

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS ÓPTIMOS PARA
LA REDUCCIÓN DE PLOMO MEDIANTE EDTA EN LIMONCOCHA”**

Realizado por:

CAROLINA ALEXANDRA YELA GUEVARA

Director del proyecto:

MsC. Ivonne Carrillo

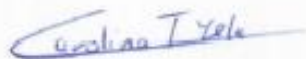
Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Quito, 30 de enero de 2018

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, CAROLINA ALEXANDRA YELA GUEVARA, con cédula de identidad #1718058934, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Carolina Alexandra Yela Guevara
1718058934

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS ÓPTIMOS PARA LA
REDUCCIÓN DE PLOMO MEDIANTE EDTA EN LIMONCOCHA”**

Realizado por:

CAROLINA ALEXANDRA YELA GUEVARA

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

IVONNE CARRILLO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Emma Ivonne Carrillo Paredes
DIRECTORA

34

35

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral
ante el tribunal examinador


Miguel Martínez-Fresneda


Juan Carlos Navarro

Quito, 30 de enero de 2018

36
37
38

39

DEDICATORIA

40

A mi **padre**, Alfredo, a quien debo todo lo que soy, quien con su esfuerzo y dedicación nos ha sacado adelante enseñándonos el verdadero significado del amor.

42

43

A mi **madre**, Mónica, quien me enseñó a valorar el tiempo y la brevedad de la vida.

44

Donde estés, esto es para ti.

45

46

A mi **hermano y hermana**, José Luis y Mónica, quienes con sus consejos han sido

47

los ejes fundamentales en mi desarrollo como persona.

48

49

A mi **enamorado**, Josué, quien me apoya en cada momento, quien con su cariño y

50

paciencia me enseña la importancia de ser libre.

51

52

A mis **amigas y amigos**, quienes con cada aventura hicieron de la vida universitaria

53

una experiencia totalmente diferente que jamás olvidaré.

54

55

56

57

58

AGRADECIMIENTO

59 A mi familia y amigos, por todo su apoyo y paciencia durante cada paso de mi vida.

60

61 A Ivonne Carillo, Juan Carlos Navarro y Miguel Martinez-Fresneda por su asesoría
62 durante la realización de este proyecto.

63

64 A la Universidad Internacional SEK y a mis profesores, por darme el conocimiento y
65 las herramientas para convertirme en una excelente profesional.

66

67

68

69

70

| | | |
|----|---|-----------|
| 71 | TABLA DE CONTENIDOS | |
| 72 | Resumen..... | 2 |
| 73 | Abstract | 3 |
| 74 | Introducción..... | 4 |
| 75 | Materiales y Métodos | 9 |
| 76 | Área de Estudio..... | 9 |
| 77 | Métodos de Campo | 10 |
| 78 | Métodos de Laboratorio | 10 |
| 79 | Análisis Estadísticos..... | 11 |
| 80 | Resultados | 15 |
| 81 | Efectividad del equipo..... | 15 |
| 82 | Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama..... | 17 |
| 83 | Estadística | 20 |
| 84 | Espectrofotometría de Color..... | 22 |
| 85 | Estadística | 23 |
| 86 | Aplicación en muestras de Limoncocha | 24 |
| 87 | Discusión | 25 |
| 88 | Efectividad del equipo..... | 25 |
| 89 | Espectrofotometría Atómica de Llama..... | 26 |

| | | |
|----|--|-----------|
| 90 | Espectrofotometría de Color | 27 |
| 91 | Aplicación en muestras de Limoncocha | 27 |
| 92 | Conclusiones | 29 |
| 93 | Agradecimientos | 30 |
| 94 | Referencias | 31 |
| 95 | ANEXO 1: Tablas de datos de cada medición en EAA de llama | 35 |
| 96 | ANEXO 2: registro fotográfico | 38 |
| 97 | | |
| 98 | | |

| | | |
|-----|---|----|
| 99 | ÍNDICE DE TABLAS | |
| 100 | Tabla 1: Generalidades laguna de Limoncocha (Carrillo, 2016)..... | 9 |
| 101 | Tabla 2: Puntos de muestreo..... | 10 |
| 102 | Tabla 3: Valores de permutación entre curvas de absorción de Pb | 21 |
| 103 | Tabla 4: Medidas de dispersión del valor óptimo de EDTA..... | 22 |
| 104 | Tabla 5: Valores medidos en Espectrofotometría de color | 23 |
| 105 | Tabla 6: Comparación estadística entre métodos | 23 |
| 106 | Tabla 7: Concentración de plomo en muestras de Limoncocha..... | 24 |
| 107 | Tabla 8: Parámetros estadísticos de la efectividad del equipo | 25 |
| 108 | Tabla 9: Concentración de Pb en Prueba 1 | 35 |
| 109 | Tabla 10: Concentración de Pb en Prueba 2..... | 35 |
| 110 | Tabla 11: Concentración de Pb en Prueba 3..... | 35 |
| 111 | Tabla 12: Concentración de Pb en Prueba 4..... | 36 |
| 112 | Tabla 13: Concentración de Pb en Prueba 5..... | 36 |
| 113 | Tabla 14: Concentración de Pb en Prueba 6..... | 36 |
| 114 | Tabla 15: Concentración de Pb en Prueba 7..... | 37 |
| 115 | | |
| 116 | | |

| | | |
|-----|---|----|
| 117 | ÍNDICE DE GRÁFICOS | |
| 118 | Gráfico 1: Reserva Biológica Limoncocha (MAE, 2011) | 9 |
| 119 | Gráfico 2: Datos medidos versus datos teóricos..... | 17 |
| 120 | Gráfico 3: Curvas de absorción de Pb en Prueba 1..... | 18 |
| 121 | Gráfico 4: Curvas de absorción de Pb en Prueba 2..... | 18 |
| 122 | Gráfico 5: Curvas de absorción de Pb en Prueba 3..... | 18 |
| 123 | Gráfico 6: Curvas de absorción de Pb en Prueba 4..... | 19 |
| 124 | Gráfico 7: Curvas de absorción de Pb en Prueba 5..... | 19 |
| 125 | Gráfico 8: Curvas de absorción de Pb en Prueba 6..... | 19 |
| 126 | Gráfico 9: Curvas de absorción de Pb en Prueba 7..... | 20 |
| 127 | Gráfico 10: Comparación gráfica de métodos..... | 23 |
| 128 | | |

129 Para someter a: *Rev. Int. Contaminantes del Ambiente*

130 To be submitted to: *Rev. Int. Contaminantes del Ambiente*

131

132 **Determinación de parámetros estadísticos óptimos para la reducción de plomo mediante**
133 **EDTA en Limoncocha**

134

135 Determination of optimal statistical parameters for lead's reduction by EDTA in Limoncocha

136

137

138 Carolina Yela¹, Ivonne Carrillo¹

139

140 ¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

141 E-mails: caro.yela1995@gmail.com, emma_carrillo@uisek.edu.ec

142

143

144 **Título corto:** Aplicación de EDTA para quelación de plomo en Limoncocha

145 Runing Title: Application of EDTA for lead's chelation in Limoncocha

146

147

148 **Autor de correspondencia:** MsC. Ivonne Carrillo, Universidad Internacional SEK, Facultad de

149 Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Teléfono: 0999175933 E-mail:

150 emma_carrillo@uisek.edu.ec

151

152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como fin validar el método de Absorción Atómica para la medición de plomo cuando este se encuentra en forma de complejo por reacción con el EDTA, a la vez que se busca un valor óptimo del quelante que genere la mayor reducción de la concentración de plomo. Se conoce que el EDTA tiene la capacidad de formar complejos para así secuestrar los metales y reducir su concentración, sin embargo se desconoce su resistencia a las elevadas temperaturas que genera la Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama. Para esto se pretenden realizar varias mediciones en el laboratorio que permitan evidenciar la resistencia mencionada y a la par, buscar un óptimo, que será comparado con Espectrofotometría de color para su verificación. Posteriormente se aplicarán los resultados obtenidos en muestras tomadas en varios puntos significativos de la laguna de la Reserva Biológica Limoncocha con el fin de evidenciar una considerable reducción en la concentración de plomo de las mismas. Finalmente se realizarán varios análisis estadísticos que permitan demostrar el correcto funcionamiento del equipo, el comportamiento de los datos, la veracidad del valor óptimo encontrado, la relación entre los dos métodos de espectrofotometría y porcentajes de reducción en las muestras de la laguna de Limoncocha.

Palabras clave: quelación, espectrofotometría, EDTA, Limoncocha, absorción atómica, color.

171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187

ABSTRACT

The present research aims to validate the Atomic Absorption method for lead's measurement when it's in the form of complex by reaction with EDTA, at the same time it's looking for an optimal value of the chelating agent that generates the best reduction in the concentration of lead. It is known that EDTA has the ability to form complexes in order to sequester metals and reduce its concentration, however it is unknown its resistance to high temperatures generated by Atomic Absorption Spectrophotometry. In order to prove it, there are going to be performed several measurements in the laboratory allowing us to prove the resistance mentioned earlier, and at the same time find an optimal, which will be compared with Color Spectrophotometry for verification. Then the results obtained will be applied in samples taken at significant points of the Limoncocha Biological Reserve lagoon, waiting to show a considerable reduction in the concentration of lead of the same. Finally, various statistical analyzes will be done to demonstrate the correct operation of the equipment, the behavior of the data, the accuracy of the optimal value found, the relationship between the two methods of spectrophotometry and percentages of lead's reduction in the samples of the lagoon of Limoncocha.

Key Words: chelation, spectrophotometry, EDTA, Limoncocha, color.

188

INTRODUCCIÓN

189 El Oriente ecuatoriano está caracterizado por poseer una gran variedad de especies tanto
190 animales como vegetales. Limoncocha, ubicado en el cantón Shushufindi en la provincia de
191 Sucumbios, es uno de los ejemplos que más resalta en cuanto a diversidad florística y faunística.
192 Sin embargo, también se debe resaltar la presencia de pueblos indígenas que habitan en la región
193 desde 1957, cuando el Instituto Lingüístico de Verano movilizó a las primeras comunidades
194 desde el Tena hasta la actual parroquia de Limoncocha (Konecki et al. 2013). Según (Chicta et
195 al., 1999) en (Robalino, 2017) a lo largo de toda la RBL (Reserva Biológica Limoncocha) se
196 hallan comunidades Kichwa, Secoya, Siona y Shuar, así como campos petroleros
197 correspondientes al bloque 15, actualmente perteneciente a Petroecuador.

198 La Reserva Biológica Limoncocha posee una extensión de 4613 hectáreas y se encuentra
199 en una altitud de 213 metros sobre el nivel del mar. Está formada por la laguna Limoncocha, la
200 laguna Negra o Yanacocha, y una variedad de humedales, pantanos y bosques húmedos tropicales
201 que le brindan diversidad de flora y fauna (MAE, 2015). El Ministerio de Agricultura y
202 Ganadería declaró la zona como Reserva Biológica en septiembre de 1985. Adicionalmente en
203 julio de 1998, la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional certificó a
204 la Reserva Biológica Limoncocha como un sitio Ramsar a nivel mundial (Armas & Lasso,
205 2011).

206 En la década de los 90 inicia la extracción petrolera a cargo de la empresa Occidental
207 Exploration Petroleum Company (OEPC) quienes cesan sus actividades en el año 2006, sin
208 embargo, hasta la actualidad continúan realizando actividades de producción conjuntamente con
209 Petroecuador. Adicionalmente, se tiene la influencia de dos campos petroleros (Campo Indillana
210 y Campo Limoncocha) los cuales se abastecen de agua superficial y subterránea de la cuenca del
211 río Capucuy ya que se encuentran en los bordes de la RBL (Carillo, 2016)

212 Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos hasta el último censo poblacional de
213 2010, en el cantón Shushufindi habitaban 44.328 personas y, conforme proyecciones de
214 crecimiento de la misma institución, en la actualidad habrían alrededor de 54.200 habitantes
215 (INEC, 2017). En relación al abastecimiento de agua únicamente el 17% tiene acceso a la red
216 pública de agua potable en toda la provincia, obligando al porcentaje restante a consumirla de
217 pozos, vertientes e incluso las lagunas; adicionalmente el 38,5% de la población hierve el agua
218 antes de consumirla y el 35,9% la toman tal como llega, lo cual no garantiza su limpieza y pureza
219 (INEC, 2010).

220 Toda presencia y actividad antropogénica genera impactos en el entorno, reflejándose en
221 el incremento del consumo de recursos, expansión de la frontera agrícola, contaminación de agua
222 y suelos, entre otras. Es así que se ha evidenciado contaminación en los diferentes componentes
223 ambientales de la RBL, específicamente en la laguna, la cual provee de agua y de variedad de
224 peces, que son consumidos diariamente como fuente de alimento por las comunidades asentadas
225 en la zona (Tapia, 2017; Estrella, 2017).

226 Los elementos químicos tienen diferentes efectos, tanto positivos como negativos en los
227 componentes medioambientales y en la salud de los seres vivos, consecuencias que se presentan
228 de acuerdo al tipo de elemento, su concentración, vías de absorción, tiempo de exposición,
229 etcétera. Gran parte de estos elementos químicos son metales y se caracterizan por su brillo,
230 elevada dureza, densidad y alta conductividad, entre otras características (Borrás, 2006). Dentro
231 de este grupo se encuentran aquellos denominados *metales pesados* que hacen referencia a
232 “aquellos elementos con densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando está en forma elemental, o
233 cuyo número atómico es superior a 20 y su concentración promedio en la corteza terrestre es
234 inferior al 0.1%” (Remache, 2013).

235 A su vez, los metales pesados se clasifican en dos grupos en base a su función,
236 dividiéndose así en: *Oligoelementos o micronutrientes*, los cuales en concentraciones traza son
237 necesarios para los organismos dentro de su metabolismo, y *metales pesados sin función*
238 *biológica conocida*, los que son altamente tóxicos aun en concentraciones bajas y poseen la
239 capacidad de bioacumularse en el organismo de los seres vivos (Nedelkoska & Doran, 2012).

240 Los metales pesados ingresan a la cadena trófica llegando a afectar el equilibrio medio
241 ambiental. Son rápidamente absorbidos por las membranas de los individuos debido a su
242 conductividad eléctrica, su cercanía con los metales preciosos que le confiere mayor estabilidad,
243 su capacidad para formar complejos con diferentes moléculas presentes en los organismos y su
244 afinidad con el grupo amino que elimina la efectividad de las enzimas limitando así la acción de
245 procesos metabólicos capaces de degradar el metal (Remache, 2013). Es por estas razones que
246 tienen la capacidad de bioacumularse y crear un efecto multiplicador en la cadena trófica
247 (Mancera-Rodríguez & Álvarez-León, 2006). Esto se traduce en la ingesta de una concentración
248 mayor del metal mientras más grande es el individuo, lo que a su vez implica que el ser humano
249 consume la mayor cantidad.

250 Los metales, al ingresar en el organismo del ser humano pueden causar daños al cerebro,
251 sistema nervioso central, hígado, riñones, sistema reproductivo, entre otros, dependiendo de la
252 concentración en el cuerpo (OMS, 2017). Es por esto que la contaminación de cuerpos de agua
253 con metales es un problema ambiental que debe ser controlado y tratado como tal, pero también
254 es un problema de salud pública.

255 El plomo, en el cual se enfocará el presente trabajo de investigación, pertenece a los
256 metales pesados sin función biológica conocida. Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y
257 Registro de Enfermedades (ATSDR, 2016), este elemento se encuentra en la corteza terrestre de
258 forma muy escasa, sin embargo, gracias a las actividades antropogénicas como la minería,

259 extracción de petróleo y manufacturas se ha difundido ampliamente, sobre todo en cuerpos de
260 agua y sedimentos.

261 Dentro de las características del plomo está su incapacidad para degradarse
262 biológicamente, sin embargo ciertos factores naturales como la luz y el agua si pueden
263 transformarlo. Este metal, cuando se encuentra como material particulado en la atmósfera, es
264 capaz de movilizarse largas distancias hasta que sedimenta y se adhiere a las partículas del agua o
265 del suelo. De igual forma, cuando el plomo se encuentra en descargas líquidas, se mantiene en
266 los cuerpos de agua hasta incorporarse a la cadena trófica (ASTDR , 2016)

267 La Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud (OMS,
268 PAHO, 2014) señalan que el plomo toma como órganos diana al cerebro, hígado, riñones y
269 huesos, sin embargo en los niños puede causar déficit de atención, hiperactividad, lento
270 aprendizaje, irritabilidad, entre otros. Adicionalmente, puede incidir en el apareamiento de
271 desórdenes como anemia, fatiga, migrañas, insomnio, hipertensión, pérdida de peso y
272 alteraciones gastrointestinales, enfermedades que con el tiempo y una mayor exposición al tóxico
273 pueden volverse crónicas (MMA, 2017).

274 Uno de los procedimientos que se suele llevar a cabo para lograr la reducción de la
275 concentración de los metales es la quelación. Para definir este proceso se debe tener
276 conocimiento de los siguientes conceptos: *grupos de coordinación* son aquellas estructuras
277 similares a un anillo que se forman entre un grupo químico y un ión metálico; *quelante* es aquel
278 compuesto químico capaz de unirse a otros iones; y *quelato* es el nuevo compuesto formado
279 (Segura, et.al, 1997).

280 Es así que la quelación se define como el proceso mediante el cual se forman grupos de
281 coordinación a partir de un quelante, que actúa impidiendo que el metal mantenga sus
282 propiedades químicas normales y limita sus reacciones, con el fin de que los metales sean

283 secuestrados en los quelatos formados y se reduzca la concentración de los mismos (Walco,
284 1997).

285 Un ejemplo de ésto es el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) el cual presenta las
286 siguientes características: pertenece a los ácidos orgánicos, es obtenido a partir de la aminación
287 de sus grupos metilo, posee moléculas de oxígeno y nitrógeno los cuales forman enlaces muy
288 estables con otros iones y es un quelante capaz de unirse a la mayor parte de iones metálicos
289 (Segura, et.al, 1997& Deng, Zhang, Li, & Luyao, 2016).

290 La eficiencia del EDTA como agente quelante ha sido estudiado con anterioridad (Tapia,
291 2017; Perez, 2012) demostrando su capacidad para formar complejos con los metales logrando
292 así secuestrarlos. Sin embargo, no ha sido estudiada su fuerza ante el calor generado por un
293 equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama, es decir, la capacidad que posee
294 para mantener los complejos aun cuando es expuesto a elevadas temperaturas.

295 Se plantea el objetivo principal de la investigación que busca comprobar la resistencia de
296 los complejos metálicos formados a partir de EDTA, a la temperatura generada por la llama de un
297 equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica, mediante pruebas de laboratorio, con el fin
298 de reducir la concentración de plomo en muestras tomadas de la laguna de Limoncocha. Para esto
299 se pretende encontrar el valor óptimo del quelante que provoca la mayor reducción de la
300 concentración de plomo mediante el análisis de las curvas de absorción generadas en el EAA tras
301 la adición de diferentes concentraciones de EDTA. Adicionalmente se busca corroborar este valor
302 con Espectrofotometría de Color con el fin de validar los resultados para finalmente aplicarlo en
303 muestras tomadas de la laguna de Limoncocha para reducir la concentración de plomo de las
304 mismas.

305

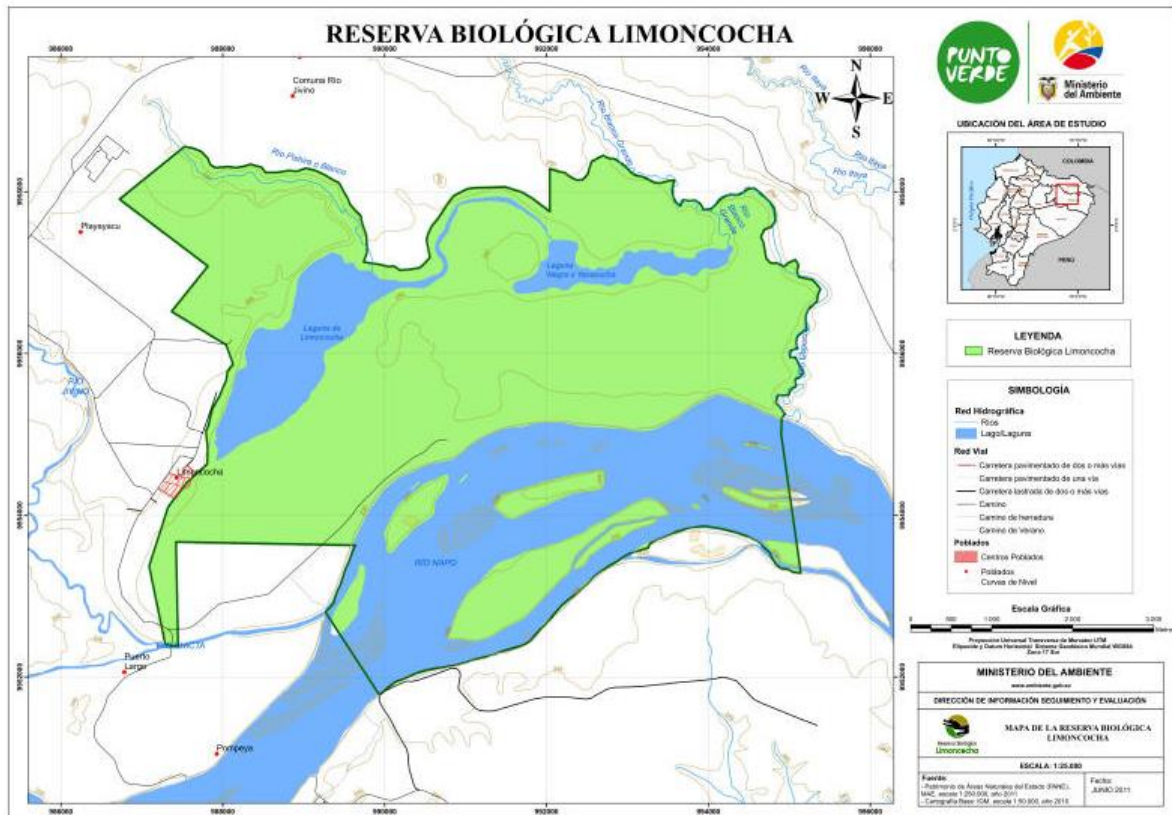
306

MATERIALES Y MÉTODOS

307 *Área de Estudio*

308 La Reserva Biológica Limoncocha se encuentra en la Provincia de Sucumbios, Cantón
 309 Shushufindi. Está formada por la laguna Limoncocha, la laguna Negra o Yanacocha, y una
 310 variedad de humedales, pantanos y bosques húmedos tropicales (MAE, 2015). En el Gráfico 1 se
 311 puede observar el mapa de la RBL y en la Tabla 1 se presentan de forma resumida las principales
 312 características de la laguna.

313 **Gráfico 1: Reserva Biológica Limoncocha (MAE, 2011)**



314

315 **Tabla 1: Generalidades laguna de Limoncocha (Carrillo, 2016)**

| Parámetro | Unidad | Valor |
|-----------------|--------|-------|
| Longitud máxima | Km | 3.0 |
| Ancho máximo | Km | 1.06 |
| Ancho medio | Km | 0.76 |

| | | |
|--------------------------------|-------------------|---------|
| Área total | Km ² | 2.28 |
| Longitud de la línea costera | Km | 8.54 |
| Profundidad máxima | M | 3.0 |
| Profundidad media | M | 1.9 |
| Volumen | m ³ | 4350483 |
| Tiempo de residencia | Días | 11.57 |
| Caudal medio mensual | m ³ /s | 13.0 |
| Altitud sobre el nivel del mar | Msnm | 210 |

316

317 *Métodos de Campo*

318 Las muestras se tomaron en los cinco puntos de la Reserva Biológica Limoncocha que se
 319 detallan a continuación en la Tabla 2, conforme a su posible influencia en la concentración de
 320 metales siendo seleccionadas las desembocaduras de los ríos por el posible aporte de afluentes
 321 contaminados; el caño debido a que en esta zona el agua se estanca y los lechugines absorben los
 322 metales; y, el muelle y centro de la laguna como zonas representativas de la laguna.

323 **Tabla 2: Puntos de muestreo**

| Punto | Coordenadas | |
|-------------------------|-------------|---------|
| Muelle | 18 M 032153 | 9957099 |
| Caño | 18 M 032201 | 9956919 |
| Centro o zona profunda | 18 M 032055 | 9555888 |
| Desembocadura Pishira | 18 M 032153 | 9957099 |
| Desembocadura Playayacu | 18 M 32241 | 9554772 |

324

325 Se tomaron dos muestras de cada punto, para preservarlas con ácido nítrico hasta tener un
 326 valor de pH igual a 2 con el fin de conservar sus propiedades.

327 *Métodos de Laboratorio*

328 En el laboratorio se realizaron dos tipos de prueba: Espectrofotometría de Absorción
 329 Atómica de llama y Espectrofotometría de color.

330 Para la primera prueba se realizaron las curvas de absorción de plomo mediante el equipo
331 de Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama AAnalyst 200 de la casa comercial Perkin
332 Elmer ®. Para este método es necesario realizar una solución madre de plomo de 100 ppm, en
333 base a la cual se realizaron estándares con concentraciones de: 0,25 ppm, 0,5 ppm, 0,75 ppm, 1
334 ppm, 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm y 8 ppm, respectivamente. La fórmula utilizada para determinar la
335 cantidad de solución madre de plomo a usarse en cada estándar es:

336
$$C1 * V1 = C2 * V2$$
, donde C=concentración y V=volumen

337 A continuación se realizó una curva de calibración cuyo valor más alto corresponde al
338 estándar de mayor valor. Posteriormente se tomaron 10 mL de cada estándar y se colocó en
339 matraces de 25 mL donde se fue añadiendo en cada prueba 0,5 mL, 1 mL, 2 mL, 3 mL, 4 mL, 5
340 mL, 6 mL y 7 mL de EDTA respectivamente, generando curvas de absorción de plomo para
341 observar el valor óptimo que provocó la mayor reducción del metal. Se efectuaron 7 mediciones
342 con el fin de corroborar que el valor óptimo sea el correcto y el mismo en cada repetición.

343 La segunda prueba de Espectrofotometría de color fue realizada en el equipo HACH
344 conforme el Standar Method 8300 Plomo, para medir la concentración de plomo en cada uno de
345 los estándares previamente preparados tras añadir el valor óptimo encontrado. El fin de esta
346 metodología es corroborar los resultados obtenidos en las mediciones del EAA de llama.

347 Finalmente se midió la concentración en las muestras provenientes de la laguna de
348 Limoncocha mediante el primer método, es decir, espectrofotometría de absorción atómica de
349 llama. Se analizó cada muestra en dos ocasiones, la primera de ellas con la muestra pura y la
350 segunda tras añadir 4 mL de EDTA que corresponde al valor óptimo encontrado.

351 *Análisis Estadísticos*

352 En primer lugar se realizó la medición de los estándares sin añadir ninguna cantidad de
353 EDTA, esperando que estos valores sean similares a la concentración teórica del estándar. Es por

354 eso que fue necesario determinar los parámetros estadísticos que validan la efectividad del equipo
355 en la medición de los datos y la concordancia que tienen con el valor teórico. Para esto se calculó:
356 el coeficiente de correlación, el error cuadrático, la diferencia media o significativa, el error
357 relativo y la prueba de falta de ajuste o LOFIT.

358 El coeficiente de correlación se define como “el grado de de asociación entre los valores
359 medidos y simulados” (Smith & Smith, 2007). Es decir, este estadístico determina el nivel de
360 variación conjunta entre dos muestras (Vinuesa, 2016). La fórmula a aplicarse es:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$$

361 Donde O_i es el valor de medido i-ésimo, \bar{O} es el valor promedio medido, P_i es el valor de
362 salida i-ésima, y \bar{P} es el valor de salida promedio.

363 El error cuadrático del modelo o RMSE por sus siglas en inglés (Root mean square error)
364 permite entregar un porcentaje de aceptabilidad de error entre los valores teóricos y los valores
365 medidos (de la Horra, 2004). La fórmula a aplicarse es:

$$RMSE = \frac{100}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}}$$

366
367 Donde \bar{O} es el promedio de todas las mediciones.

368 La diferencia media significativa se representa con la letra M y hace referencia al sesgo,
369 que a su vez se define como la “diferencia entre el verdadero valor y el valor obtenido debido a
370 cualquier causa que no sea la variabilidad de la muestra” (Mausner & Bahn, 1974 en Mackey,
371 2005). Para este cálculo se aplica la siguiente fórmula:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n}$$

372
 373 Adicionalmente, para este estadístico se debe realizar una prueba de t de student para M
 374 la cual se obtiene aplicando la formula mostrada a continuación.

$$t - value = \frac{M \times \sqrt{n}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((O_i - P_i) - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} \right) \right)^2}{(n-1)}}$$

375
 376 El error relativo se calcula utilizando intervalos de confianza. En este caso se utilizará
 377 95% ya que se requiere precisión en los datos. La fórmula para este estadístico es:

$$E_{95} = \frac{100}{O} \frac{\sum_{i=1}^n (SE_i \times t_{m,95})}{n}$$

378
 379 Finalmente la prueba de LOFIT (lack of fit) “separa los errores debidos a las variaciones
 380 en las mediciones, de los errores debido a la diferencia entre los valores medidos y simulados”
 381 (Martinez-Fresneda, 2018) conforme la fórmula:

$$LOFIT = \sum_{i=1}^n m_i (O_i - P_i)^2$$

382
 383 Aquí se debe calcular adicionalmente la significación de la diferencia entre los valores
 384 medidos y simulados de la siguiente manera:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - 1) \cdot LOFIT}{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} ((O_{ij} - P_i) - (O_i - P_i))^2}$$

385
 386 Teniendo en cuenta que ha sido determinada la viabilidad y confianza del equipo
 387 obteniendo resultados positivos en los estadísticos mencionados, entonces se continuaron las

388 mediciones para llegar a la obtención del valor óptimo de EDTA que genera la mayor reducción
389 en la concentración de plomo.

390 Una vez conseguido este valor se determinaron los parámetros estadísticos que corroboran
391 su validez, para lo cual se utilizó el programa estadístico PAST en su última versión. En primer
392 lugar se realizó una prueba de normalidad que determinó si es posible aplicar una ANOVA de un
393 factor, para posteriormente ejecutar la prueba de Kolmogorv-Smirnov.

394 La prueba de normalidad se hace con el fin de verificar que los datos no sean aleatorios y
395 que se comportan conforme una campana de Gauss con respecto a la media (Peña, Buitrago,
396 Curieses, 2007). Existen varios tipos de pruebas de normalidad, y el programa arrojó tres
397 resultados. Sin embargo, se tomaron los datos correspondientes a la prueba de Shapiro-Wilk ya
398 que es considerada la más exacta y estricta. Para realizar este análisis se construyeron matrices de
399 datos donde se tomaron todas las mediciones correspondientes a cada uno de los estándares para
400 así evaluar el comportamiento de los datos en cada repetición de un mismo estándar de plomo.

401 Una vez verificada la normalidad de las muestras se aplicó la prueba ANOVA de un
402 factor la cual es “un procedimiento estadístico para probar la hipótesis nula que afirma que las
403 muestras son tomadas de poblaciones con la misma media” (Hammer, 2017)

404 El programa PAST, al realizar el análisis ANOVA, automáticamente generó los
405 resultados para las pruebas de Levene y la prueba F que son usadas para medir la homogeneidad
406 de las varianzas. Todos estos estadísticos serán interpretados más adelante y respaldan los
407 resultados obtenidos.

408 De acuerdo a García, González y Jornet (2010) las pruebas de Kolmogorov-Smirnov,
409 permiten “medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos
410 y una distribución teórica específica”, es decir que tan alejada se encuentra una distribución
411 medida con respecto a otra de referencia. La fórmula que utiliza es:

412
$$D = \max |F_n(x) - F_o(x)|$$

413 Donde $F_n(x)$ se define como la función de distribución muestral y $F_o(x)$ la función teórica
414 o correspondiente a la población normal especificada en la hipótesis nula (Alea et.al, 2001)

415 Tras demostrar estadísticamente la validez del valor óptimo de 4 mL de EDTA
416 encontrado, se tomaron los datos de concentración de plomo medido en cada prueba con dicha
417 cantidad de EDTA y se calculó la media, desviación estándar y coeficiente de variación.

418 García, Marques y Santizo (2002) aportan los siguientes conceptos: la media se define
419 como el promedio entre todas las mediciones realizadas; la desviación estándar mide que tan
420 alejados están los datos medidos con respecto a la media; y el coeficiente de variación evalúa la
421 precisión de las mediciones.

422 Siguiendo con la determinación de los parámetros estadísticos, se realizó una
423 comparación entre los valores obtenidos con el EEA de llama y con espectrofotometría de color.
424 Para esto, de igual forma, se ejecutó un análisis de medias, desviación estándar y coeficiente de
425 variación.

426 Finalmente se realizó un análisis de porcentaje de reducción aplicado a los datos
427 obtenidos de las muestras de Limoncocha.

428 **RESULTADOS**

429 *Efectividad del equipo*

430 Se presentan a continuación los parámetros estadísticos que validan la precisión del
431 equipo de EAA de llama.

432 El coeficiente de correlación, aplicando la fórmula previamente mencionada, arrojo los
433 siguientes resultados:

$$\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 = 58,59 \quad \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 = 55,76 \quad \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) = 57,13$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} = 7,65 \quad \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} = 7,47$$

434
435

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} = 0,99953$$

436
437

Por lo que el coeficiente de correlación es: $r = 0,99953$

438

El error cuadrático se aplicó de la siguiente forma:

$$RMSE = \frac{100}{O} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} = 3,78019$$

439

440

Sin embargo al aplicar un límite de confianza del 95% se obtuvo un $RMSE_{95} = 11,13$

441

conforme lo mostrado a continuación:

$$RMSE_{95} = \frac{100}{O} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (SE_i \times t_{m,95})^2}{n}} = 11,13611$$

442

443

La diferencia media (M) conjuntamente con la t de student de M para determinar la

444

significancia del sesgo presentaron los siguientes resultados:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} = 0,018$$

445

$$t\text{-value} = \frac{M \times \sqrt{n}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((O_i - P_i) - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} \right) \right)^2}{(n-1)}}} = 0,500$$

446

$$t\text{-valor (Crítico al 2.5% - dos colas)} = 2,45$$

447

El error relativo con el 95% de confianza es 9,59 así:

$$E_{95} = \frac{100}{O} \frac{\sum_{i=1}^n (SE_i \times t_{m,95})}{n} = 9,59$$

448

449 Finalmente el resultado de la prueba LOFIT y el valor de F normal y F crítico al 5% se
 450 presentan a continuación:

$$LOFIT = \sum_{i=1}^n m_i (O_i - P_i)^2 = 0,64105$$

451

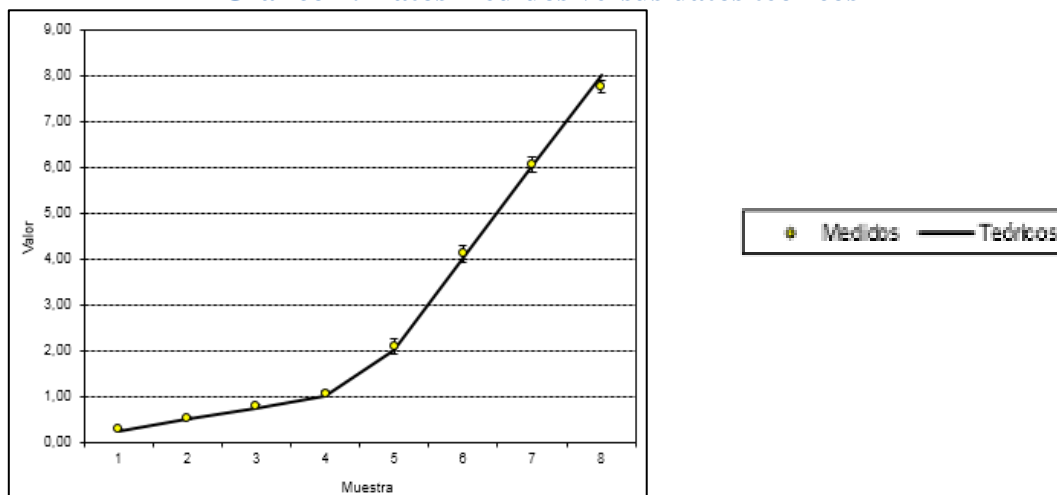
$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - 1) \times LOFIT}{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} ((O_{i,j} - P_i) - (O_i - P_i))^2} = 0,12201 \quad F \text{ valor } \alpha (P = 0.05) = 2,30351$$

452

453 Adicionalmente se presenta Gráfico 2 que muestra el comportamiento entre los datos
 454 medidos y los datos teóricos

455

Gráfico 2: Datos medidos versus datos teóricos



456

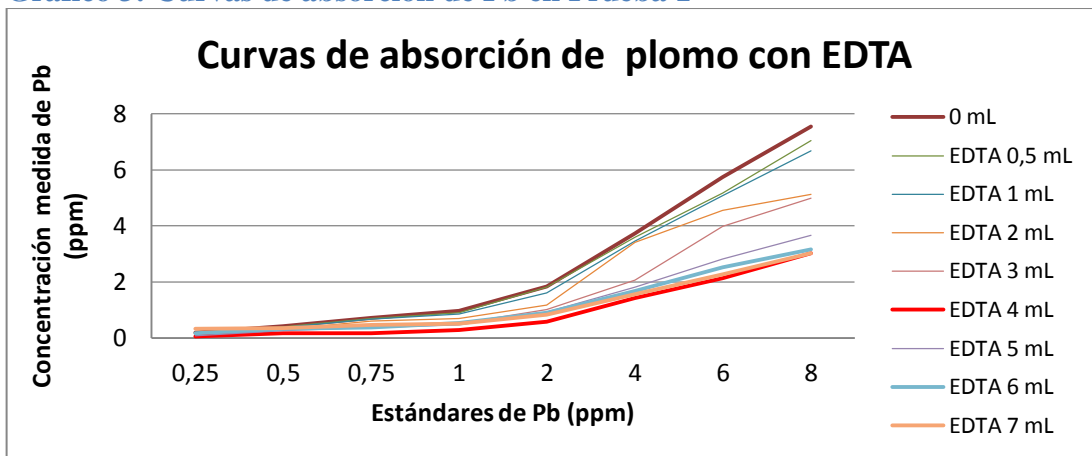
457

458 ***Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama***

459 Desde el Gráfico 3 hasta el Gráfico 9 se presentan las curvas de absorción para las
 460 diferentes pruebas realizadas demostrando en cada una de ellas que el valor óptimo de 4 mL de
 461 EDTA causa la mayor reducción de la concentración de plomo en los estándares. Dentro del

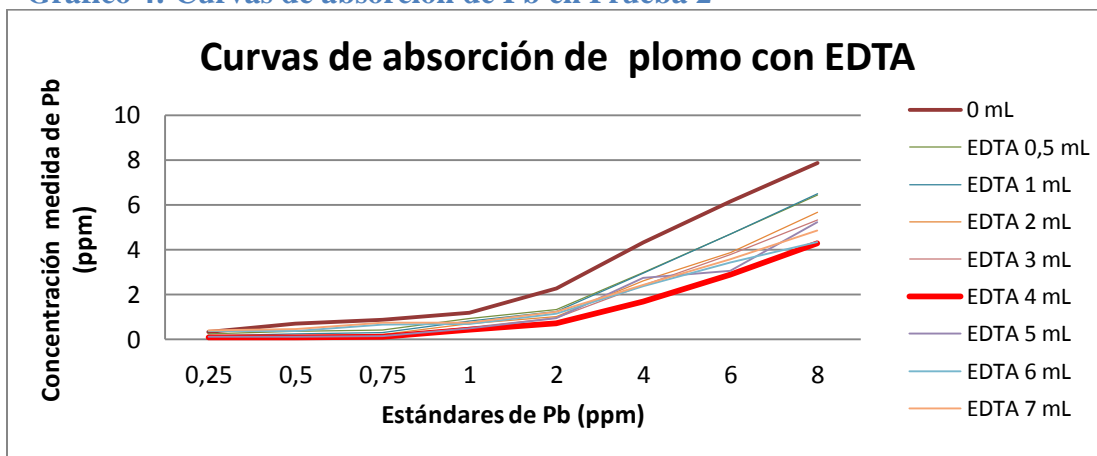
462 Anexo 1 se pueden ver todas las matrices de datos en base a las cuáles se construyeron los
463 gráficos.

464 **Gráfico 3: Curvas de absorción de Pb en Prueba 1**



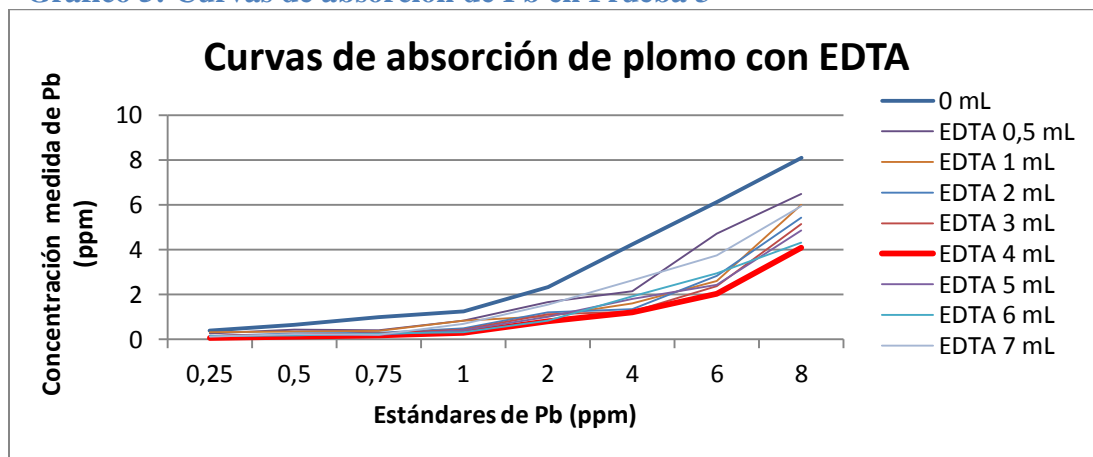
465
466
467

Gráfico 4: Curvas de absorción de Pb en Prueba 2



468

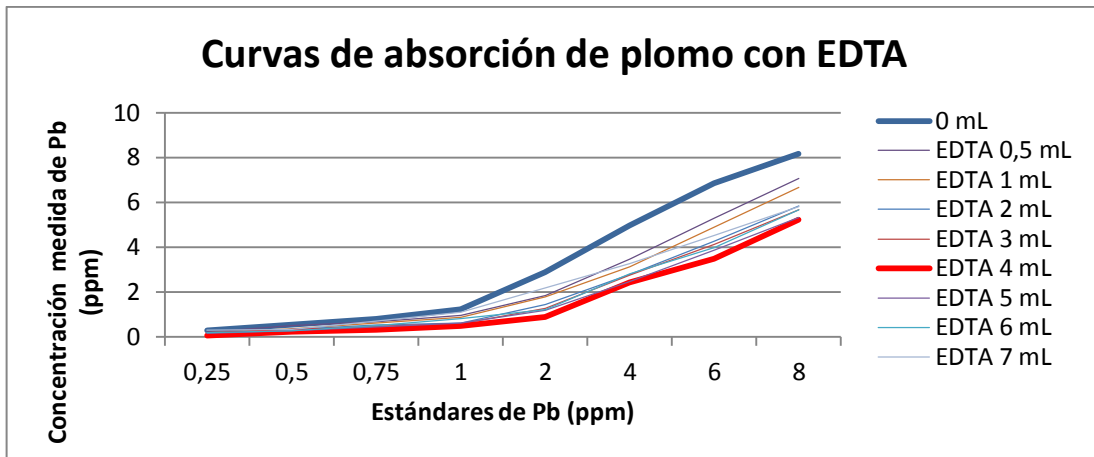
469 **Gráfico 5: Curvas de absorción de Pb en Prueba 3**



470

471

Gráfico 6: Curvas de absorción de Pb en Prueba 4

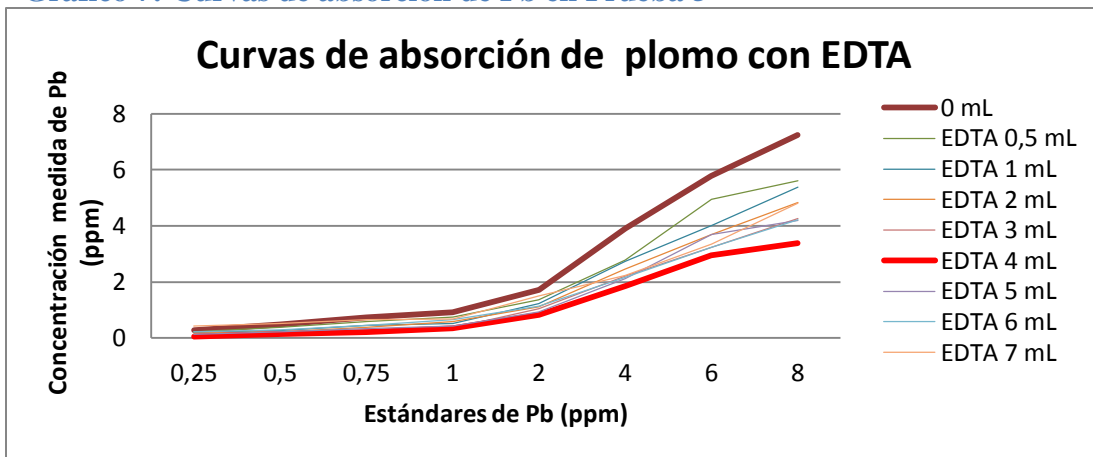


472

473

474

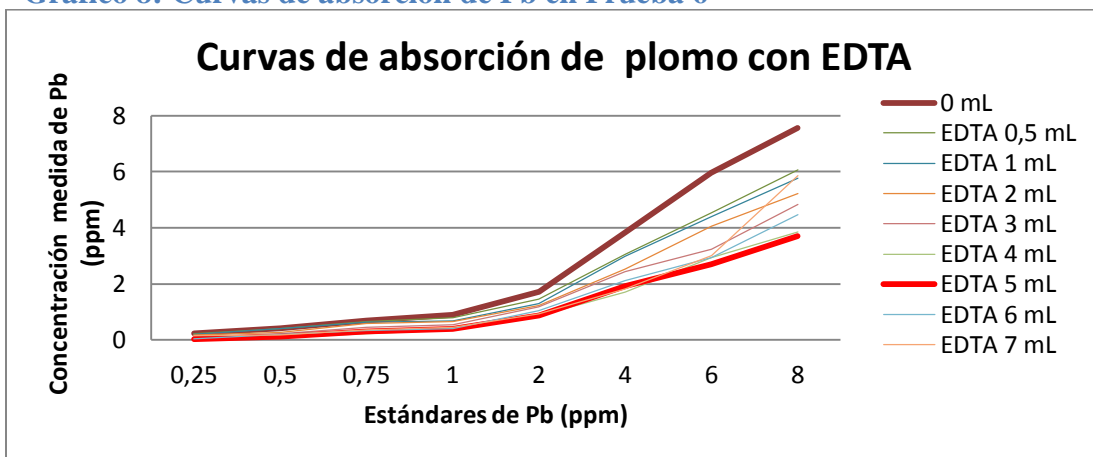
Gráfico 7: Curvas de absorción de Pb en Prueba 5



475

476

Gráfico 8: Curvas de absorción de Pb en Prueba 6



477

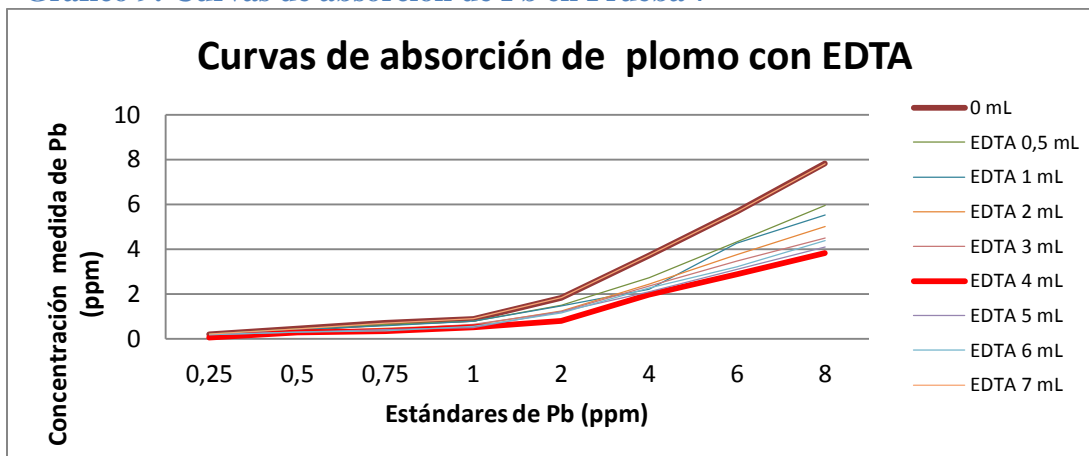
478

479

480

481

Gráfico 9: Curvas de absorción de Pb en Prueba 7



482

483 Estadística

484 Las pruebas de normalidad realizadas conforme Shapiro-Wilk, demandan que dichos
485 resultados sean superiores a 0,05, valor que corresponde al nivel mínimo de significación, caso
486 contrario el dato no presenta un comportamiento normal con respecto a los demás valores de la
487 muestra. Al realizar la prueba en cada una de las matrices correspondientes a cada estándar, como
488 se explicó anteriormente, se tuvo aproximadamente un 90% de normalidad ya que en general un
489 dato de cada matriz presentaba un comportamiento distinto. Sin embargo dichos datos no eran
490 considerablemente inferiores al dato de referencia por lo que se puede asumir fácilmente que el
491 comportamiento de las muestras tiene una distribución normal por lo que los datos son
492 homogéneos, ratificando así que los datos medidos en cada prueba y correspondiente a cada
493 estándar son similares entre ellos y se comportan normalmente con respecto a su media.

494 Con los análisis que respaldan la normalidad de los datos se aplicó la ANOVA de un
495 factor donde, de igual forma, se tiene un valor de significancia de 0,05. Si el dato entregado por
496 el programa PAST es superior al valor de referencia entonces se puede decir que los datos son
497 tomados de poblaciones con la misma media. Al ejecutar el programa con las matrices

498 correspondientes a cada estándar, todos los datos fueron mayores a 0,05 corroborando que la
499 media de la población es la misma o similar en todas las pruebas realizadas.

500 Como se mencionó anteriormente el programa calcula automáticamente la prueba F y la
501 prueba de Levene que demuestran la homogeneidad de los datos, es decir que tan similares son
502 entre ellos. El valor mínimo de significación al igual que en las pruebas anteriores es de 0,05 para
503 aceptar la hipótesis de una población homogénea. Al analizar las matrices de cada estándar se
504 pudo verificar que el valor obtenido es mayor al valor de referencia por lo que las muestras son
505 homogéneas con respecto a su media.

506 A continuación se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov comparando la curva de 0
507 mL, es decir el estándar de plomo puro, con cada curva generada por la adición de las diferentes
508 concentraciones de EDTA, obteniendo lo siguientes resultados mostrados en la Tabla 3:

509 **Tabla 3: Valores de permutación entre curvas de absorción de Pb**

| Comparación de curvas | Permutación | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 | Prueba 6 | Prueba 7 |
| 0 mL- 0,5 mL | 0,9807 | 0,9978 | 1 | 0,9764 | 1 | 1 | 1 |
| 0 mL- 1 mL | 0,6676 | 0,6614 | 0,9807 | 0,9612 | 0,9805 | 0,9799 | 1 |
| 0 mL- 2 mL | 0,6662 | 0,6573 | 0,9713 | 0,9808 | 0,9791 | 0,9783 | 0,9835 |
| 0 mL- 3 mL | 0,6677 | 0,6558 | 0,9616 | 0,6615 | 0,9816 | 0,973 | 0,978 |
| 0 mL- 4 mL | 0,6528 | 0,2782 | 0,6598 | 0,6529 | 0,6634 | 0,8692 | 0,656 |
| 0 mL- 5 mL | 0,6657 | 0,6566 | 0,9788 | 0,6676 | 0,6649 | 0,98 | 0,6583 |
| 0 mL- 6 mL | 0,656 | 0,2873 | 0,9797 | 0,9781 | 0,9803 | 0,9799 | 0,6622 |
| 0 mL- 7 mL | 0,9778 | 0,6588 | 0,9881 | 0,9808 | 0,9789 | 1 | 0,6581 |

510
511 Con esto se evidencia que la curva de 4mL de EDTA es la más lejana a la curva del
512 estándar, demostrando así que genera la mayor reducción en la concentración de plomo.

513 Una vez determinado el valor óptimo mencionado se tomaron las mediciones de 4mL de
 514 cada prueba para obtener los datos de las medidas de dispersión mostrados en la Tabla 4. Los
 515 resultados revelan que los datos medidos están poco dispersos entre sí. Los resultados de las
 516 mediciones correspondientes a los estándares más bajos presentan coeficientes de variación
 517 considerablemente elevados, lo cual puede deberse a la poca concentración de plomo de dichos
 518 estándares, mientras que los estándares con mayor concentración tienen coeficientes de variación
 519 aceptables.

520 **Tabla 4: Medidas de dispersión del valor óptimo de EDTA**

| Concentración de Pb al añadir 4 mL de EDTA | | | | | | | Media | Desviación estándar | Coeficiente de variación |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|---------------------|--------------------------|
| p1 | p2 | p3 | p4 | p5 | p6 | p7 | | | |
| 0,072 | 0,089 | 0,067 | 0,064 | 0,051 | 0,01 | 0,08 | 0,062 | 0,024 | 38,678 |
| 0,167 | 0,094 | 0,132 | 0,236 | 0,149 | 0,08 | 0,282 | 0,163 | 0,068 | 41,719 |
| 0,172 | 0,135 | 0,188 | 0,319 | 0,223 | 0,227 | 0,363 | 0,232 | 0,075 | 32,433 |
| 0,292 | 0,431 | 0,287 | 0,498 | 0,358 | 0,357 | 0,515 | 0,391 | 0,086 | 21,884 |
| 0,592 | 0,714 | 0,804 | 0,902 | 0,824 | 0,865 | 0,818 | 0,788 | 0,097 | 12,247 |
| 1,436 | 1,688 | 1,215 | 2,424 | 1,847 | 1,705 | 1,972 | 1,755 | 0,359 | 20,467 |
| 2,136 | 2,889 | 2,032 | 3,477 | 2,943 | 2,939 | 2,879 | 2,756 | 0,467 | 16,959 |
| 3,032 | 4,278 | 4,073 | 5,219 | 3,377 | 3,85 | 3,824 | 3,950 | 0,647 | 16,377 |

521

522 ***Espectrofotometría de Color***

523 En la Tabla 5 se presenta la medición realizada en el equipo HACH para
 524 espectrofotometría de color, junto con la media de los valores de cada prueba con la adición de
 525 4mL de EDTA mostrando así la similitud entre ambas para corroborar la efectividad del EDTA
 526 para reducir la concentración de plomo y la fuerza de los complejos metálicos que forma.

527
 528
 529
 530

531

Tabla 5: Valores medidos en Espectrofotometría de color

| Estándar Pb (ppm) | Concentración Pb (µg/L) | Concentración Pb (ppm) | Media en EAA (ppm) |
|-------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|
| 0,25 | 50 | 0,05 | 0,062 |
| 0,5 | 150 | 0,15 | 0,163 |
| 0,75 | 310 | 0,31 | 0,232 |
| 1 | 419 | 0,419 | 0,391 |
| 2 | 632 | 0,632 | 0,788 |
| 4 | 1700 | 1,7 | 1,755 |
| 6 | 2300 | 2,3 | 2,756 |
| 8 | 4240 | 4,24 | 3,950 |

532

533 **Estadística**

534 En base a los resultados mostrados en la tabla anterior nace la Tabla 6 y el Gráfico 9 los

535 cuáles presentan una comparación estadística entre ambos métodos para demostrar su semejanza.

536 Se puede observar claramente que los valores difieren por décimas lo que demuestra la similitud

537 entre los valores obtenidos con EAA de llama y espectrofotometría de color.

538

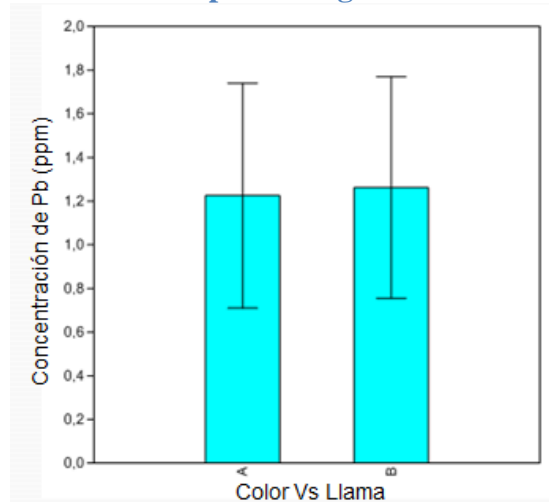
Tabla 6: Comparación estadística entre métodos

| Parámetro | Color | Llama |
|---------------------|-------|-------|
| Media | 1,22 | 1,26 |
| Desviación estándar | 1,45 | 1,43 |
| Error estándar | 0,515 | 0,506 |

539

540

Gráfico 10: Comparación gráfica de métodos



541

542 *Aplicación en muestras de Limoncocha*

543 A continuación se presentan los resultados de las mediciones de concentración de plomo
544 en las muestras provenientes de la laguna de Limoncocha. Se realizó una medición inicial y una
545 final tras añadir el valor óptimo de 4 mL de EDTA, por lo que también se presenta el porcentaje
546 de disminución de la concentración del metal.

547 **Tabla 7: Concentración de plomo en muestras de Limoncocha**

| Punto | Medición inicial (mg/L) | Medición final (mg/L) | Porcentaje de reducción |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Muelle | 0,010 | 0,002 | 80% |
| Desembocadura Playayacu | 0,013 | 0,000 | 100% |
| Desembocadura Pishira | 0,008 | 0,000 | 100% |
| Caño | 0,000 | 0,000 | 100% |
| Centro o zona profunda | 0,037 | 0,000 | 100% |

548

549

DISCUSIÓN

550

551 *Efectividad del equipo*

552 En la Tabla 8 se muestra un resumen de los parámetros estadísticos obtenidos para el
553 correspondiente análisis.

554 **Tabla 8: Parámetros estadísticos de la efectividad del equipo**

| Estadísticos | Valores |
|---|------------|
| r = Coef. Correlación | 0,99953 |
| ¿Asociación significativa? | SI - Bueno |
| RMSE = Error cuadrático medio | 3,78% |
| RMSE (Límite de confianza del 95%) | 11,14% |
| ¿Error total significativo? | No- Bueno |
| M = Diferencia media o significativa | 0,02 |
| t = t de Student de M | 0,50 |
| t-valor (Crítico al 2.5% - de dos colas) | 2,45 |
| ¿Sesgo significativo? | No - Bueno |
| E = Error relativo | 0,63 |
| E (Límite de confianza del 95%). | 9,59 |
| ¿Sesgo significativo? | No - Bueno |
| LOFIT = Lack of Fit (Falta de Ajuste) | 0,64 |
| F = | 0,12 |
| F (Crítico al 5%) | 2,30 |
| ¿Error significativo entre valores simulados y medidos? | No - Bueno |

555

556 Un coeficiente de correlación igual a 0,99953 corresponde a una relación básicamente
557 perfecta entre los valores teóricos y los valores medidos lo que a su vez demuestra que el equipo
558 esta calibrado y realiza las mediciones con un grado de error muy bajo.

559 En cuanto al error cuadrático medio se obtuvo un valor de 3,78% pero al aplicar el mismo
560 error con un límite de confianza del 95% el resultado aumentó a 11,14%. Sin embargo es un valor
561 no significativo y se puede asumir que los valores medidos están correctos con relación al
562 estándar teórico.

563 La diferencia media o significativa arrojó un valor de sesgo de 0,02 lo cual es muy bueno
564 ya que demuestra la cercanía entre los valores de referencia y los valores medidos. Al realizar la t
565 de Student de la media y aplicar un valor crítico del 2,5% y dos colas se obtienen dos valores:
566 0,5 y 2,45 respectivamente, los cuales también son bajos y entran dentro un sesgo no
567 significativo.

568 El error relativo fue de 0,63, sin embargo al aumentar el límite de confianza al 95% subió
569 a 9,59. De todos modos representa un valor bajo lo que arroja un sesgo no significativo y
570 corrobora la similitud entre los datos medidos y los datos teóricos.

571 Finalmente la prueba de LOFIT es de 0,64. Al aplicar la prueba F y F crítico al 5% se
572 tiene 0,12 y 2,30 respectivamente, valores que demuestran que no existen un error significativo
573 entre los valores simulados y los valores medidos.

574 Todos los parámetros estadísticos presentados corroboran la similitud y relación entre los
575 datos medidos y los estándares y el buen funcionamiento del equipo de espectrofotometría
576 atómica de llama, por lo que se tiene la seguridad y confianza para seguir realizando los ensayos
577 de laboratorio.

578 ***Espectrofotometría Atómica de Llama***

579 Como se ha demostrado a lo largo de todo el presente trabajo de investigación, el valor
580 óptimo de EDTA a añadirse para generar la mayor reducción en la concentración de plomo de
581 los estándares realizados es 4 mL, ya que el porcentaje de reducción es mayor hasta este punto.
582 Las razones de este comportamiento son varias pero principalmente se debe a las interferencias
583 que el equipo sufre a razón de que los valores de plomo, sobre todo en el primero y segundo
584 estándar, ya son muy bajos y el equipo tiene problemas para cuantificar el metal.

585 Cabe recalcar que este valor es óptimo para las concentraciones y condiciones presentadas
586 en el presente trabajo, sin embargo si se ha comprobado la hipótesis de que los complejos

587 metálicos formados a partir del EDTA son capaces de soportar la temperatura generada por el
588 EAA de llama por lo que se puede usar este método con seguridad para cuantificar la reducción
589 de plomo con la acción de quelantes.

590 Con respecto a los resultados obtenidos en las medidas de dispersión, mientras más bajo
591 es el valor de la desviación estándar quiere decir que los datos medidos están más cercanos a la
592 media poblacional, mientras que cuando mayor es el dato, sucede lo contrario. Como se pudo
593 observar los resultados de los estándares más bajos presentaban desviaciones estándar más altas,
594 pero esto se puede explicar con lo mencionado anteriormente respecto a las interferencias en
595 concentraciones de plomo muy bajas.

596 En cuanto a las pruebas estadísticas de normalidad, ANOVA, Levene y prueba F se logró
597 demostrar que en las repeticiones efectuadas las muestras y los valores obtenidos presentaban
598 comportamientos y distribuciones similares, asegurando así que se encontraban dentro de la
599 misma población. Estos parámetros estadísticos permiten respaldar las repeticiones efectuadas lo
600 que a su vez corrobora la validez del valor óptimo encontrado.

601 ***Espectrofotometría de Color***

602 El objetivo principal de esta etapa de la investigación fue demostrar que tanto el EAA de
603 llama y el método de espectrofotometría de color presentaban resultados similares para
604 corroborar que los datos obtenidos eran correctos. Valores similares, como los obtenidos,
605 demuestran que el EDTA estaba formando complejos y reduciendo la concentración de plomo en
606 ambos métodos.

607 ***Aplicación en muestras de Limoncocha***

608 En cuatro de cinco puntos la reducción fue total, mientras que en uno de ellos fue del 80%
609 valor que es bastante significativo por lo que se puede tomar como exitosa la aplicación del valor

610 óptimo de EDTA y se cumple con el objetivo planteado de disminuir la concentración de plomo
611 en muestras tomadas de la laguna.
612

613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627

CONCLUSIONES

Tras analizar todos los ensayos de laboratorio y las pruebas estadísticas correspondientes, se concluye que los complejos metálicos formados entre el EDTA y el plomo, si resisten la temperatura generada por el equipo de espectrofotometría atómica de llama lo que se evidencia en la reducción de la concentración del metal en las muestras analizadas.

El valor óptimo encontrado responde a las condiciones en las que se llevó a cabo el experimento, ya que la calibración del equipo y las curvas de absorción se realizaron en base a los estándares de plomo que se estaban manejando.

Los parámetros estadísticos evaluados y los ensayos de espectrofotometría de color respaldan estos resultados y sugieren que las mediciones se llevaron a cabo de forma adecuada y que el equipo estaba cuantificando adecuadamente la concentración de plomo.

Los valores obtenidos en las muestras de Limoncocha respaldan la reducción de la concentración de plomo mediante el quelante seleccionado y corroboran la máxima reducción al aplicar el valor de 4mL de EDTA.

628

Agradecimientos

629

A Richard, por su colaboración con el mantenimiento y arreglo del equipo de

630

Espectrofotometría de Absorción Atómica.

631

632

REFERENCIAS

- 633
- 634 Alea Riera, V., Guillén Estany, M., Muñoz Vaquer, C., Maqueda de Anta, I., Torrelles
- 635 Puig, E., & Viladomiu Canela, N. (2001). CONTRASTES DE NORMALIDAD. Universidad de
- 636 Barelona. Retrieved December 3, 2017, from http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap5-6.htm
- 637 Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). Plomo.
- 638 Retrieved October 27, 2017, from https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html
- 639 Armas, M. F., & Lasso, S. (2011). Plan de manejo de la Reserva Biológica de
- 640 Limoncocha. Retrieved October 12, 2017, from
- 641 <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/890928/Plan+de+manejo+de+la+Reserva+Limon>
- 642 [cocha.pdf/bf9eb887-e71f-4d35-bb0a-019fc8ac9432](http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/890928/Plan+de+manejo+de+la+Reserva+Limoncocha.pdf/bf9eb887-e71f-4d35-bb0a-019fc8ac9432)
- 643 García, Bellido, González, Such & Jornet, Melía. (2010). PRUEBAS NO
- 644 PARAMÉTRICAS. Retrieved from https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0802A.pdf
- 645 García Cué, J. L., & Marques Dos Santos, María José Santizo Rincón, J. A. (2002).
- 646 Medidas de dispersión.
- 647 Borrás, J. J. (2006). Tabla Periódica y Propiedades Periódicas. Retrieved October 27,
- 648 2017, from <http://www.uv.es/~borrasj>
- 649 Carrillo Paredes, E. I. (2016). CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE
- 650 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOQUÍMICO DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA.
- 651 Universidad Internacional SEK.
- 652 De La Horra, J. (2004). ESTIMACIÓN PUNTUAL. Retrieved from
- 653 http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jgonzalo/Est/4-Estimacion-Puntual.pdf
- 654 Estrella, M. J. (2017). Evaluación De La Concentración De Arsénico, Bario, Manganeso
- 655 Y Plomo En Aguas, Suelos Y Sedimentos De La Reserva Biológica Limoncocha, Para Establecer

656 La Línea Base 2015 – 2017, Con Fines De Conservación Y Preservación. Universidad
657 Internacional SEK.

658 Guerrero Peña, A., Buitrago Cardona, M. V., & Paulete, M. C. (2007). *Estadística básica*.
659 ITM.

660 Hammer (2017). Manual Past. Natural History Museum University of Oslo

661 INEC. (2017). Proyecciones Poblacionales. Retrieved October 30, 2017, from
662 <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>

663 INEC. (2010). Estructura de la población. Retrieved October 27, 2017, from
664 [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/sucumbios.pdf)
665 [provinciales/sucumbios.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/sucumbios.pdf)

666 Konecki KT, Kacperczyk A, Chomczynski P, Albarracín M (2013) The spirit of
667 communitarianism and the cultural background of the Limoncocha community in the context of
668 sustainable development. Editorial UISEK, Quito

669 MANCERA-RODRÍGUEZ, N., & ÁLVAREZ-LEÓN, R. (2006). *ESTADO DEL*
670 *CONOCIMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO Y OTROS METALES*
671 *PESADOS EN PECES DULCEACUÍCOLAS DE COLOMBIA*. *Acta Biológica Colombiana* (Vol.
672 11). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología.

673 Mackey, M. E. (2005). Sesgo. Retrieved January from
674 https://www.gfmer.ch/Educacion_medica_Es/Pdf/Sesgos_2005.pdf

675 MAE. (2015). Reserva Biológica Limoncocha | Sistema Nacional de Áreas Protegidas del
676 Ecuador. Retrieved October 27, 2017, from [http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-](http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-biológica-limoncocha)
677 [protegidas/reserva-biológica-limoncocha](http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/reserva-biológica-limoncocha)

678 Ministerio del Medio Ambiente, & Gobierno de Chile. (2017). ¿Cuál es el efecto del
679 Plomo en la salud humana? - Sitio Web RETC - Gobierno de Chile. Retrieved October 27, 2017,
680 from <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/article-43788.html>

681 Nedelkoska, T., & Doran, P. (2000). Characteristics of heavy metal uptake by plant
682 species with potential for phytoremediation and phytomining. *Minerals Engineering*, 13(5), 549–
683 561. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(00\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00035-2)

684 Organización Mundial de la Saud. (2017). Intoxicación por plomo y salud. Retrieved
685 October 16, 2017, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>

686 OMS, & PAHO. (2014). Plomo. Retrieved October 27, 2017, from
687 [http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8206%3A2013-lead-](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8206%3A2013-lead-contamination&catid=4716%3Ageneral&Itemid=39800&lang=es)
688 [contamination&catid=4716%3Ageneral&Itemid=39800&lang=es](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8206%3A2013-lead-contamination&catid=4716%3Ageneral&Itemid=39800&lang=es)

689 Pérez Ávila, A. (2012). Formación de complejos: EDTA y quelatos. Manizales. Retrieved
690 from <https://quimiart.files.wordpress.com/2012/02/formacion-de-complejos.pdf>

691 Remache Tixe, A. M. (2013). *VALIDACIÓN DE MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE*
692 *METALES EN DIFERENTES MATRICES POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN*
693 *ATÓMICA*. Universidad Central del Ecuador.

694 Robalino Robayo Rodney. (2017). “Determinación De Cd, Co, Ni, Zn En Agua, Suelo Y
695 Sedimento de la RBL En El Período 2015-2017 Para Establecer La Línea Base Con Fines De
696 Conservación.

697 Segura Egea, J. J., Jiménez Rubio-Manzanares, A., Llamas Cadaval, R., & Jiménez
698 Planas, A. (1997). El ácido etilen diamino tetraacético (EDTA) y su uso en endodoncia.
699 *ENDODONCIA Volumen Abril-Junio, 15(2)*, 8.

700 Smith, J., & Smith, P. (2007). Environmental modelling: an introduction. Oxford
701 University Press.

702 Tapia, X. (2017). *Aplicación De Las Reacciones De Quelación Para Disminuir La*
703 *Contaminación Por Metales Pesados En Los Sedimentos De La Laguna De Limoncocha.*
704 Universidad Internacional SEK.

705 Vinuesa, P. (2016). *Correlación: teoría y práctica.*

706 WALCO S.A. (1997). *Todo sobre los Quelatos, 1.0*(Guia Actualizada y Completa sobre el
707 uso de Quelatos), 16. Retrieved from [http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los Quelatos](http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Quelatos_y_la_Quelatacion.pdf)
708 *y la Quelatacion.pdf*

709

710

ANEXO 1: Tablas de datos de cada medición en EAA de llama

711

Tabla 9: Concentración de Pb en Prueba 1

| Estándares Pb (ppm) | EDTA añadido | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 0 mL | 0,5 mL | 1 mL | 2 mL | 3 mL | 4 mL | 5 mL | 6 mL | 7 mL |
| 0,25 | 0,209 | 0,205 | 0,197 | 0,154 | 0,138 | 0,072 | 0,095 | 0,188 | 0,334 |
| 0,5 | 0,438 | 0,411 | 0,391 | 0,322 | 0,294 | 0,167 | 0,26 | 0,342 | 0,36 |
| 0,75 | 0,715 | 0,702 | 0,669 | 0,618 | 0,454 | 0,172 | 0,388 | 0,382 | 0,473 |
| 1 | 0,976 | 0,919 | 0,862 | 0,703 | 0,524 | 0,292 | 0,474 | 0,54 | 0,525 |
| 2 | 1,853 | 1,821 | 1,61 | 1,187 | 1,021 | 0,592 | 0,941 | 0,904 | 0,849 |
| 4 | 3,733 | 3,611 | 3,467 | 3,418 | 2,064 | 1,436 | 1,81 | 1,682 | 1,559 |
| 6 | 5,744 | 5,177 | 5,083 | 4,556 | 3,998 | 2,136 | 2,827 | 2,537 | 2,277 |
| 8 | 7,545 | 7,042 | 6,672 | 5,138 | 4,988 | 3,032 | 3,666 | 3,176 | 3,035 |

712

713

Tabla 10: Concentración de Pb en Prueba 2

| Estándares Pb (ppm) | EDTA añadido | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 0 mL | 0,5 mL | 1 mL | 2 mL | 3 mL | 4 mL | 5 mL | 6 mL | 7 mL |
| 0,25 | 0,342 | 0,263 | 0,178 | 0,117 | 0,093 | 0,089 | 0,122 | 0,387 | 0,398 |
| 0,5 | 0,704 | 0,367 | 0,255 | 0,157 | 0,1 | 0,094 | 0,134 | 0,391 | 0,478 |
| 0,75 | 0,865 | 0,42 | 0,313 | 0,213 | 0,161 | 0,135 | 0,152 | 0,674 | 0,76 |
| 1 | 1,205 | 0,946 | 0,819 | 0,714 | 0,544 | 0,431 | 0,501 | 0,699 | 0,748 |
| 2 | 2,279 | 1,329 | 1,249 | 1,009 | 0,963 | 0,714 | 0,942 | 1,161 | 1,234 |
| 4 | 4,327 | 2,996 | 2,972 | 2,631 | 2,426 | 1,688 | 2,751 | 2,364 | 2,435 |
| 6 | 6,153 | 4,709 | 4,709 | 3,863 | 3,784 | 2,889 | 3,051 | 3,421 | 3,573 |
| 8 | 7,873 | 6,451 | 6,486 | 5,682 | 5,322 | 4,278 | 5,229 | 4,335 | 4,853 |

714

715

Tabla 11: Concentración de Pb en Prueba 3

| Estándares Pb (ppm) | EDTA añadido | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 0 mL | 0,5 mL | 1 mL | 2 mL | 3 mL | 4 mL | 5 mL | 6 mL | 7 mL |
| 0,25 | 0,39 | 0,261 | 0,328 | 0,154 | 0,146 | 0,067 | 0,138 | 0,158 | 0,125 |
| 0,5 | 0,654 | 0,431 | 0,353 | 0,258 | 0,207 | 0,132 | 0,201 | 0,193 | 0,24 |
| 0,75 | 0,992 | 0,403 | 0,372 | 0,303 | 0,262 | 0,188 | 0,204 | 0,259 | 0,206 |
| 1 | 1,235 | 0,834 | 0,827 | 0,502 | 0,426 | 0,287 | 0,418 | 0,332 | 0,681 |
| 2 | 2,332 | 1,664 | 1,027 | 1,197 | 1,117 | 0,804 | 1,015 | 0,838 | 1,548 |
| 4 | 4,257 | 2,138 | 1,592 | 1,351 | 1,249 | 1,215 | 1,816 | 1,918 | 2,644 |
| 6 | 6,116 | 4,72 | 2,602 | 2,843 | 2,383 | 2,032 | 2,42 | 2,939 | 3,736 |
| 8 | 8,104 | 6,49 | 6,003 | 5,42 | 5,144 | 4,073 | 4,859 | 4,315 | 5,952 |

716

717

718

719

Tabla 12: Concentración de Pb en Prueba 4

| Estándares Pb (ppm) | EDTA añadido | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 0 mL | 0,5 mL | 1 mL | 2 mL | 3 mL | 4 mL | 5 mL | 6 mL | 7 mL |
| 0,25 | 0,287 | 0,217 | 0,189 | 0,188 | 0,181 | 0,064 | 0,17 | 0,188 | 0,309 |
| 0,5 | 0,55 | 0,497 | 0,373 | 0,33 | 0,32 | 0,236 | 0,278 | 0,293 | 0,332 |
| 0,75 | 0,813 | 0,677 | 0,618 | 0,533 | 0,487 | 0,319 | 0,464 | 0,519 | 0,713 |
| 1 | 1,233 | 0,954 | 0,87 | 0,629 | 0,598 | 0,498 | 0,617 | 0,832 | 1,111 |
| 2 | 2,902 | 1,845 | 1,789 | 1,463 | 1,272 | 0,902 | 1,198 | 1,219 | 2,2 |
| 4 | 4,963 | 3,466 | 3,141 | 2,800 | 2,765 | 2,424 | 2,481 | 2,822 | 3,287 |
| 6 | 6,861 | 5,308 | 4,906 | 4,26 | 4,124 | 3,477 | 3,863 | 3,975 | 4,518 |
| 8 | 8,168 | 7,072 | 6,67 | 5,83 | 5,672 | 5,219 | 5,32 | 5,675 | 5,823 |

720

721

Tabla 13: Concentración de Pb en Prueba 5

| Estándares Pb (ppm) | EDTA añadido | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 0 mL | 0,5 mL | 1 mL | 2 mL | 3 mL | 4 mL | 5 mL | 6 mL | 7 mL |
| 0,25 | 0,28 | 0,22 | 0,209 | 0,188 | 0,103 | 0,051 | 0,132 | 0,232 | 0,422 |
| 0,5 | 0,491 | 0,393 | 0,264 | 0,23 | 0,157 | 0,149 | 0,228 | 0,294 | 0,516 |
| 0,75 | 0,742 | 0,595 | 0,441 | 0,39 | 0,282 | 0,223 | 0,328 | 0,45 | 0,665 |
| 1 | 0,929 | 0,752 | 0,527 | 0,58 | 0,368 | 0,358 | 0,422 | 0,65 | 0,678 |
| 2 | 1,708 | 1,368 | 1,225 | 1,119 | 1,048 | 0,824 | 0,94 | 1,133 | 1,49 |
| 4 | 3,916 | 2,782 | 2,725 | 2,454 | 2,214 | 1,847 | 2,117 | 2,162 | 2,234 |
| 6 | 5,78 | 4,949 | 4,021 | 3,684 | 3,226 | 2,943 | 3,697 | 3,226 | 3,342 |
| 8 | 7,237 | 5,61 | 5,371 | 4,822 | 4,253 | 3,377 | 4,188 | 4,207 | 4,818 |

722

723

Tabla 14: Concentración de Pb en Prueba 6

| Estándares Pb (ppm) | EDTA añadido | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 0 mL | 0,5 mL | 1 mL | 2 mL | 3 mL | 4 mL | 5 mL | 6 mL | 7 mL |
| 0,25 | 0,245 | 0,217 | 0,203 | 0,177 | 0,102 | 0,01 | 0,031 | 0,034 | 0,158 |
| 0,5 | 0,408 | 0,406 | 0,397 | 0,278 | 0,23 | 0,08 | 0,116 | 0,194 | 0,177 |
| 0,75 | 0,702 | 0,66 | 0,643 | 0,588 | 0,46 | 0,227 | 0,304 | 0,337 | 0,366 |
| 1 | 0,9 | 0,786 | 0,685 | 0,654 | 0,544 | 0,357 | 0,393 | 0,414 | 0,449 |
| 2 | 1,711 | 1,467 | 1,302 | 1,222 | 1,173 | 0,865 | 0,87 | 1,034 | 0,929 |
| 4 | 3,842 | 3,052 | 2,993 | 2,532 | 2,43 | 1,705 | 1,931 | 2,119 | 1,822 |
| 6 | 5,952 | 4,542 | 4,395 | 4,051 | 3,238 | 2,939 | 2,7 | 2,935 | 3,011 |
| 8 | 7,555 | 6,057 | 5,76 | 5,211 | 4,831 | 3,85 | 3,71 | 4,467 | 5,855 |

724

725

726

727

728

729

Tabla 15: Concentración de Pb en Prueba 7

| Estándares Pb (ppm) | EDTA añadido | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 0 mL | 0,5 mL | 1 mL | 2 mL | 3 mL | 4 mL | 5 mL | 6 mL | 7 mL |
| 0,25 | 0,218 | 0,211 | 0,202 | 0,156 | 0,14 | 0,08 | 0,196 | 0,192 | 0,216 |
| 0,5 | 0,457 | 0,447 | 0,418 | 0,308 | 0,29 | 0,282 | 0,315 | 0,295 | 0,457 |
| 0,75 | 0,717 | 0,646 | 0,602 | 0,492 | 0,414 | 0,363 | 0,422 | 0,376 | 0,717 |
| 1 | 0,905 | 0,806 | 0,802 | 0,631 | 0,64 | 0,515 | 0,507 | 0,577 | 0,905 |
| 2 | 1,845 | 1,507 | 1,474 | 1,255 | 1,228 | 0,818 | 1,207 | 1,157 | 1,845 |
| 4 | 3,717 | 2,746 | 2,209 | 2,456 | 2,352 | 1,972 | 2,106 | 2,285 | 3,717 |
| 6 | 5,673 | 4,318 | 4,261 | 3,772 | 3,461 | 2,879 | 3,097 | 3,227 | 5,673 |
| 8 | 7,814 | 5,958 | 5,522 | 5,005 | 4,501 | 3,824 | 4,106 | 4,397 | 7,814 |

730

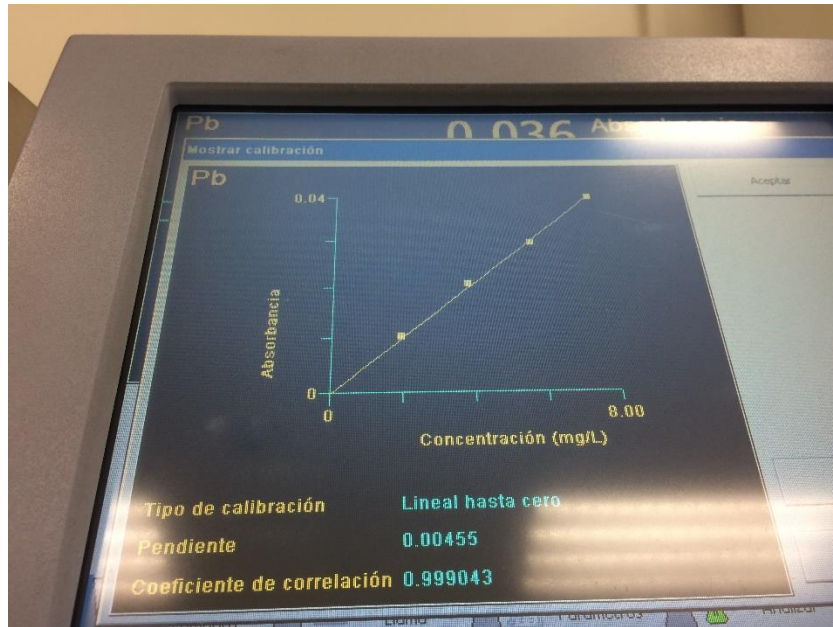
731

732

ANEXO 2: Registro fotográfico

733 *Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama*

734



735

736

737

Curva de calibración



738

739

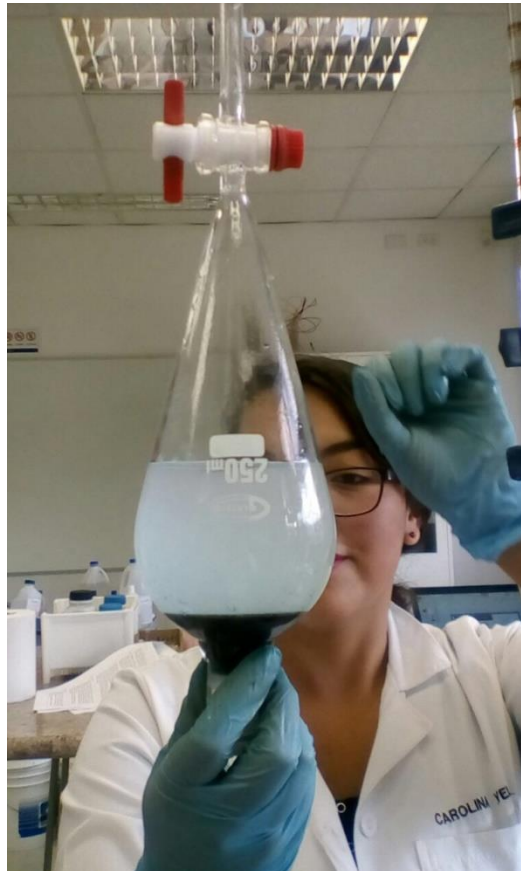
Estándares de plomo



Estándares de plomo

740
741
742
743
744

Espectrofotometría de color



Mezcla de muestra con Ditiver conforme método HACH

745
746

747
748
749



Adición de cloroformo



Muestras coloreada por presencia de plomo

750
751
752



Filtración de muestra para lectura en el equipo HACH

753
754