	0,05	0,04
Cromo Hexavalente	mg/l	0,1	0,08
Cobre Total	mg/l	0,5	0,4
Hierro (disuelto)	mg/l	2	1,6
Plomo Total	mg/l	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/l	0,002	0,0016
Zinc total	mg/l	1,5	1,2

Apendice B. Análisis Estadístico ANOVA para la Proporción Óptima en la Biosorción de Cobre (Cu)

- Prueba de medias de Tukey
- Test de Levene para homogeneidad de varianza

```

DATA CAYLLAHUA_GONZALES;
INPUT PROPORCION $ REPET BIOABSORCION_COBRE;
CARDS;
3 1 77.65
3 2 77.14
3 3 76.85
3 4 76.26
3 5 76.20
3 6 75.96
6 1 82.50
6 2 82.47
6 3 82.44
6 4 82.38
6 5 82.56
6 6 80.55
9 1 85.31
9 2 85.74
9 3 85.28
9 4 84.53
9 5 84.92
9 6 84.52
12 1 87.03
12 2 86.89
12 3 86.80
12 4 86.63
12 5 86.79
12 6 86.76
15 1 89.32
15 2 89.36
15 3 89.37
15 4 89.38
15 5 88.97
15 6 88.85
18 1 90.11
18 2 90.00
18 3 90.16
18 4 90.08
18 5 90.04
18 6 89.97
21 1 91.64
21 2 91.37
21 3 91.33
21 4 91.26
21 5 91.22
21 6 91.16
24 1 91.69
24 2 91.65
24 3 91.59

```

24	4	91.51
24	5	91.44
24	6	91.42
27	1	92.13
27	2	92.27
27	3	92.28
27	4	92.29
27	5	92.28
27	6	92.27
30	1	92.58
30	2	92.47
30	3	92.49
30	4	92.50
30	5	92.46
30	6	92.43

```

PROC ANOVA DATA = CAYLLAHUA_GONZALES;
CLASS PROPORCION;
MODEL BIOABSORCION_COBRE = PROPORCION;
RUN;
MEANS PROPORCION/HOVTEST=OBRIEN;
MEANS PROPORCION/HOVTEST=BARTLETT;
MEANS PROPORCION/HOVTEST= BF;
MEANS PROPORCION/HOVTEST=LEVENE;
MEANS PROPORCION/TUKEY ALPHA = 0.05;
RUN;

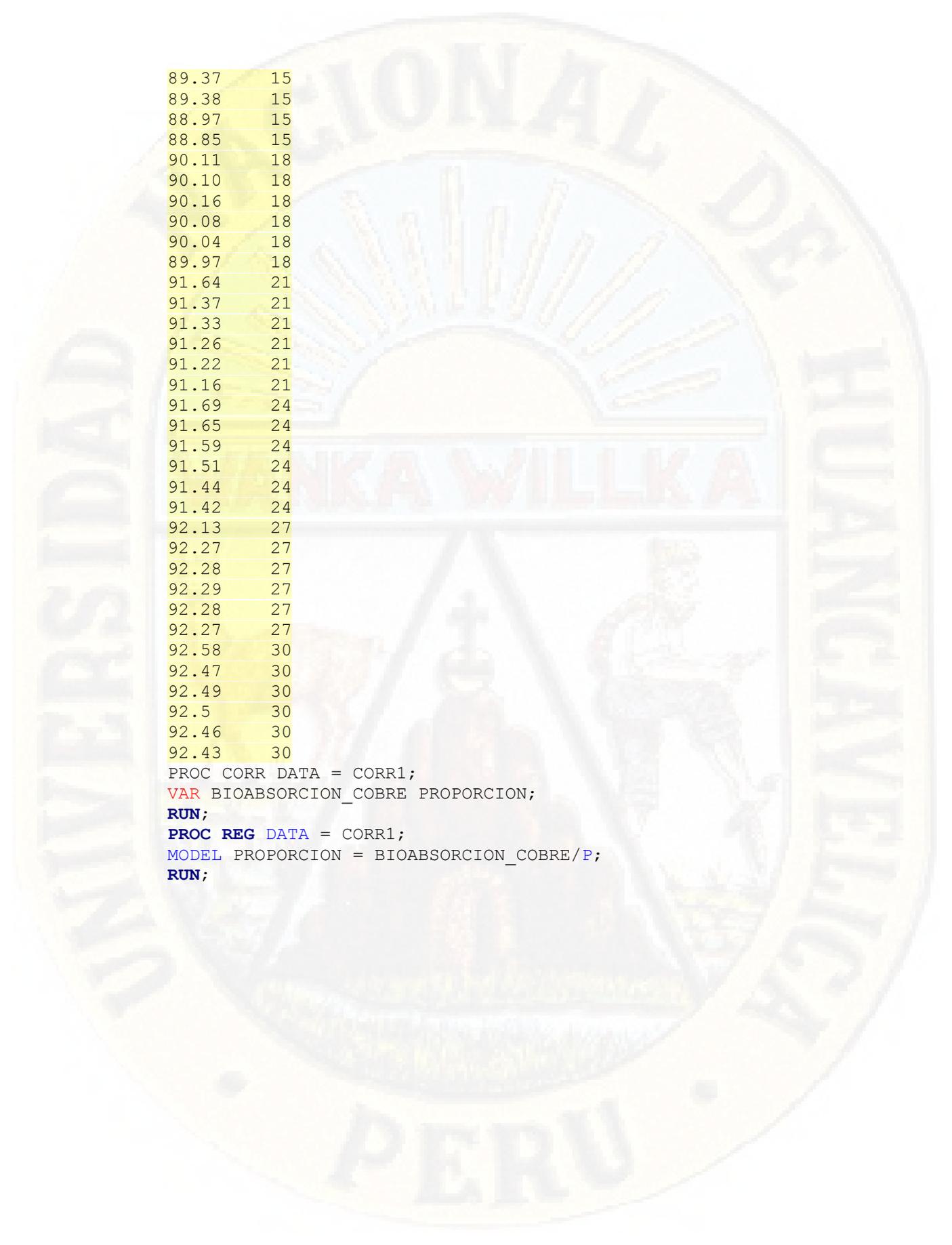
```

- Data grafica de Test de Levene para homogeneidad de varianza

```

DATA CORR1;
INPUT BIOABSORCION_COBRE PROPORCION;
CARDS;
77.65 3
77.14 3
76.85 3
76.26 3
76.2 3
75.96 3
82.5 6
82.47 6
82.44 6
82.38 6
82.56 6
80.55 6
85.31 9
85.74 9
85.28 9
84.53 9
84.92 9
84.52 9
87.03 12
86.89 12
86.8 12
86.63 12
86.79 12
86.76 12
89.32 15
89.36 15

```



89.37	15
89.38	15
88.97	15
88.85	15
90.11	18
90.10	18
90.16	18
90.08	18
90.04	18
89.97	18
91.64	21
91.37	21
91.33	21
91.26	21
91.22	21
91.16	21
91.69	24
91.65	24
91.59	24
91.51	24
91.44	24
91.42	24
92.13	27
92.27	27
92.28	27
92.29	27
92.28	27
92.27	27
92.58	30
92.47	30
92.49	30
92.5	30
92.46	30
92.43	30

PROC CORR DATA = CORR1;

VAR BIOABSORCION_COBRE PROPORCION;

RUN;

PROC REG DATA = CORR1;

MODEL PROPORCION = BIOABSORCION_COBRE/P;

RUN;

Apéndice C. Análisis Estadístico ANOVA para la Proporción Óptima en la Biosorción de Plomo (Pb)

- Prueba de medias de Tukey
- Test de Levene para homogeneidad de varianza

```
DATA CAYLLAHUA_GONZALES;  
INPUT PROPORCION $ REPET BIOABSORCION_PLOMO;  
CARDS;  
3 1 82.78  
3 2 83.07  
3 3 82.64  
3 4 81.88  
3 5 81.66  
3 6 81.57  
6 1 84.82  
6 2 84.55  
6 3 84.28  
6 4 83.00  
6 5 82.46  
6 6 81.65  
9 1 83.98  
9 2 84.34  
9 3 84.68  
9 4 84.32  
9 5 83.99  
9 6 83.73  
12 1 84.16  
12 2 84.31  
12 3 84.54  
12 4 85.33  
12 5 85.19  
12 6 85.18  
15 1 86.36  
15 2 86.20  
15 3 86.09  
15 4 86.93  
15 5 86.94  
15 6 86.94  
18 1 86.85  
18 2 87.09  
18 3 86.93  
18 4 85.88  
18 5 86.08  
18 6 85.96  
21 1 87.61  
21 2 87.70  
21 3 87.74  
21 4 87.31  
21 5 87.59  
21 6 87.42  
24 1 88.10  
24 2 88.02  
24 3 88.61
```

24	4	88.29
24	5	88.36
24	6	88.36
27	1	88.41
27	2	88.37
27	3	88.45
27	4	87.85
27	5	87.86
27	6	87.95
30	1	81.52
30	2	81.66
30	3	81.67
30	4	84.91
30	5	84.91
30	6	84.66

```

PROC ANOVA DATA = CAYLLAHUA_GONZALES;
CLASS PROPORCION;
MODEL BIOABSORCION_PLOMO = PROPORCION;
RUN;
MEANS PROPORCION/HOVTEST=OBRIEN;
MEANS PROPORCION/HOVTEST=BARTLETT;
MEANS PROPORCION/HOVTEST= BF;
MEANS PROPORCION/HOVTEST=LEVENE;
MEANS PROPORCION/TUKEY ALPHA = 0.05;
MEANS PROPORCION/TUKEY ALPHA = 0.01;
RUN;

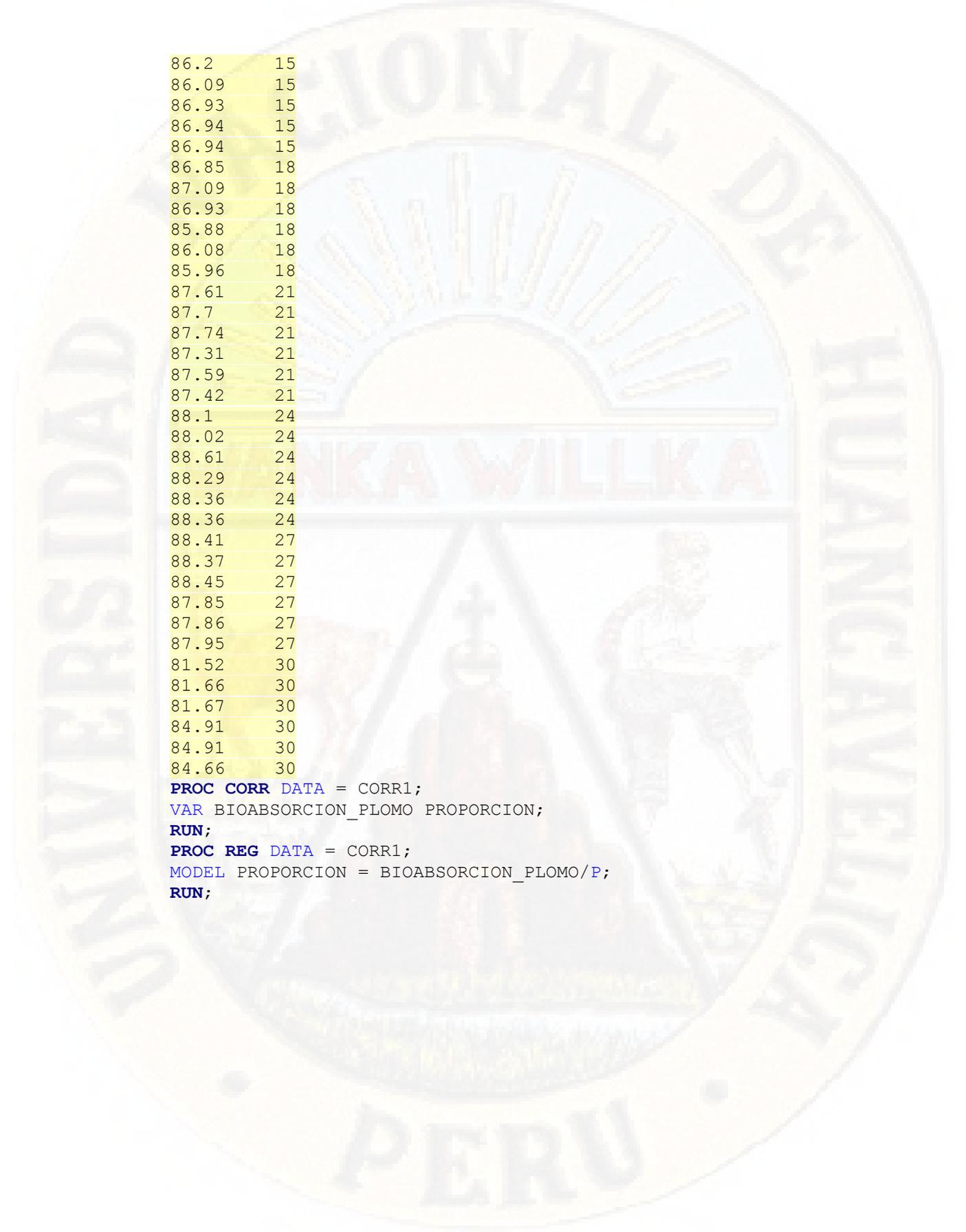
```

- Data grafica de Test de Levene para homogeneidad de varianza

```

DATA CORR1;
INPUT BIOABSORCION_PLOMO PROPORCION;
CARDS;
82.78 3
83.07 3
82.64 3
81.88 3
81.66 3
81.57 3
84.82 6
84.55 6
84.28 6
83.28 6
82.46 6
81.65 6
83.98 9
84.34 9
84.68 9
84.32 9
83.99 9
83.73 9
84.16 12
84.31 12
84.54 12
85.33 12
85.19 12
85.18 12
86.36 15

```



86.2	15
86.09	15
86.93	15
86.94	15
86.94	15
86.85	18
87.09	18
86.93	18
85.88	18
86.08	18
85.96	18
87.61	21
87.7	21
87.74	21
87.31	21
87.59	21
87.42	21
88.1	24
88.02	24
88.61	24
88.29	24
88.36	24
88.36	24
88.41	27
88.37	27
88.45	27
87.85	27
87.86	27
87.95	27
81.52	30
81.66	30
81.67	30
84.91	30
84.91	30
84.66	30

PROC CORR DATA = CORR1;

VAR BIOABSORCION_PLOMO PROPORCION;

RUN;

PROC REG DATA = CORR1;

MODEL PROPORCION = BIOABSORCION_PLOMO/P;

RUN;

Apéndice D. Análisis Estadístico ANOVA para el Tiempo Óptimo en la Biosorción de Cobre (Cu)

- Prueba de medias de Tukey
- Test de Levene para homogeneidad de varianza

```
DATA CAYLLAHUA_GONZALES;  
INPUT TIEMPO $ REPET BIOABSORCION_COBRE;  
CARDS;  
3 1 94.62  
3 2 94.69  
3 3 94.62  
3 4 94.19  
3 5 94.19  
3 6 94.19  
6 1 93.62  
6 2 93.76  
6 3 93.69  
6 4 93.18  
6 5 93.26  
6 6 93.26  
9 1 93.26  
9 2 93.40  
9 3 93.47  
9 4 93.47  
9 5 93.40  
9 6 93.47  
12 1 93.90  
12 2 93.83  
12 3 93.83  
12 4 93.04  
12 5 92.97  
12 6 92.97  
15 1 93.11  
15 2 93.18  
15 3 93.11  
15 4 93.47  
15 5 93.54  
15 6 93.54  
18 1 92.83  
18 2 92.90  
18 3 92.83  
18 4 94.48  
18 5 94.48  
18 6 94.40  
21 1 93.97  
21 2 93.97  
21 3 93.97  
21 4 94.48  
21 5 94.40  
21 6 94.48  
24 1 94.19  
24 2 94.19  
24 3 94.19
```

24	4	94.12
24	5	94.12
24	6	94.12
27	1	93.90
27	2	93.97
27	3	93.83
27	4	93.90
27	5	93.90
27	6	93.83
30	1	93.47
30	2	93.47
30	3	93.33
30	4	93.26
30	5	93.26
30	6	93.26

```

PROC ANOVA DATA = CAYLLAHUA_GONZALES;
CLASS TIEMPO;
MODEL BIOABSORCION_COBRE = TIEMPO;
RUN;
MEANS TIEMPO/HOVTEST=OBRIEN;
MEANS TIEMPO/HOVTEST=BARTLETT;
MEANS TIEMPO/HOVTEST= BF;
MEANS TIEMPO/HOVTEST=LEVENE;
MEANS TIEMPO/TUKEY ALPHA = 0.05;
RUN;

```

- Data grafica de Test de Levene para homogeneidad de varianza

```

DATA CORR1;
INPUT BIOABSORCION_COBRE TIEMPO_ÓPTIMO;
CARDS;
94.62 3
94.69 3
94.62 3
94.19 3
94.19 3
94.19 3
93.62 6
93.76 6
93.69 6
93.18 6
93.26 6
93.26 6
93.26 9
93.4 9
93.47 9
93.47 9
93.4 9
93.47 9
93.9 12
93.83 12
93.83 12
93.04 12
92.97 12

```

92.97	12
93.11	15
93.18	15
93.11	15
93.47	15
93.54	15
93.54	15
92.83	18
92.9	18
92.83	18
94.48	18
94.48	18
94.4	18
93.97	21
93.97	21
93.97	21
94.48	21
94.4	21
94.48	21
94.19	24
94.19	24
94.19	24
94.12	24
94.12	24
94.12	24
93.9	27
93.97	27
93.83	27
93.9	27
93.9	27
93.83	27
93.47	30
93.47	30
93.33	30
93.26	30
93.26	30
93.26	30

PROC CORR DATA = CORR1;

VAR BIOABSORCION_COBRE TIEMPO_ÓPTIMO;

RUN;

PROC REG DATA = CORR1;

MODEL TIEMPO_ÓPTIMO = BIOABSORCION_COBRE/P;

RUN;

Apéndice E. Análisis Estadístico ANOVA para el Tiempo Óptimo en la Biosorción de Plomo (Pb)

- Prueba de medias de Tukey
- Test de Levene para homogeneidad de varianza

```

DATA CAYLLAHUA_GONZALES;
INPUT TIEMPO $ REPET BIOABSORCION_PLOMO;
CARDS;
3 1 93.12
3 2 93.05
3 3 93.07
3 4 93.07
3 5 93.09
3 6 93.08
6 1 91.89
6 2 91.72
6 3 91.82
6 4 91.78
6 5 91.81
6 6 92.03
9 1 92.14
9 2 91.98
9 3 91.96
9 4 89.97
9 5 89.90
9 6 92.38
12 1 91.65
12 2 91.59
12 3 91.70
12 4 91.15
12 5 91.00
12 6 90.98
15 1 90.63
15 2 90.91
15 3 90.57
15 4 90.61
15 5 90.31
15 6 90.41
18 1 89.74
18 2 89.74
18 3 89.75
18 4 90.23
18 5 90.14
18 6 89.95
21 1 89.83
21 2 89.59
21 3 89.68
21 4 89.40
21 5 89.71
21 6 89.57
24 1 91.46
24 2 91.84
24 3 91.64

```

24	4	90.10
24	5	90.44
24	6	90.69
27	1	91.96
27	2	91.65
27	3	91.47
27	4	90.62
27	5	90.86
27	6	90.74
30	1	89.79
30	2	89.20
30	3	89.58
30	4	89.26
30	5	89.53
30	6	89.51

```

PROC ANOVA DATA = CAYLLAHUA_GONZALES;
CLASS TIEMPO;
MODEL BIOABSORCION_PLOMO = TIEMPO;
RUN;
MEANS TIEMPO/HOVTEST=OBRIEN;
MEANS TIEMPO/HOVTEST=BARTLETT;
MEANS TIEMPO/HOVTEST= BF;
MEANS TIEMPO/HOVTEST=LEVENE;
MEANS TIEMPO/TUKEY ALPHA = 0.05;
MEANS TIEMPO/TUKEY ALPHA = 0.01;
RUN;

```

- Data grafica de Test de Levene para homogeneidad de varianza

```

DATA CORR1;
INPUT BIOABSORCION_PLOMO TIEMPO_ÓPTIMO;
CARDS;
93.12 3
93.05 3
93.07 3
93.07 3
93.09 3
93.08 3
91.89 6
91.72 6
91.82 6
91.78 6
91.81 6
92.03 6
92.14 9
91.98 9
91.96 9
89.97 9
89.9 9
92.38 9
91.65 12
91.59 12
91.7 12
91.15 12
91 12

```

90.98	12
90.63	15
90.91	15
90.57	15
90.61	15
90.31	15
90.41	15
89.74	18
89.74	18
89.75	18
90.23	18
90.14	18
89.95	18
89.83	21
89.59	21
89.68	21
89.4	21
89.71	21
89.57	21
91.46	24
91.84	24
91.64	24
90.1	24
90.44	24
90.69	24
91.96	27
91.65	27
91.47	27
90.62	27
90.86	27
90.74	27
89.79	30
89.2	30
89.58	30
89.26	30
89.53	30
89.51	30

PROC CORR DATA = CORR1;

VAR BIOABSORCION_PLOMO TIEMPO_ÓPTIMO;

RUN;

PROC REG DATA = CORR1;

MODEL TIEMPO_ÓPTIMO = BIOABSORCION_PLOMO/P;

RUN;

Apendice F. Procedimiento de Calibración del Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Figura 53

Curva de Calibración para Cobre (Cu)

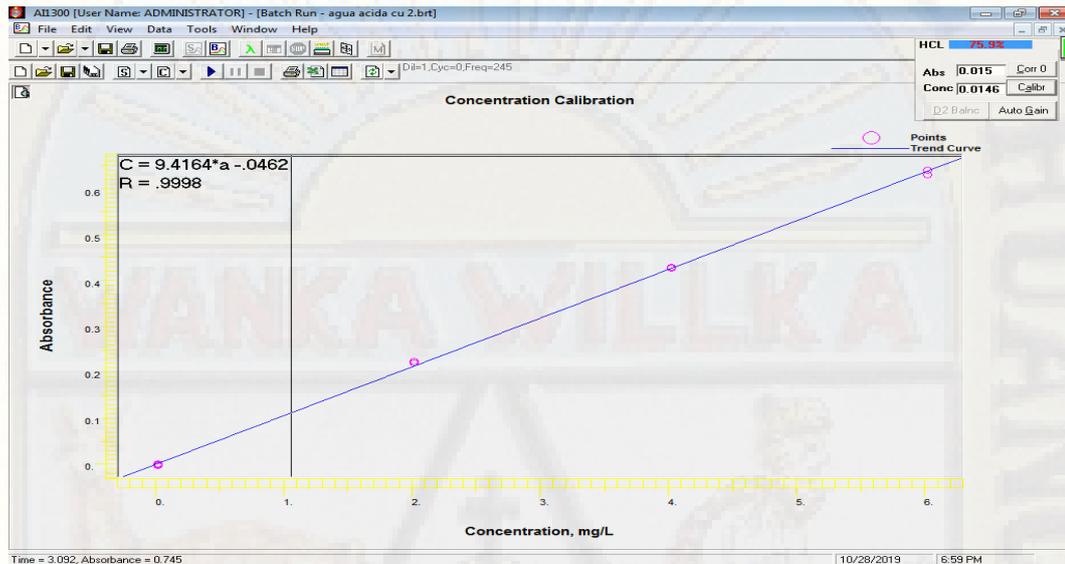


Figura 54

Línea de Absorbancia para Cobre (Cu)

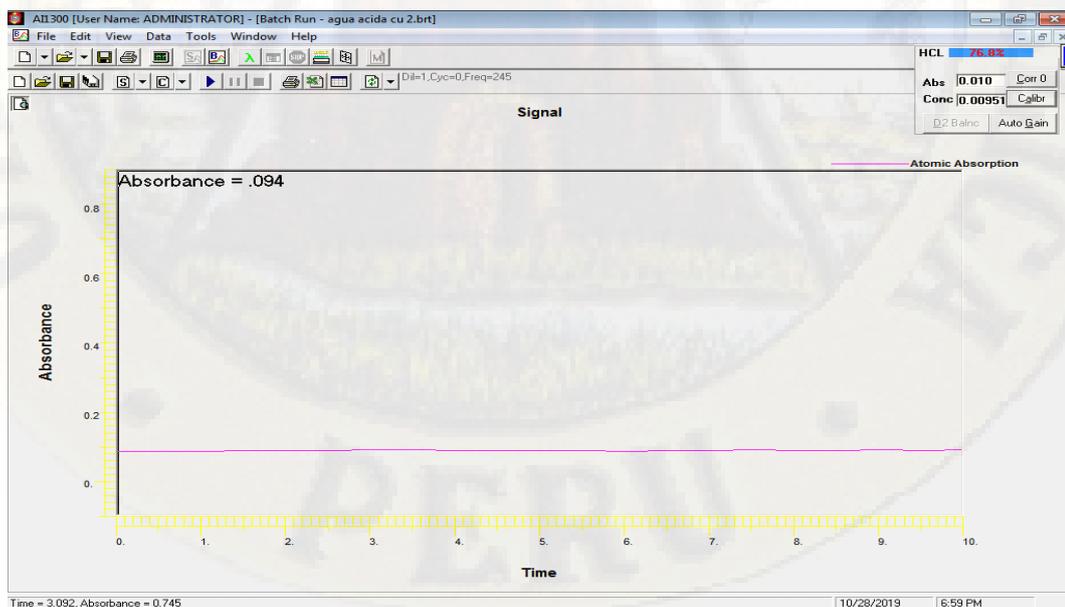


Figura 55

Curva de Calibración para Plomo (Pb)

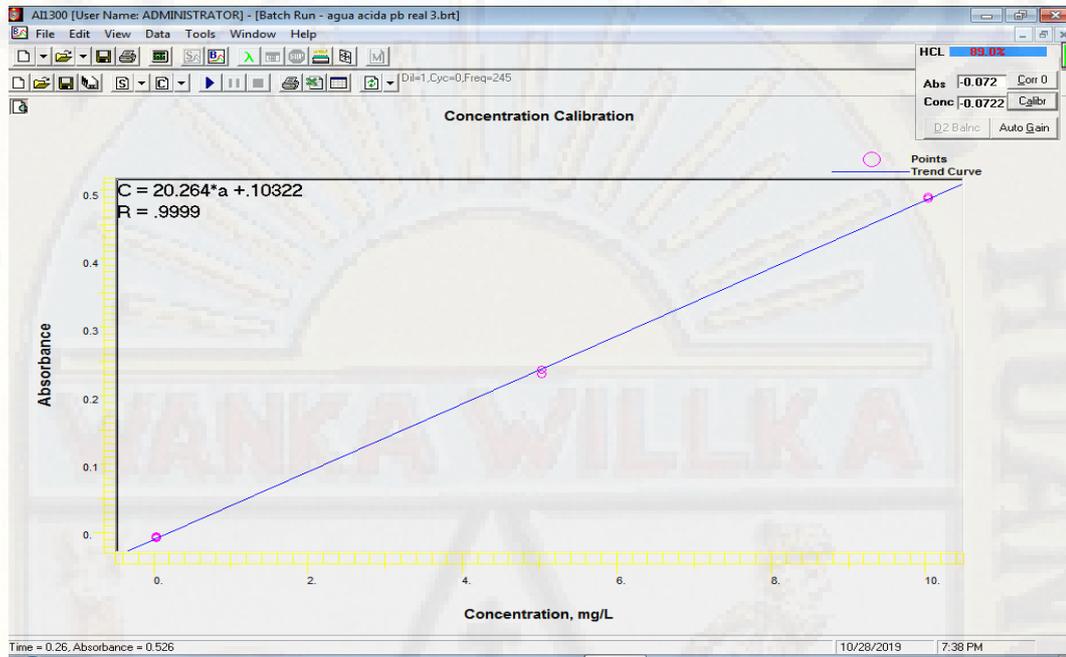


Figura 56

Línea de Absorbancia para Cobre (Cu)

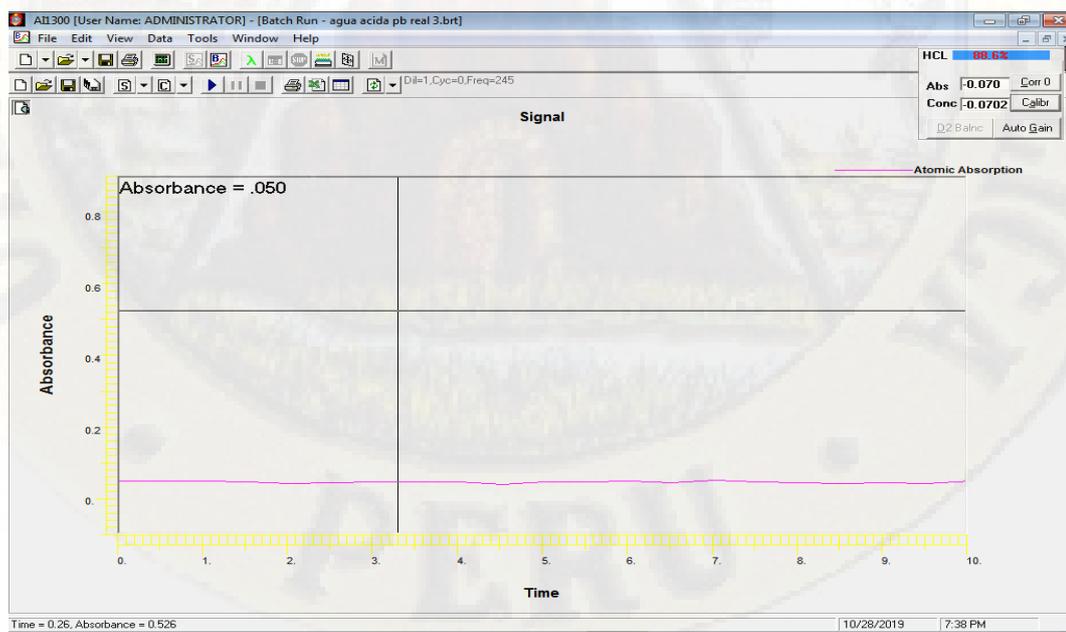


Figura 57

Calibración del Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica para la Lectura de Cobre (Cu)

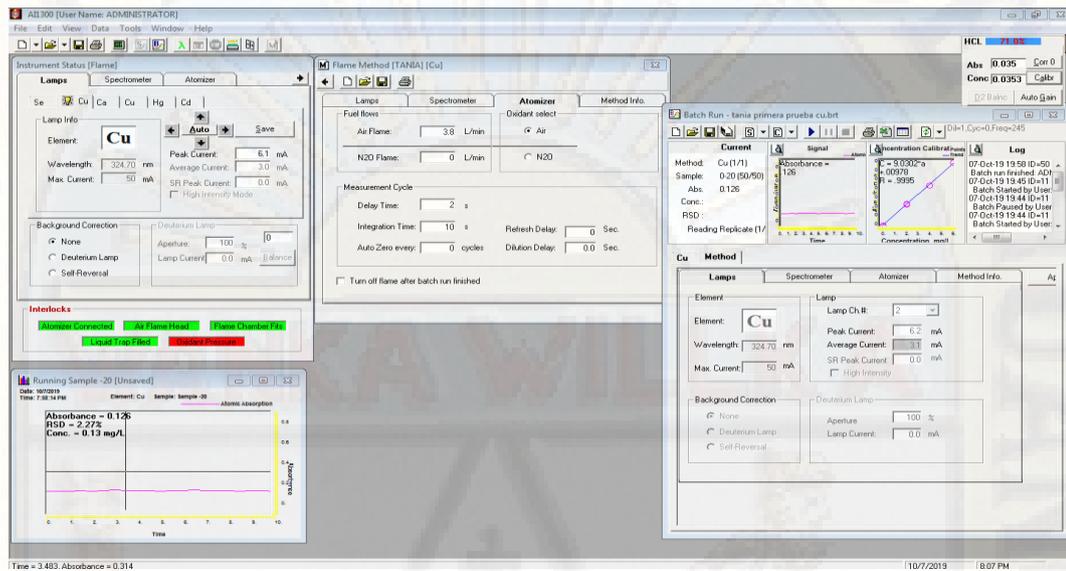


Figura 58

Calibración del Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica para la Lectura de Plomo (Pb)

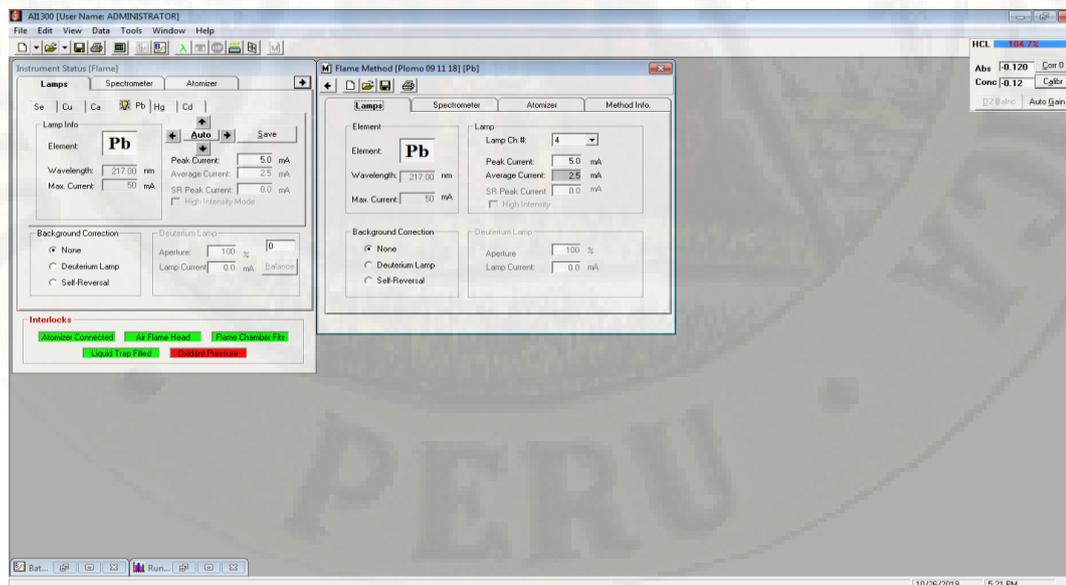


Figura 59

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Cobre (Cu) 2/1

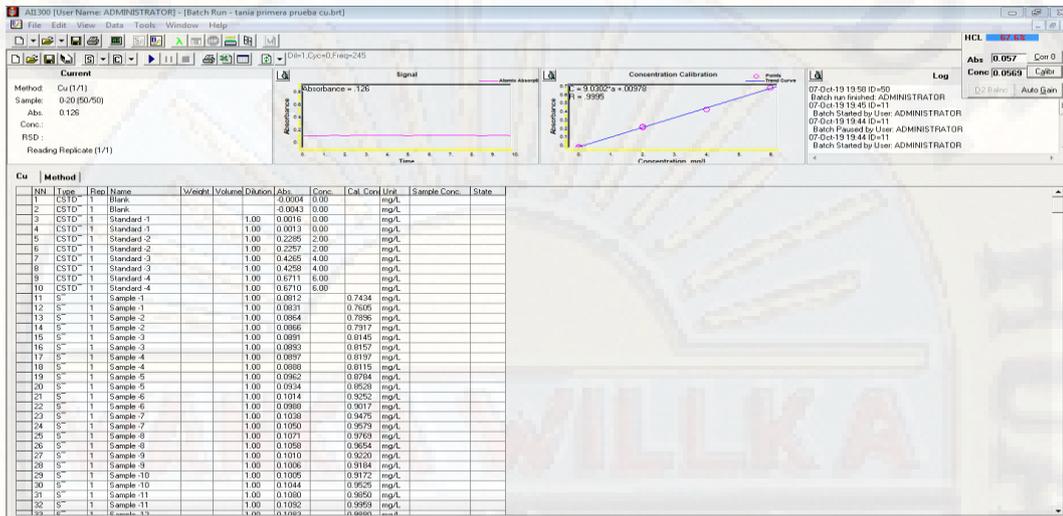


Figura 60

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Cobre (Cu) 2/2

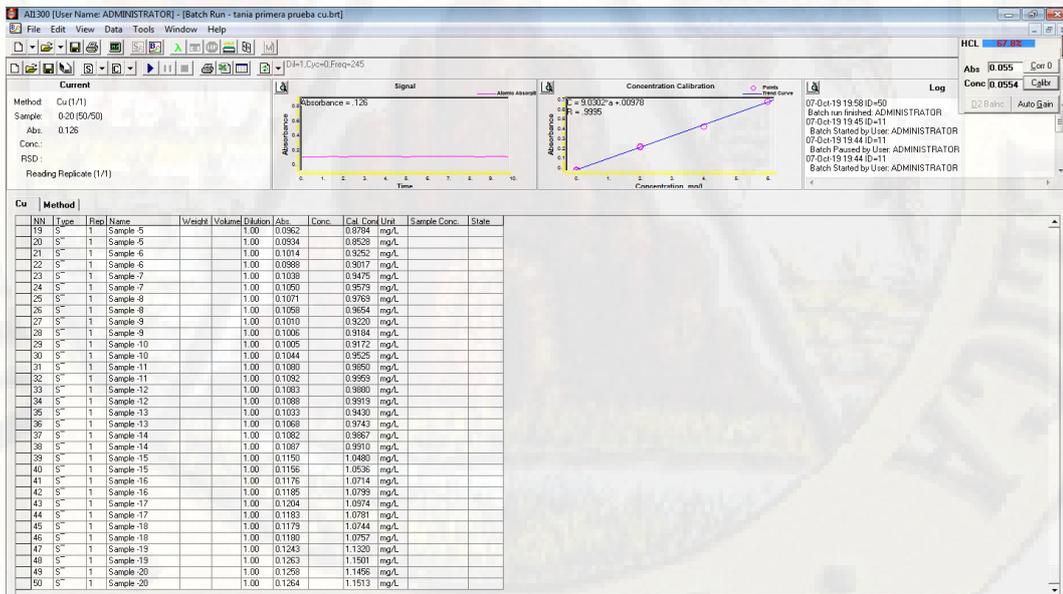


Figura 61

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Plomo (Pb) 4/1

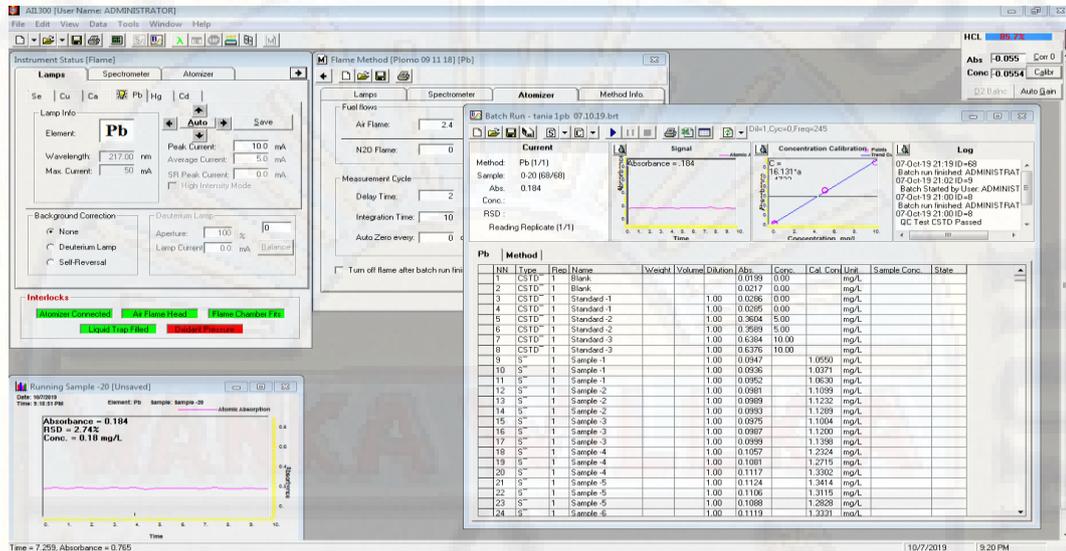


Figura 62

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Plomo (Pb) 4/2

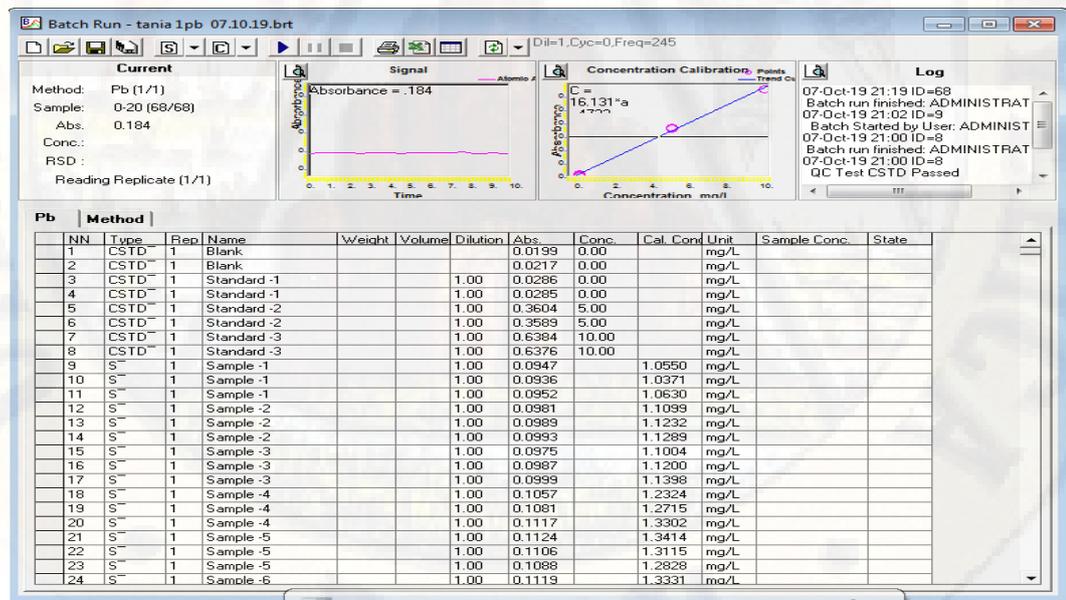


Figura 63

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Plomo (Pb) 4/3

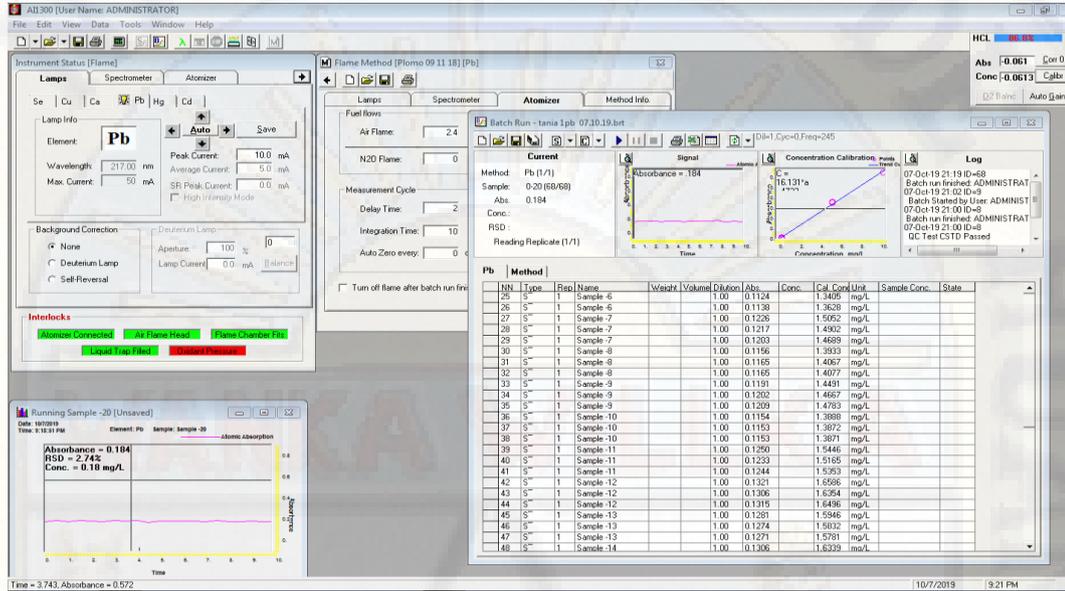


Figura 64

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Biomasa Óptima de Plomo (Pb) 4/4

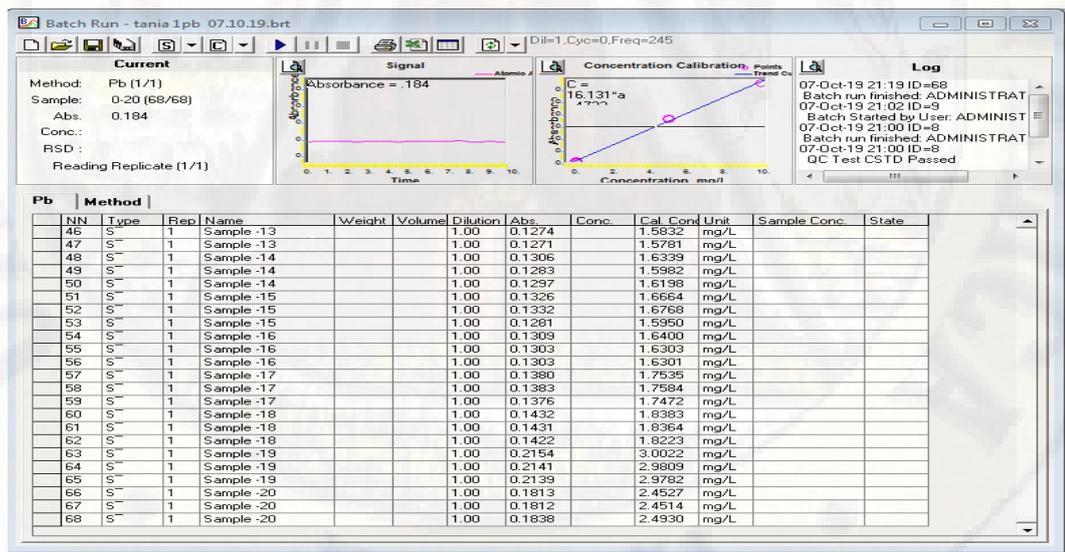


Figura 65

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Cobre (Cu)

3/1

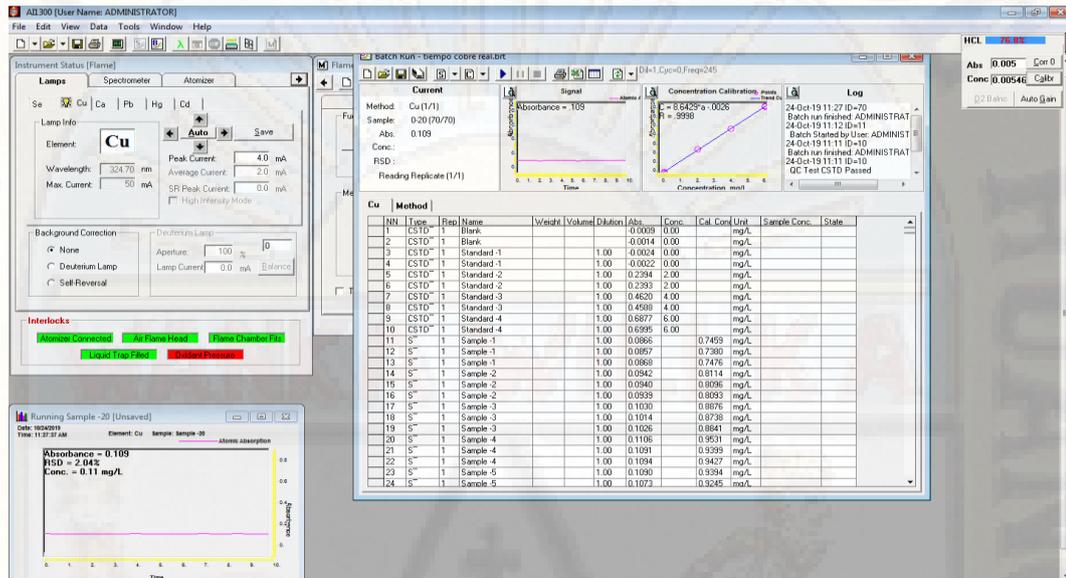


Figura 66

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Cobre (Cu)

3/2

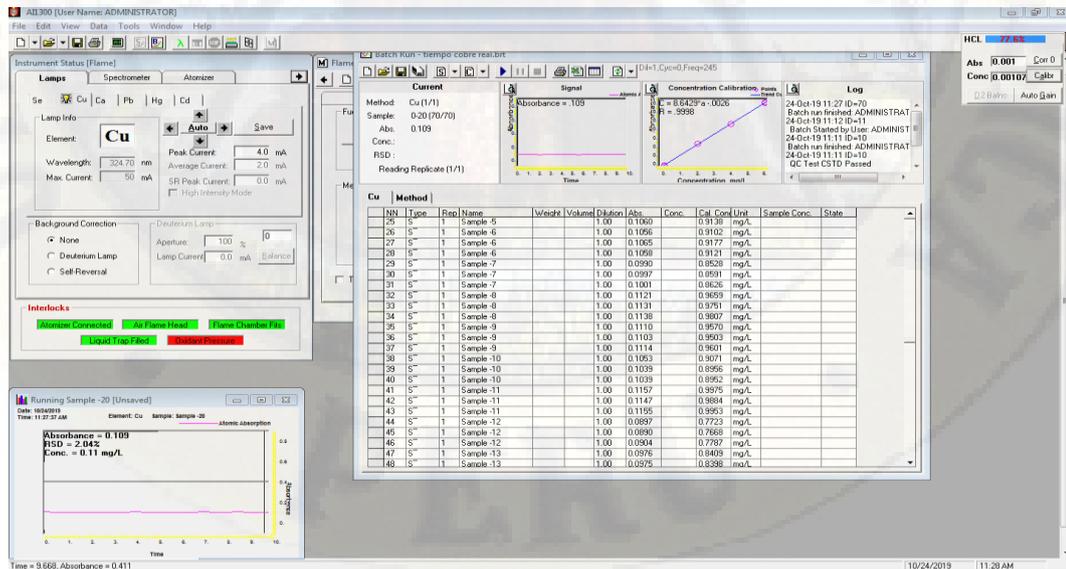


Figura 67

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Cobre (Cu)

3/3

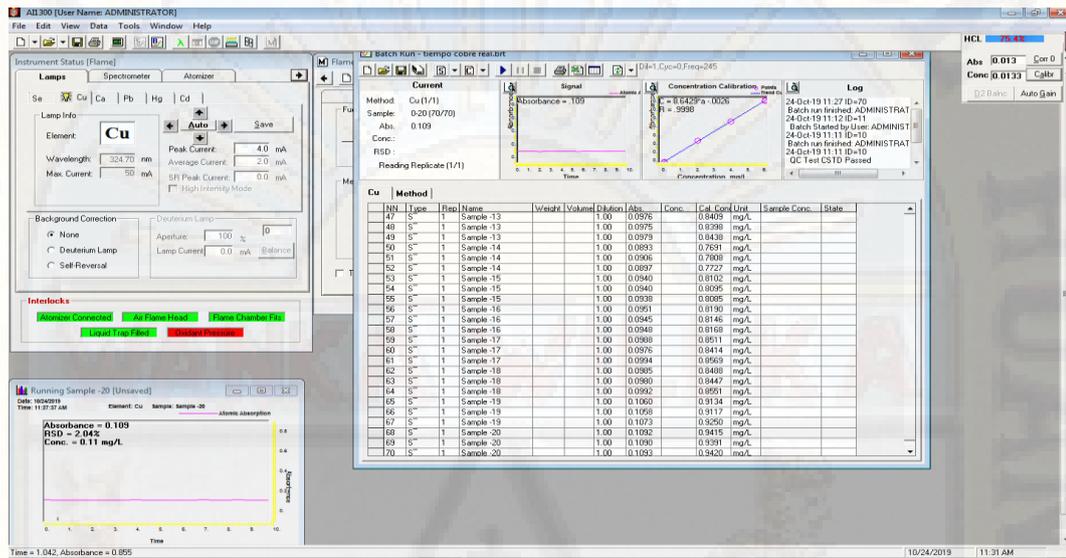


Figura 68

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Plomo (Pb)

3/1

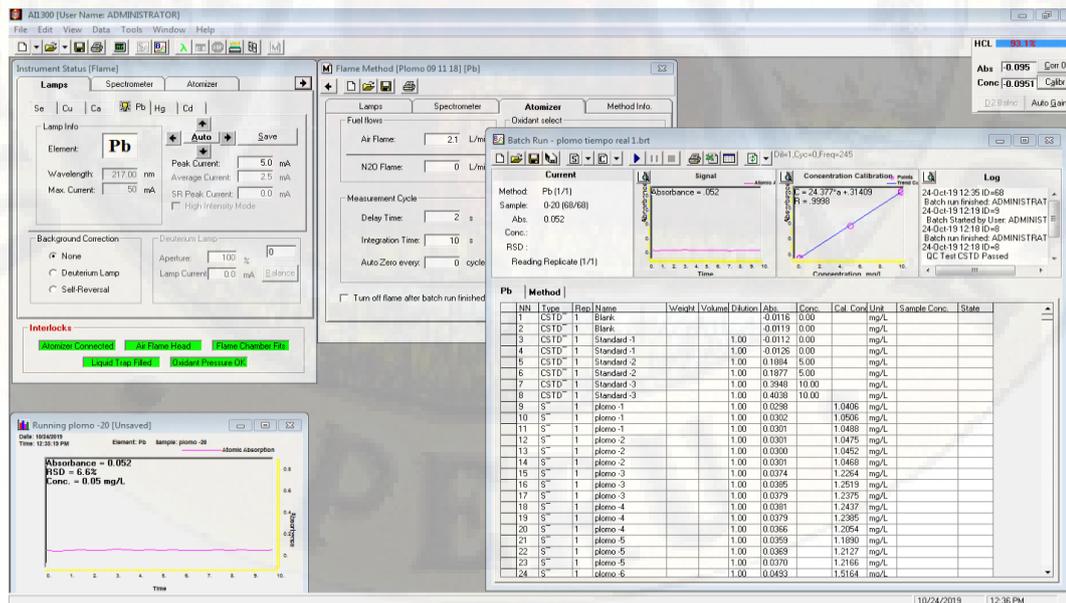


Figura 69

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Plomo (Pb)

3/2

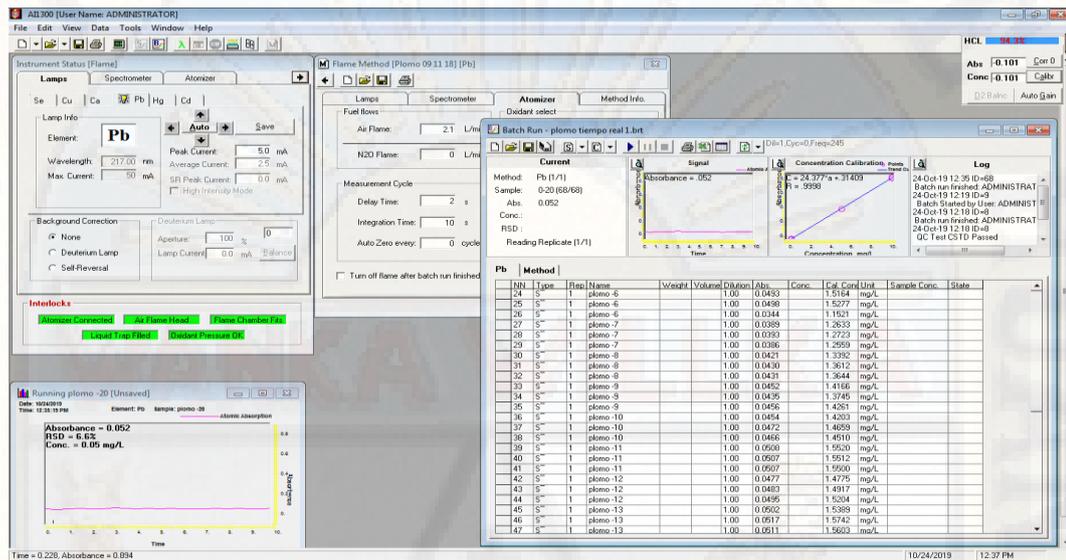


Figura 70

Eficiencia de Biosorción (%) en la Prueba de Tiempo Óptimo (h) de Plomo (Pb)

3/3

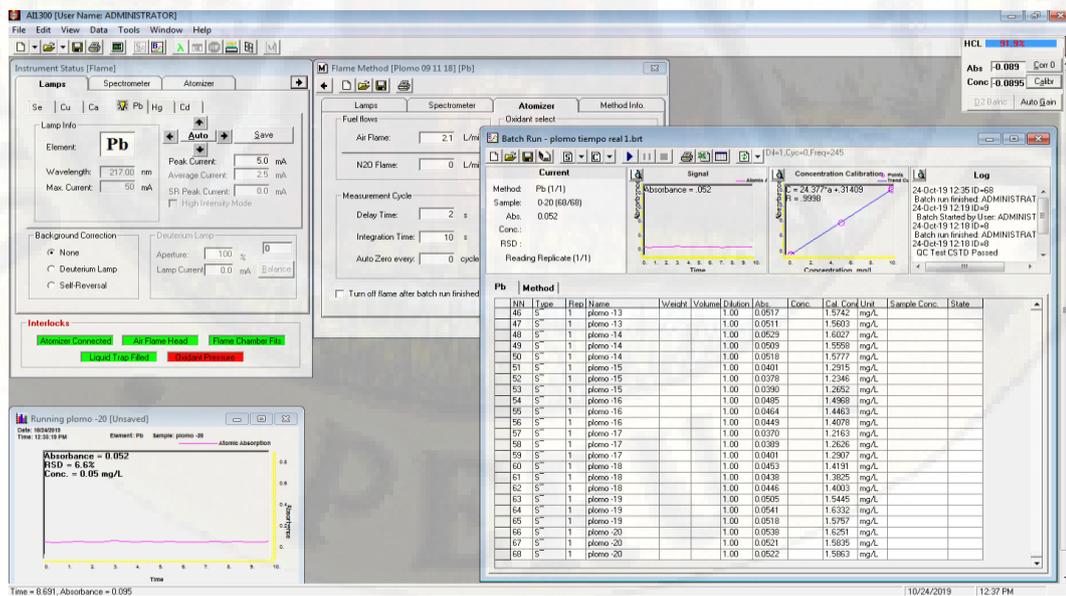


Figura 71

*Eficiencia de Biosorción (%) de Cobre (Cu) en un Sistema Multi-Componente
Proveniente de Relaves Mineros*

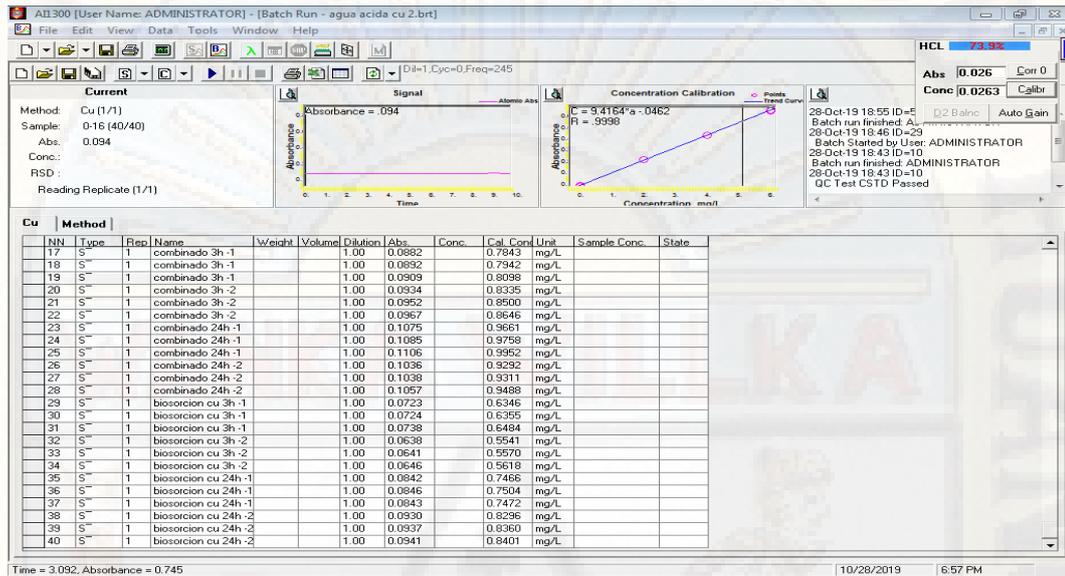
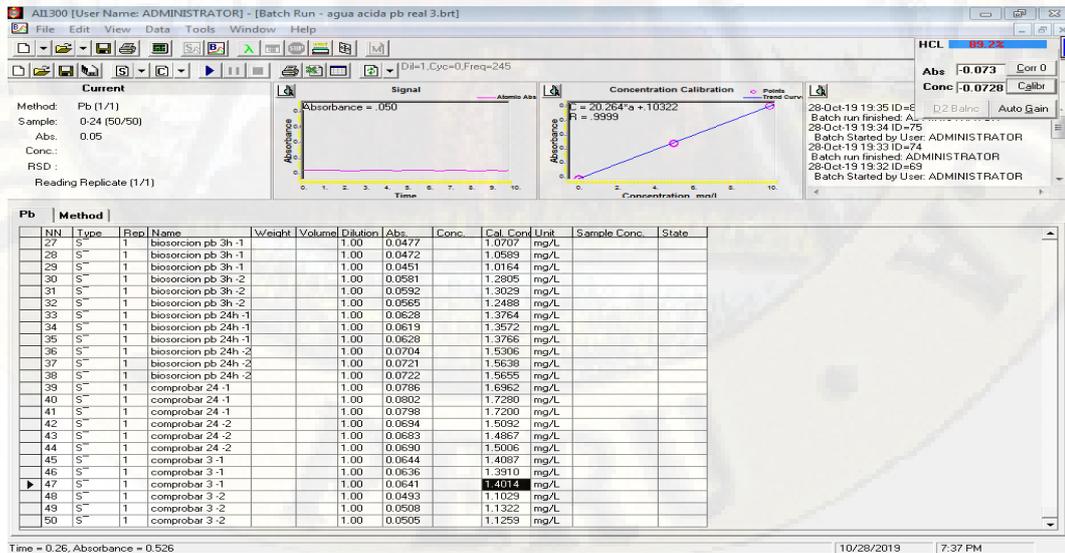


Figura 72

*Eficiencia de Biosorción (%) de Plomo (Pb) en un Sistema Multi-Componente
Proveniente de Relaves Mineros*



Apendice G. Evidencias Fotográficas

Mina Buenaventura S.A.

Figura 73

Unidad Minera Mimosa



Figura 74

Depósito de Relaves



Punto de monitoreo

Figura 75

Aguas Arriba de la Estación EJ-16

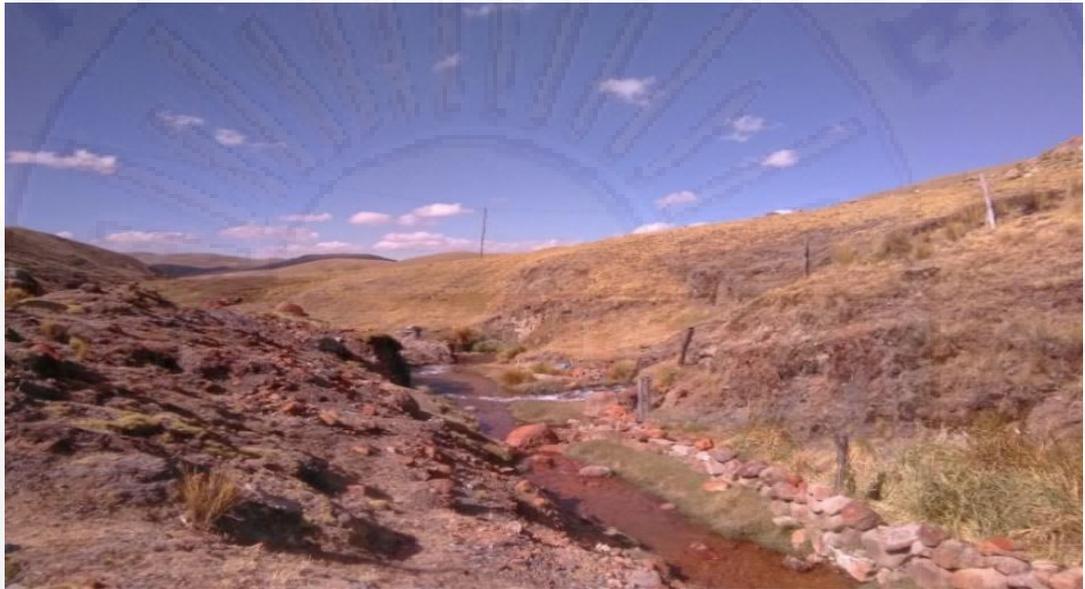


Figura 76

Quebrada Acchilla



Figura 77

Restos de Relaves Mineros



Figura 78

Aguas Abajo de la Estación EJ-16



Monitoreo de agua

Figura 79

Instrumentos e Indumentaria



Figura 80

Cálculo de Caudal



Figura 81

Muestro de Agua del Punto P-1



Figura 82

Etiquetado de la Muestra de Agua del Punto de Monitoreo



Figura 83

Etiquetado de Muestra de Agua de los Puntos de Monitoreo



Figura 84

Identificación del Punto de Muestra P-2



**Preparación de soluciones de cobre (Cu) y plomo (Pb) para la calibración de
equipo**

Figura 85

Limpieza del Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica



Figura 86

Estándares de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)



Figura 87

Soluciones de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)

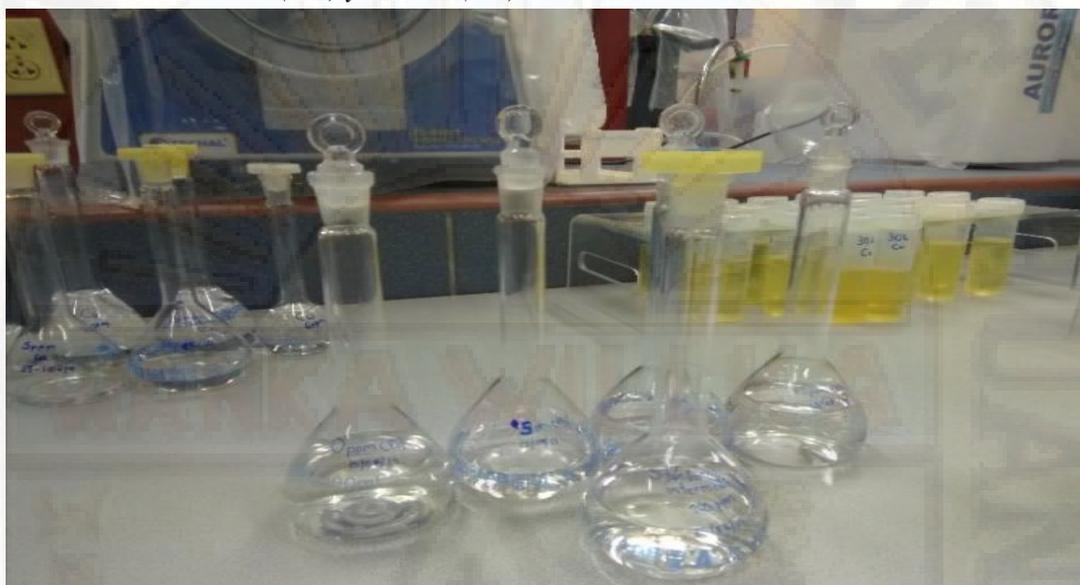


Figura 88

Preparaciones Soluciones de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)



Digestión y lectura de metales pesados en muestras de agua

Figura 89

Muestras de Agua



Figura 90

Digestión de Muestras de Agua



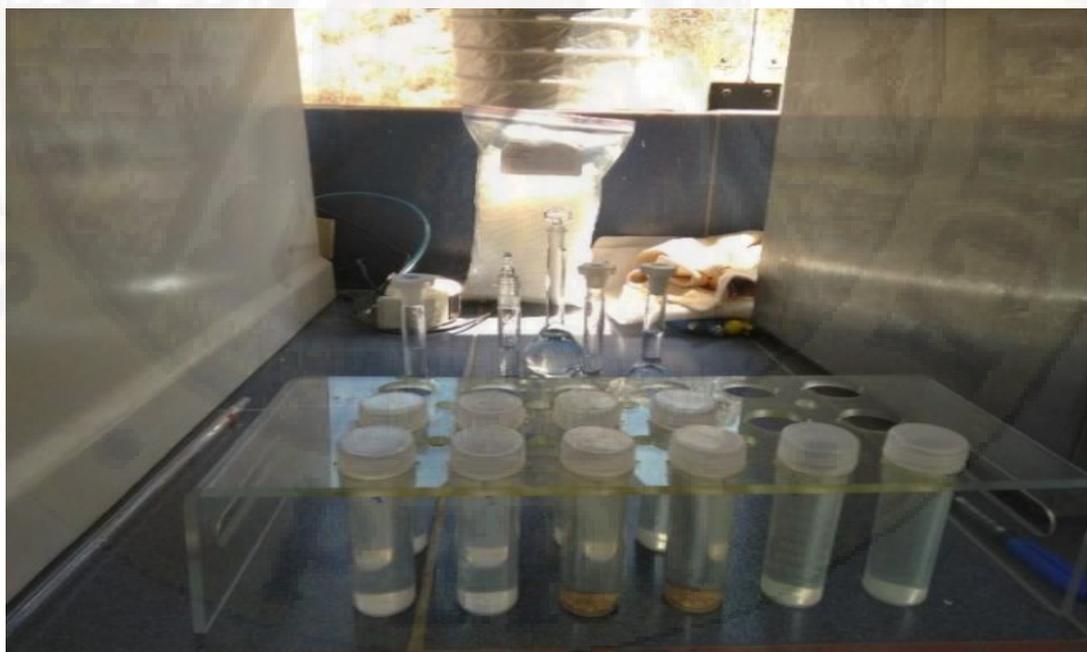
Figura 91

Lectura de Muestras Digestadas



Figura 92

Muestras Digestadas



Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yauli

Figura 93

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales-Distrito de Yauli



Figura 94

Lecho de Secado



Figura 95

Vestimenta e Instrumentos para la Recolección de Lodos de PTAR



Figura 96

Recolección Lodos de PTAR



**Colección de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito
de Yauli**

Figura 97

Transporte de Lodos de PTAR



Figura 98

Colección de Lodos de PTAR



Preparación de la biomasa microbiana

Figura 99

Secado de Lodos



Figura 100

Tratamiento de Lodos



Figura 101

Laboratorio de Mecánica de Suelos-Escuela Profesional de Civil



Figura 102

Triturado de Biomasa Microbiana



Figura 103

Pesado de Biomasa Microbiana



Figura 104

Tamizado de Biomasa Microbiana



Pruebas de laboratorio para determinar cobre (Cu) y plomo (Pb) en la biomasa recolectada

Figura 105

Muestras de Biomasa Microbiana



Figura 106

Pesado de la Biomasa Microbiana para su Digestión

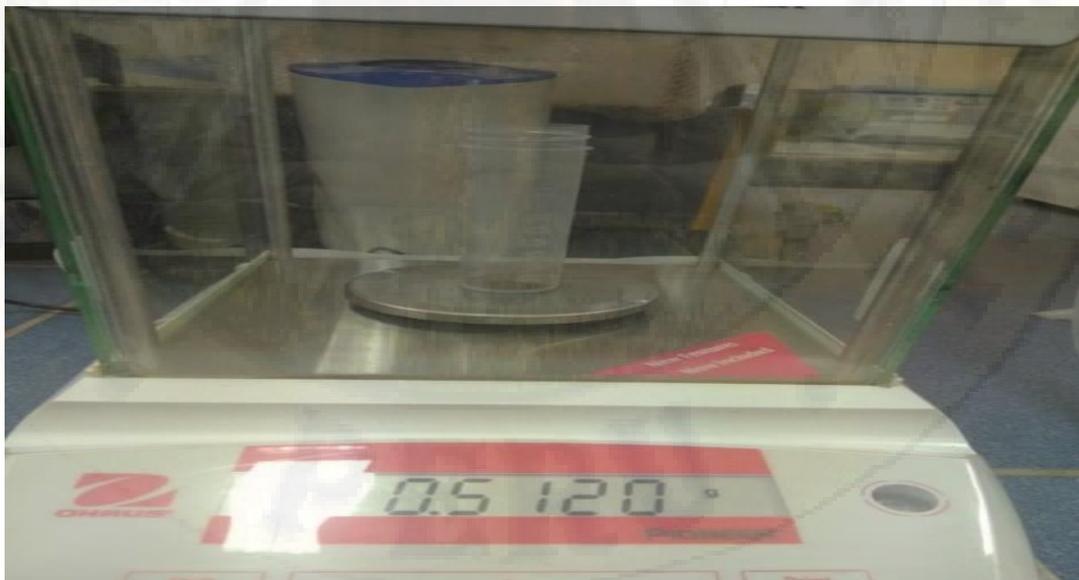


Figura 107

Muestras Digestadas

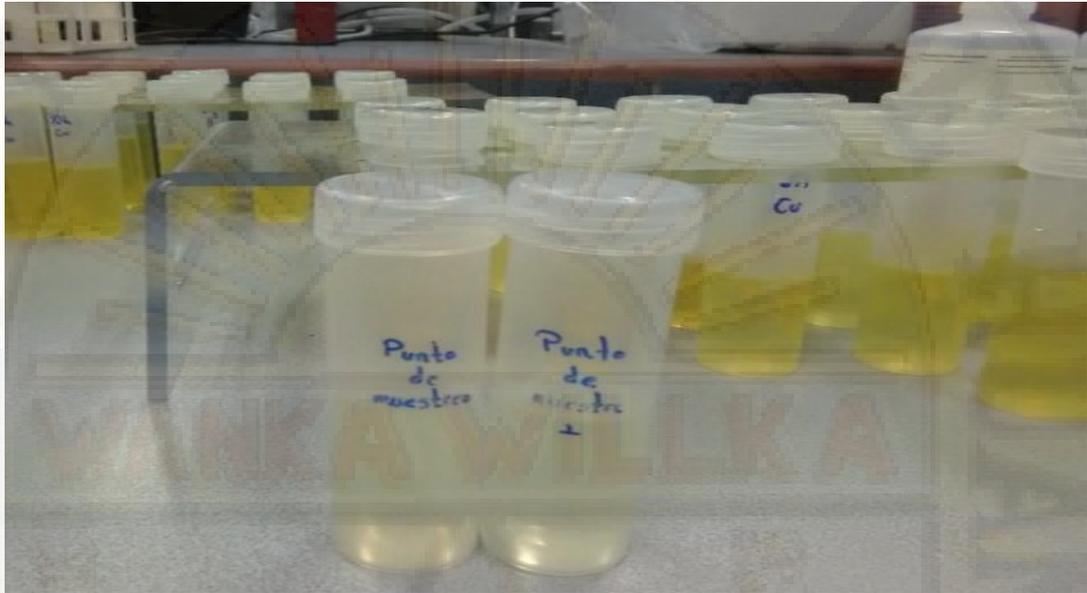
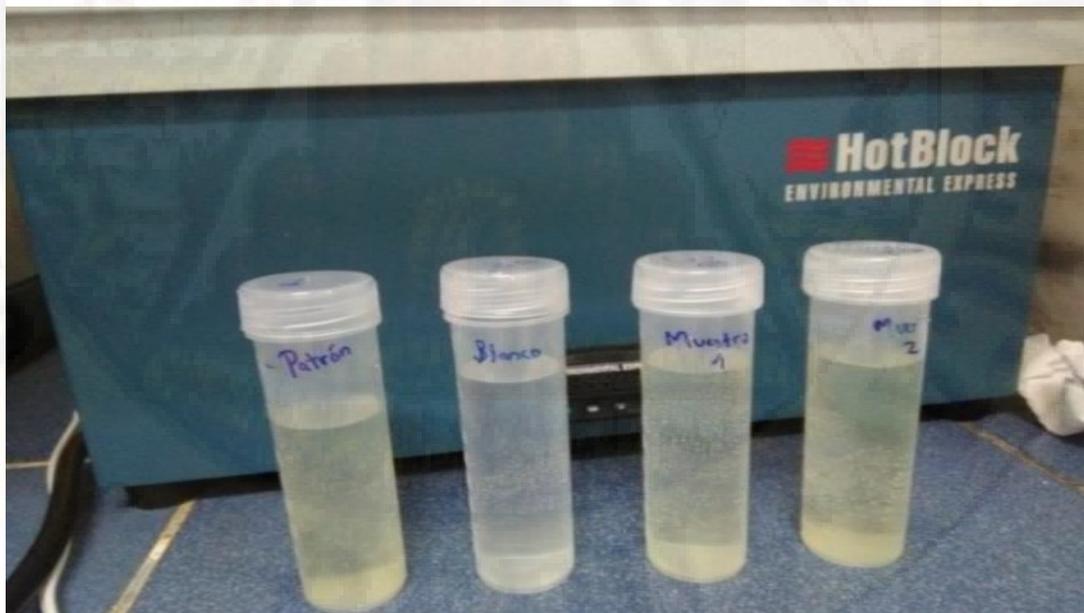


Figura 108

Digestión de Muestras de Biomasa Microbiana



Pruebas de ensayo de biomasa óptima para Cu y Pb

Figura 109

Laboratorio de Análisis-EMAPA-Huancavelica



Figura 110

Pesado de Muestras de Biomasa Microbiana



Figura 111

Mezcla de Biomasa con Muestra de Agua



Figura 112

Prueba de Jarras



Figura 113

Muestras Tratadas con Biomasa Microbiana



Figura 114

Prueba de Biomasa Óptima



Figura 115

Filtrados de Muestras



Figura 116

Muestras Filtradas



Figura 117

Lectura de Muestras para Biomasa Óptima

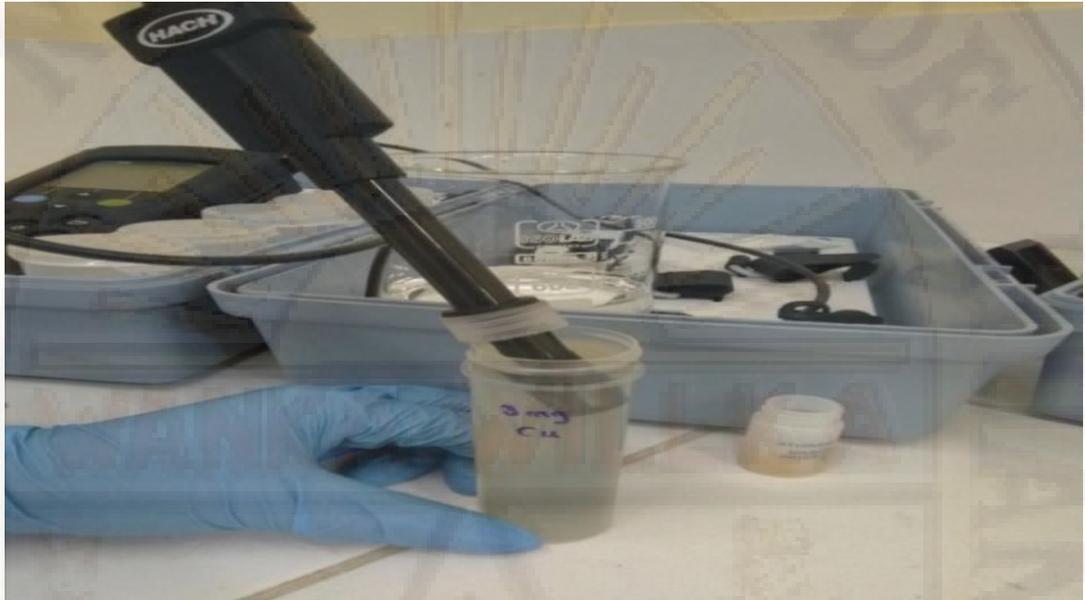
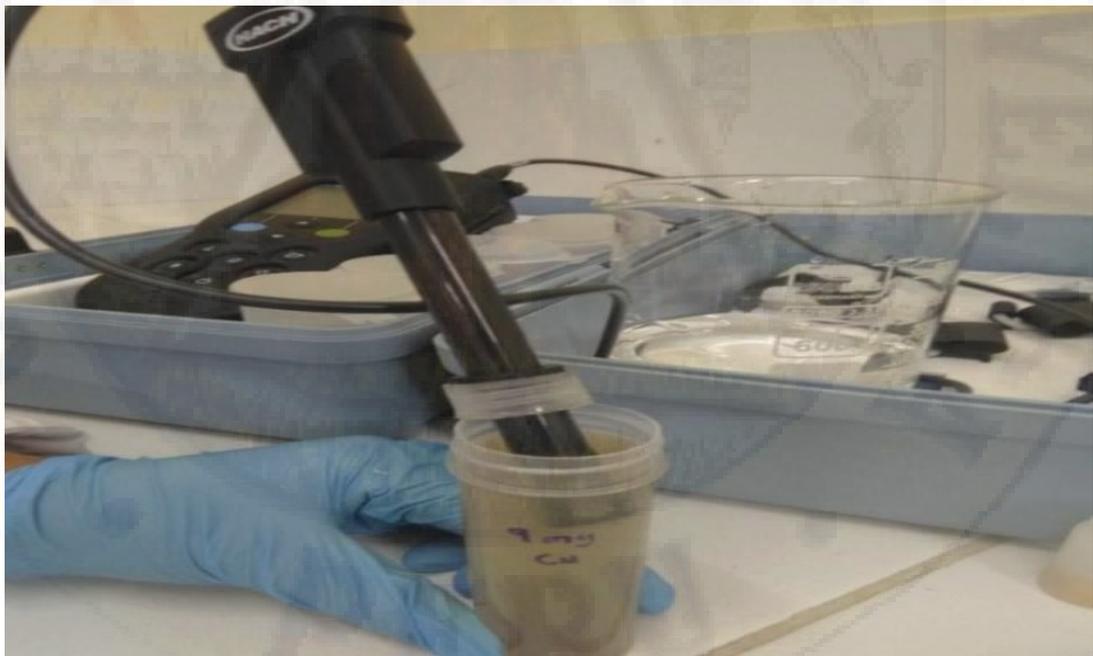


Figura 118

Lectura de Muestras para Biomasa Óptima (9 g)



Digestión de muestras

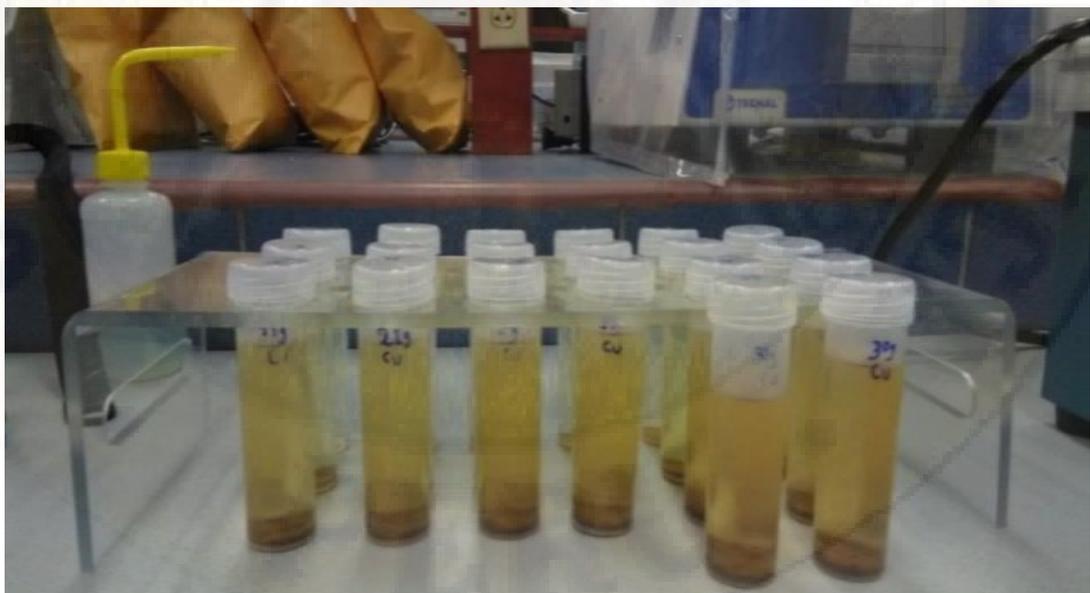
Figura 119

Digestión de Muestras -Cobre (Cu)



Figura 120

Digestión de Muestras - Plomo (Pb)



Lecturas de los metales de cobre (Cu) y plomo (Pb)

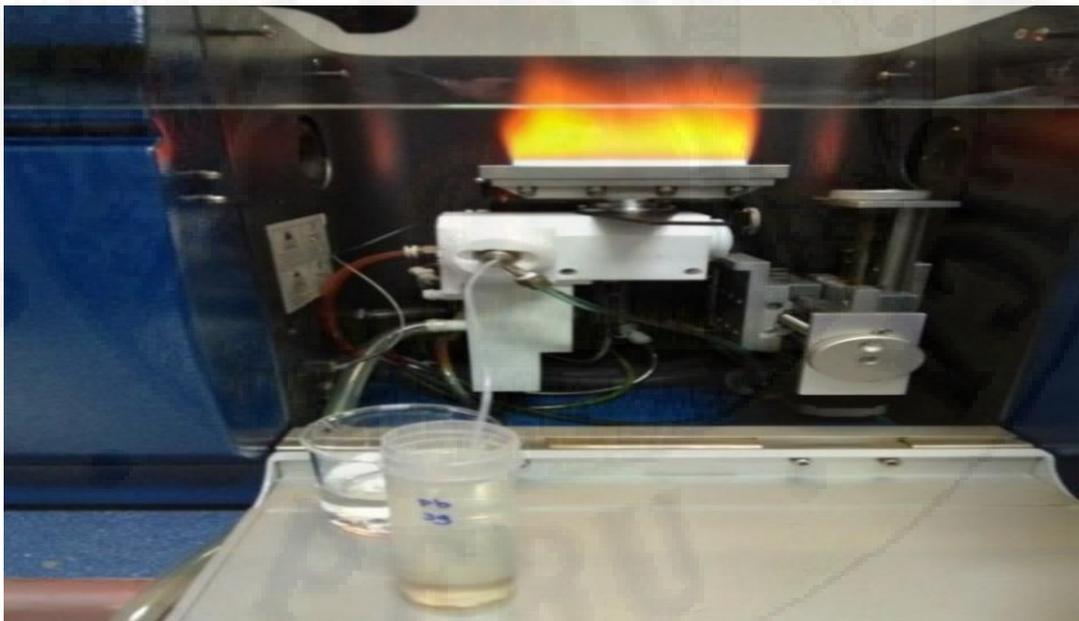
Figura 121

Lectura de Muestras con Cobre (Cu) para la Prueba de Biomasa Óptima



Figura 122

Lectura de Muestras con Plomo (Pb) para la Prueba de Biomasa Óptima



Pruebas de ensayo de tiempo óptimo para cobre (Cu) y plomo (Pb)

Figura 123

Lectura de Muestras de Cobre (Cu) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (15 h)

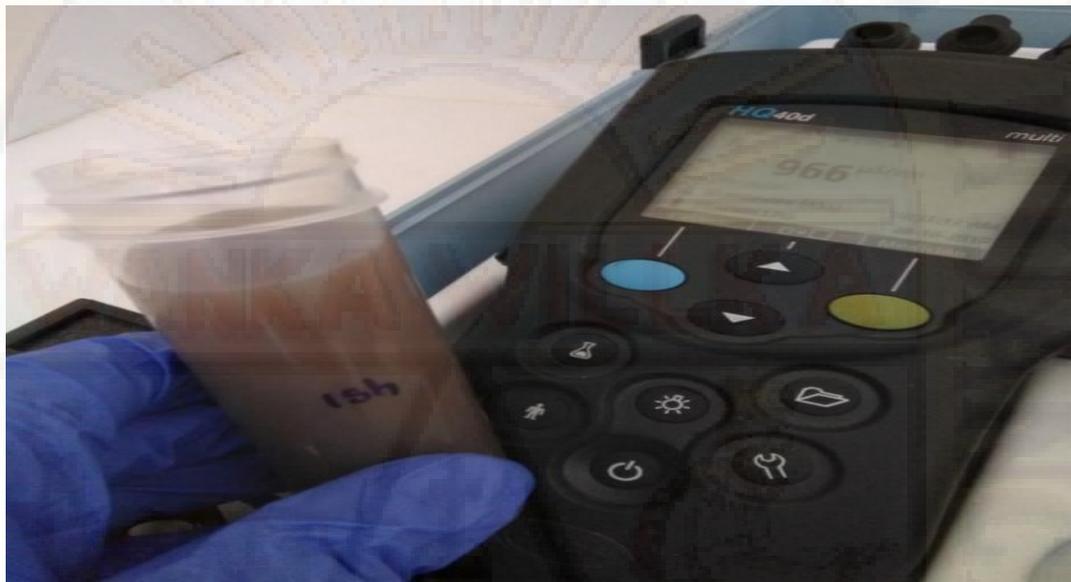


Figura 124

Prueba de Jarras para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto



Figura 125

Lectura de Muestras con Cobre (Pb) para la Prueba de Tiempo Óptimo de Contacto (9 h)



Figura 126

Pruebas de Ensayo para un Sistema Multi-Componente de Cobre (Cu) y Plomo (Pb)



Pruebas de ensayo de muestra acida con metales de cobre (Cu) y plomo (Pb)

Figura 127

Pruebas de Ensayo de Muestra Acida Provenientes de Relaves Mineros



Figura 128

Muestra Acida Digestadas Proveniente de Relaves Mineros



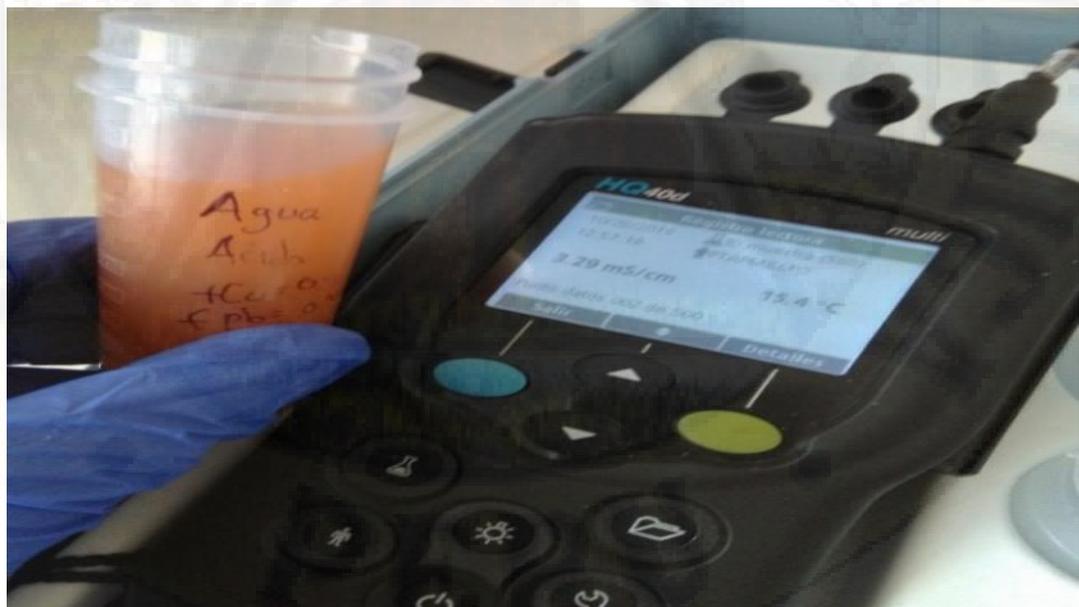
Figura 129

Materiales y Reactivos Utilizados



Figura 130

Lectura de Muestra Acida



Equipos y materiales a utilizar

Figura 131

Equipo de Absorción Atómica



Figura 132

Equipo Generador de Agua Ultra Pura

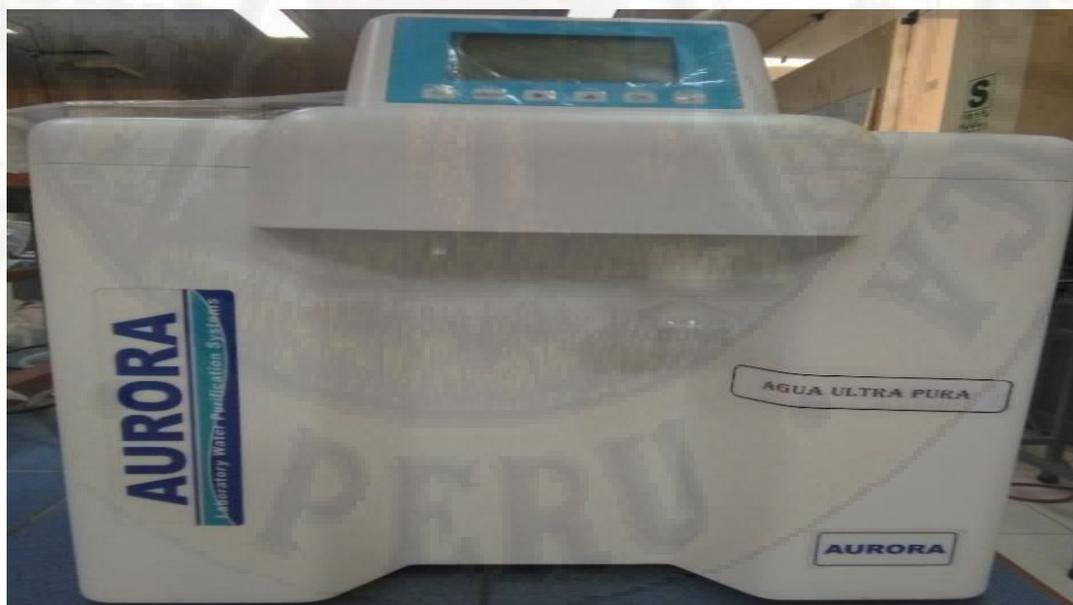


Figura 133

Equipo de Prueba de Jarras



Figura 134

Balanza Analítica

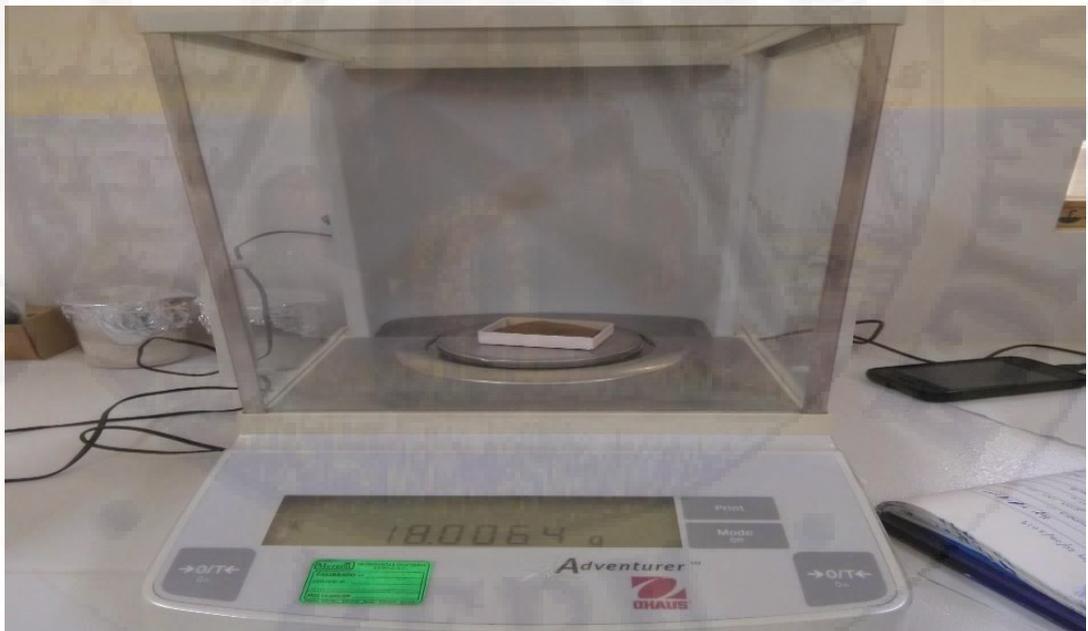


Figura 135

Equipo HotBlock



Figura 136

Micropipetas



Figura 137

Comprensora



Apendice H. Matriz de Consistencia

Biosorción de Cobre (Cu) y Plomo (Pb) Provenientes de Relaves Mineros Mediante el Uso de Biomasa Microbiana en la Minera Buenaventura, Julcani

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables	Investigación
¿Cuánto será la eficiencia de la biomasa microbiana en la biosorción de Cu y Pb provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani?	Evaluar la eficiencia de la biomasa microbiana en la biosorción de Cu y Pb provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.	La biomasa microbiana tiene una eficiencia de biosorción mayor al 50% de Cu y Pb provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.	<p style="text-align: center;">Independiente</p> <p>Uso de biomasa microbiana (Eficiencia de biosorción E%)</p> <hr/> <p>Indicadores</p> <p>Proporción óptima de Biomasa Microbiana (g)</p> <p>Tiempo óptimo de biosorción (h)</p>	<p>Tipo o clase de investigación:</p> <p>Aplicada</p> <p>Nivel o alcance de investigación:</p> <p>Explicativo</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>Experimentales, El trabajo de investigación tiene Diseño Completamente al Azar constituido por 2 dimensiones, proporción de biomasa microbiana (3, 6, 9, 12, 15 18, 21, 24, 27 y 30 gramos) y tiempo de contacto (3, 6, 9, 12, 15 18, 21, 24, 27 y 30 horas), con 10 niveles y 6 repeticiones cada una.</p> <p>Población</p> <p>Efluente total</p> <p>La población para el presente estudio está constituida por el efluente total de Quebrada Accchilla perteneciente a la microcuenca San</p>
Problemas Específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		
¿Cuál es la proporción óptima (g) de biomasa microbiana en la biosorción de Cu y Pb provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani?	Determinar la proporción óptima (g) de biomasa microbiana en la biosorción de Cu y Pb provenientes de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.	La proporción óptima de biomasa microbiana será menor a 30 g en la biosorción Cu y Pb proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.		

¿Cuál es el tiempo óptimo de contacto (h) en la biosorción de Cu y Pb proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani?

Determinar el tiempo óptimo de contacto (h) en la biosorción de Cu y Pb proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

El tiempo óptimo de contacto será menor a 24 horas en la biosorción de Cu y Pb proveniente de relaves mineros de la mina Buenaventura, Julcani.

Dependiente

Concentración de material biosorbido por el material biosorbente

Indicadores:

Parámetro físico

Concentración final de plomo (Pb) en la solución (ppm)

Concentración final de cobre (Cu) en la solución (ppm)

Pedro de Mimosa contaminado con drenaje ácido provenientes de la Mina Buenaventura, Julcani –Huancavelica.

Muestra

Muestra no probabilística o dirigida:

Se tomarán muestras de agua contaminada con metales pesados de la Quebrada Accchilla perteneciente a la microcuenca San Pedro de Mimosa contaminado con drenaje ácido provenientes de la Mina Buenaventura, Julcani –Huancavelica, se realizarán 2 visitas, en la primera visita a campo se tomará dos muestras de agua de 3 litros en dos puntos de monitoreo (P-1 y P-2), en la segunda visita se recolectó 10 litros de agua contaminada con relaves mineros del P-1 para los ensayos y pruebas de laboratorio. **O=** 16 litros

de agua contaminada de Quebrada Accchilla perteneciente a la microcuenca San Pedro de Mimosa contaminado con drenaje ácido provenientes de la Mina Buenaventura, Julcani.