# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

**ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES**

# "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SEDIMENTOS Y AGUA DE LA REPRESA DE AGUADA BLANCA, AREQUIPA, COMO CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL RESERVORIO"

**Tesis presentada por el Bachiller ALFONSO TORRES ESPIRILLA.**

**Para optar el Grado Académico de MAESTRO EN CIENCIAS, CON MENCIÓN EN GERENCIA, AUDITORIA Y GESTIÓN AMBIENTAL.**

**ASESORA: Dra. TRINIDAD BETTY PAREDES DE GÓMEZ**

**AREQUIPA – PERU**

**2020**

# INFORME DE SIMILITUD

## N° 25-2023-UPG-FCNF-UNSA

Yo, Luz Aurora Fernández Fernández , en mi condición de Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Formales de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa; de acuerdo a lo dispuesto, hago constar que el Trabajo de Investigación[1] titulado:

"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SEDIMENTOS Y AGUA DE LA REPRESA DE AGUADA BLANCA, AREQUIPA, COMO CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL RESERVORIO"

Presentado por:

Alfonso Torres Espirilla

ha sido sometido a la herramienta de software antiplagio Ouriginal, obteniendo un porcentaje de similitud del **2%**, tal y como se evidencia en el reporte oficial emitido por la plataforma utilizada, con el detalle de dichas similitudes e información complementaria correspondiente.

Por lo tanto, se concluye que el Trabajo de Investigación cumple con el criterio de originalidad y no presenta observaciones. Sin otro particular, es todo cuanto informo para conocimiento y fines pertinentes.

Arequipa, 27 de Octubre del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
FACULT. DE CS. NATURALES Y FORMALES
UNIDAD DE POSGRADO

Dra. Luz Aurora Fernández Fernández
Director de la Unidad de Posgrado de la FCNF

[1] *Término que engloba a: Tesis, Trabajo Académico, Trabajo de Suficiencia Profesional o Trabajo de Investigación.*

Tesis financiada por convenio
UNSA-INVESTIGA
Contrato de financiamiento TIM-002-2018-UNSA

---

**Dra. Trinidad Betty Paredes de Gómez**

**ASESORA**

**MIEMBROS DEL JURADO**

---

**Dra Juana Ticona Quea**

**PRESIDENTE**

---

**Mag. Ángel Felipe Amézquita Chirinos**

**SECRETARIO**

---

**Dra Trinidad Betty Paredes de Gómez**

**INTEGRANTE**

**Dedicatoria**

A mi familia mi razón de ser

**AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre, por todos los sacrificios y porque nunca perdió la fe en mí, porque espera que este sea el primero mas no el ultimo de mis triunfos. A mi padre y mis hermanos, pero en especial a mi hermana Rocío, quien junto a mi madre superaron muchas barreras y adversidades para poder apoyarme, y cuyo apoyo moral se ve reflejado hoy en esta tesis.

Agradezco a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA) por el financiamiento de la presente tesis de maestría y contribuir con ello a mejorar el conocimiento sobre los diferentes problemas ambientales que presenta la región de Arequipa.

Un agradecimiento muy especial a mi asesora la Dra. Trinidad Betty Paredes de Gómez quien acepto ser mi asesora en la elaboración de mi tesis, quien me brindo apoyo, paciencia, tiempo, sabiduría.

También agradeceré a personas que fueron de vital importancia para que se desarrolle la presente tesis, agradezco infinitamente al Ing. Víctor Oscar Rendón Dávila, por su apoyo, confianza y por proporcionarme su multiparametro. A Agradezco a Albert Mamani, Jurgen Bedoya, Christian Apucusi y Samuel Ríos mi equipo de trabajo que sin su apoyo no habría podido haber llevado con éxito la presente tesis y con quienes compartí momentos de travesía al realizar un trabajo de alto riesgo, el cual concluyo con mucha satisfacción.

A todos mis amigos, Victor Rodríguez, mi amigo incondicional que siempre me apoya con sus consejos, palabras de aliento y buenos deseos. Y un agradecimientos muy especial a cuatro amigas que siempre me apoyaron dándome ánimos, aliento y fuerza cuando se me acababa, agradezco mucho su apoyo Nancy Quispe, Zeida Cabana, Deysi Yana y Flor Alvarez, chicas fueron muy importantes en la realización de la presente tesis y gracias por ello.

**INDICE**

RESUMEN ..... xvii
ABSTRACT ..... xix
INTRODUCCIÓN ..... xxi
OBJETIVOS ..... xxiii
Objetivo General ..... xxiii
Objetivos Específicos ..... xxiii
CAPITULO I ..... 1
MARCO TEÓRICO ..... 1
1.1. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN. . 1
1.2. ANTECEDENTES ..... 2
1.3. BASES TEORICAS ..... 4
1.3.1. Las Represas ..... 4
1.3.1.1. Represas de Arequipa ..... 5
1.3.2. Calidad de agua ..... 5
1.3.2.1. Sedimentación ..... 5
1.3.2.2. Metales ecotóxicos ..... 8
a. Aluminio ..... 8
b. Antimonio ..... 8
c. Arsénico ..... 9
d. Bario ..... 9
e. Boro ..... 9
f. Cadmio ..... 10
g. Cobre ..... 10
h. Hierro ..... 11
i. Manganeso ..... 11
j. Níquel ..... 11
k. Plomo ..... 12
l. Zinc ..... 12
m. Cromo ..... 12
1.3.2.3. Eutrofización ..... 12
1.3.2.4. Clorofila, Fosforo y Nitratos ..... 14

1.3.3. Índices de calidad de sedimentos ..... 14
1.3.3.1. Factor de Enriquecimiento (EF) ..... 14
1.3.3.2. Índice de riesgo ecológico (RI). ..... 15
1.3.3.3. Índice de geoacumulación ($I_{geo}$) ..... 16
1.3.4. Normativa Peruana de estándares de calidad ambiental ..... 17
1.3.4.1. Estándares de Calidad Ambiental de Agua ..... 17
1.3.4.2. Estándares de Calidad Ambiental en suelos ..... 17
CAPITULO II ..... 18
MATERIAL Y METODOS ..... 18
2.1. ÁREA DE ESTUDIO ..... 18
2.2. LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO ..... 20
2.3. TRABAJO DE CAMPO ..... 20
2.3.1.1. Estaciones de monitoreo: ..... 20
2.3.2. Toma de muestras ..... 21
2.3.2.1. Técnica de muestreo: ..... 21
2.3.3. Metodología de muestreo ..... 21
2.3.3.1. Toma de muestra de Sedimentos: ..... 21
2.4. TRABAJO DE LABORATORIO Y ANALISIS ..... 22
2.4.1. Análisis de sedimento ..... 22
2.4.1.1. Determinación de pH ..... 22
2.4.1.2. Ensayos para fósforo disponible en sedimento. ..... 22
2.4.1.3. Determinación de Metales ecotóxicos por ICP/MS. ..... 24
2.4.2. Análisis en agua ..... 25
2.4.2.1. Determinación de pH ..... 25
2.4.2.2. Determinación de oxígeno disuelto. ..... 25
2.4.2.3. Determinación de Nitratos. ..... 26
2.4.2.4. Ensayos para Fósforo Total o disponible ..... 26
2.4.2.5. Determinación de $DBO_5$ ..... 26
2.4.2.6. Determinación de DQO ..... 27
2.4.2.7. Determinación de Metales ecotóxicos por ICP/MS ..... 28
2.4.2.8. Determinación de Clorofila “a” ..... 28
2.5. DETERMINACIÓN INDICES DE CALIDAD DE SEDIMENTOS ..... 29

2.5.1. Determinación de EF ..... 29
2.5.2. Determinación de $I_{geo.}$ ..... 29
2.5.3. Determinación de RI ..... 29
2.6. DETERMINACIÓN DE ESTADO TROFICO ..... 30
CAPITULO III ..... 31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 31
3.1 Parámetros físico-químicos en agua y sedimento de la represa de Aguada Blanca, Arequipa ..... 31
3.1.1. Parámetros físico-químicos en agua. ..... 31
3.1.2. Parámetros físico-químicos en sedimento ..... 62
3.2 Concentración de elementos ecotóxicos en sedimento y agua de la zona bentónica de la represa de Aguada Blanca, Arequipa. ..... 64
3.2.1. Concentración de elementos ecotóxicos en agua de la represa de Aguda Blanca . 64
3.2.2. Concentración de elementos ecotóxicos en sedimento de la represa de Aguda Blanca 70
3.3. Determinar la concentración de clorofila "a" de la represa Aguada blanca, Arequipa. 83
3.3.1. Estado trófico de la represa de Aguada Blanca ..... 92
3.4. Determinar el índice de calidad de sedimentos en muestras de la represa Aguada Blanca, Arequipa. ..... 93
3.4.1. Factor de Enriquecimiento en muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca. 93
3.4.2. Índice de Geoacumulación ($I_{geo}$) en muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca. 93
3.4.3. Índice de Riesgo Ecológico (RI) en muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca. 95
CONCLUSIONES ..... 97
RECOMENDACIONES ..... 98
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS ..... 99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Presentación del sistema regulado del chili, represas Aguada Blanca (amarillo) .....6
Figura 2.- Perfil de profundidad de la represa de Aguada Blanca, a). Profundidad en 2D; b) Relieve en 3D de la represa de Aguada Blanca.....19
Figura 3.- Estaciones de muestreo: A (zona de represamiento), B (zona media) y C (zona de ingreso de agua).....20
Figura 4.- Sensor y especificaciones .....26
Figura 5- Diagrama de medición de clorofila (manual EXO).....28
Figura 6.- Perfil térmico de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de abril (2019), en relación a la profundidad de cada punto de monitoreo.....32
Figura 7.- Perfil térmico de 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). El punto de monitoreo A orilla M, muestra los valores de temperatura de primera hora de monitoreo (7:00 am) y el A orilla T muestras valores de monitoreo en horas de la tarde (4:00 pm). Los puntos A y B muestras las temperaturas de las áreas más profundas del reservorio.33
Figura 8.- Perfil térmico de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). Los puntos C0, C1, C2 y C3 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa.....34
Figura 9.- Perfil térmico de 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). El punto de monitoreo Aorilla, A0, A2 y B0, muestra los valores de temperatura para las zonas más profundas del reservorio. Los puntos B1 y B1-1 muestran el perfil térmico entre 0 a 4 metros de profundidad.....35
Figura 10.- Perfil térmico de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). Los puntos C0, C1, y C2 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa.....36
Figura 11.- Perfil térmico de la represa de Aguada Blanca 2019, mes de abril, julio y octubre. .....37
Figura 12.- Perfil de oxígeno disuelto de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de abril (2019), en relación a la profundidad de cada punto de monitoreo. .....38
Figura 13.- Perfil oxígeno disuelto de 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). El punto de monitoreo AorillaM, muestra los valores de temperatura de primera hora

de monitoreo (7:00 am) y el AorillaT muestras valores de monitoreo en horas de la tarde (4:00 pm). Los puntos A y B muestras las temperaturas de las áreas más profundas del reservorio.40
Figura 14.- Perfil de oxígeno disuelto en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). Los puntos C0, C1, C2 y C3 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa. .....41
Figura 15.- Perfil de oxígeno disuelto en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). El punto de monitoreo Aorilla, A0, A2 y B0, muestra los valores de OD para las zonas más profundas del reservorio. .....42
Figura 16.- Perfil de oxígeno disuelto en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). Los puntos C0, C1, y C2 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa.....43
Figura 17.- Perfil de oxígeno disuelto de la represa de Aguada Blanca 2019, mes de abril, julio y octubre. .....44
Figura 18.- Perfil de pH de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de abril (2019), en relación a la profundidad de cada punto de monitoreo.....45
Figura 19.- Perfil de pH en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). El punto de monitoreo AorillaM, muestra los valores de temperatura de primera hora de monitoreo (7:00 am) y el AorillaT muestras valores de monitoreo en horas de la tarde (4:00 pm). Los puntos A y B muestras las temperaturas de las áreas más profundas del reservorio.....46
Figura 20.- Perfil de oxígeno disuelto en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). Los puntos C0, C1, C2 y C3 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa. .....47
Figura 21.- Perfil de pH en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). El punto de monitoreo Aorilla, A0, A2 y B0, muestra los valores de temperatura para las zonas más profundas del reservorio. Los puntos B1 y B1-1 muestran el perfil térmico.....48
Figura 22.- Perfil de pH en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). Los puntos C0, C1, y C2 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa. El Punto B2 muestra el perfil térmico de la zona media central de la .....49
Figura 23.- Perfil de pH de la represa de Aguada Blanca 2019, mes de abril, julio y octubre.50
Figura 24.- Perfil de nitratos en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de abril (2019), en relación a la profundidad de cada punto de monitoreo. .....51

Figura 25.- Perfil de nitratos en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). .....52
Figura 26.- Perfil de nitratos en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). Los puntos C0, C1, C2 y C3, se muestra los valores de nitratos en la zona de ingreso de agua a la represa. .....53
Figura 27.- Perfil de nitratos en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). El punto de monitoreo A orilla, A0, A2 y B0, muestra los valores de temperatura para las zonas más profundas del reservorio. .....54
Figura 28.- Perfil de nitros en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). Los puntos C0, C1, y C2 muestran valores de nitratos de la zona de ingreso de agua a la represa. .....55
Figura 29.- Perfil de nitratos de 3 temporadas de monitoreo abril, julio y octubre del 2019…56
Figura 30.- Elementos en agua parte 1: (a) Fosforo, (b) Boro, (c) Aluminio, (d) Arsénico, (e) Cromo y (f) Cadmio. .....68
Figura 31.- Elementos en agua parte 2: (g) Plomo, (h) Antimonio, (i) Níquel, (j) Molibdeno, (k) Cobre y (l) Zinc. .....69
Figura 32.- Elementos en agua parte 3: (m) Hierro, (n) Manganeso y (o) Bario. .....70
Figura 33.- Elementos en sedimento parte 1: (a) Fosforo, (b) Boro, (c) Aluminio, (d) Arsénico, (e) Cromo y (f) Cadmio. .....75
Figura 34.- Elementos en sedimento parte 2: (g) Plomo, (h) Antimonio, (i) Níquel, (j) Molibdeno, (k) Cobre y (l) Zinc. .....76
Figura 35.- Elementos en sedimento parte 3: (m) Hierro, (n) Manganeso y (o) Bario. .....77
Figura 36.- Distribución espacial de fosforo (P), bario (B), aluminio (Al) y arsénico (As) ....78
Figura 37.- Distribución espacial de cromo (Cr), cadmio (Cd), plomo (Pb) y antimonio (Sb) 79
Figura 38.- Distribución espacial de níquel (Ni), molibdeno (Mo), cobre (Cu) y zinc (Zn) ....80
Figura 39.- Distribución espacial de hierro (Fe), manganeso (Mn) y bario (Ba). .....81
Figura 40.- Concentración de Clorofila “a” mes de abril (2019) en relación a la profundidad. Puntos: A0, A orilla, A1 y B0. .....83
Figura 41.- Concentración de Clorofila “a” mes de julio (2019) en relación a la profundidad. Puntos A orilla M, A orilla T, A0, B0, B1 y B4. .....84
Figura 42.- Concentración de Clorofila “a” mes de julio (2019) en relación a la profundidad. Puntos: C0, C1, C2 y C3. .....85

Figura 43.- Concentración de Clorofila “a” mes de octubre (2019) en relación a la profundidad. Puntos: A orilla, A0, A2, B0, B1 y B1-1. ..... 86
Figura 44.- Concentración de Clorofila “a” mes de octubre (2019) en relación a la profundidad. Puntos: B2, C0, C1 y C2 ..... 87
Figura 45.- Distribución de Clorofila “a” de mes de abril, julio y octubre (2019): Concentración promedio de clorofila “a” de 0 a 6 metros de profundidad. ..... 88
Figura 46.- Distribución de Clorofila “a” de mes de abril, julio y octubre (2019): Concentración de clorofila “a” entre 0 a 2 metros de profundidad. ..... 89
Figura 47.- Distribución de Clorofila “a” de mes de abril, julio y octubre (2019): Concentración de clorofila “a” entre 2 a 4 metros de profundidad. ..... 90
Figura 48.- Distribución de Clorofila “a” de mes de abril, julio y octubre (2019): Concentración de clorofila “a” entre 4 a 6 metros de profundidad. ..... 91
Figura 49.- Rengos de RI de 9 puntos de muestreo ..... 96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Los valores estándar de nitrógeno total (TN), fósforo total (TP), clorofila a (Chl-a), índice de nivel trófico (TLI) e índice de eutrofización (EI) ..... 13
Tabla 2.- Valores base de metales pesados en el suelo ($mg.kg^{-1}$). ..... 16
Tabla 3.- Clasificación de Hakanson (1961) de riesgo ecológico potencial ..... 16
Tabla 4.- Grado de Igeo para metales pesados en sedimentos. ..... 17
Tabla 5.- Concentración de fosfatos en muestras de agua bentónica, abril (2019). ..... 57
Tabla 6.- Concentración de fosfatos en muestras de agua bentónica, julio (2019). ..... 57
Tabla 7.- Concentración de fosfatos en muestras de agua bentónica, octubre (2019). ..... 58
Tabla 8.- Concentración de DBO5 y DQO en la represa de Aguada Blanca. ..... 58
Tabla 9.- Valor de pH en muestras de sedimento de la represa de Aguada Blancal (2019). ... 62
Tabla 10.- Concentración de materia orgánica (MO) en la represa de Aguada Blanca (2019). ..... 63
Tabla 11.- Concentración de Fosfatos en la represa de Aguada Blanca (2019). ..... 63
Tabla 12.- Concentración de elementos en muestras de agua bentónica de dos puntos de monitoreo del mes de abril (2019). ..... 65
Tabla 13.- Concentración de elementos en muestras de agua bentónica de dos puntos de monitoreo del mes de julio (2019). ..... 66
Tabla 14.- Concentración de elementos en muestras de agua bentónica de dos puntos de monitoreo del mes de abril (2019). ..... 67
Tabla 15.- Concentración de elementos en muestras de sedimentos de dos puntos de monitoreo del mes de abril (2019). ..... 72
Tabla 16.- Concentración de elementos en muestras de sedimentos de dos puntos de monitoreo del mes de julio (2019). ..... 73
Tabla 17.- Concentración de elementos en muestras de sedimentos de dos puntos de monitoreo del mes de octubre (2019). ..... 74
Tabla 18.- Valores de EF para muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca (2019). ..... 94
Tabla 19.- Valores de EF para muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca (2019). ..... 94
Tabla 20.- Índice de riesgo ecológico para 9 puntos en la represa de Aguada Blanca ..... 95

## LISTA DE ACRÓNIMOS

| | | |
|---|---|---|
| OD | : | Oxígeno Disuelto |
| pH | : | Potencial de Hidrogeno |
| $DBO_5$ | : | Demanda bioquímica de Oxigeno |
| DQO | : | Demanda Química de Oxigeno |
| ICP-MS | : | Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente |
| ICP-OES | : | Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente |
| GPS | | Sistema de Posicionamiento Global |
| ECA | : | Estándar de Calidad Ambiental |
| MINAM | : | Ministerio del Ambiente |
| µg | | Microgramo |
| mg | : | Miligramo |
| L | : | Litro |
| kg | : | Kilogramo |
| EF | : | Factor de Enriquecimiento |
| Igeo | : | Índice de Geoacumulación |
| RI | : | Índice de Riesgo Ecológico Integrado |
| D.S | : | Decreto Supremo |
| UTM | : | Coordenadas Universal Transversal de Mercator |
| ppm | : | Partes por millón |
| ppb | : | Partes por billon |
| P | : | Fosforo |
| N | : | Nitrógeno |
| As | : | Arsénico |
| Cr | : | Cromo |
| Cd | : | Cadmio |
| Pb | : | Plomo |
| Sb | : | Antimonio |

| | | |
|---|---|---|
| Ni | : | Niquel |
| Co | : | Cobalto |
| Mn | : | Manganeso |
| Ba | : | Bario |
| B | : | Boro |
| Cu | : | Cobre |
| Zn | : | Zinc |
| P | : | Fosforo |
| Fe | : | Hierro |
| DIGESA | : | Dirección General de Salud Ambiental |
| TN | : | Nitrógeno total |
| TP | : | Fosforo total |
| TLI | : | Índice de nivel trófico |
| EI | : | Índice de Eutrofización |

## RESUMEN

La presente tesis determino el estado trófico y la calidad de los sedimentos de la represa de Aguada Blanca (3650 m.s.n.m) haciendo uso de índices de riesgo ambiental. Se determinó la concentración de clorofila, nitratos, fosfatos, Oxígeno Disuelto (OD), pH, temperatura en la columna de agua, adicionalmente se determinó $DBO_5$, DQO y quince metales ecotóxicos (As, Cr, Cd, Pb, Sb, Ni, Co, Mn, Mo, Ba, B, Cu, Zn, P y Fe). En sedimentos se determinó la concentración de quince metales (los mismo elementos que en agua), materia orgánica, pH y fosfatos en muestras recolectados de tres zonas de monitoreo (A, zona de represamiento; B, zona media; C, zona de ingreso de agua). Se evaluó el factor de enriquecimiento, el índice de geoacumulación, riesgo ecológico potencial de los metales en sedimentos.

El trabajo de campo tuvo una duración de un año, siendo los meses de monitoreo abril, julio y octubre, los puntos de monitoreo fueron tomados de acuerdo a las condiciones de navegación y factores meteorológicos. Los parámetros tomados in-situ fueron Clorofila a, nitratos, pH, OD y nitratos usando para tal fin el multiparametro EXO 2 (Xylem, EE.UU). Las muestras de agua fueron tomadas con una botella Niskin entre 0.5 a 1 metro antes de tocar fondo y se usó el método EPA 200.8 (ICP-MS) para determinar metales totales en agua, después se realizó el muestreo de sedimentos superficial usando una draga modelo Lamotte y se usó el método EPA 200.7 (ICP-OES) para determinar metales totales en sedimentos. El muestreo se hizo usando una ecosonda grafica Eagle Cuda 168 a fin de determinar la profundidad de muestreo. Las muestras colectadas fueron preservadas con ácido nítrico de grado garantizado, y depositados en frascos (0.25 L) y bolsas (1 kg) de polietileno para ser transportadas al laboratorio en una caja cooler con hielo. Para la determinación de fosfatos se usó el método de cloruro de estaño del método estándar 4500-P D para muestras de agua y sedimento. Los sitios de muestreo se ubicaron utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS).

La represa de Aguada Blanca en el mes de abril presento la mayor concentración de clorofila "a" de 2 - 4 m de profundidad (10.1 a 13.2 $\mu g\ L^{-1}$), mientras que el mes de octubre presento las menores concentraciones (0.9 a 3.3 $\mu g\ L^{-1}$). En agua el metal que supero el ECA (DS 004-2017-MINAM) fue As (As > 10 $\mu g\ L^{-1}$). El agua de se caracteriza por ser básica, pH: 8.5 ± 0.04,

presentar un OD anual de 7.04 ± 043 mg $L^{-1}$, Los parámetros fisicoquímicos evaluados se encuentran dentro de la normativa de calidad de agua.

Los resultados de la calidad de sedimentos indicaron que la concentración promedio de Cd fue aproximadamente 4 veces más alto al valor de fondo (antecedente). Espacialmente los metales pesados presentan variaciones significativas a lo largo de las zonas de estudio, presentando una gradiente creciente para mayoría de elementos medida que se acerquen a la zona de más profunda de la represa. El factor de enriquecimiento (EF) e índice de geoacumulación ($I_{geo}$) de metales en sedimento de la represa de Aguada Blanca presentaron el siguiente orden: Cd (18.78 ± 14.89) > As (3.46 ± 1.14) > Pb (2.93 ± 0.58) > Zn (2.49 ± 0.62) > Cu (2.78 ± 0.57) > Ni (0.43 ± 0.11) > Cr (0.32 ± 0.07), siendo Ni y Cr los únicos elementos que no presentan enriquecimiento; el $I_{geo}$ de Cd (1.21 ± 1.45) presento una clasificación de moderado a fuertemente contaminado. Los valores de RI de Cd en presentan un alto riesgo ecológico para el cuerpo de agua en 5 sitios de la represa, riesgo atribuido a los valores alto de $E_r^i$ de Cd.

**Palabras clave:** Metales pesados, represa, sedimento, agua, estado trófico, enriquecimiento, geoacumulación, riesgo ecológico.

## ABSTRACT

This thesis determined the trophic status and the quality of the sediments of the Aguada Blanca dam (3,650 m.a.s.l.) using environmental risk indices. The concentration was determined, the concentration of chlorophyll, nitrates, phosphates, Dissolved Oxygen (DO), pH, temperature in the water column, additionally BOD, COD and fifteen heavy metals (As, Cr, Cd, Pb, Sb, Ni , Co, Mn, Mo, Ba, B, Cu, Zn, P and Fe). In sediments, the concentration of fifteen metals (the same as in water), organic matter, pH and phosphates was determined in samples collected from three monitoring zones (A, dam zone; B, middle zone; C, water ingress zone ). The enrichment factor, the geoaccumulation index, and the potential ecological risk of metals in sediments were evaluated.

The field work lasted one year, with the monitoring months being April, July and October, the monitoring points were taken according to the navigation conditions and meteorological factors. The parameters taken in-situ were Chlorophyll "a", nitrates, pH, DO and nitrates using for this purpose the multiparameter EXO 2 (Xylem, USA). The water samples were taken with a Niskin bottle between 0.5 to 1 meter before bottoming and the EPA 200.8 method (ICP-MS) was used to determine total heavy metals in water, then the superficial sediment sampling was carried out using a dredge Lamotte model and EPA method 200.7 (ICP-OES) was used to determine total metals in sediments. Sampling was done using an Eagle Cuda 168 graphic echo sounder to determine the sampling depth. The collected samples were preserved with guaranteed grade nitric acid, and deposited in bottles (0.25 L) and polyethylene bags (1kg) to be transported to the laboratory in a cooler box with ice. For the determination of phosphates, the tin chloride method of the standard method 4500-P D was used for samples of water and sediment. The sampling sites were located using a global positioning system (GPS).

The Aguada Blanca dam in April had the highest concentration of chlorophyll "a" from 2 - 4 m deep (10.1 to 13.2 µg $L^{-1}$), while in October it had the lowest concentrations (0.9 to 3.3 µg $L^{-1}$). In water, the metal that passed the ECA (DS 004-2017-MINAM) was As (As> 10 µg $L^{-1}$). The water is characterized by being basic, pH: 8.5 ± 0.04, presenting an annual OD of 7.04 ± 043 mg $L^{-1}$, The evaluated physicochemical parameters are within the water quality regulations.

Sediment quality results indicated that the average Cd concentration was approximately 4 times higher than the background value (background). Spatially, heavy metals show significant variations throughout the study areas, presenting an increasing gradient for most elements as they approach the deepest area of the dam. The enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) of metals in sediment from the Aguada Blanca dam presented the following order: Cd (18.78 ± 14.89)> As (3.46 ± 1.14)> Pb (2.93 ± 0.58)> Zn (2.49 ± 0.62)> Cu (2.78 ± 0.57)> Ni (0.43 ± 0.11)> Cr (0.32 ± 0.07), with Ni and Cr being the only elements that do not present enrichment; the Igeo of Cd (1.21 ± 1.45) presented a classification of moderate to heavily contaminated. The RI values of Cd in present a high ecological risk for the body of water in 5 dam sites, a risk attributed to the high values of $E_r^i$ of Cd.

Keywords: Heavy metals, dam, sediment, water, trophic state, enrichment, geoaccumulation, ecological risk

# INTRODUCCIÓN

Los reservorios de agua son utilizados para satisfacer las necesidades de la población y medio ambiente. Entre las funciones más destacadas figuran la generación de energía, la provisión de agua para consumo humano, animal y riego, la atenuación de crecientes, la recarga de napas subterráneas, la provisión de hábitat para una gran cantidad de especies animales y vegetales (Ledesma et al, 2013). Los problemas ambientales de cuerpos de agua (lenticos) más frecuentes son la eutrofización y acumulación de sedimentos que promueven con el deterioro de la calidad del recurso, se origina por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, condicionando la utilización de los mismos y ejerciendo grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a escala regional. Entre los problemas ambientales de lagos y embalses, la eutrofización es uno de los más frecuentes (Ledesma et al., 2013)

Los sedimentos se caracterizan por ser depósitos importantes de nutrientes, elementos traza y tienen la capacidad de intercambiar cationes con el medio acuático, y con el tiempo los sedimentos integran contaminantes al agua por su constante contacto (Yahaya et al., 2012). Los sedimentos presentan concentraciones de nutrientes y elementos traza debido a la naturaleza propia del medio ambiente, por lo tanto, la presencia de elementos traza en los sedimentos no es un problema, sino la acumulación y enriquecimiento por encima de los niveles naturales lo que indica una contaminación y una amenaza para el medio acuático (Olatunde et al., 2014).

El conocer las concentraciones y distribución de metales pesados y nutrientes son de gran utilidad para determinar el grado de contaminación de los ambientes acuáticos y proporcionan información necesaria para la evaluación de riesgos para la salud ambiental (X. Li et al., 2019). Los índices que se utilizan comúnmente para evaluar la contaminación por metales pesados en sedimentos son el Factor de Enriquecimiento (EF), Índice de geoacumulación ($I_{geo}$) e índice de riesgo ecológico potencial (RI) (Barbieri, 2016; Decena et al., 2018).

El presente estudio se realizó en la represa de Aguada Blanca que se encuentra a 3650 m.s.n.m en la región de Arequipa, Perú. Represa de gran importancia por las actividades comerciales, agrícolas, industriales y poblacional. Esta represa presenta problemas desde 1989 para eliminar sedimentos debido a la inoperatividad de la compuerta de desfogue, promoviéndose la acumulación de sedimentos hasta la actualidad, lo cual genera un problema

sobre la calidad del agua. El objetivo del presente trabajo es evaluar el estado trófico de la represa en meses de abril, julio y octubre, y parámetros fisicoquímicos relacionados a la eutrofización, en sedimentos se determinó el enriquecimiento, la geoacumulación, el riesgo ecológico potencial, la distribución de metales que presenta la represa.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Evaluar la calidad de sedimentos y agua de la represa de Aguada Blanca, Arequipa, como contribución al estudio de la calidad ambiental del reservorio

### Objetivos Específicos

- Determinar parámetros físicos y químicos en las muestras de sedimento y columna de agua de la represa Aguada Blanca, Arequipa.

- Determinar la concentración de metales ecotóxicos en los sedimentos y agua de la zona bentónica de la represa de Aguda Blanca.

- Determinar la concentración de clorofila “a” de la represa Aguada blanca, Arequipa.

- Determinar el riesgo ecológico de metales ecotóxicos en muestras de sedimento de la represa Aguada Blanca, Arequipa

# CAPITULO I

# MARCO TEÓRICO

## 1.1.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

Arequipa en el año 2014 se reportó la presencia de malos olores y sabores en el agua potable de la ciudad de Arequipa, atribuyéndose la responsabilidad principalmente al agua proveniente de la represa El Pañe (Rodríguez, 2016), siendo la represa de Aguada Blanca receptora del agua proveniente de la represa El Pañe; entonces la represa de Aguada Blanca al ser una represa receptora, reguladora y distribuidora de agua para la población de Arequipa, puede haber sido afectada por el agua que ingreso de la represa El Pañe durante la temporada del 2014, a ello se suma que la represa de Aguada Blanca viene acumulando material particulado "sedimentos", esto haría que se agrave la situación de la calidad de agua que presentaría dicha represa. El no conocer las características físicas y químicas del sedimento y la columna de agua promovería un riesgo latente en la calidad de agua. Sabiendo que la acumulación de elementos ecotóxicos en los sedimentos puede ser químicamente alterada por los organismos y convertida en complejos orgánicos o transferidos del sedimento al agua. Estas sustancias pueden ser peligrosas para los seres humanos y animales cuando se introducen en la cadena alimentaria. Por lo tanto, es importante conocer la distribución de los elementos ecotóxicos en los sedimentos, en la columna de agua para determinar la relación calidad ambiental del recurso hídrico.

Con el fin de comprender las tendencias de la acumulación de los elementos ecotóxicos y de liberación de nutrientes del sedimento al agua en la represa de Aguda blanca, a fin de resguarda la calidad y salud poblacional, se propone realizar la evaluación de la calidad de los sedimentos y agua de la zona bentónica, como de la columna de agua.

Es por ello, que el objetivo de este proyecto contempla determinar la presencia de elementos ecotóxicos, determinar parámetros físicos y químicos del sedimento y la columna del agua, para proporcionar información útil sobre la naturaleza química o potencial de movilidad y

biodisponibilidad de los elementos ecotóxicos. En consecuencia se podría realizar una estimación más realista del impacto ambiental que tienen los sedimentos sobre la represa.

Por lo tanto, la información sobre la calidad del agua es crucial para establecer pautas para la gestión de los recursos de agua dulce. La información que se pueda recabar es necesaria para que las instituciones y entidades públicas, puedan promover adecuados planes de gestión; promover y proteger a la población de riesgos ambientales futuros. Con la presente investigación se contribuye a seguir los lineamientos establecidos en la Política Nacional del Ambiente, con relación al segundo eje político "Gestión integral de la calidad ambiental", Calidad de Agua, donde se establece que se debe "promover el conocimiento científico y tecnológico a fin de tener medidas de prevención contra efectos contaminación del agua, sobre la salud de las personas, los ecosistemas y los recursos naturales".

## 1.2.ANTECEDENTES

Ríos, N. P. (2013) Realizó el estudio químico de sedimentos de la represa de Gallito Ciego, Cajamarca - Perú, encontrando que los niveles de Cadmio y Zinc superan los estándares de calidad para sedimentos. La concentración de fosforo disuelto en la represa fue de 0.019  0.025 ppm en agua superficial, la concentración de fosforo disponible en el sedimento de la represa fue de  0.1-4.7 mg/kg, el de fósforo total de 5.8-60.6 mg/kg, materia orgánica de 1.7-3.4%, y la concentración de metales pesados de: calcio (57.2-153.2 mg/kg), magnesio (0.4-7.8 mg/kg), sodio (11.3-47.4 mg/kg), hierro (12920.5-28917.0 mg/kg), zinc (47.1-141 mg/kg), cobre (3.6-28.4 mg/kg), cadmio (0.14-1.9 mg/kg), plomo (2.3-33.1 mg/kg) y cromo (1.0-8.5 mg/kg).

El-Radaideh y Al-Taani (2017), en su trabajo se centraron en caracterizar el estado actual de las propiedades fisicoquímicas de los sedimentos de la presa de Mujib (Jordania-Asia). Se observaron cinco tipos de fases texturales granulométricas para los sedimentos del fondo del lecho del embalse de Mujib; Estas fases son: arcillosas, limo arcilloso, arcilla arenosa, arena y gránulos. Siendo probable que la granulometría desempeñe un papel vital en la adsorción-desorción de la mayoría de los metales traza al lago del embalse. Otros parámetros del sedimento, incluidos los promedios totales, fueron 5.9% (materia orgánica total (TOM)), 7.5 (pH), 25.8% ($CaCO_3$) y 88.0 meq/100g (capacidad de intercambio catiónico). La gran mayoría

de los metales traza en sedimentos exhibieron valores en el rango o cerca del límite superior de los rangos normales del suelo en todo el mundo, la concentración de: Fe (39620 mg/kg), Cu (55.5 mg/kg), Zn (278 mg/kg), Mn (268 mg/kg), Cd (6.3 mg/kg), Co (24 mg/kg), Pb (55 mg/kg), Ni (37 mg/kg), Cr (114 mg/kg), Sr (189 mg/kg) y el factor de enriquecimiento (EF) de metales en sedimentos de la presa de Mujib se clasificaron de la siguiente manera: cadmio > cobre > zinc > plomo > cobalto > hierro > cromo > níquel > manganeso > Sr basado en Igeo y Cadmio > Zinc > Plomo > Cobalto > Cromo > Cobre > Estroncio > Níquel > Manganeso de acuerdo con los valores de EF.

Ekengele et al. (2016) evaluaron la acumulación de metales pesados en sedimentos superficial del lago Lere (Chad-Africa), donde se analizaron treinta muestras de sedimentos superficiales del lago Lere determinando la concentración de metales pesados para: As (0.27 – 3.3 mg/kg), Co (0.16 a 3.5 mg/kg), Cr (0.23 - 109 mg/kg), Cd (0.05 – 0.46 mg/kg), Cu (□= 0.8 -32 mg/kg), Ni (1 - 40 mg/kg), Pb (1.6 – 11.9 mg/kg), Sb (0.09 – 2.8 mg/kg), Sn (0.001 – 0.7 mg/kg), Zn (6.9 - 88 mg/kg), Fe (1 – 44.4 mg/kg), pH (4.5 – 6.5), conductividad eléctrica (40 - 940µS/cm) y materia orgánica (0.18 – 5.17). La evaluación de la contaminación del sedimento se llevó a cabo utilizando el factor de enriquecimiento (EF) y el índice de geoacumulación (Igeo). Los posibles efectos ecotóxicos se evaluaron con base en las pautas de calidad del sedimento. El factor de enriquecimiento calculado mostró que el sedimento se enriqueció principalmente con Sb, Cd, Cu y Cr. Los resultados del índice de geoacumulación indicaron que los sedimentos eran no contaminado con Sn, Co, Pb; moderadamente contaminado con As, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn, y fuertemente contaminado con Sb. Esta contaminación se atribuyó a actividades antropogénicas causadas por el lado inclinado del lago Lere, que incluyen principalmente la eliminación de desechos, productos químicos utilizados en agricultura y explotación de oro.

Herrera, J., et al. (2013) Realizó la evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro (Costa Rica), poniendo de manifiesto un potencial y grave problema ambiental, derivado de presencia de metales pesados en sedimentos del rio Pirro, donde la concentración de Cr (10-44 mg/kg), Pb (19-44 mg/kg), Cd (0.26-2.2 mg/kg), Ni (29-37 mg/kg), Sn (24-38 mg/kg), la principal amenaza de los metales pesados no reside en su acumulación, sino en los mecanismos de sorción - desorción y precipitación - disolución, que depende de las

condiciones físicas y químicas del agua, que provocan su resuspención en la columna de agua dejándolo biodisponible para los organismos acuáticos Entonces, los sedimentos son sumideros para diferentes contaminantes, como para oligoelementos y su calidad es un indicador de salud del ecosistema acuático (Laura et al., 2017; Swarnalatha and Nair, 2017; Aydin et al., 2018). También actúa como una fuente no puntual, por tener el potencial de liberar elementos ecotóxicos y nutrientes ligados a aguas suprayacentes; y la liberación de nutrientes como fosforo y nitrógeno a la columna de agua puede favorecer la proliferación de algas (Pearce et al., 2017).

El estudio realizado por Pearce et al. (2017) muestra que el agua y los sedimentos del embalse en estudio fueron modificados altamente por la agricultura, donde las áreas más profundas fueron enriquecidas en fosforo (mayor a 1600 P mg/kg) y podrían servir a largo plazo como fuente de nutrientes endógenos para algas. Encontraron que los sedimentos ricos en fosforo, materia orgánica (10 – 16%) se acumulaban hacia la pared de la presa y los sedimentos ricos en nitrógeno (9 – 12 g/kg) se acumulaban más cerca de la entrada.

Se indica que las condiciones de advección favorecería la actividad algal, y que las grandes entradas de N a la columna durante ese proceso podrían estimular a que las algas asimilen el N y P almacenados y seguirán alimentado las floraciones algales. El conocer la caracterización de los nutrientes permite conocer su comportamiento y pronosticar la liberación de nutrientes y los posibles impactos sobre la calidad de agua. El estudio realizado por Pearce y colaboradores encontró que el embalse presento concentraciones alta de clorofila entre 4 a 50 ppb,

## 1.3.BASES TEORICAS

### 1.3.1. Las Represas

Las represas son una barrera fabricada de piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente sobre un río o arroyo. Tiene la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para elevar su nivel con el objetivo de derivarla, mediante canalizaciones de riego, para su aprovechamiento en abastecimiento o regadío, en eliminación de avenidas (evitar inundaciones de aguas abajo de la presa) (Tundu et al., 2018).

#### 1.3.1.1. Represas de Arequipa

El Perú cuenta con 743 presas inventariadas por la Autoridad Nacional del Agua; la región Arequipa cuenta con 36 presas, siendo el principal uso destinado al riego, seguido por el uso hidroenergético, suministro de agua y minería. En particular, el "Sistema Hidráulico Chili – Arequipa" conformado por siete (7) represas (Aguada Blanca, Bamputañe, Chalhuanca, El dique de los españoles, El Pañe, Pillones y el Frayle) y 4 quebradas viene experimentando desde el año 2014 problemas en la calidad del agua principalmente por fenómenos de eutrofización y presencia de metales pesados, este fenómeno de eutrofización se ha visto incrementado por actividad antrópica y fenómenos naturales, afectando a los usuarios del agua (Mamani, 2017), ver figura 1.

Aguada blanca es una de las siete represas del sistema hidráulico Chili – Arequipa, es el cual funciona como una represa reguladora y recibe aporte de las 6 represas y sus aguas discurren hacia el sistema hidráulico Chili-Arequipa (Mamani, 2017).

### 1.3.2. Calidad de agua

Calidad del agua es un factor que incide directamente en la salud de los ecosistemas y el bienestar humano: de ella depende la biodiversidad, la calidad de los alimentos, las actividades económicas, etc. Por tanto, la calidad del agua es también un factor influyente en la determinación de la pobreza o riqueza de un país (UNESCO, 2009; El-Radaideh et al., 2017).

#### 1.3.2.1. Sedimentación

Los procesos de erosión y sedimentación y la gestión de cuencas en sistemas fluviales y cuerpos de agua son importantes a escala mundial desde un punto de vista social, económico y ambiental. Se estima que en las próximas décadas más del 50% de la capacidad de almacenamiento de los embalses de agua del mundo puede verse reducida como producto de los procesos de sedimentación y, por tanto, las prácticas de gestión de los sedimentos deberían ser mejoradas (Tundu et al., 2018).

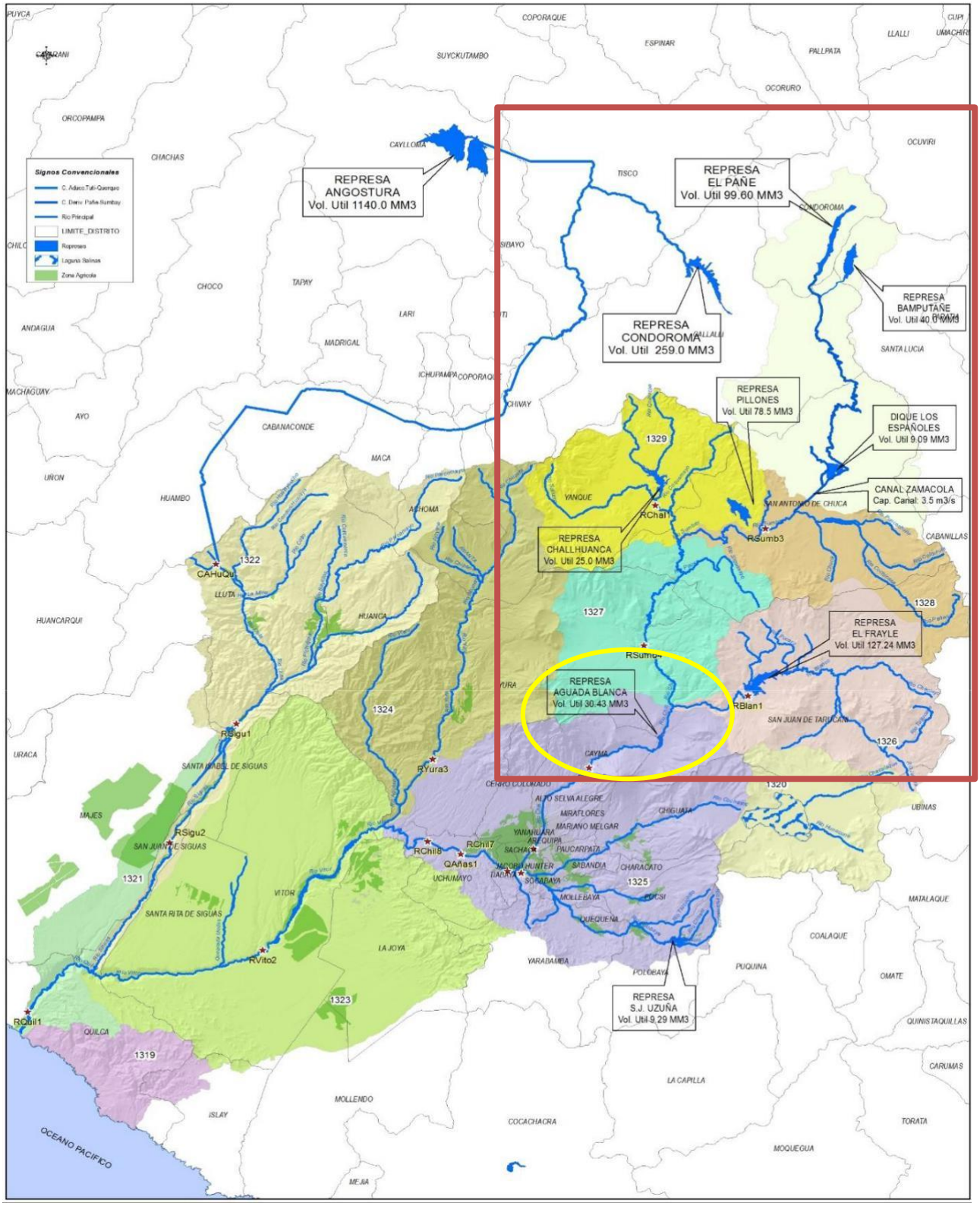



Figura 1.- Presentación del sistema regulado del chili, represas Aguada Blanca (amarillo)

Fuente: Mamani, 2017

**a. sedimentos y la calidad de agua**

Aunque la agricultura contribuye en muchas formas a deteriorar la calidad del agua, la sedimentación y erosión antropogénica es un problema mundial.

La contaminación provocada por los sedimentos tiene dos dimensiones principales.
**La primera es la DIMENSIÓN FÍSICA**: pérdida de la capa arable del suelo y la degradación de la tierra como consecuencia de la erosión laminar y por cárcavas, que dan lugar a niveles excesivos de turbidez en las aguas receptoras y a repercusiones ecológicas y físicas en lugares alejados, los lechos de ríos y lagos, en donde se produjo la deposición (FAO, sf).

**La segunda es la DIMENSIÓN QUÍMICA**: la parte de los sedimentos constituida por limo y arcilla (< 63 m m) es transmisora primaria de productos químicos adsorbidos, especialmente fósforo, plaguicidas clorados y la mayor parte de los metales, que son transportados por los sedimentos al sistema acuático (FAO, sf).

**b. Problemas de impacto de sedimentos en las aguas receptoras aguas abajo (por ejemplo, lagos, ambiente marino) (U.S. Department of the Interior, 2017).**

- Calidad del agua deteriorada debido al aumento de los niveles de sedimentos suspendidos o contaminantes que podrían afectar las especies acuáticas (mejillones, peces, etc.).
- Aumento de la carga de nutrientes y contaminantes en bahías aguas abajo o estuarios donde se liberaron depósitos de sedimentos.
- Entierro de sedimentos del hábitat acuático en el estuario o zonas cercanas a la costa para especies amenazadas o en peligro de extinción o especies de interés
- Deposición de sedimentos que bloquea las rutas de migración de especies acuáticas
- Expansión de los canales del estuario que conduce a un ensanchamiento de los canales y a una mayor erosión de los cauces de ríos que provocaría la pérdida de tierra o infraestructura.
- Sedimentación en embalses aguas abajo

- Depósito a lo largo de áreas de uso recreativo, incluidos canales de navegación en la desembocadura del río y áreas de pesca o cosecha.
- Aumento de la deposición en o cerca de la desembocadura del río que afecta a diques costeros, muelles y muelles
- Deposición en la costa exasperante inundación de mareas de carreteras costeras o infraestructura

#### 1.3.2.2. Metales ecotóxicos

El estudio de la presencia de metales pesados en aguas de ríos y sedimentos, y en principal manera las represas o embalses, constituye un aporte a la disposición de información de carácter ambiental de dichos cuerpos de agua y contribuirá al diagnóstico de cada una de sus cuencas y por consiguiente a facilitar la toma de decisiones sobre todo de carácter gubernamental (Maitera, et al., 2011; Ekengele et al., 2017).

**a. Aluminio**

El aluminio es un elemento muy abundante en la naturaleza, ocupa el tercer lugar en orden de abundancia entre los elementos de la corteza terrestre formando parte del 8% de la misma; es un constituyente natural de suelos, plantas y tejidos animales. Ésta amplia distribución es la causa de la presencia de aluminio en casi todas las aguas naturales como la sal soluble, coloide o compuesto insoluble (DIGESA, s.f).

**b. Antimonio**

El antimonio se encuentra en cantidades traza en agua naturales (normalmente inferiores a 10 μg/L) y puede presentarse en mayores concentraciones en manantiales termales o en aguas que drenan zonas mineralizadas. El antimonio no es un elemento abundante en la naturaleza; raras veces se encuentra en forma natural, como $Sb_2S_3$ (estibnita, antimonita); el $Sb_2O_3$ (valentinita) se halla como producto de descomposición de la estibinita. Forma parte por lo general de los minerales de cobre, plata y plomo. También se encuentran en la naturaleza los antimoniuros metálicos NiSb (breithaupita), NiSbS (ulmanita) y $Ag_2Sb$ (dicrasita); existen numerosos tioantimoniatos como el $Ag_3SbS_3$ (pirargirita) (DIGESA, s.f).

**c. Arsénico**

El arsénico, se encuentra como materia de desecho en muchos minerales; también puede ser liberado al ambiente por la actividad volcánica, la erosión de depósitos minerales y por diversas actividades humanas. El arsénico llega al agua a través de la disolución de minerales, desde efluentes industriales y vía deposición atmosférica. En aguas superficiales bien oxigenadas, el arsénico (V) es generalmente la especie más común; bajo condiciones de reducción tales como las que se presentan en sedimentos de lagos profundos o aguas subterráneas, la forma más predominante es el arsénico (III). Un incremento del pH puede incrementar la concentración de arsénico disuelto en el agua. Otro aporte del arsénico es a la dieta principalmente a los alimentos de origen marino, pues los crustáceos y peces marinos comestibles tienen las concentraciones más altas de arsénico (0.1 a 90µg/L). Sin embargo, el arsénico presente en este tipo de alimentos es arsénico orgánico, que es considerado como menos toxico (DIGESA, s.f).

**d. Bario**

El bario está presente como un elemento traza en rocas ígneas y sedimentadas. Aunque no se encuentra libre en la naturaleza, se presenta en una cantidad de compuesto. Su sal más común es el sulfato de bario (barita) y la menos común el carbonato de bario. El bario en el agua proviene de fuentes naturales. Los acetatos, nitratos y haluros son solubles en el agua, pero los carbonatos, cromatos, fluoruros, oxalatos, fosfatos los son en menor concentración. La solubilidad de los compuestos del bario se incrementa cuando los niveles de pH descienden. Los compuestos orgánicos del bario son iónicos y son hidrolizados en el agua. La concentración de iones de bario en sistemas acuáticos naturales es limitada por la presencia natural de aniones y posiblemente también por la absorción de estos iones en hidróxidos y óxidos de metales (DIGESA, s.f).

**e. Boro**

El boro constituye el 0.001% en la corteza terrestre. Nunca se ha encontrado libre. Está también presente en el agua de mar en unas cuantas partes por millón (ppm). Existe en pequeñas cantidades en la mayoría de los suelos y es un constituyente esencial de varios silicatos tales como la turmalina y la datolita. La mayor fuente de boro son los boratos de

depósitos evaporíticos, como el borax y, con menos importancia, la colemanita. El boro también precipita como ácido ortobórico $H_3BO_3$ alrededor de algunas fuentes y humos volcánicos, dando sasolitas. También se forman menas de boro naturales en el proceso de solidificación de magmas silicatados; estos depósitos son las pegmatitas (DIGESA, s.f).

### f. Cadmio

La fuente más importante de liberación de cadmio al ambiente es el empleo de combustibles fósiles, como carbón y petróleo, aunque también puede ser liberado durante el refinado de zinc, plomo o cobre. La minería de metales no ferrosos es fuente de liberación de cadmio al medio acuático. Puede provenir del agua de drenado de minas, de las aguas residuales del procesamiento de los minerales, de derrames de los depósitos de desechos del proceso del mineral, del agua de lluvia que cae en el área general de la mina y de las partículas más ligeras de mineral, que pasan a través de los cedazos en las operaciones de concentración y purificación (DIGESA, s.f).

Cuando existe una exposición crónica del cadmio produce los siguientes efectos: en el riñón, puede ocasionar la formación de cálculos renales, debilitamiento de los huesos o presentar irritaciones estomacales, nausea, vómito y diarrea, dolor abdominal y muscular, así como salivación. Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el Cadmio son (DIGESA, s.f):

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos
- Fractura de huesos
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad
- Daño al sistema nervioso central
- Daño al sistema inmune
- Desordenes psicológicos
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

### g. Cobre

Las concentraciones de cobre natural en agua de bebida están alrededor de unos pocos ug/L dependiendo de propiedades tales como dureza, pH, concentración de aniones, concentración de oxígeno, temperatura y condiciones técnicas del sistema de distribución,

el agua de envases de cobre puede contener varios mg/L. El cobre disuelto imparte un color y un sabor astringente, desagradable al agua de consumo, la coloración del agua ocurre cuando las concentraciones de cobre exceden 1 mg/L. El umbral del sabor está por encima de 5mg/L aunque el sabor es detectable en agua destilada a 2.6 mg/L (DIGESA, s.f).

**h. Hierro**

El hierro sólo existe en estado libre en unas pocas localidades, en concreto al oeste de Groenlandia. También se encuentra en los meteoritos, normalmente aleado con níquel. En forma de compuestos químicos, está distribuido por todo el mundo. Los principales minerales de hierro son las hematites. Otros minerales importantes son la goetita, la magnetita, la siderita y el hierro del pantano (limonita). También existen pequeñas cantidades de hierro combinadas con aguas naturales y en las plantas; además, es un componente de la sangre. También puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe Hierro de animales más rápido que el Hierro de las plantas. El Hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos (DIGESA, s.f).

**i. Manganeso**

El manganeso es un metal que ocurre naturalmente y que se encuentra en muchos tipos de rocas. El manganeso es un metal bastante reactivo. Aunque el metal sólido reacciona lentamente, el polvo metálico reacciona con facilidad y en algunos casos, muy vigorosamente (DIGESA, s.f).

**j. Níquel**

El níquel es un elemento bastante abundante, constituye cerca de 0.008% de la corteza terrestre y 0.01% de las rocas ígneas. En algunos tipos de meteoritos hay cantidades apreciables de níquel, y se piensa que existen grandes cantidades en el núcleo terrestre. El níquel se presenta en pequeñas cantidades en plantas y animales. Está presente en pequeñas cantidades en el agua de mar, el petróleo y en la mayor parte del carbón (DIGESA, s.f).

**k. Plomo**

Las aguas naturales contienen solamente trazas de plomo. La mayor fuente de plomo en el agua puede ser de origen industrial, minero y de descargas de hornos de fundición o de cañerías viejas de plomo. Las aguas de grifo blandas y ácidas y que no reciben un tratamiento adecuado contienen plomo como resultado del ataque a las tuberías de servicio (DIGESA, s.f).

**l. Zinc**

El Zinc es una substancia muy común que ocurre naturalmente. Muchos alimentos contienen ciertas concentraciones de Zinc. El agua potable también contiene cierta cantidad de Zinc. La cual puede ser mayor cuando es almacenada en tanques de metal. Las fuentes industriales o los emplazamientos para residuos tóxicos pueden ser la causa del Zinc en el agua potable llegando a niveles que causan problemas (DIGESA, s.f).

**m. Cromo**

El cromo se encuentra en la Naturaleza casi exclusivamente en forma de compuestos. El mineral de cromo más importante es la cromita (cromoferrita, pirita crómica). El cromo puro se obtiene por reducción del óxido de cromo (III) con aluminio (procedimiento aluminotérmico), mediante electrólisis o a través del ioduro crómico (DIGESA, s.f).

### 1.3.2.3. Eutrofización

Proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, etc.) (Pearce et al., 2017).

El fenómeno de Eutrofización es ahora un tema de preocupación global sobre la calidad del agua; el desarrollo humano acelera estos procesos de eutrofización alterando los ciclos geoquímicos del carbono, nitrógeno y fosforo, además, las fuentes de contaminación no

puntuales presentan mayor relevancia que las fuentes puntuales debido a que presentan una mayor extensión y resultan más difíciles de controlar (Mamani, 2017).

La eutrofización causa una serie de problemas de calidad del agua para los ecosistemas de agua dulce y marinos, que son causados por la respuesta de las aguas naturales a un aporte excesivo de nutrientes. Por lo que, el monitoreo sistemático de la calidad del agua, la evaluación de riesgos y las medidas preventivas son herramientas importantes adoptadas por las agencias de protección ambiental para abordar el problema de la eutrofización de los embalses (Liu et al., 2019).

**Cálculos del estado de eutrofización**

Los índices de eutrofización se estiman mediante valores estándar, un TLI completo (P) o una función de potencia logarítmica (índice de eutrofización) (Liu et al., 2019). Los valores estándar de TN, TP, Chl-a, TLI, TSI y EI se dan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Los valores estándar de nitrógeno total (TN), fósforo total (TP), clorofila a (Chl-a), índice de nivel trófico (TLI) e índice de eutrofización (EI)

| Grado | TN mg $L^{-1}$ | TP µg $L^{-1}$ | Clorofila a µg $L^{-1}$ | TLI | TSI | EI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Oligotrófico | 0.08 | < 12 | < 7.3 | < 30 | < 40 | < 20 |
| Meso trófico | 0.31 | 12- 24 | 2.6 - 7.3 | 30 - 50 | 40 - 50 | 20 - 39.42 |
| Eutrófico | 1.2 | 24 - 96 | 7.3 - 56 | 50 - 60 | 50 - 70 | 39.42 - 61.29 |
| Hipertrófico | 2.3 | 96 - 192 | 56 - 155 | 60 -70 | 70 - 80 | 21.29 - 76.28 |
| Extremadamente Eutrofizado | 9.1 | 192 - 384 | > 155 | > 70 | > 80 | 76.28 - 99.77 |

Fuente: Liu et al., 2019

Donde:

$W_j$: es el peso correlativo para el índice de nivel trófico de j.

TLI (j) es el índice de nivel trófico de j.

TLI (Σ) es el índice de eutrofización integral.

$W_j$ de Chl-a, TP, TN y COD es 0.2663, 0.1879, 0.1790 y 0.1834, respectivamente. La unidad de Chl-a, TP, TN, SD y COD es µg/L, mg/L, mg/L, y mg/L, respectivamente (Liu et al., 2019).

$$TLI\ (Chla) = 10\lfloor 2.5 + 1.086 \ln(Chla) \rfloor \quad (1)$$

$$TLI\ (TP) = 10\lfloor 9.436 + 1.624 \ln(TP) \rfloor \quad (2)$$

$$TLI\ (TN) = 10\lfloor 5.453 + 1.649 \ln(TN) \rfloor \quad (3)$$

$$TLI\ (SD) = 10\lfloor 5.118 + 1.94 \ln(SD) \rfloor \quad (4)$$

$$TLI\ (COD) = 10\lfloor 0.109 + 2.661 \ln(COD) \rfloor \quad (5)$$

#### 1.3.2.4. Clorofila, Fosforo y Nitratos

Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, pero en muchos mares el factor limitante es el nitrógeno para la mayoría de las especies de plantas, y los cuales se relaciona con los niveles de clorofila, de acuerdo a la presencia de organismos fotosintéticos (Pearce et al., 2017; Bennett et al., 2017).

### 1.3.3. Índices de calidad de sedimentos

#### 1.3.3.1. Factor de Enriquecimiento (EF)

El factor de enriquecimiento (EF) se viene utilizando en la actualidad para determinar factores de enriquecimiento por metales pesados en sedimentos. Los valores de referencia utilizados fueron los definidos por Turekian y Wedopohl (1961), valores muy utilizados por diferentes investigadores a nivel mundial. El cálculo de EF refleja el enriquecimiento de metales en sedimentos en relación a Hierro (Fe), que fue elegido como elemento de referencia estacionario para realizar este cálculo (Ekengele et al., 2017), como se observa en la ecuación 6.

$$EF = \frac{\left(\frac{M}{Fe}\right) sample}{\left(\frac{M}{Fe}\right) Background} \quad (6)$$

Donde EF= Factor de Enriquecimiento; $\left(\frac{M}{Fe}\right)\ sample$ es la relación entre el metal/Fe de la muestra; y $\left(\frac{M}{Fe}\right)\ Background$ es la relación entre el metal/Fe del valor referencial. Los valores de EF se clasifican de la siguiente forma: Cuando EF <1 indica que no hay enriquecimiento; 1 < EF <3 es bajo; 3< EF < 5 es moderado; 5< EF < 10 es moderadamente grave; 10 < EF < 25

es grave; 25 < EF < 50 es muy grave; y EF > 50 es extremadamente severo (Acevedo-Figueroa et al., 2006; Decena et al., 2018).

### 1.3.3.2. Índice de riesgo ecológico (RI).

El riesgo ecológico potencial de metales pesados en el suelo se puede determinar mediante un índice de riesgo ecológico potencial. Basado en concentraciones de metales pesados y factores ecológicos, el método puede proporcionar un resultado cuantitativo. Las ecuaciones para calcular el riesgo ecológico potencial de cada metal pesado y el riesgo ecológico potencial integrado son los siguientes (Ecuación 1 y 2) (Sun, 2017):

$$E_r^i = T_r^i x C_f^i \tag{7}$$

$$RI = \sum_{i=1}^{N} E_r^i = \sum_{i=1}^{N} T_r^i \, x C_f^i \tag{8}$$

Dónde:

$T_r^i$ está el factor de respuesta tóxica de diferentes metales pesados, los valores correspondientes de Hg, Cd, As, Pb, Ni, Cu, Cr y Zn son 40, 30, 10, 5, 5, 5, 2, 1;
$C_f^i = C_i / C_r^i$: es el coeficiente de contaminación de cada metal pesado;
$C_i$: es la concentración de cada metal pesado;
$C_r^i$: es el valor recomendado de concentración de metales pesados en suelos.

Se seleccionó los valores de UCC 1995 y valores de Turekian 1961 (Tabla 2), en la presente tesis se utiliza valores de Turekian 1961, para la determinación de todos de índices de calidad de sedimento. La presencia de varios metales pesados diferentes daría lugar a un riesgo ecológico potencial más amplio e integral. Las clasificaciones definidas por Hakanson se enumeran en la Tabla 3 (Sun, 2017).

Tabla 2.- Valores base de metales pesados en el suelo ($mg.kg^{-1}$).

| Elementos | Valores base según UCC, 1995 | Valores base según Turekian, 1961 |
|---|---|---|
| As | 2 | 13 |
| Cr | 35 | 90 |
| Cd | 0.102 | 0.3 |
| Pb | 17 | 20 |
| Sb | 0.31 | - |
| Ni | 18.6 | 68 |
| Cu | 14.3 | 45 |
| Zn | 52 | 95 |

Fuente: Sun (2017).

Tabla 3.- Clasificación de Hakanson (1961) de riesgo ecológico potencial

| Nivel | Riesgo ecológico potencial | |
|---|---|---|
| | $E_r^i$ | RI |
| **Bajo** | < 40 | < 150 |
| **Medio (Moderado)** | $40 < E_r^i \leq 80$ | $150 < RI \leq 300$ |
| **Considerable** | $80 < E_r^i \leq 160$ | $300 < RI \leq 600$ |
| **Alto** | $160 < E_r^i \leq 320$ | |
| **Muy Alto** | $E_r^i > 320$ | > 600 |

Fuente: Sun (2017).

### 1.3.3.3. Índice de geoacumulación ($I_{geo}$)

El índice de geoacumulación ($I_{geo}$) se utilizó originalmente para evaluar la contaminación por metales pesados de los sedimentos y se define de la siguiente manera (ecuación 9) (Sun, 2017; Shariati, S.; et al, 2018); en la tabla 4 se muestra los grados de $I_{geo}$.

$$I_{geo} = Log_2 \frac{C}{kB} \tag{9}$$

Dónde:

C: es la concentración medida de la muestra, B: es el valor de referencia, k: es la constante de geo-acumulación (1.5)

El valor $I_{geo}$ de cada metal pesado se clasifica en siete grados, desde no contaminado hasta extremadamente contaminado.

Tabla 4.- Grado de Igeo para metales pesados en sedimentos.

| Clase | Rango de I -geo | Grado de contaminación |
|---|---|---|
| **0** | Igeo < 0 | No Contaminado |
| **1** | 0 < Igeo ≤ 1 | De no contaminado a moderadamente contaminado |
| **2** | 1 < Igeo ≤ 2 | moderadamente contaminado |
| **3** | 2 < Igeo ≤ 3 | de moderadamente a fuertemente contaminado |
| **4** | 3 < Igeo ≤ 4 | fuertemente contaminado |
| **5** | 4 < Igeo ≤ 5 | de fuerte a extremadamente contaminado |
| **6** | 5 < Igeo ≤ 10 | extremadamente contaminado |

Fuente: Li et al., 2019.

### 1.3.4. Normativa Peruana de estándares de calidad ambiental

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el MINAM, fijan los valores máximos permitidos de contaminantes en el ambiente. El propósito es garantizar la conservación de la calidad ambiental mediante el uso de instrumentos de gestión ambiental sofisticados y de evaluación detallada. Para controlar las emisiones de agentes contaminantes se han creado los siguientes documentos:

#### 1.3.4.1. Estándares de Calidad Ambiental de Agua

El estándar de calidad ambiental para aguas que rige actualmente es la DS 004-2017-MINAM, que establecen valores referenciales para el cuidado de cuerpos de agua.

#### 1.3.4.2. Estándares de Calidad Ambiental en suelos

El estándar de calidad ambiental para suelos que rige actualmente es la DS 011-2017-MINAM, que establecen valores referenciales para el cuidado de los suelos.

# CAPITULO II

# MATERIAL Y METODOS

## 2.1.ÁREA DE ESTUDIO

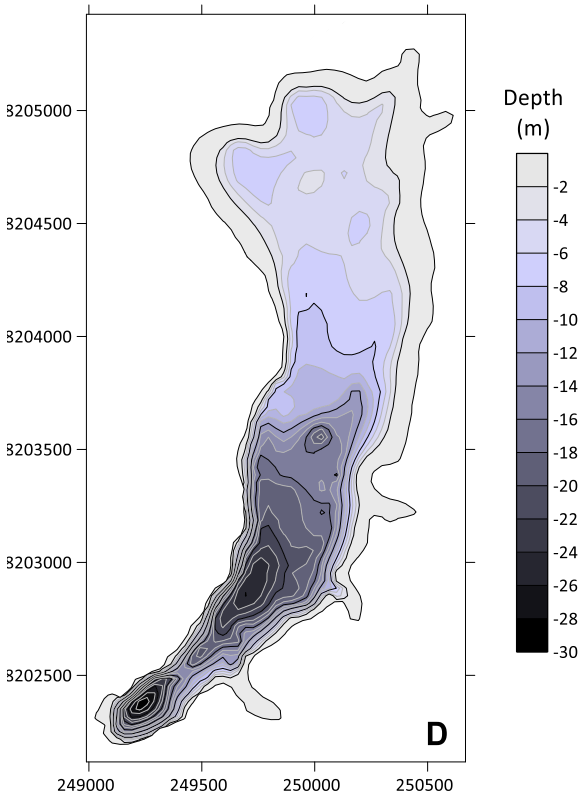
La represa de Aguada Blanca se localiza en el departamento de Arequipa, a unos 40 kilómetros al este de la ciudad de Arequipa, a 3,670 metros sobre el nivel del mar, capta las aguas de los ríos Sumbay y Blanco. Fue construida en la década de 1960. Tiene una capacidad de 42 millones de metros cúbicos. Posee un muro de contención de enrocado, de 46 metros de altura y una longitud de corona de 80 metros.

La presente tesis recolecto data de la profundidad que presenta la represa de aguada blanca, con la finalidad de tener una mejor interpretación de los resultados en función a la profundidad del agua.

En la figura 2 (a) observaremos el perfil de profundidad de la represa de Aguada Blanca. Donde la profundidad de la represa determinada va desde los 2 m a 30 m de profundidad, en la zona de ingreso la profundidad se encuentra entre los 2 m a 9 m, cabe indicar la represa presenta profundidades irregulares en su superficie. La zona media se caracteriza por tener profundidades que van de los 10 m a 24 y la zona de represamiento se caracteriza por tener un profundidad máxima de 30 m en una área pequeña.

La figura 2 (b), muestra el relieve que presenta la represa de Aguada blanca, donde se observa que no se presenta un relieve plano.

a)




b)

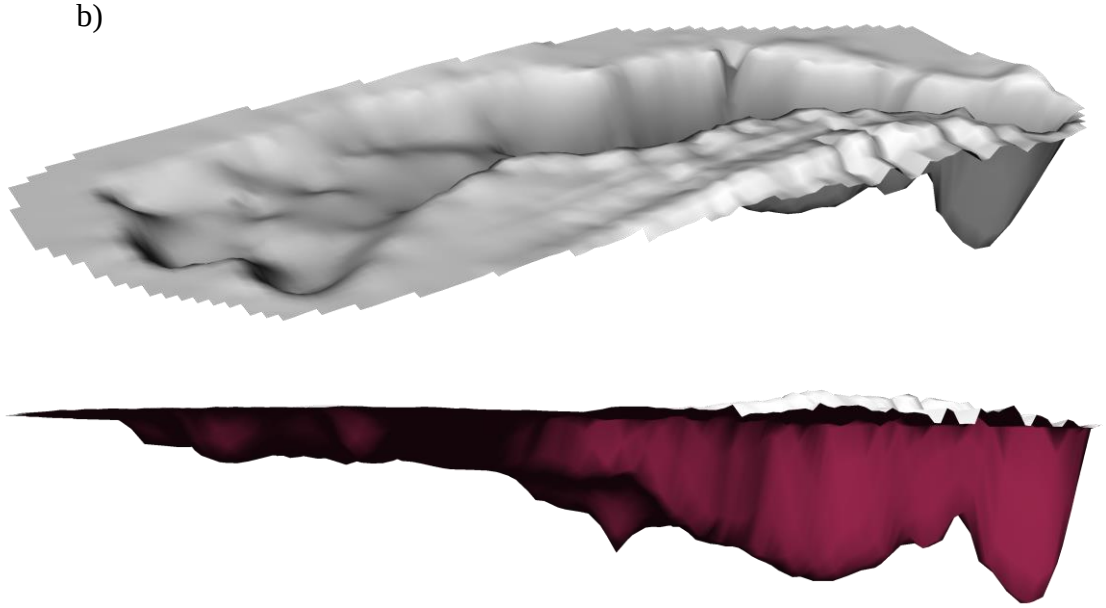


Figura 2.- Perfil de profundidad de la represa de Aguada Blanca, a). Profundidad en 2D; b) Relieve en 3D de la represa de Aguada Blanca

Fuente: Elaboración Propia

## 2.2.LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

La presente trabajo de investigación se realizó el monitoreo de la represa de Aguada Blanca – Arequipa, por lapso de un año (2019), para ello, se estableció realizar actividades de campo y laboratorio.

## 2.3.TRABAJO DE CAMPO

Las muestras de sedimento y agua fueron tomadas en 3 campañas de muestreo, en los meses de abril, julio y octubre del año 2019.

### 2.3.1.1.Estaciones de monitoreo:

Se establecido 3 estaciones de monitoreo de toda la represa (zona de ingreso de agua a represa, zona media de la represa, y zona de la salida de agua), por cada zona de trabajo se realizó la toma de datos físico químicos y en la parte media de toda la represa la toma de muestras de sedimento. Los puntos fueron geo-referenciados en la toma de datos para realizar mapas de distribución de los parámetros analizados. En la figura 3 se observa los puntos de monitoreo de sedimento y de muestras de agua, donde A (zona de represamiento), B (zona media) y C (zona de entrada de agua a la represa).

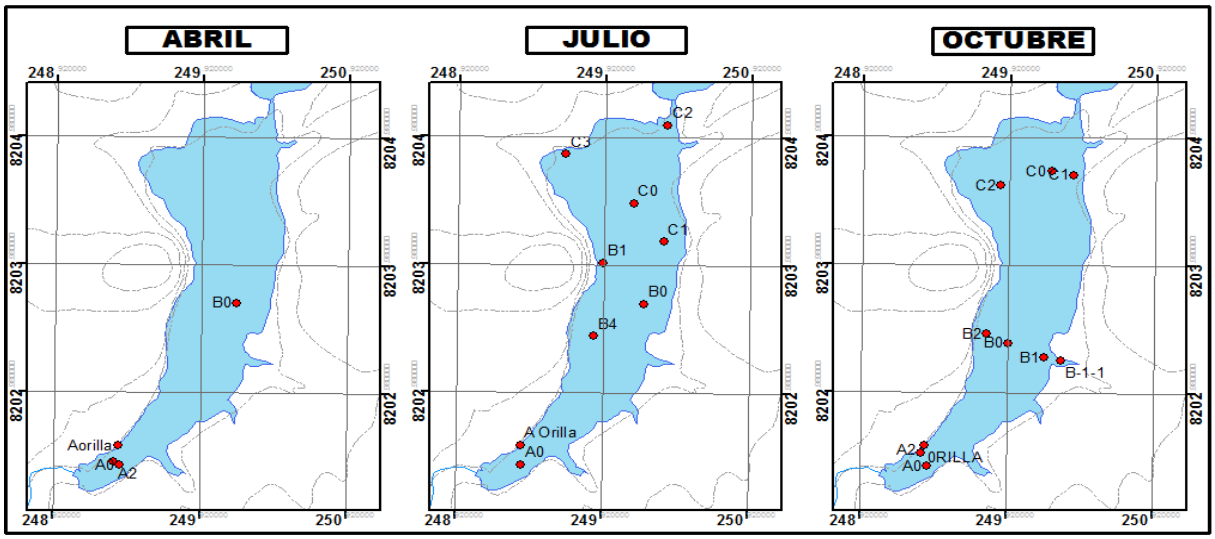



Figura 3.- Estaciones de muestreo: A (zona de represamiento), B (zona media) y C (zona de ingreso de agua)

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Toma de muestras.

#### 2.3.2.1.Técnica de muestreo:

Las técnicas de muestreo variaron de acuerdo con la situación específica y según los objetivos previstos; algunos estudios requieren solamente muestras instantáneas o simples, mientras que en otros se necesita disponer de muestras compuestas o aún más elaboradas en tiempo y espacio (INVEMAR, 2003). El muestreo se realizó con una botella Niskin para colectar muestras de fondo (INVEMAR, 2003). Para la toma de muestras de sedimentos se usó una draga. La draga para muestreo de sedimentos (INVEMAR, 2003).

### 2.3.3. Metodología de muestreo

#### 2.3.3.1.Toma de muestra de Sedimentos:

Para la recolección de muestras de sedimentos de la represa de Aguda blanca, se usó una Draga Lamotte. Una vez tomada la muestra de sedimento con la draga, se depositó en una bandeja y después se embolso siendo rotulada y guardada adecuadamente en un cooler, y fueron trasladado hasta el laboratorio 103 del Departamento Académico de Química (DAQ), de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, donde se realizará el análisis de las muestras colectadas de 3 estaciones de monitoreo; en las muestras se realizarán los siguientes análisis: pH, Fosforo disponible.

Se tomaron 3 muestras de puntos estratégicos de la represa (zona de entrada, media y represamiento) para realizar el análisis de metales ecotóxicos, dichas muestras fueron colectadas, rotuladas y guardadas adecuamente en cooler para posteriormente ser trasladas hasta un laboratorio acreditado.

## 2.4.TRABAJO DE LABORATORIO Y ANALISIS

### 2.4.1. Análisis de sedimento

#### 2.4.1.1.Determinación de pH

El principio básico de la medida electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado. La fuerza electromotriz (fem) producida por el sistema electroquímico varía linealmente con el pH y puede verificarse por la obtención de una gráfica de pH vs. fem para diferentes soluciones de pH conocido.

Una porción del sedimento se mezcló con agua destilada (1:10) en un beaker y después se agito por una lapso de 30 minutos, y se procedió a realizar la medición del pH, para lo cual se utilizará el multiparámetro marca HANNA HI 9829 (Carrero et al., 2015).

#### 2.4.1.2.Ensayos para fósforo disponible en sedimento.

Este método se basa en la reacción del fósforo contenido en la muestra como ortofosfato con el ácido molíbdico para formar el ácido 12-molibdofosfórico según la reacción:

$$H_3PO + 12\ (NH_4)_2MoO_4 + 21\ H^+ \rightarrow (NH_4)_2PO_4 * 12MoO_3\ +\ 21\ {NH_4}^+ + 12\ H_2O$$

El ácido 12-molibdofosfórico es reducido por el cloruro de estaño a azul de molibdeno, compuesto de composición desconocida que contiene una mezcla de Mo (VI) y Mo (V), que absorbe a 690 nm. La intensidad del color azul formado depende de la concentración de fosfatos adicionados al heteropoliácido. El método es aplicable cuando el contenido de fósforo en las muestras se encuentra entre las concentraciones de 0,01 mg P/L a 6,0 mg P/L. Todo el fósforo contenido en la muestra debe estar como ión ortofosfato $(PO_4)^{3-}$, ya que el método espectrofotométrico es esencialmente específico para este ión ortofosfato $(PO_4)^{3-}$. La materia orgánica de la muestra es destruida por medio de una digestión con persulfato de amonio y ácido sulfúrico, rompiendo las ligaduras orgánicas del fósforo (C-P y/o C-O-P), e hidrolizando los polifosfatos a ortofosfatos (APHA Method 4500-P. D).

**Preparación de soluciones**

- **Solución estándar de fosfato**
  - **Solución madre de fosfato:** Pesar aproximadamente y con precisión 219.5 mg de $KH_2PO_4$ previamente secado a 105°C durante 2 horas, aforar con agua destilada a 1L; 1.0 mL= 50.0 µg de P como $PO_4^{3-}$.
  - **Solución de ácido fuerte**

    Añadir cautelosamente 300 mL de $H_2SO_4$ cc a 600 mL de agua destilada. Cuando enfrié, añadir 4.0 mL de $HNO_3$ cc y aforar a 1L.
  - **Solución acida fuerte de molibdato de amonio**

    Disolver 25 g de $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ en 175 mL de agua destilada. Añadir cautelosamente 310 mL de $H_2SO_4$ cc. Cuando enfrié añadir la solución de molibdato y aforar a 1L.
  - **Solución de cloruro de estaño**

    Disolver 2.5 g de $SnCl_2.2H_2O$ en 10 mL HCl cc y aforar a 100 mL.

- **Procedimiento de determinación de fosfato**
  - **Ajuste de pH**. A una muestra de 50 mL que contenga una concentración menor a 150 µg de $PO_4$, libre de color y turbidez, añadir una gota de fenolftaleína.

    Nota: si la disolución tienen un color rosado, adicionar unas cuantas gotas de solución de ácido fuerte (ver inciso 8.1.2) para neutralizar.
  - **Desarrollo de color en la muestra**. Adicionar agitando fuertemente 2.0 mL de solución de molibdato de amonio (ver inciso 8.1.3) y 0.25 mL (5 gotas) de solución de cloruro de estaño (ver inciso 8.1.4).
  - **Medición de color.** El tiempo en el cual se realiza el análisis es muy importante para tener buenos resultados, la medición debe realizarse después de 10 min de haber desarrollado el color, pero antes de los 12 min, utilizar el mismo intervalo de tiempo para todas las mediciones, medir la intensidad de color en un espectrofotómetro a 690 nm. Utilizar como blanco agua.

    Nota**:** es necesario tener un blanco de agua y un blanco de agua + reactivos. Debido a que el color se desarrolla primero de manera progresiva y posteriormente se desvanece, mantener siempre condiciones iguales de tiempos de desarrollo de color

y medición de muestras cada día que se realiza la prueba. La curva de calibración lineal en un intervalo de concentración de 0.1 µg a 50 µg.

- **Cálculos**

  Calcular la concentración de la muestra por medio de la ecuación obtenida de la curva de calibración y que es representada por la siguiente ecuación:

- **Extracción de fosforo de sedimentos**

  Para la determinación de $PO_4^{-3}$ en sedimentos primero se realizó la extracción usando la solución Bray-Kurtz de $NH_4F$ y.HCl 0.025 N, relación de extracción 1:10 p/v (Carrero A. et al., 2015), previa determinación del pH del sedimento (se homogenizará el sedimento en agua destilada en una relación de 1:2.5) (Carrero A. et al., 2015); después se proseguirá a cuantificar como fosfato.

  Para realizar la cuantificación de fosforo total se usara el método estándar 4500-P D, (Stannous Chloride Method).

Para la determinación de $PO_4^{-3}$ en sedimentos primero se realizó la extracción usando la solución Bray-Kurtz de $NH_4F$ y.HCl 0.025 N, relación de extracción 1:10 p/v (Carrero A. et al., 2015), y se determinó la concentración de $PO_4^{-3}$ de la misma forma que en agua.

### 2.4.1.3. Determinación de elementos ecotóxicos por ICP/MS.

Para la determinación de elementos ecotóxicos se utilizó un ICP-MS de Marca Thermo, y la metodología de análisis fue realizada en base al método 6020 –EPA que describe la determinación multi-elemental de analitos por ICP-MS en muestras ambientales. El método mide los iones producidos por un plasma acoplado inductivamente por radiofrecuencia. Las especies de analitos que se originan en un líquido son nebulizadas y el aerosol resultante es transportado por gas argón a la antorcha de plasma.

Los iones producidos por las altas temperaturas son arrastrados en el gas de plasma y se introducen, por medio de una interfaz, en un espectrómetro de masas. Los iones producidos en

el plasma se clasifican de acuerdo con sus relaciones de masa a carga y se cuantifican con un multiplicador de electrones de canal.

Para la determinación de metales pesados se realizara el método: EPA Method 6020A / EPA Method 3051.

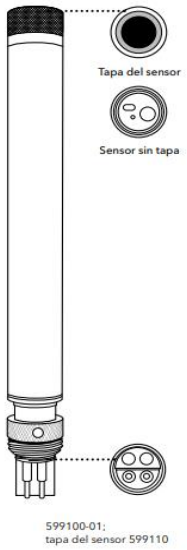
### 2.4.2. Análisis en agua

#### 2.4.2.1.Determinación de pH

Para realizar el análisis de pH y conductividad de hará uso de un multiparámetro marca HANNA modelo HI 9829 (ver punto2.4.1.1).

#### 2.4.2.2.Determinación de oxígeno disuelto.

El principio de funcionamiento del sensor óptico de oxígeno disuelto EXO se base en el concepto bien fundado de que el oxígeno disuelto disminuye tanto la intensidad como la duración de la luminiscencia relacionada con un colorante químico cuidadosamente seleccionado. El sensor de OD EXO enciende una luz azul correspondiente a la longitud de onda de este colorante luminiscente, que está inmóvil en una matriz y adaptada a un disco. La luz azul genera la iluminación del colorante inmóvil y la duración de esa luminiscencia se mide a través de un fotodiodo que se encuentra en el sensor. Para aumentar la precisión y la estabilidad de la técnica, el colorante también se irradia con luz roja durante parte del ciclo de medición para actuar como referencia en la determinación de la duración de la luminiscencia. Para la determinación de Oxígeno Disuelto se hará uso del multiparámetro marca EXO. (er figura 4)




**Especificaciones**

| | |
|---|---|
| **Unidades** | % de saturación, mg/l |
| **Temperatura**<br>*En operación*<br>*Almacenamiento* | <br>De -5 a 50°C (23 °F a 122 °F)<br>De -20 a 80°C (-4 °F a 176 °F) |
| **Rango** | De 0 a 500 % de sat. del aire<br>De 0 a 50 mg/l |
| **Precisión** | 0-200 %: Lectura de ±1 % o 1 % de sat. del aire, el que sea mayor;<br>200-500 %: Lectura de ±5 %<br>0-20 mg/l: Lectura de ±1 % o 0,1 mg/l;<br>20-50 mg/l: Lectura del ±5 % |
| **Respuesta** | T63 < 5 seg |
| **Resolución** | 0,1 % de sat. del aire<br>0,01 mg/l |
| **Tipo de sensor** | Óptico, por duración de luminiscencia |

Figura 4.- Sensor y especificaciones

### 2.4.2.3.Determinación de Nitratos.

Los sensores nitrato utilizan un electrodo de hilo de cloruro de plata/plata en una solución de llenado personalizada. La solución interna se separa del medio de muestra a través de una membrana de polímero, que interactúa de forma selectiva con iones de amonio y nitrato. Cuando el sensor se sumerge en agua, se establece, a lo largo de la membrana, un potencial que depende de las cantidades relativas de iones en la muestra y de la solución interna. Este potencial se lee en relación con el electrodo de referencia Ag/AgCl (manual EXO, *sf*)

La determinación de Nitratos se realizó usando el multiparámetro marca EXO.

### 2.4.2.4.Ensayos para Fósforo Total o disponible

Para realizar la cuantificación de fosforo total o disponible se usó el método estándar APHA 1992, Standar Methods, for the examination of wáter and watewater. 4500-P D, “Stannous Chloride Method”, ver punto 2.4.1.2.

### 2.4.2.5.Determinación de $DBO_5$

El método consiste en llenar con una muestra diluida y sembrada, hasta rebosar, una botella hermética del tamaño especificado e incubarla a la temperatura especificada durante 5 días. El

oxígeno disuelto se mide inicialmente y después de la incubación, y la $DBO_5$ se calcula a partir de la diferencia entre el OD inicial y el final. Debido a que el OD inicial se determina poco después de que se realiza la dilución, toda la absorción de oxígeno que ocurre después de esta medición se incluye en la medición de $DBO_5$.

La $DBO_5$ mide el oxígeno requerido para la degradación total del material orgánico (demanda carbonosa final) y/ o el oxígeno para oxidar compuestos de nitrógeno reducidos (demanda nitrogenada final). Los valores de $DBO_5$ y las descripciones cinéticas apropiadas son necesarios en los estudios de modelado de calidad del agua.

La determinación de DBO5 se realizará usando el método: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed.2012.Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

**2.4.2.6.Determinación de DQO**

La demanda química de oxígeno (DQO) se define como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra en condiciones controladas.

La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia de oxígeno. Debido a sus propiedades químicas únicas, el ion dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$) es el oxidante especificado en los Métodos 5220B, C y D; se reduce al ion crómico ($Cr^{3+}$) en estas pruebas. Los componentes orgánicos e inorgánicos de una muestra están sujetos a oxidación, pero en la mayoría de los casos predomina el componente orgánico y es de mayor interés. Si se desea medir la DQO orgánica o inorgánica sola, se deben tomar medidas adicionales que no se describen aquí para distinguir una de la otra. La DQO es una prueba definida; El grado de oxidación de la muestra puede verse afectado por el tiempo de digestión, la fuerza del reactivo y la concentración de DQO de la muestra.

$$\underset{\text{(Naranja)}}{Cr_2O_7^{2-}} + 14\,H^+ + 6e^- \rightarrow \underset{\text{(Verde)}}{2\,Cr^{3+}} + 7\,H_2O$$

La determinación de DQO se realizará el método: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed.2012.Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.

### 2.4.2.7.Determinación de Metales ecotóxicos por ICP/MS

Para la determinación de metales pesados se realizara el método: EPA Method 6020A / EPA Method 3051, ver punto 2.4.1.3.

### 2.4.2.8.Determinación de Clorofila “a”.

La clorofila “a” se caracteriza por ser fluorescente cuando se irradia con luz a una longitud de onda particular. La capacidad de la clorofila para fluorescer, es la base de determinación de los fluorómetros comerciales capaces de medir el analito in situ. Estos instrumentos inducen la fluorescencia de la clorofila al hacer brillar un haz de luz de la longitud de onda adecuada en la muestra, y luego miden la luz de emitida como resultado del proceso de fluorescencia.

La mayoría de los sistemas de clorofila utilizan un diodo emisor de luz (LED) como fuente de la luz de irradiación que tiene una longitud de onda máxima de aproximadamente 470 nm. Los LED con esta especificación producen radiación en la región azul del espectro visible. En la irradiación con esta luz azul, la clorofila residente en células enteras emite luz en la región del espectro de 650-700 nm. Para cuantificar la fluorescencia, el detector del sistema suele ser un fotodiodo de alta sensibilidad que se filtra mediante un filtro óptico que restringe la luz detectada. El filtro evita que se detecte la luz excitante de 470 nm cuando se retrodispersa las partículas en el agua (manual EXO, *sf*). Ver figura 5.

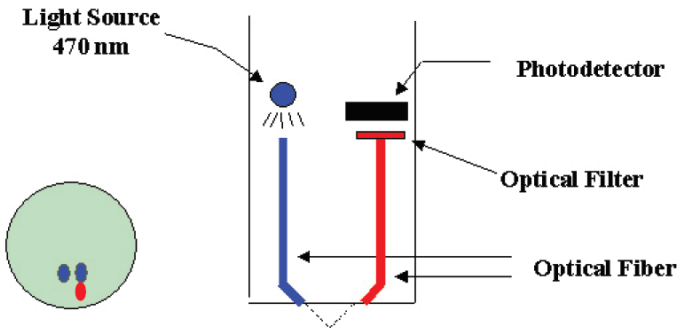



Figura 5- Diagrama de medición de clorofila (manual EXO)

## 2.5. DETERMINACIÓN INDICES DE CALIDAD DE SEDIMENTOS

### 2.5.1. Determinación de EF

Para determinar se utilizó la ecuación siguiente.

$$EF = \frac{\left(\frac{M}{Fe}\right) sample}{\left(\frac{M}{Fe}\right) Background}$$

Donde EF= Factor de Enriquecimiento; $\left(\frac{M}{Fe}\right) sample$ es la relación entre el metal/Fe de la muestra; y $\left(\frac{M}{Fe}\right) Background$ es la relación entre el metal/Fe del valor referencial. Los valores de EF se clasifican de la siguiente forma: Cuando EF <1 indica que no hay enriquecimiento; 1 < EF <3 es bajo; 3< EF < 5 es moderado; 5< EF < 10 es moderadamente grave; 10 < EF < 25 es grave; 25 < EF < 50 es muy grave; y EF > 50 es extremadamente severo (Acevedo-Figueroa et al., 2006; Decena et al., 2018).

### 2.5.2. Determinación de $I_{geo}$.

El índice de geo-acumulación ($I_{geo}$) se utilizó para evaluar la contaminación por metales pesados en sedimentos y se define de la siguiente ecuación (X. Li et al., 2019).

$$I_{geo} = \mathrm{Log}_2 \frac{C}{kB}$$

Dónde: C: es la concentración medida de la muestra; B: es el valor de referencia; k: es la constante de geo-acumulación (1.5). El valor $I_{geo}$ de cada metal pesado se clasifica en siete clases, desde no contaminado hasta extremadamente contaminado.

### 2.5.3. Determinación de RI

Para la determinación índice de riesgo potencial ecológico, de los sedimentos procedentes de la represa de Aguada Blanca, Arequipa; se realizó utilizando el método sugerido Saeedi & Zanjani (2015); donde el índice de riesgo potencial ecológico se determina en base al factor de

contaminación individual de cada metal y el factor de respuesta toxica para cada elemento analizado.

$$Cif = \frac{Cx}{Cb} \quad (10)$$

$$Eri = Tri * Cif \quad (11)$$

$$RI = \sum_{i=1}^{n} Eri \quad (12)$$

Donde:

- Cif es el factor de contaminación.
- Cx la concentración de metales en la muestra.
- Cb es el valor recomendado de concentración de metales pesados en suelos. Se seleccionó los valores recomendados para la provincia de Shandong (Tabla 1).
- Eri el factor individual de contaminación.
- Tri es el factor de respuesta tóxica (Cd: 30; Cu: 5; Pb: 5; Zn: 1; Cr: 2).

De acuerdo a Saeedi & Zanjani (2015), dependiendo de los valores medidos de RI, el Suelo se lo puede clasificar como: Baja toxicidad: (RI < 150); Moderada toxicidad: (150 ≤ RI < 300); Considerable toxicidad: (300 ≤ RI < 600) y muy alta toxicidad: (RI ≥ 600).

## 2.6. DETERMINACIÓN DE ESTADO TROFICO

Para la determinación del estado trófico se utilizó usando la data de clorofila, haciendo uso de la siguiente formula (Liu et al., 2019):

$$TLI\ (Chla) = 10\lfloor 2.5 + 1.086 \ln(Chla) \rfloor$$

# CAPITULO III

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 3.1 Parámetros físico-químicos en agua y sedimento de la represa de Aguada Blanca, Arequipa.

### 3.1.1. Parámetros físico-químicos en agua.

Los principales parámetros registrados in situ fueron: temperatura, oxígeno disuelto, pH y nitratos para la columna de agua de la represa de Aguada Blanca, que permite comprender el comportamiento de las masas de agua y su relación con las floraciones algales. Los resultados se muestran gráficamente y se observa los diferentes perfiles de temperatura, oxígeno disuelto, pH y nitratos en relación a la profundidad en diferentes temporadas (abril, julio y octubre).

#### A. Perfiles de temperatura en la columna de agua

Para el mes de abril la temperatura promedio oscilo entre 12°C, y su rango entre 11.4 a 12.8 °C., para 4 puntos en la represa entre los 0 a 4 metros de profundidad la temperatura oscila entre 12.8 a 12 °C y por debajo de 4 metros de profundidad la temperatura tiende a bajar de 12 a 11.4 °C.

En la figura 6, podemos observar el perfil térmico de 4 puntos de monitoreo del mes de abril (2019), donde se observa que a medida que aumenta la profundidad baja la temperatura en décimas. Siendo en el punto B0 donde se presenta la más baja temperatura de 11.2 °C.

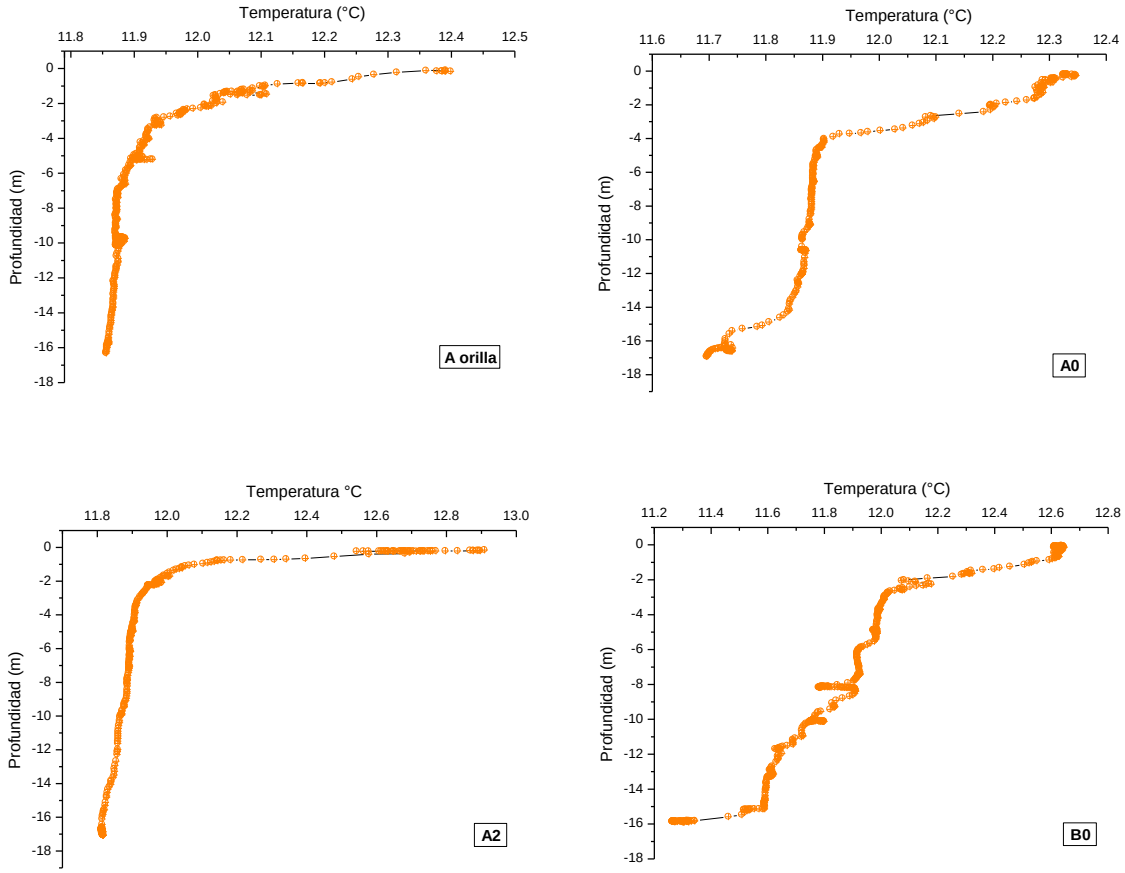



**Figura 6.-** Perfil térmico de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de abril (2019), en relación a la profundidad de cada punto de monitoreo.

En el mes de julio la temperatura promedio oscilo 7.5°C y su rango entre 6.5 a 8.5°C de temperatura.

Se puede observar en la figura 7, la variación de temperatura de horas de la mañana y horas de la tarde para el mes de julio (2019), el punto A orilla M muestra valores de temperatura baja para la superficie (monitoreo 7:00 am), y se puede se evidencia el incremento de la temperatura a medida aumenta la profundidad. El punto A orilla T muestra los valores de temperatura ligeramente altas en relación a la profunda (monitoreo 4:00 pm), donde la temperatura disminuye desde la superficie hacia el fondo del reservorio. Encontrándose para el mes de julio la temperatura superficial es menor a la temperatura de fondo para horas de la mañana y en horas de la tarde la temperatura superficial es mayor en relación a la temperatura de fondo.

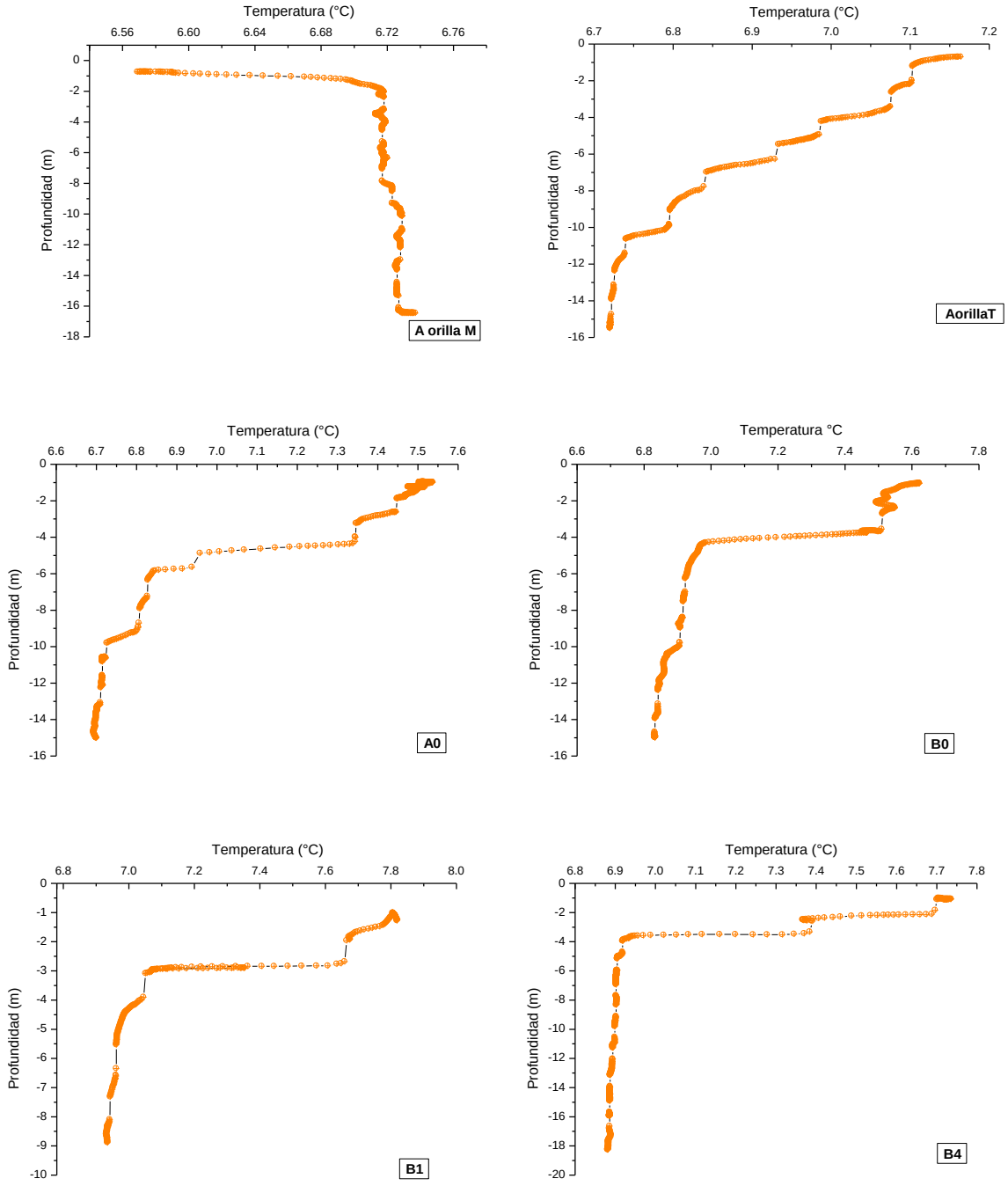



**Figura 7.-** Perfil térmico de 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). El punto de monitoreo A orilla M, muestra los valores de temperatura de primera hora de monitoreo (7:00 am) y el A orilla T muestras valores de monitoreo en horas de la tarde (4:00 pm). Los puntos A y B muestras las temperaturas de las áreas más profundas del reservorio.

Los puntos de monitoreo A0, B0, B1 y B4 muestran los diferentes perfiles de temperatura del mes de julio (2019), a diferentes profundidades en razón de las irregularidades de fondo del reservorio, dado que no presenta un fondo plano. Los puntos de monitoreo A y B son los más profundos.

En la figura 8 observamos que los puntos C0, C1 y C3 entre 6.5°C y 7.6°C de temperatura y mantienen un perfil térmico similar entre sí. Sin embargo, el punto C2 presenta una temperatura entre 8.44 a 8.52 °C; esta temperatura debe ser influencia del ingreso del agua a la represa, dado que este es un punto de ingreso a la represa y por su baja profundidad pueda concentrar de mejor la manera la radiación solar.

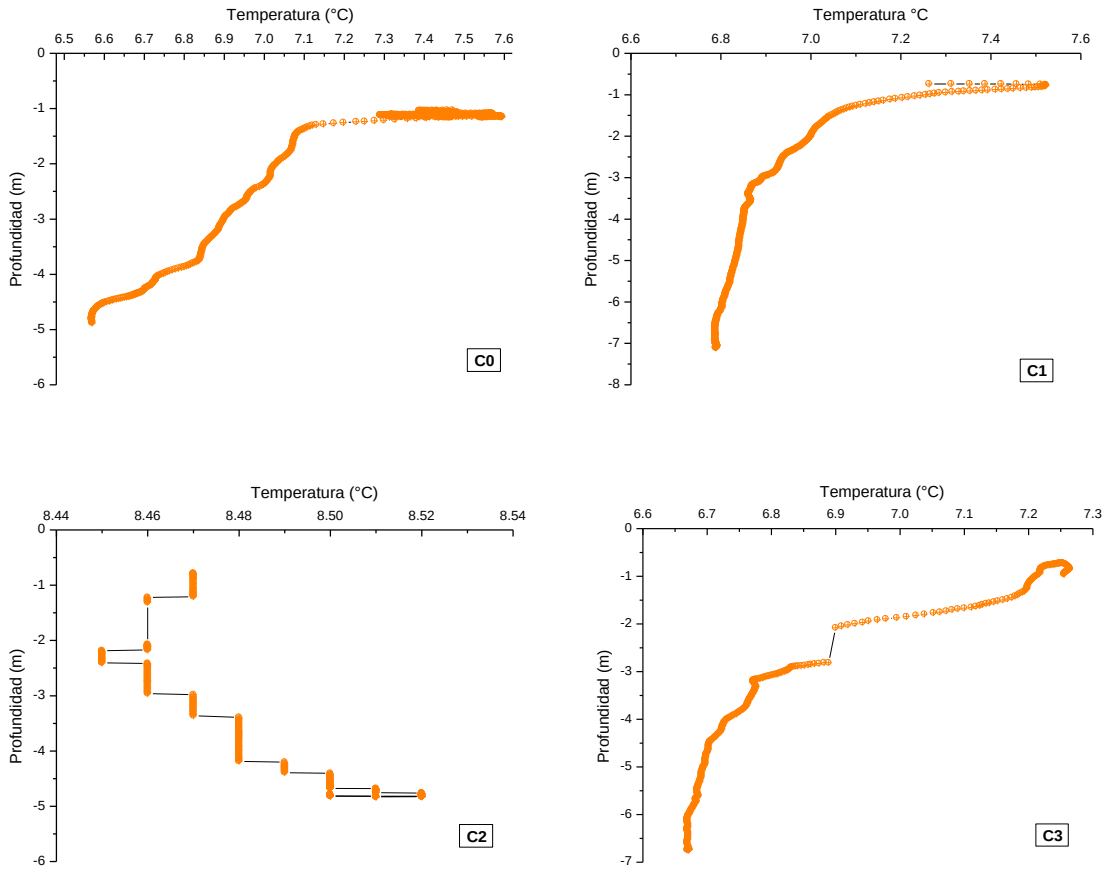



**Figura 8.-** Perfil térmico de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). Los puntos C0, C1, C2 y C3 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa.

En la figura 9 se observa la temperatura que presento la represa de aguada blanca el mes de octubre. La temperatura oscilo entre 10.2 a 12.6 °C, siendo el punto A0 y B1-1 los que presentaron la temperaturas más altas (hasta 12 °C).

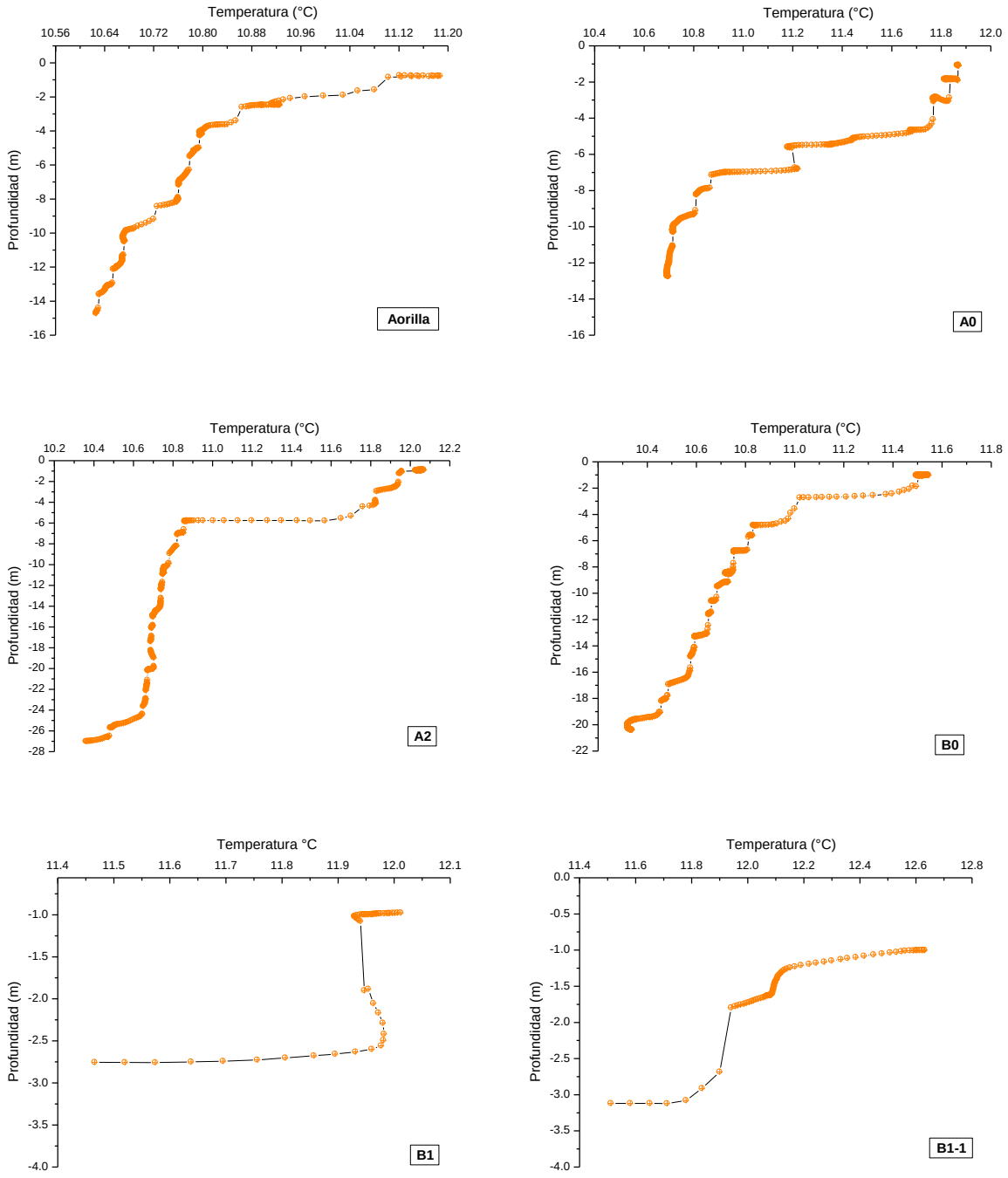



Figura 9.- Perfil térmico de 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). El punto de monitoreo Aorilla, A0, A2 y B0, muestra los valores de temperatura para las zonas más profundas del reservorio. Los puntos B1 y B1-1 muestran el perfil térmico entre 0 a 4 metros de profundidad.

En la figura 10 se observan puntos de monitoreo de dos zona de una mayor profundidad B2 de menor profundidad C0, C1 y C2, donde los puntos de monitoreo de la zona baja tienen bajas temperaturas en relación al punto de mayor profundidad. Podemos observar que la temperatura en los puntos de monitoreo de la zona C presentan temperaturas de 8.5°C como menor temperatura y el punto B2 una temperatura baja de 10.2°C.

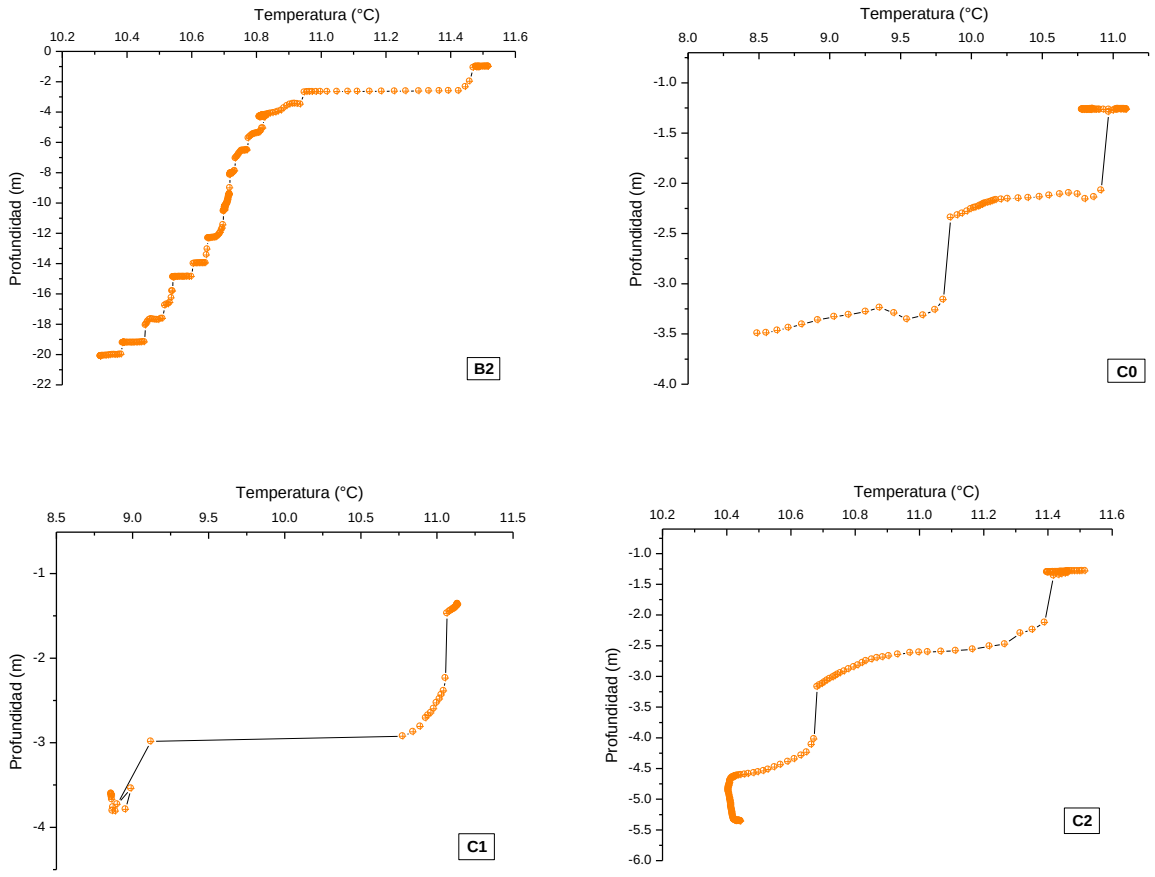



Figura 10.- Perfil térmico de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). Los puntos C0, C1, y C2 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa.

En la figura 11 observamos los perfiles de temperatura para las 3 temporadas (abril, julio y octubre), donde se observa que para los meses de abril y octubre la temperatura se encuentra en 8 a 12 °C y para el mes de julio la temperatura es baja, de 6.5 a 7.9°C.

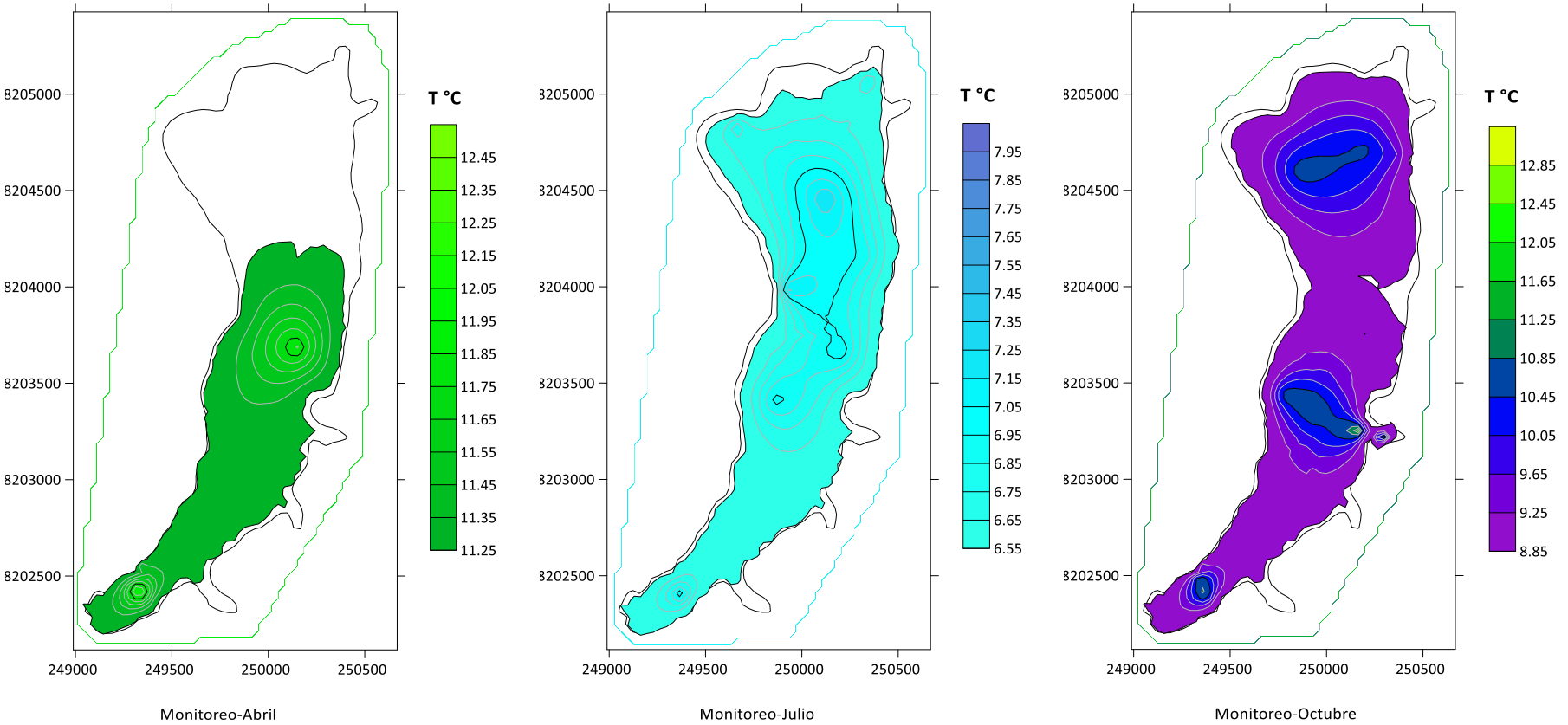



Figura 11.- Perfil térmico de la represa de Aguada Blanca 2019, mes de abril, julio y octubre.

## B. Perfil de oxígeno disuelto en la columna de agua

La concentración de oxígeno disuelto en los 3 periodos de monitoreo tuvieron similar concentración, no se presenta diferencia considerable entre los meses de monitoreo con relación a la concentración de oxígeno disuelto. Sin embargo la concentración de oxígeno disuelto en el mes de abril y julio tienen valores por encima de 7 mg/L en todos sus puntos hasta una profundidad de 3 metros mientras para los puntos de octubre la concentración de oxígeno disuelto estuvo por debajo de 7mg/L, valor que está en relación a la concentración de clorofila.

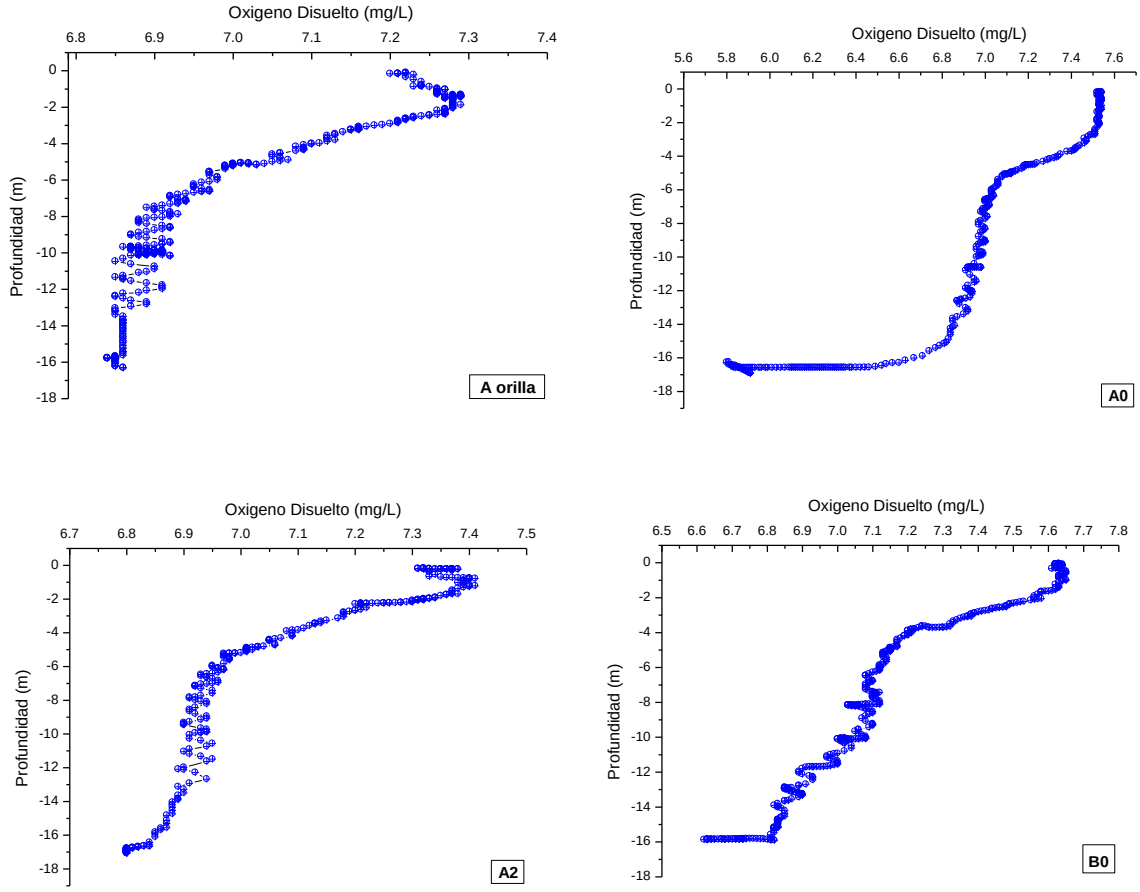



Figura 12.- Perfil de oxígeno disuelto de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de abril (2019), en relación a la profundidad de cada punto de monitoreo.

En la Figura 12 podemos observar el perfil de oxígeno disuelto, en la cual muestra que a una profundidad de 0 a 4 metros, se encuentra una mayor concentración de oxígeno disuelto, la cual tiene relación con la concentración de clorofila.

Se puede observar en el punto Aorilla y A2 como la concentración va aumentado con relación aumenta la profundidad, y después de llegar a un punto máximo comienza a descender la concentración de oxígeno disuelto. Dicho perfil estaría en relación a la concentración de clorofila, dado que la mayor presencia de organismo fotosintético promovería que se incremente la concentración de oxígeno disuelto en el sistema acuático.

En la Figura 13 y figura 14 del mes de julio se observa un perfil de similar forma al perfil de oxígeno disuelto del mes de abril, entre los meses de abril y julio no se observó diferencia significativa de la concentración de oxígeno disuelto en el sistema acuático.

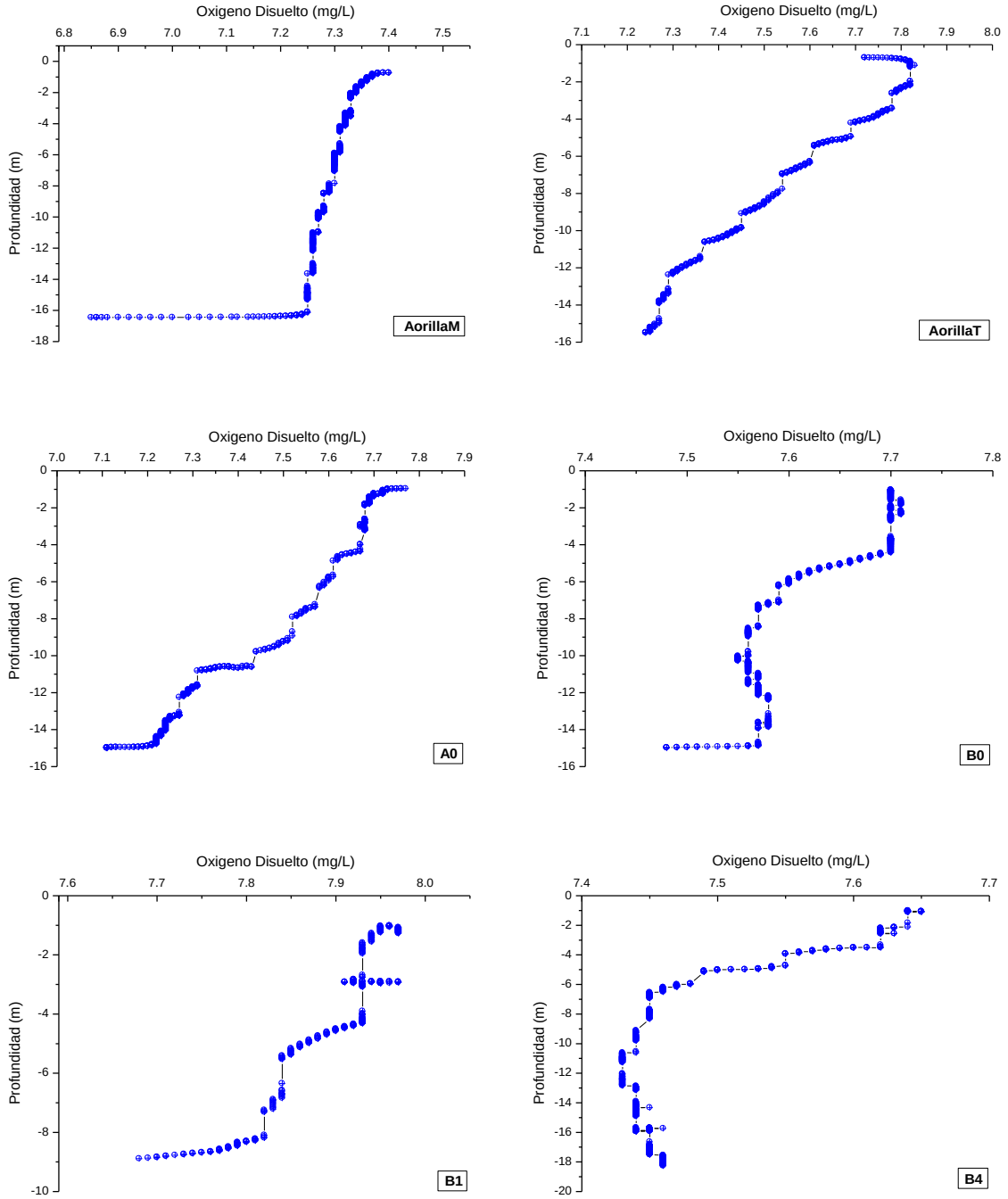



Figura 13.- Perfil oxígeno disuelto de 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). El punto de monitoreo AorillaM, muestra los valores de temperatura de primera hora de monitoreo (7:00 am) y el AorillaT muestras valores de monitoreo en horas de la tarde (4:00 pm). Los puntos A y B muestras las temperaturas de las áreas más profundas del reservorio.

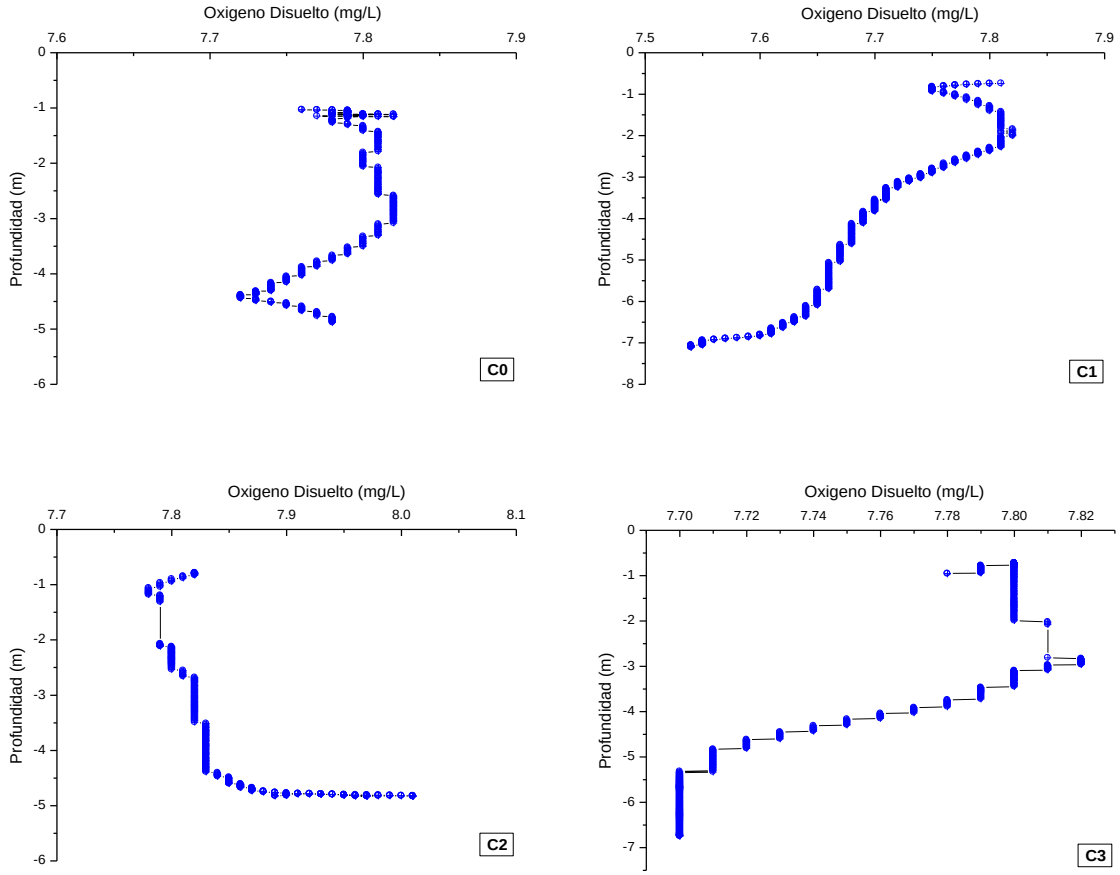



Figura 14.- Perfil de oxígeno disuelto en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). Los puntos C0, C1, C2 y C3 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa.

En la figura 15 y figura 16 podemos observar el perfil de oxígeno disuelto, el cual presenta valores por debajo de 7mg/L de OD. Valores que estarían en relación a la baja concentración de clorofila para el mes de octubre la cual será discutida puntos más adelante.

Se observa que el Punto C0 de la zona de entrada de agua a la represa la concentración de oxígeno disuelto presenta la más baja de las concentraciones 3 mg/L de OD.

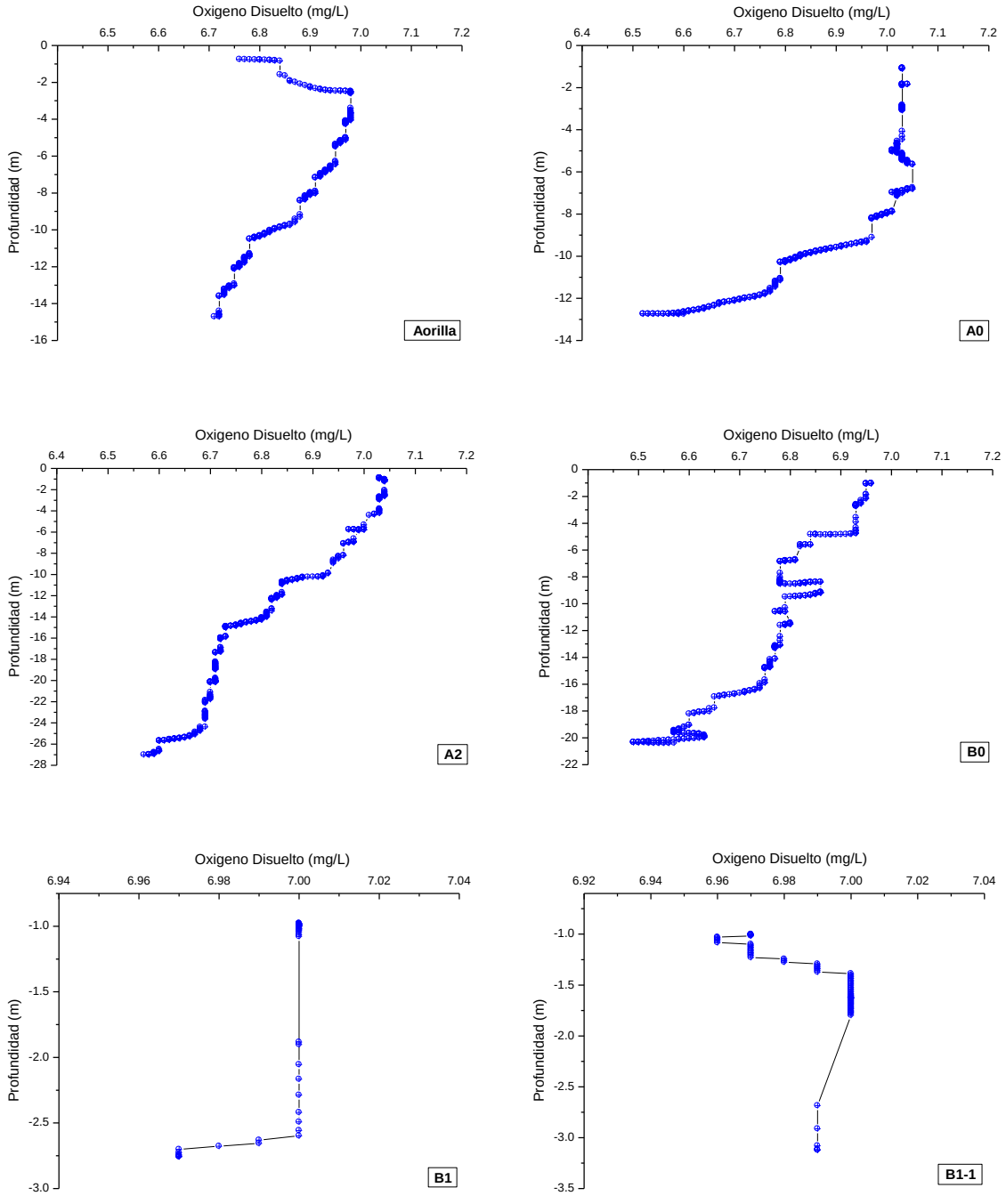



Figura 15.- Perfil de oxígeno disuelto en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). El punto de monitoreo Aorilla, A0, A2 y B0, muestra los valores de OD para las zonas más profundas del reservorio.

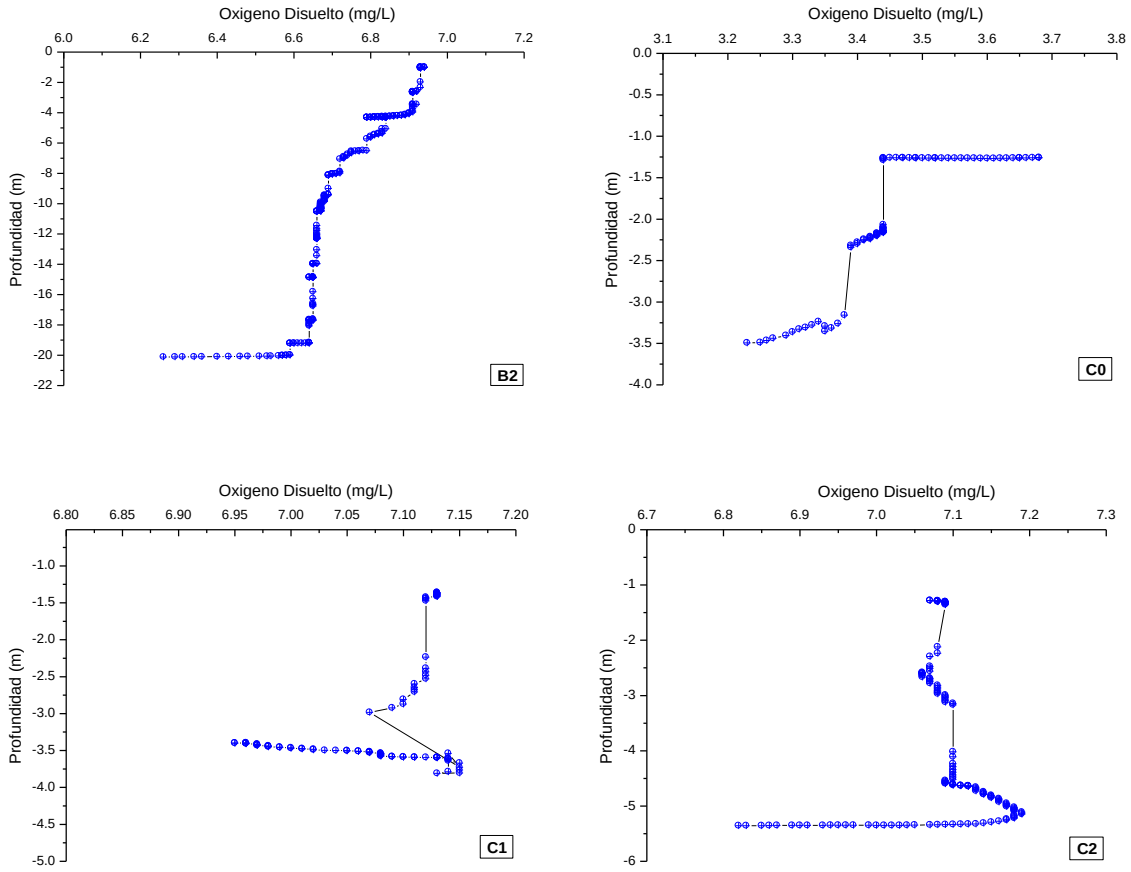



Figura 16.- Perfil de oxígeno disuelto en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). Los puntos C0, C1, y C2 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa.

En la figura 17, observamos los perfiles de oxígeno disuelto en toda la represa de las diferentes temporadas de monitoreo (abril, julio y octubre). Donde se apreció que no existe diferencia significativa entre temporadas de monitoreo, en el mes de abril se puede observar que la concentración llego a 5.8 mg/L de OD, mientras que el mes de julio se presentó una máxima concentración de OD, 7.9 mg/L de OD.

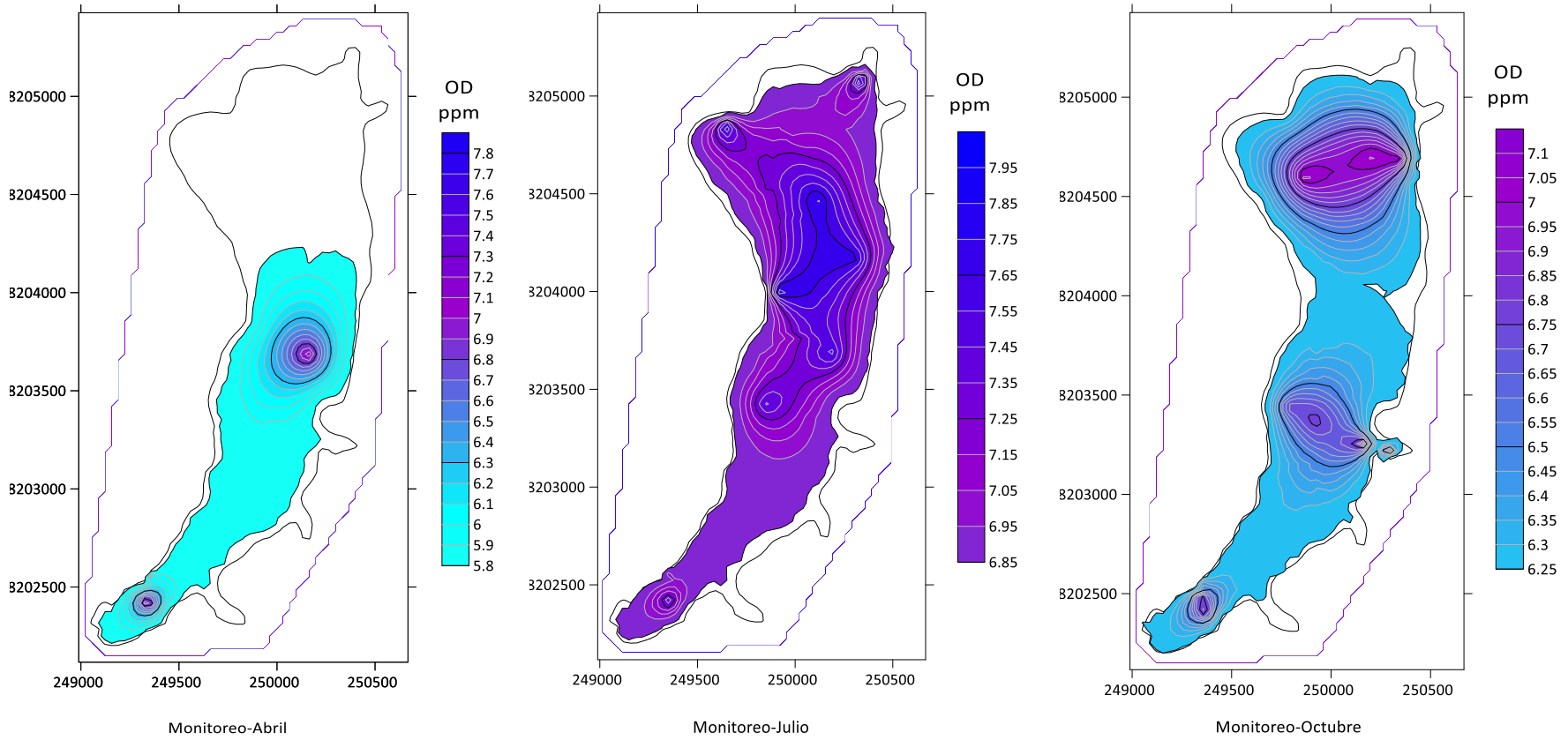



Figura 17.- Perfil de oxígeno disuelto de la represa de Aguada Blanca 2019, mes de abril, julio y octubre.

## C. Perfil de pH para la columna de agua

El pH en las 3 temporadas de monitoreo tuvieron un valor similar, no se presentó alguna diferencia considerable entre los meses de monitoreo. En la figura 18 observamos el perfil del pH del mes de abril donde el pH se caracteriza por ser básico y oscilar entre 7.92 a

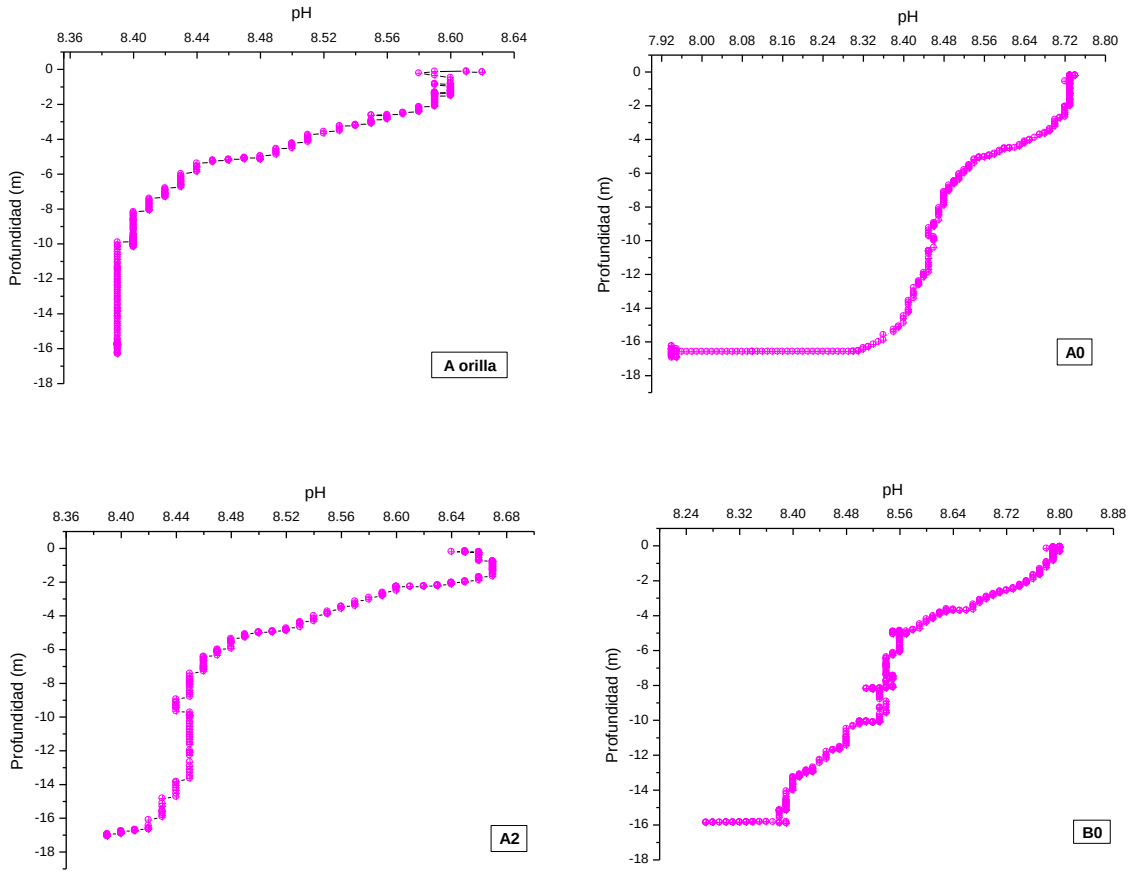



Figura 18.- Perfil de pH de 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de abril (2019), en relación a la profundidad de cada punto de monitoreo.

En la figura 19, se observa cómo se incrementa decimalmente la concentración de pH del punto de monitoreo A orilla, que para horas de la mañana presento un pH de 8.20 a 8.32 (punto A orilla M) y para horas de la tarde el pH tuvo un valor de 8.48 a 8.96. y en la figura 20 se observa que los puntos presentan pH básicos con ligeras diferencia entre punto y punto.

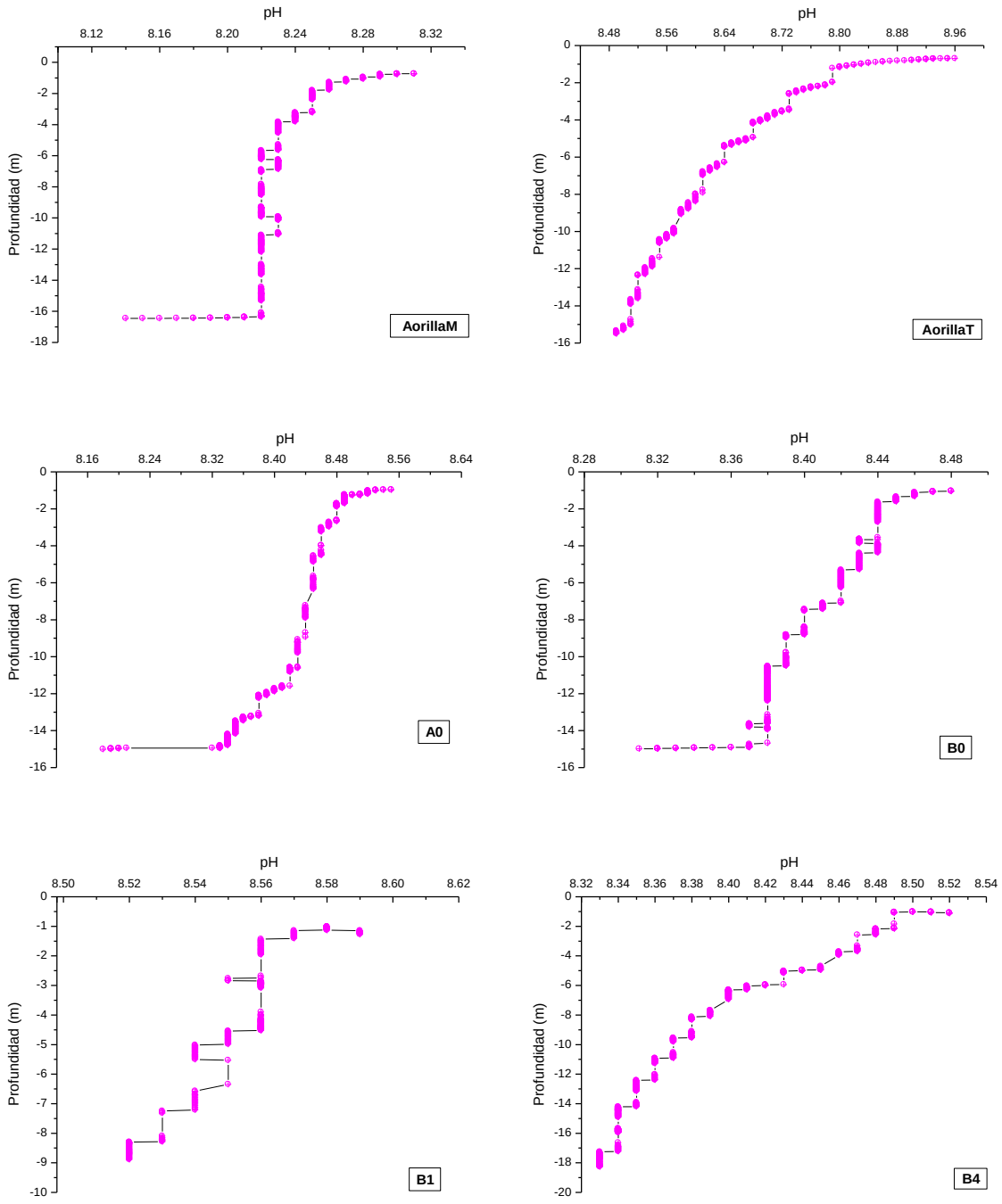



Figura 19.- Perfil de pH en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). El punto de monitoreo AorillaM, muestra los valores de temperatura de primera hora de monitoreo (7:00 am) y el AorillaT muestras valores de monitoreo en horas de la tarde (4:00 pm). Los puntos A y B muestras las temperaturas de las áreas más profundas del reservorio.

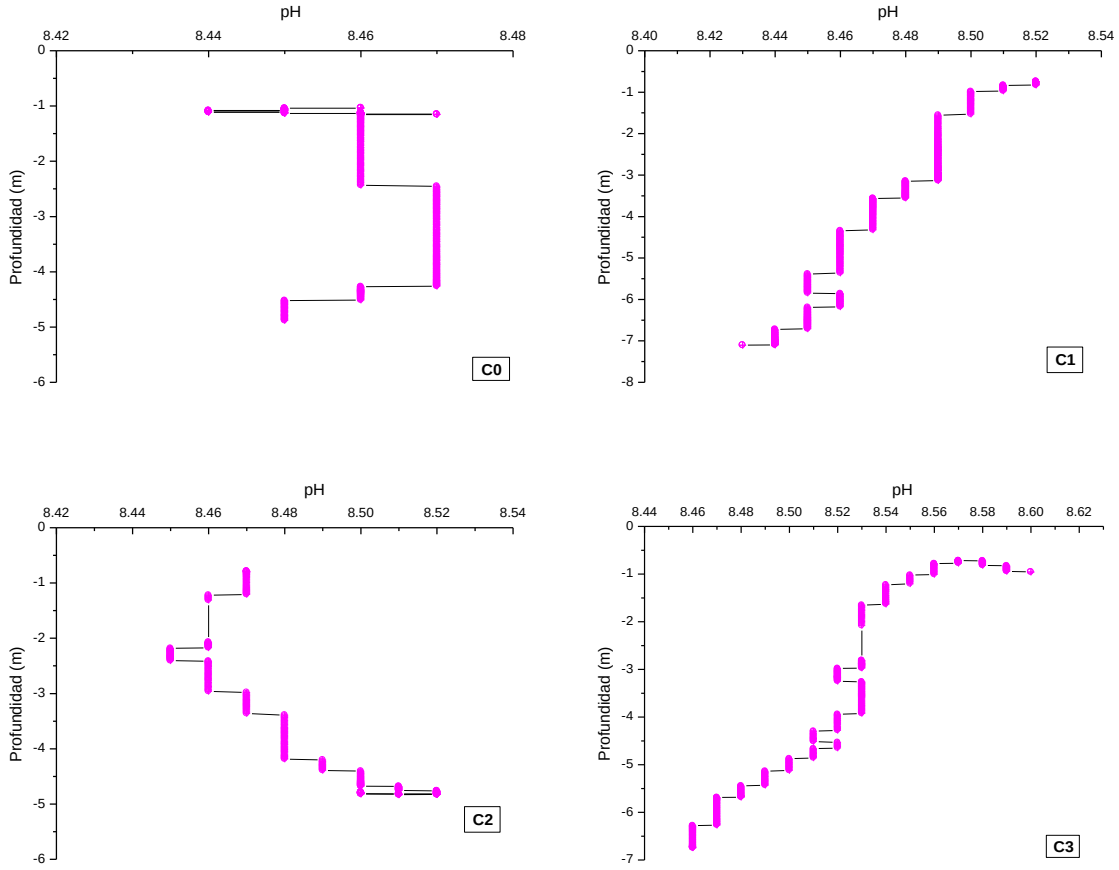



Figura 20.- Perfil de oxígeno disuelto en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). Los puntos C0, C1, C2 y C3 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa.

En la figura 21 y figura 22, observamos las unidades de pH para diferentes puntos de monitoreo, donde las unidades de pH variaron de 5 a 8. El punto A orilla muestra como el pH aumenta a medida que la sonda va profundizándose. Siendo el único punto que muestra un pH de 5. En comparación a los otros puntos, que muestran valores de pH 8, ello posiblemente a la hora de muestreo (7 am aproximadamente), con masas de agua tranquilas. Por lo que se presumen que los valores de pH varían con la hora en la cual se realiza un muestreo, según la data obtenida.

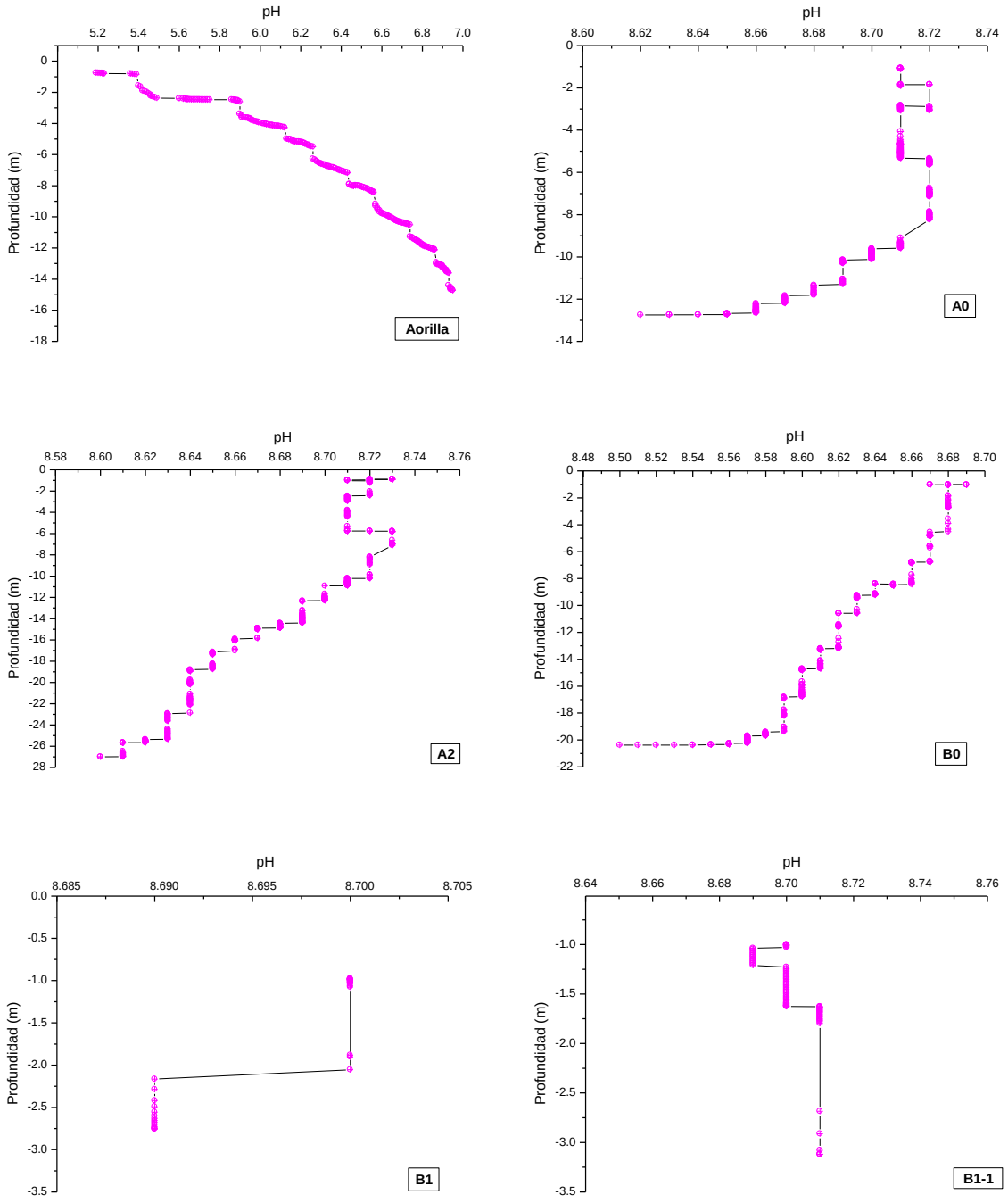



Figura 21.- Perfil de pH en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). El punto de monitoreo Aorilla, A0, A2 y B0, muestra los valores de temperatura para las zonas más profundas del reservorio. Los puntos B1 y B1-1 muestran el perfil térmico

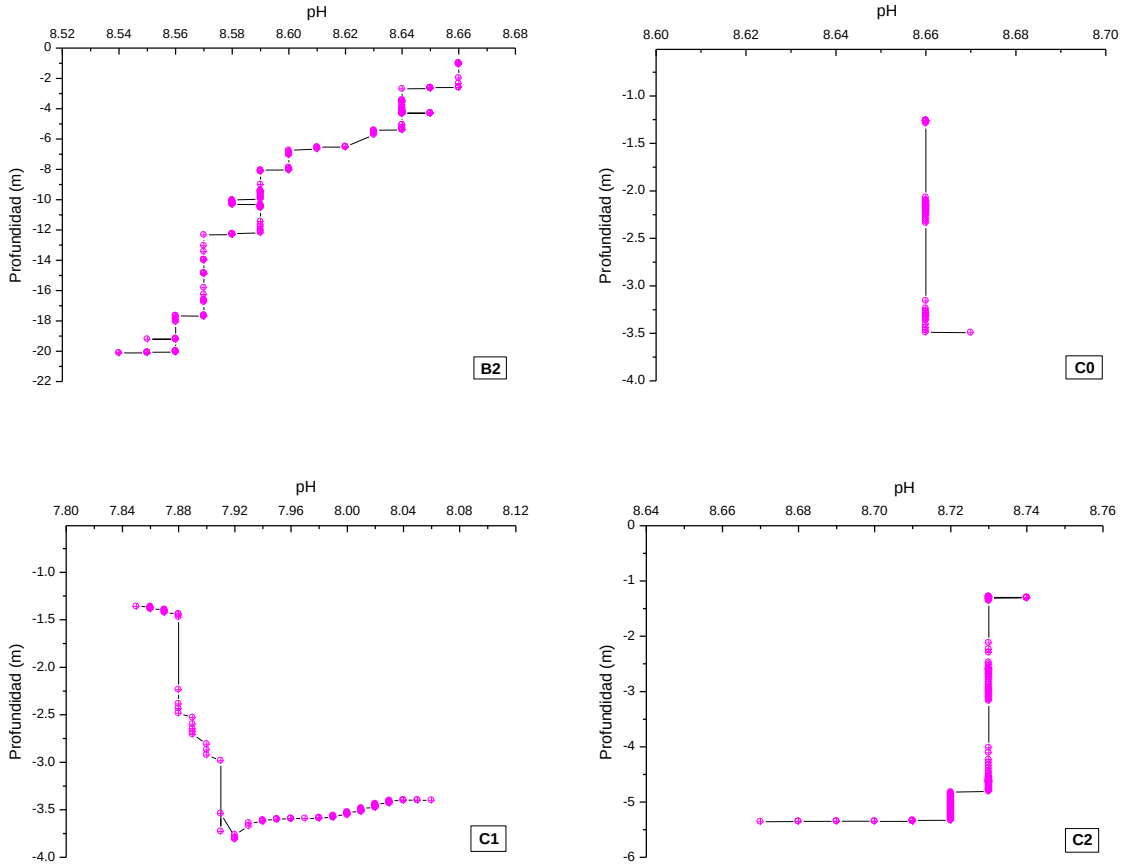



Figura 22.- Perfil de pH en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). Los puntos C0, C1, y C2 muestran valores de temperatura de la zona de ingreso de agua a la represa. El Punto B2 muestra el perfil térmico de la zona media central de la

En la figura 23, observamos el perfil de pH para toda la represa en las 3 temporadas de monitoreo (abril, julio y octubre), donde los valores promedios oscilaron entre 7.9 a 8.6. Teniendo como resultado que la represa de Aguada Blanca presenta valores de pH básico para las masas de agua.

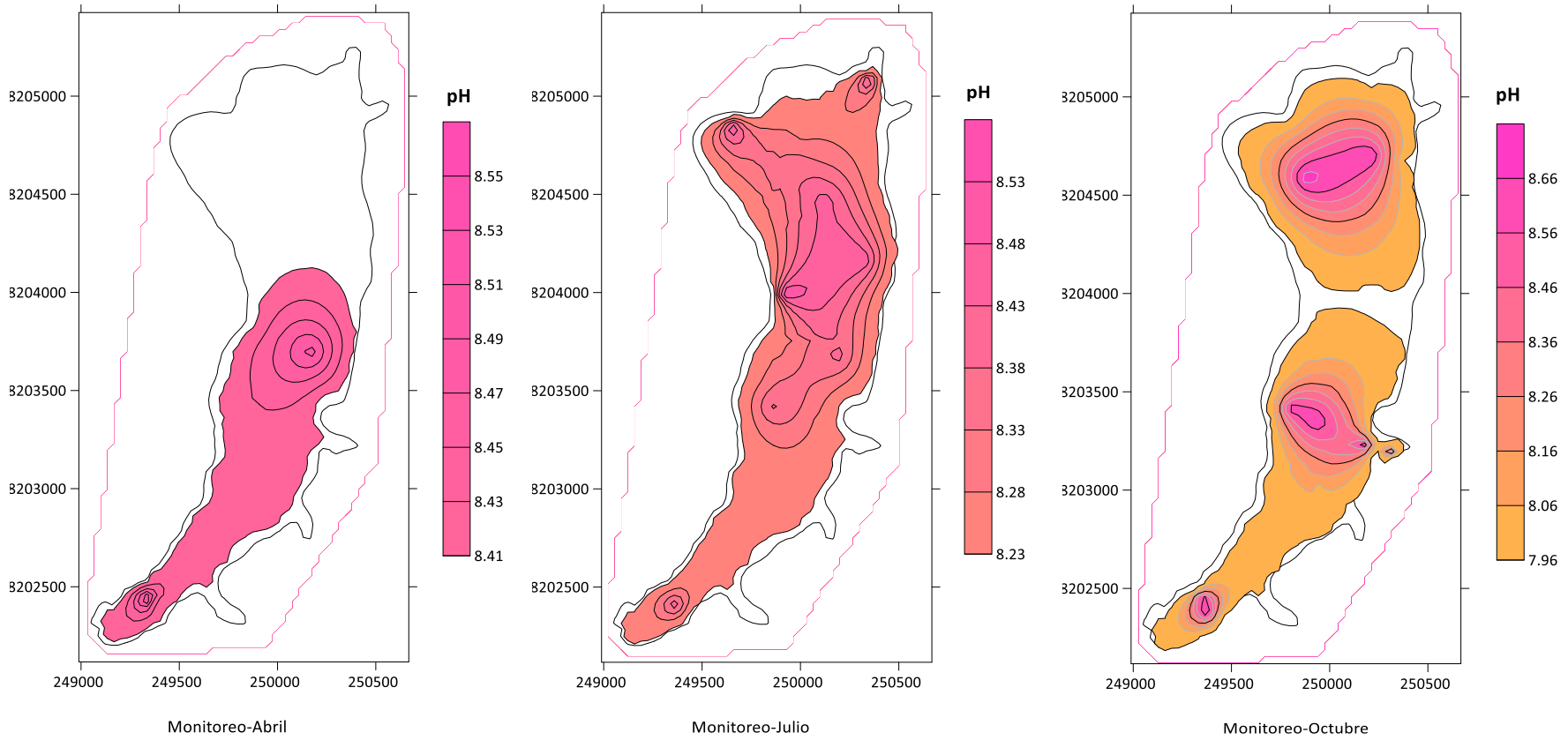



Figura 23.- Perfil de pH de la represa de Aguada Blanca 2019, mes de abril, julio y octubre.

## D. Perfil de nitratos en la columna de agua

La concentración de nitratos en los 3 periodos de monitoreo presentaron diferencias entre las concentraciones, el monitoreo de abril en horas de la mañana las concentraciones en el punto Aorilla presento como máxima concentración valores por encima de 7.4 ppm el cual disminuye a medida que aumenta la profundidad. Para los puntos A0, A2 y B0 las concentraciones estuvieron entre 0.9 a 0.2 ppm de nitratos, presentándose las mayores concentraciones a menor profundidad (figura 24).

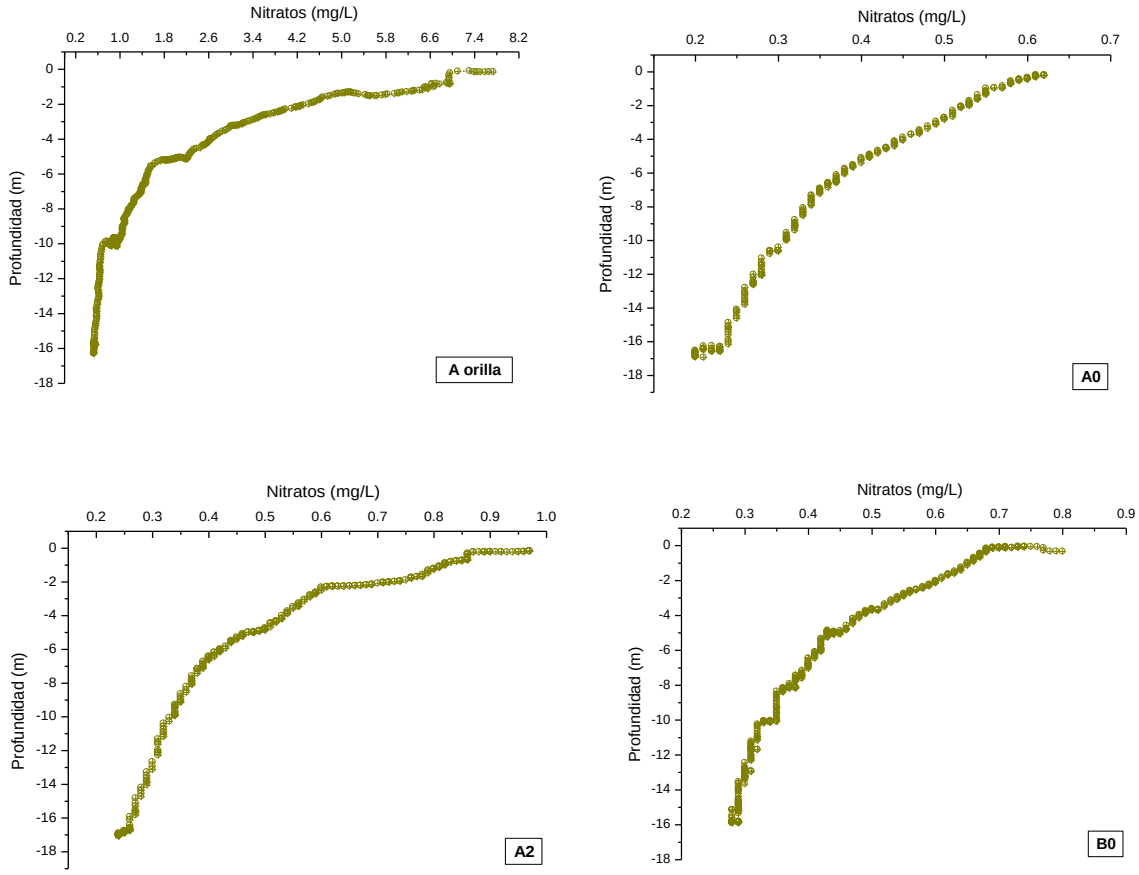



Figura 24.- Perfil de nitratos en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de abril (2019), en relación a la profundidad de cada punto de monitoreo.

En el mes de julio la concentraciones de nitratos oscilaron entre 1.1 a 14 ppm de nitrato en el agua, en el punto A orilla T se presentó la mayor concentración de nitratos, y los puntos como

A0, B0 y C3 presentaron valores mayores a 5 ppm de nitratos en la superficie, mientras que los puntos B1, B4, C2, C1 y C0 presentaron valores por debajo de 5 ppm de nitratos en la superficie.

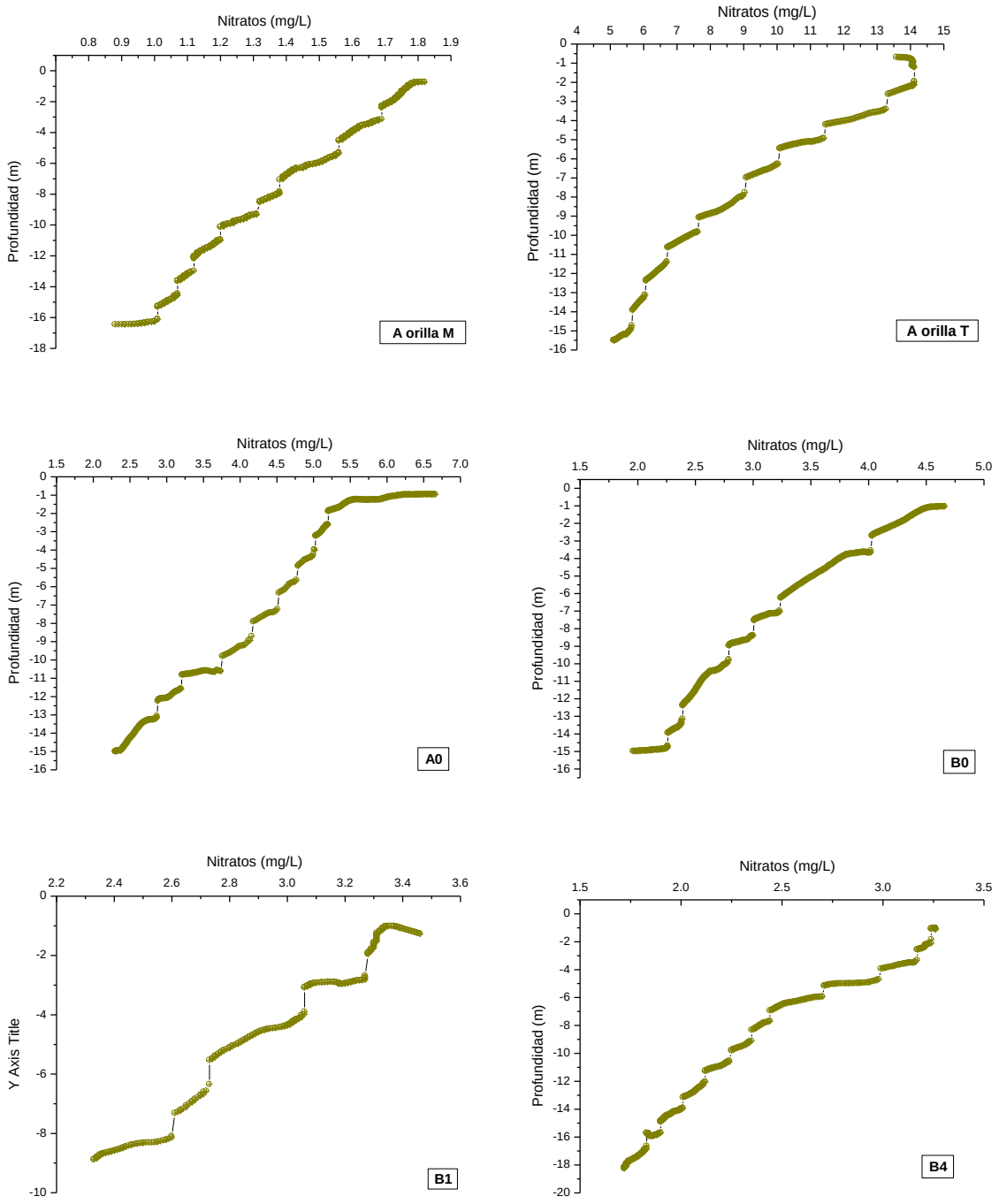



Figura 25.- Perfil de nitratos en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019).

En la figura 25 se observar el aumento de la concentración de nitratos en un mismo punto (A orilla M y A orilla T). En el mes de julio se monitoreo un punto en la mañana y en la tarde, donde se observa que en horas de la mañana la concentración de nitratos es baja (1.8 a 0.8 ppm) y en horas de la tarde esta concentración aumenta hasta 14 ppm y los demás puntos de monitoreo presentan valores por debajo de los 5 ppm de nitratos. En la figura 26, los valores de nitratos para las zonas que presentan bajas profundidades mostraron similar comportamiento en relación a los puntos de mayor profundidad.

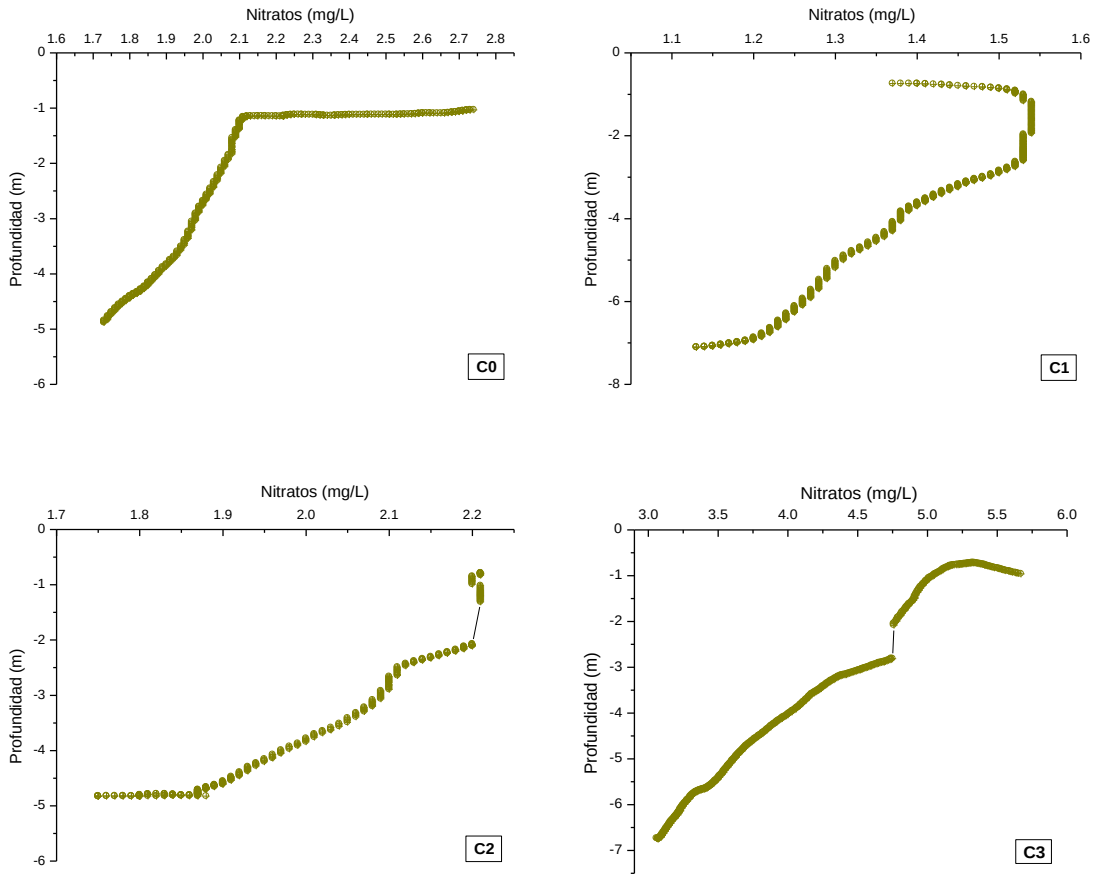



Figura 26.- Perfil de nitratos en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de julio (2019). Los puntos C0, C1, C2 y C3, se muestra los valores de nitratos en la zona de ingreso de agua a la represa.

En el mes de octubre la concentraciones de nitratos oscilaron entre 0.04 a 60 ppm de nitrato en el agua, en el punto A orilla se presentó la mayor concentración de nitratos, y los puntos como A0, A2, B0, B1, B1-1 y B2 presentaron valores menores a 1 ppm de nitratos en la

superficie, mientras que los puntos C2, C1 y C0 presentaron valores por encima de 1 ppm de nitratos en la superficie (ver figura 27).

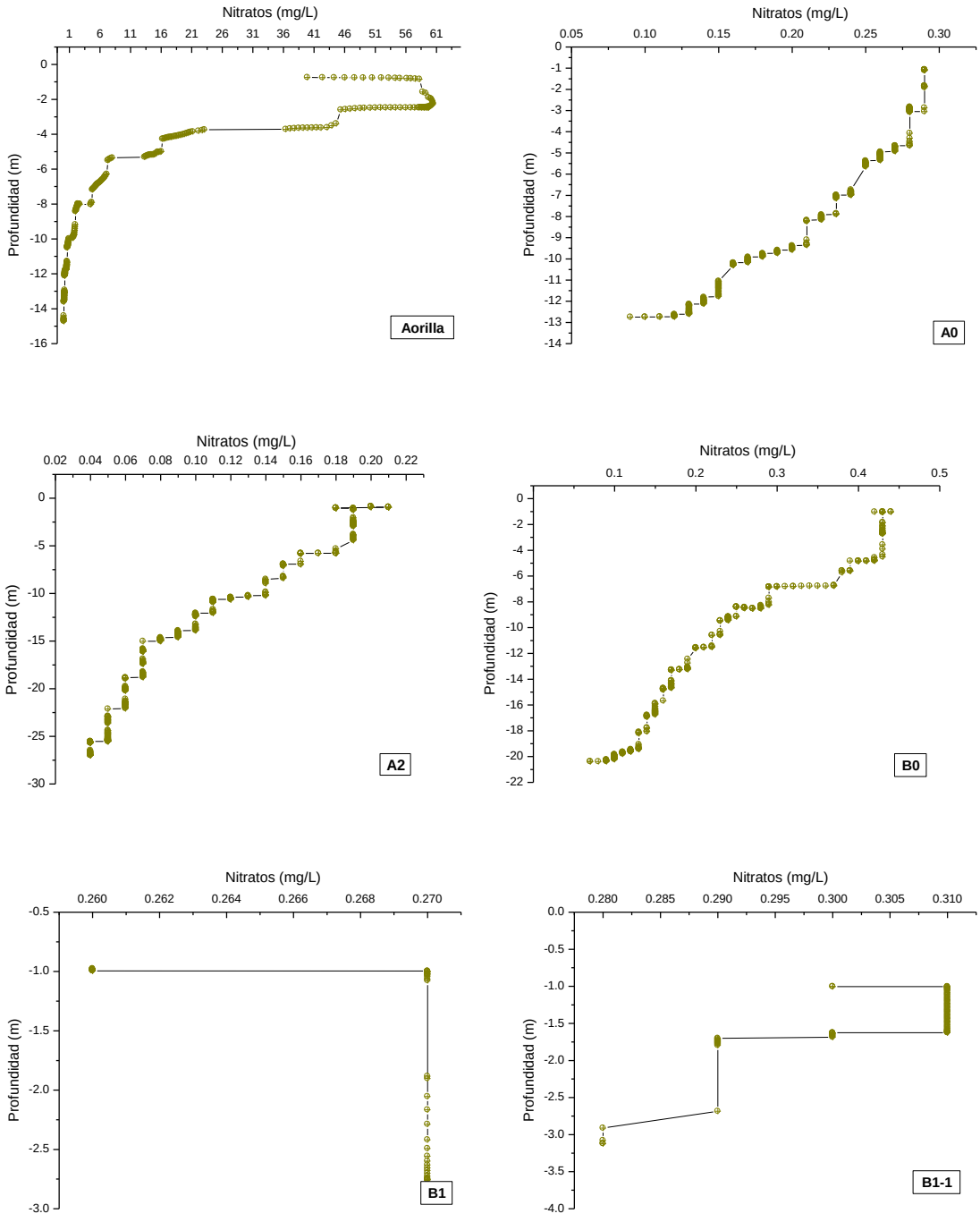



Figura 27.- Perfil de nitratos en 6 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). El punto de monitoreo A orilla, A0, A2 y B0, muestra los valores de temperatura para las zonas más profundas del reservorio.

En la figura 28 A orilla se puede observar el perfil de nitratos en la columna de agua, y como disminuye su concentración a medida que va aumentado la concentración. Este punto es el que mayores valores de nitratos alcanza para hora de la 7:00 horas. Los puntos de la zona A y B (A0, A2, B0, B1, B1-1 y B2) fueron tomados entre las 10 a 2 de la tarde (pm), el cual a esas hora presenta diferencias climatológicas principalmente fuertes vientos, que haría que las concentraciones encontradas en horas de 10 a 2 pm sean completamente diferentes valores tomadas en horas de la mañana, donde la represa las masas de agua se encuentran quietas.

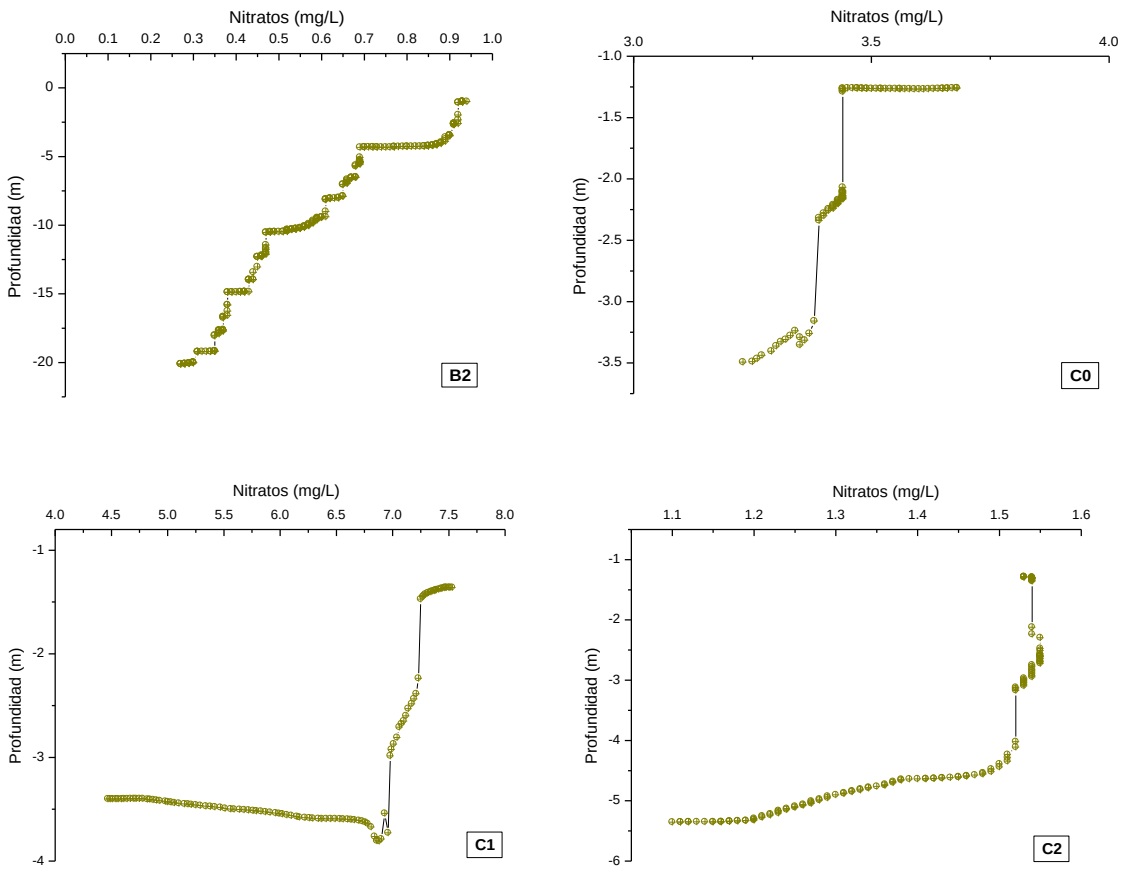



Figura 28.- Perfil de nitros en 4 puntos de la represa de Aguada Blanca, mes de octubre (2019). Los puntos C0, C1, y C2 muestran valores de nitratos de la zona de ingreso de agua a la represa.

En la figura 29 observamos los puntos de entrada de agua a la represa (C), donde se observa valores por encima de 1 ppm para los puntos C0, C1 y C3.

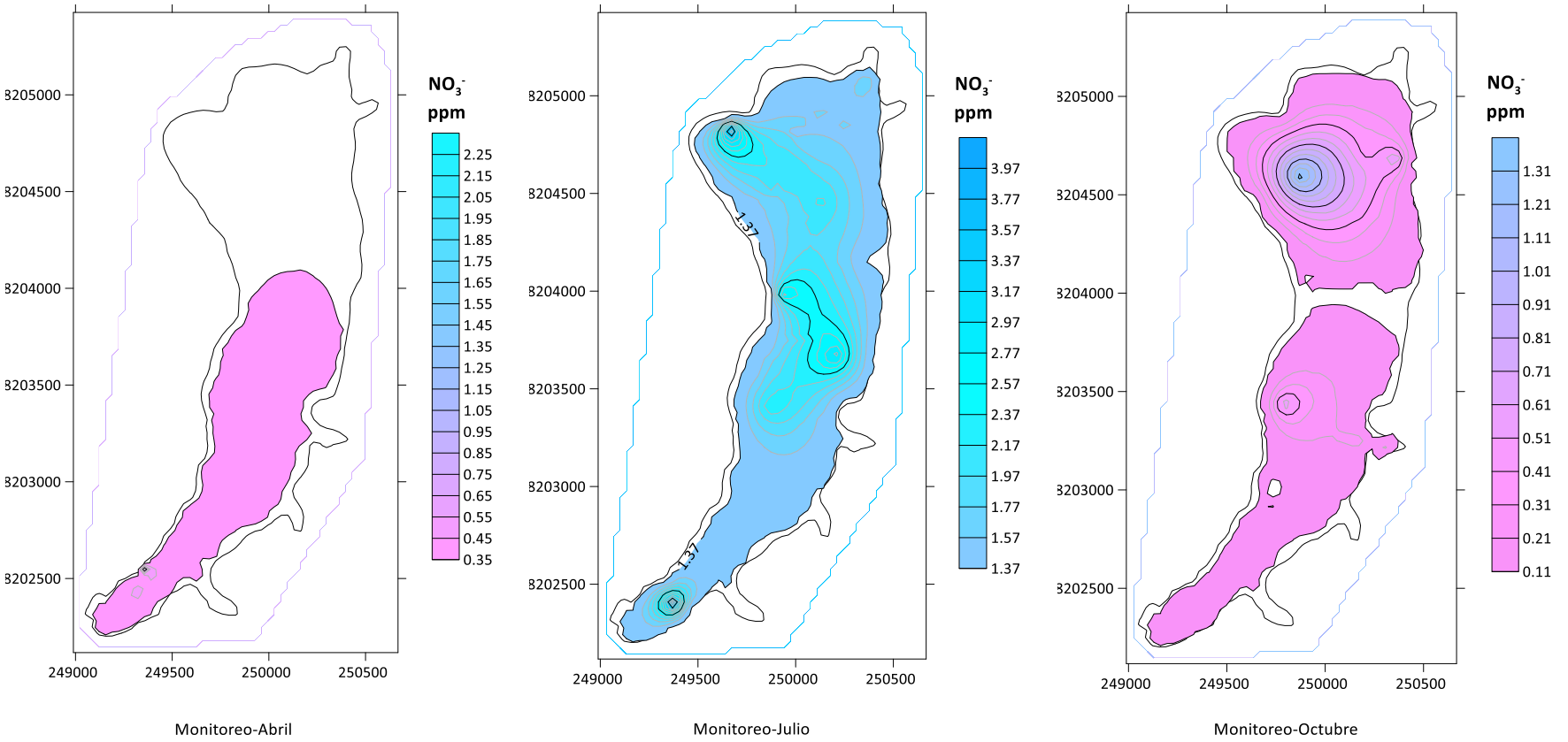



Figura 29.- Perfil de nitratos de 3 temporadas de monitoreo abril, julio y octubre del 2019.

## E. Fosfato en agua

En la tabla 5, 6 y 7 observamos la concentración de fosforo disponible en diferentes puntos de la repesa de agua blanca, la cual muestra que la concentración de fosforo disponible incrementa de abril a octubre, posiblemente debido a que el fosforo por la condiciones limnológicas del sistema acuáticos tiende a re-suspenderse.

Tabla 5.- Concentración de fosfatos en muestras de agua bentónica, abril (2019).

| **Puntos y meses de muestreo** | **Coordenadas UTM** | | **Concentración (mg $L^{-1}$)** |
|---|---|---|---|
| | **X** | **Y** | |
| A2 | 249327.7 | 8202432.8 | 0.0163 |
| B0 | 250160.5 | 8203683.4 | 0.0118 |
| A0 | 249366.5 | 8202408.9 | 0.0103 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.- Concentración de fosfatos en muestras de agua bentónica, julio (2019).

| **Puntos y meses de muestreo** | **Coordenadas UTM** | | **Concentración (mg $L^{-1}$)** |
|---|---|---|---|
| | X | Y | |
| A0 | 249365.4 | 8202408.9 | 0.0194 |
| B4 | 249853.3 | 8203418.6 | 0.0159 |
| B0 | 250198 | 8203676.1 | 0.0194 |
| B1 | 249908.8 | 8203993.8 | 0.0213 |
| C3 | 249649.8 | 8204846.7 | 0.0284 |
| C2 | 250344.6 | 8205079.3 | 0.0311 |
| C0 | 250118.4 | 8204464.5 | 0.0250 |
| C1 | 250328.2 | 8204164.7 | 0.0239 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.- Concentración de fosfatos en muestras de agua bentónica, octubre (2019).

| Puntos y meses de muestreo | Coordenadas UTM | | Concentración (mg $L^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| | X | Y | |
| A2 | 249337.6 | 8202502.7 | 0.0387 |
| A0 | 249375.2 | 8202396.8 | 0.0425 |
| B-1-1 | 250288.6 | 8203229.8 | 0.0288 |
| B1 | 250172.9 | 8203252.9 | 0.0300 |
| B0 | 249920.2 | 8203367.3 | 0.0406 |
| B2 | 249777.1 | 8203439.9 | 0.0341 |
| C2 | 249863.3 | 8204602.2 | 0.0440 |
| C0 | 250207.5 | 8204716.9 | 0.0413 |
| C1 | 250357.6 | 8204685.4 | 0.0398 |

Fuente: Elaboración propia

## A. $DBO_5$ y DQO

Los valores de $DBO_5$ y DQO se encuentran dentro de lo establecido en la DS. 004-2017-MINAM, por lo cual se puede concluir que no existe abundante materia orgánica. Ver tabla 8.

Tabla 8.- Concentración de $DBO_5$ y DQO en la represa de Aguada Blanca.

| Puntos y meses de muestreo | Coordenadas UTM | | $DBO_5$ (mg $L^{-1}$) | DQO (mg $L^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|
| | X | Y | | |
| A0-abr | 249366.5 | 8202408.9 | <2.00 | 12.09 |
| B0-abr | 250160.5 | 8203683.4 | <2.00 | 43.91 |
| A0-jul | 249365.4 | 8202408.9 | <2.00 | 14.6 |
| B0-jul | 250198 | 8203676.1 | <2.00 | 10.5 |
| B4-jul | 249853.3 | 8203418.6 | <2.00 | 28.7 |
| C0-jul | 250118.4 | 8204464.5 | <2.00 | 10.7 |
| A0-oct | 249375.2 | 8202396.8 | <2.00 | <10 |
| B0-oct | 249920.2 | 8203367.3 | <2.00 | <10 |
| C0-oct | 250207.5 | 8204716.9 | <2.00 | 12.7 |

Fuente: Elaboración propia

## TEMPERATURA

La temperatura es un factor primordial que influye en las características físicas y químicas, además de ser elemento importante en la regulación de los distintos procesos biológicos de cuerpos de agua, es la estructura térmica (Carlos A. Benjumea, et al. 2007). En la figura 11, se observa las temperaturas medias en relación a los puntos de monitoreo tomados, que corresponden al mes de abril la cual oscila de 11.77 a 12.19 °C.; para el mes de julio oscila de 6.63 a 6.37°C y para el mes de octubre de 10 a 12.6 °C. Esta variación de temperatura en el embalse variar de acuerdo al clima propia de la zona (Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca); siendo la temperatura ambiental entre los 5 y los 15°C en el promedio anual, la que depende de la estación anuales que comprenden la de otoño-invierno que comprendido entre los meses de abril a setiembre y la estación de primavera-verano comprendido los entre los meses de octubre a marzo (Talavera et al., 2010). Según Vera et al., realizo un estudio de los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua de la represa de aguada blanca en octubre del 2016; reporto una temperatura promedio de 11.4 °C; indica que con el avance de mes y la próxima llegada del verano la temperatura promedio ambiental se va incrementando y a su vez corroborando los resultados obtenidos para el mes de octubre. Otro factor que influye en relación a la temperatura del agua es la duración del día que a su vez influye en la temperatura ambiental y está en las horas que se realizó el monitoreo (Welcomme 1980); habiendo iniciado el monitoreo a las primeras horas del día los puntos próximos a la bocatoma y al medio día -la tarde la zona media y la cola.

## pH

Se registró un valor pH medio para el mes de abril de 8.51 a 8.55 unidades, para el mes de julio de 8.23 a 8.53 unidades y para el mes de octubre de 7.96 a 8.71 para el embalse (figura 23). No se presentaron cambios marcados diferencialmente de pH, el mayor registro fue encontrado en el mes de octubre presentando una característica ligeramente alcalina. El intervalo de la concentración adecuado para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecho y crítico, la mayoría de organismos acuáticos prefieren un rango de 6.5 a 8.0, fuera de este rango se reduce a la diversidad por estrés fisiológico y la reproducción (Roldán, 2003). El rango obtenido es aceptable según los valores de pH para aguas de producción de

agua potable por un tratamiento convencional, según los Estándares de Calidad Ambiental establecido para el agua (D.S. N° 004-2017-MINAM), siendo este de 6.5 a 9.0 de pH.

**OXIGENO DISUELTO**

Los valores del OD presentados en el embalse de oscilan en el mes de abril de 6.02 a 7.11 mg/L; en el mes de Julio 7.13 a 7.68 mg/L y en el mes de octubre de 6.6 a 7.06 mg/L. (figura 17). El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua siendo sus valores normales entre los 7.0 y 8.0 mg/L.; siendo la fuente principal del oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por el viento en los lagos (Roldán, 2003). En el D. S. N° 004-2017-MINAM; que establece el nivel de concentración Oxígeno Disuelto en el agua que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo; para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable por un tratamiento convencional (Categoría 1-A2) y Conservación del ambiente acuáticos tipo Lagunas y lagos (Categoría 4-E1) establece dicho valor >5 mg/L; encontrándose los valores del embalse

La concentración del oxígeno disuelto en el agua de un lago depende de la temperatura del agua, que a su vez depende de la radiación solar y de la profundidad. (Moreta, 2008); El oxígeno disminuye conforme la temperatura se incrementa, por lo que puede esperarse que los valores de oxígeno sean altos en los meses fríos y bajos en los meses cálidos (Watch, 2003). Los valores mínimos registrados en el enbalse corresponden al mes de abril (6.02 a 7.11 mg/L), que a su vez corresponde a la estación más cálida del año (primavera-verano) y los valores más altos correspondientes al mes de julio (7.13 a 7.68 mg/L), que corresponde a la estación más fría (Otoño-Invierno); el aumento y disminución de Oxígeno disuelto, corrobora lo mencionado anteriormente.

**$NO_3^-$**

En la figura 29 se observa los valores de $NO_3^-$ en el mes de abril de 0.35-2.25 ppm, en el mes de Julio 1.37 - 3.97 ppm. Y en el mes de octubre de 0.11 – 1.31 ppm. Estas concentraciones de $NO_3^-$ se consideran relativamente bajas, los que sugiere que durante el período estudiado el embalse estuvo menos afectado por la eutrofización. En los ecosistemas dulceacuícolas las

concentraciones de nitrito usualmente son inferiores a 0.001 $mgL^{-1}$; se consideran valores altos a partir de 1 mg $L^{-1}$. En cambio, valores de nitrato por encima de 0.1 mg $L^{-1}$ indican contaminación por fertilizantes agrícolas, residuos industriales y/o albañales (Chapman, 1996). Según los Estándares de Calidad Ambiental establecido para el agua (D.S. N° 004-2017-MINAM) para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable por un tratamiento convencional (Categoría 1-A2), dichos valores anteriormente mencionados, sen encuentran por debajo del ECA que presenta un valor de 50 mg/L (ppm).

**FOSFATOS**

En las tabla 5, 6 y 7, se observa los valores de fosfato tanto en la columna de agua y en el sedimento; lo cual el valor mínimo registrado de fosfato en la columna corresponde al mes de Abril (11.8 – 15.0 µg $L^{-1}$); seguido de Julio (19.4 – 28.4 µg L-1) y por último octubre (30.0 – 44.0 µg L-1). Y los mayores valores de fosfato en el sedimento se registran en el mes de abril (875 – 1180 µg kg-1), seguido de Julio (168 – 738 µg kg-1) y por último de Octubre (156 – 271 µg kg-1). Como se puede apreciar, con los datos obtenidos, existe una acumulación de fosfato en el sedimento desde la columna de agua, la cual está influenciada por las características hidrodinámicas, proximidad de los afluentes, tipo de aporte de los afluentes y actividad primaria en el lugar de muestreo. La actividad primaria puede determinar mayor acumulación de compuestos orgánicos resultantes de la muerte y sedimentación de los organismos asociados (BOLLMANN et al, 2005). El fosforo inorgánico asociado a calcio o al hierro en el sedimento se encuentra en equilibrio con el fosfato disuelto en el agua intersticial. Además, en el sedimento el proceso de descomposición de la materia orgánica mediado por organismos bacterianos implica una liberación de fosfato disuelto, que pasa a incorporarse al agua intersticial. El aporte interno de nutrientes desde el sedimento hacia la columna de agua incrementa la eutrofización de estos sistemas constituyendo una fuente interna de contaminación (Sondergaard et al., 1999).

### 3.1.2. Parámetros físico-químicos en sedimento

#### A. pH en sedimento

La unidades de pH presente en el sedimento de la represa de Aguada Blanca durante las 3 campañas de monitoreo se encontraron entre 5.86 a 6.47 unidades de pH. Ver tabla 9.

Tabla 9.- Valor de pH en muestras de sedimento de la represa de Aguada Blancal (2019).

| Puntos y meses de muestreo | Coordenadas UTM | | pH |
|---|---|---|---|
| | X | Y | |
| A0-abr | 249366.5 | 8202408.9 | 6.22 |
| B0-abr | 250160.5 | 8203683.4 | 6.47 |
| A0-jul | 249365.4 | 8202408.9 | 5.96 |
| B0-jul | 250198 | 8203676.1 | 6.02 |
| C0-jul | 250118.4 | 8204464.5 | 6.01 |
| A0-oct | 249375.2 | 8202396.8 | 5.86 |
| B0-oct | 249920.2 | 8203367.3 | 5.95 |
| C0-oct | 250207.5 | 8204716.9 | 5.90 |

Fuente: Elaboración propia

#### B. Materia orgánica en sedimento

El porcentaje (%) de materia orgánica (MO) en la represa de aguada blanca incrementa a medida que se acerque a la zona de represamiento (A), en la zona de ingreso el porcentaje un valor bajo (3.44%), porque la represa de aguada blanca de acuerdo a la forma que presenta tiene valores de MO entre 3.44 a 6.30 %, siendo las zonas A y B la que presentas los mayores porcentajes (ver tabla 10).

#### C. Fosfatos en sedimentos

La concentración de fosfatos en las muestras de sedimentos disminuyó de abril a octubre. Siendo la mayor concentración de 1180. 2 mg $kg^{-1}$para el mes de abril y la menor concentración de 271.4 mg $kg^{-1}$ en la zona de represamiento.

La distribución de fosfatos aumenta su concentración de la zona de ingreso de agua a la zona de represamiento. Ver tabla 11.

Tabla 10.- Concentración de materia orgánica (MO) en la represa de Aguada Blanca (2019).

| Puntos y meses de muestreo | Coordenadas UTM | | MO (%) |
|---|---|---|---|
| | X | Y | |
| A0-abr | 249366.5 | 8202408.9 | 5.30 |
| B0-abr | 250160.5 | 8203683.4 | 4.75 |
| A0-jul | 249365.4 | 8202408.9 | 6.30 |
| B0-jul | 250198 | 8203676.1 | 5.17 |
| C0-jul | 250118.4 | 8204464.5 | 5.54 |
| A0-oct | 249375.2 | 8202396.8 | 6.27 |
| B0-oct | 249920.2 | 8203367.3 | 6.15 |
| C0-oct | 250207.5 | 8204716.9 | 3.44 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.- Concentración de Fosfatos en la represa de Aguada Blanca (2019).

| Puntos y meses de muestreo | Coordenadas UTM | | Concentración (mg $kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| | X | Y | |
| A0-abr | 249366.5 | 8202408.9 | 1180.2 |
| B0-abr | 250160.5 | 8203683.4 | 874.6 |
| A0-jul | 249365.4 | 8202408.9 | 735.7 |
| B0-jul | 250198 | 8203676.1 | 719.8 |
| C0-jul | 250118.4 | 8204464.5 | 438.1 |
| C2-jul | 250344.6 | 8205079.3 | 168.3 |
| A0-oct | 249375.2 | 8202396.8 | 271.4 |
| B0-oct | 249920.2 | 8203367.3 | 251.6 |
| C0-oct | 250207.5 | 8204716.9 | 156.3 |

Fuente: Elaboración propia

## 3.2 Concentración de elementos ecotóxicos en sedimento y agua de la zona bentónica de la represa de Aguada Blanca, Arequipa.

### 3.2.1. Concentración de elementos ecotóxicos en agua de la represa de Aguda Blanca

Los principales elementos analizados en sedimento y agua fueron: Fosforo (P), Boro (B), Aluminio (Al), Arsénico (As), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Níquel (Ni), Molibdeno (Mo), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn) y Bario (Ba) en los meses de abril, julio y octubre del 2019.

La tabla 12, presenta valores de 2 puntos de monitoreo de los elementos analizados en el mes de abril, y se observa que la concentración de fosforo se encuentra entre 0.28 a 0.45, boro 0.10 a 0.12, arsénico 0.0073 a 0.0094, cromo 0.0003 a 0.0005, cadmio 0.00003 a 0.00021, plomo 0.0002 a 0.0006 mg/L. Se observa que elementos como: Al, Sb, Ni, Mo, Cu, Fe, Zn, Mn y Ba presentan bajas concentraciones en el mes de abril a excepción del Fe.

La tabla 13, presenta valores de 4 puntos de monitoreo de elementos analizados, y se observa que la concentración de fosforo se encuentra entre 0.009 a 0.019, boro entre 0.15 a 0.18, arsénico 0.011 a 0.13, cromo <0.0002, cadmio <0.00003 a 0.00005, plomo 0.0002 a 0.0006 mg/L. Se observa que elementos como: Al, Sb, Ni, Mo, Cu, Fe, Zn, Mn y Ba presentan bajas concentraciones en el mes de julio

La tabla 14, presenta valores de 3 puntos de monitoreo de elementos analizados, y se observa que la concentración de fosforo se encuentra entre 0.087 a 0.093, boro entre 0.10 a 0.12, arsénico 0.010 a 0.011, cromo 0.0003 a 0.0005, cadmio <0.0003, plomo <0.0001 a 0.0003 mg/L. Se observa que elementos como: Al, Sb, Ni, Mo, Cu, Fe, Zn, Mn y Ba presentan bajas concentraciones en el mes de octubre

Tabla 12.- Concentración de elementos en muestras de agua bentónica de dos puntos de monitoreo del mes de abril (2019).

| MATRIZ | UNIDAD | ELEMENTO | ABRIL | |
|---|---|---|---|---|
| | | | A0 | B0 |
| AGUA | mg/L | Fosforo | 0.028 | 0.045 |
| | | Boro | 0.1258 | 0.1025 |
| | | Aluminio | 0.184 | 0.235 |
| | | Arsénico | 0.00944 | 0.00737 |
| | | Cromo | 0.0003 | 0.0005 |
| | | Cadmio | 0.00003 | 0.00021 |
| | | Plomo | 0.0002 | 0.0006 |
| | | Antimonio | 0.0002 | 0.0002 |
| | | Níquel | 0.00056 | 0.00055 |
| | | Molibdeno | 0.00103 | 0.00109 |
| | | Cobre | 0.0017 | 0.0016 |
| | | Zinc | 0.01665 | 0.01598 |
| | | Hierro | 0.2208 | 0.302 |
| | | Manganeso | 0.01242 | 0.02306 |
| | | Bario | 0.0242 | 0.023 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13.- Concentración de elementos en muestras de agua bentónica de dos puntos de monitoreo del mes de julio (2019).

| MATRIZ | UNIDAD | ELEMENTO | JULIO | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A0 | B0 | B4 | C0 |
| AGUA | mg/L | Fosforo | 0.011 | 0.01 | 0.009 | 0.019 |
| | | Boro | 0.1535 | 0.1713 | 0.1596 | 0.1805 |
| | | Aluminio | 0.09 | 0.089 | 0.093 | 0.077 |
| | | Arsénico | 0.01179 | 0.01242 | 0.1207 | 0.1383 |
| | | Cromo | <0.0002 | <0.0002 | <0.0002 | <0.0002 |
| | | Cadmio | 0.00003 | 0.00005 | <0.00003 | <0.00003 |
| | | Plomo | 0.0002 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0002 |
| | | Antimonio | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| | | Níquel | 0.0007 | 0.00073 | 0.0006 | 0.00058 |
| | | Molibdeno | 0.00105 | 0.0151 | 0.0112 | 0.0109 |
| | | Cobre | 0.002 | 0.0022 | 0.0017 | 0.0018 |
| | | Zinc | 0.00967 | 0.00985 | 0.2125 | 0.01192 |
| | | Hierro | 0.1361 | 0.1217 | 0.1156 | 0.1064 |
| | | Manganeso | 0.04758 | 0.02776 | 0.03097 | 0.02072 |
| | | Bario | 0.0245 | 0.0247 | 0.0245 | 0.0254 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.- Concentración de elementos en muestras de agua bentónica de dos puntos de monitoreo del mes de abril (2019).

| MATRIZ | UNIDAD | ELEMENTO | OCTUBRE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | A0 | B0 | C0 |
| AGUA | mg/L | Fosforo | 0.087 | 0.092 | 0.093 |
| | | Boro | 0.1966 | 0.1959 | 0.2019 |
| | | Aluminio | 0.193 | 0.217 | 0.218 |
| | | Arsénico | 0.01092 | 0.01121 | 0.0113 |
| | | Cromo | <0.0002 | <0.0002 | 0.0002 |
| | | Cadmio | <0.00003 | <0.00003 | <0.00003 |
| | | Plomo | <0.0001 | 0.0001 | 0.0003 |
| | | Antimonio | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 |
| | | Níquel | 0.00039 | 0.00043 | 0.00045 |
| | | Molibdeno | 0.00098 | 0.00096 | 0.00101 |
| | | Cobre | 0.0019 | 0.0018 | 0.0027 |
| | | Zinc | 0.01983 | 0.01912 | 0.05229 |
| | | Hierro | 0.1029 | 0.1393 | 0.1285 |
| | | Manganeso | 0.025 | 0.04 | 0.022 |
| | | Bario | 0.02496 | 0.02591 | 0.02461 |

Fuente: Elaboración propia

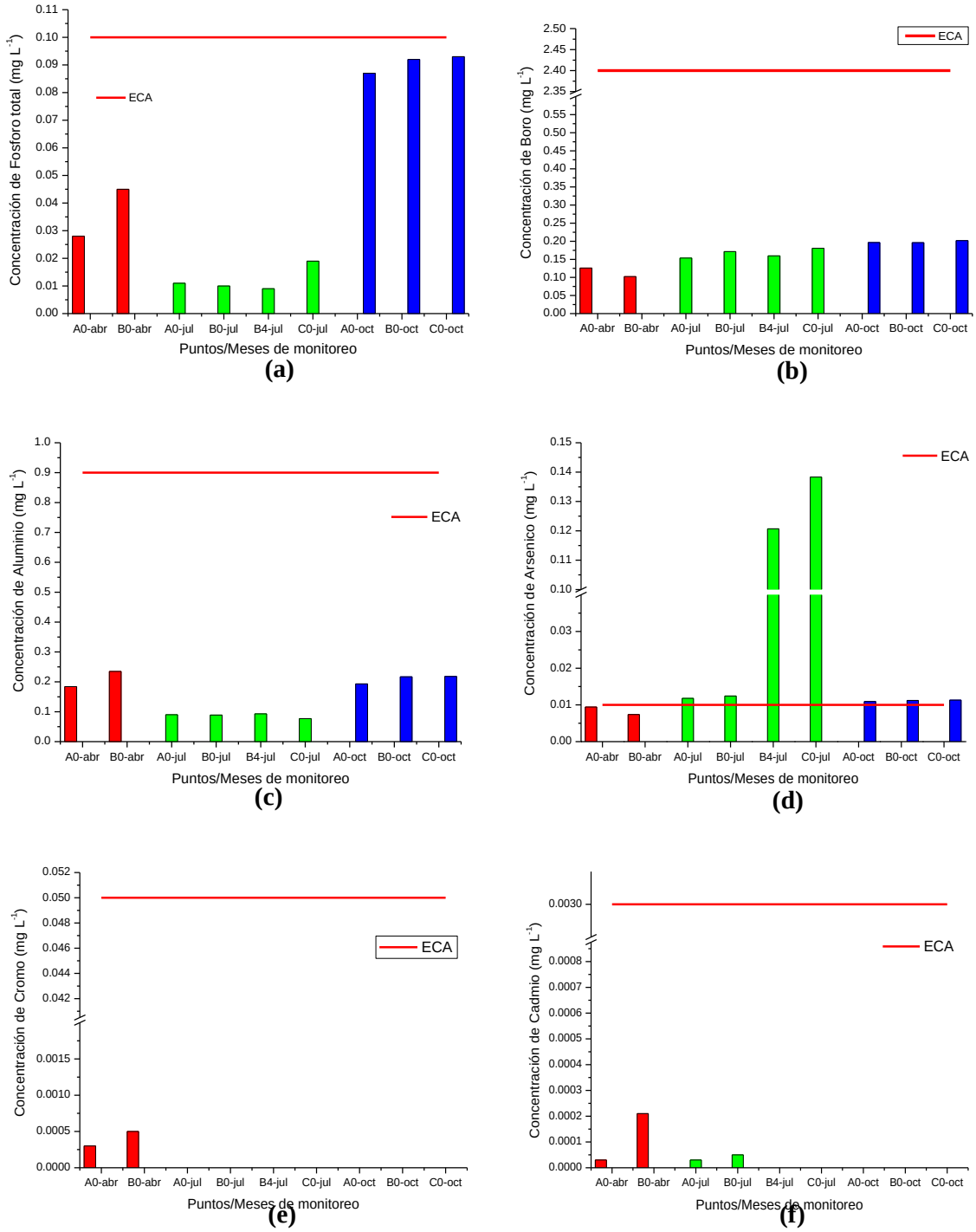



Figura 30.- Elementos en agua parte 1: (a) Fosforo, (b) Boro, (c) Aluminio, (d) Arsénico, (e) Cromo y (f) Cadmio.

Fuente: elaboración propia

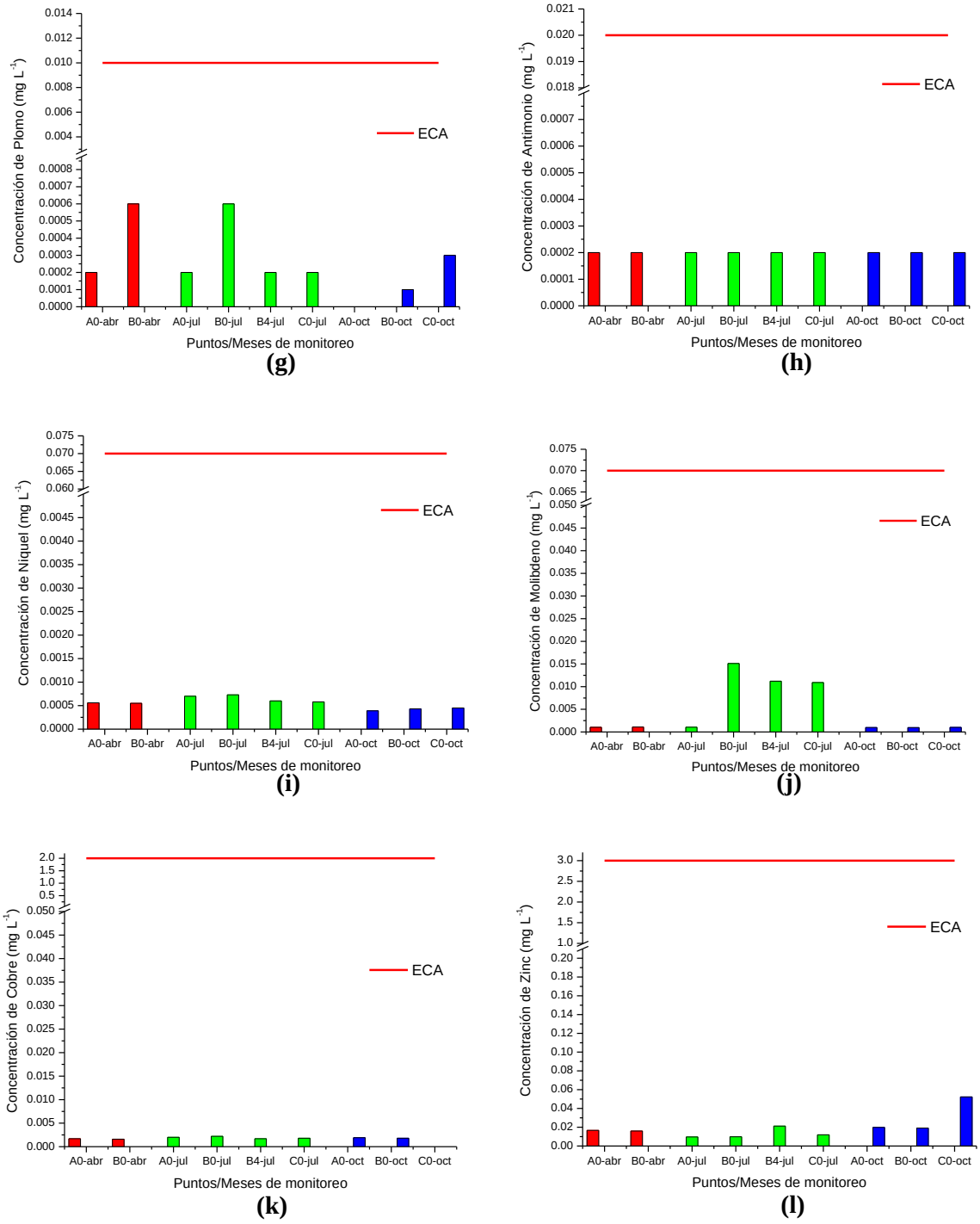



Figura 31.- Elementos en agua parte 2: (g) Plomo, (h) Antimonio, (i) Níquel, (j) Molibdeno, (k) Cobre y (l) Zinc.

Fuente: elaboración propia

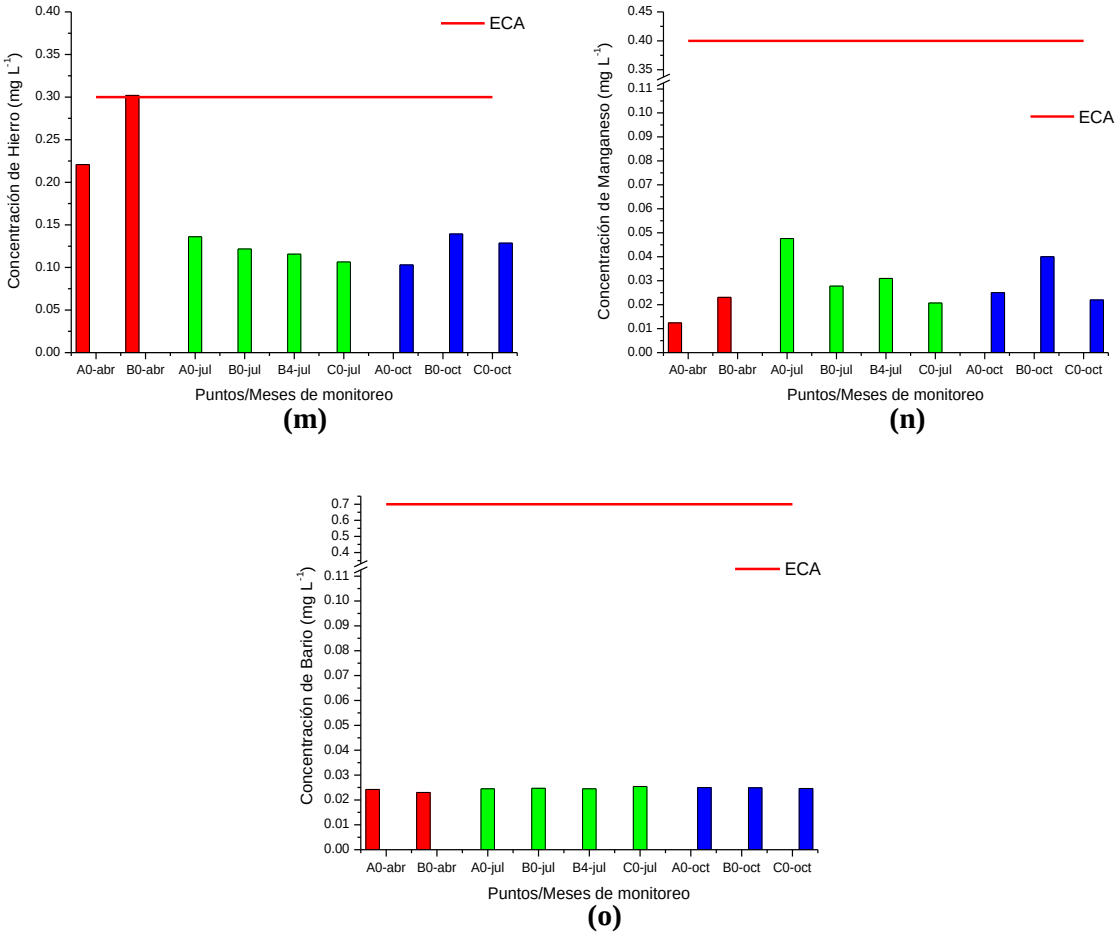



Figura 32.- Elementos en agua parte 3: (m) Hierro, (n) Manganeso y (o) Bario.

Fuente: elaboración propia

Los resultados de análisis de elementos ecotóxicos, muestran que 14 de los elementos ecotóxicos analizados se encuentran dentro de la normativa de calidad ambiental, siendo el arsénico el único elemento que supera y mantiene una tendencia a estar en límite del ECA (ver figura 30, 31 y 32).

### 3.2.2. Concentración de elementos ecotóxicos en sedimento de la represa de Aguda Blanca

Los principales elementos analizados en sedimento y agua fueron: Fosforo (P), Boro (B), Aluminio (Al), Arsénico (As), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Níquel

(Ni), Molibdeno (Mo), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Bario (Ba) en los meses de abril, julio y octubre del 2019.

La tabla 15, presenta valores de 2 puntos de monitoreo de los elementos analizados en el mes de abril, y se observa que la concentración de fosforo se encuentra entre 1492 a 1733, boro <0.2, arsénico 13.8 a 20.6, cromo 10.68 a 20.6, cadmio 1.42 a 1.64, plomo 10.72 a 20.96 mg/kg PS. Se observa que elementos como: Al, Sb, Ni, Mo, Cu, Fe, Zn, Mn y Ba presentan considerables concentraciones en el sedimento del mes de julio presentan considerables concentraciones en el sedimento del mes de abril.

La tabla 16, presenta valores de 4 puntos de monitoreo de elementos analizados, y se observa que la concentración de fosforo se encuentra entre 287 a 1016, boro entre <0.2 a 0.8, arsénico 5.2 a 10.5, cromo 4.91 a 6.47, cadmio 2.16 a 2.5, plomo 6.91 a 18.16 mg/kg PS. Se observa que elementos como: Al, Sb, Ni, Mo, Cu, Fe, Zn, Mn y Ba presentan considerables concentraciones en el sedimento del mes de julio

La tabla 17, presenta valores de 3 puntos de monitoreo de elementos analizados, y se observa que la concentración de fosforo se encuentra entre 255 a 416, boro entre <5.5 a 8.1, arsénico 8 a 19.5, cromo 6.9 a 8.72, cadmio 0.14 a 0.34, plomo 7.93 a 2076 mg/kg PS. Se observa que elementos como: Al, Sb, Ni, Mo, Cu, Fe, Zn, Mn y Ba presentan considerables concentraciones en el sedimento del mes de octubre

Tabla 15.- Concentración de elementos en muestras de sedimentos de dos puntos de monitoreo del mes de abril (2019).

| MATRIZ | UNIDAD | ELEMENTO | ABRIL | |
|---|---|---|---|---|
| | | | A0 | B0 |
| SEDIMENTO | mg $kg^{-1}$ PS | Fosforo | 1733 | 1492 |
| | | Boro | <0.2 | <0.2 |
| | | Aluminio | 13331 | 10361 |
| | | Arsénico | 20.6 | 13.8 |
| | | Cromo | 11.05 | 10.68 |
| | | Cadmio | 1.64 | 1.42 |
| | | Plomo | 22.96 | 18.72 |
| | | Antimonio | 2.8 | 2.3 |
| | | Níquel | 12.06 | 10.61 |
| | | Molibdeno | 0.4 | <0.2 |
| | | Cobre | 48.4 | 46.4 |
| | | Zinc | 58.8 | 49.7 |
| | | Hierro | >20000 | 18255 |
| | | Manganeso | 649.4 | 450.55 |
| | | Bario | 320.8 | 277.9 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16.- Concentración de elementos en muestras de sedimentos de dos puntos de monitoreo del mes de julio (2019).

| MATRIZ | UNIDAD | ELEMENTO | JULIO | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A0 | B0 | C0 | C-2 |
| SEDIMENTO | mg $kg^{-1}$ PS | Fosforo | 1016 | 1008 | 954 | 287 |
| | | Boro | 0.7 | 0.5 | 0.8 | <0.2 |
| | | Aluminio | 10563 | 8785 | 7294 | 4297 |
| | | Arsénico | 10.5 | 8.2 | 8.8 | 5.2 |
| | | Cromo | 6.47 | 5.93 | 6.21 | 4.91 |
| | | Cadmio | 2.53 | 2.2 | 2.16 | 2.28 |
| | | Plomo | 18.16 | 15 | 16.28 | 6.91 |
| | | Antimonio | 1 | 0.7 | 1 | 0.7 |
| | | Níquel | 6.62 | 5.73 | 5.93 | 3.69 |
| | | Molibdeno | 0.5 | 0.4 | 0.5 | <0.2 |
| | | Cobre | 35.5 | 30.2 | 32.5 | 13,0 |
| | | Zinc | 43.2 | 38.6 | 37.7 | 23.1 |
| | | Hierro | 14104 | 12297 | 11275 | 7662 |
| | | Manganeso | 590 | 402.72 | 277.04 | 151.23 |
| | | Bario | 223.7 | 201 | 199.8 | 113.8 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17.- Concentración de elementos en muestras de sedimentos de dos puntos de monitoreo del mes de octubre (2019).

| MATRIZ | UNIDAD | ELEMENTO | OCTUBRE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | A0 | B0 | C0 |
| SEDIMENTO | mg $kg^{-1}$ PS | Fosforo | 408 | 416 | 255 |
| | | Boro | 8 | 8.1 | 5.5 |
| | | Aluminio | 9552 | 9378 | 4882 |
| | | Arsénico | 19.5 | 18.3 | 8 |
| | | Cromo | 8.67 | 8.72 | 6.9 |
| | | Cadmio | 0.33 | 0.34 | 0.14 |
| | | Plomo | 20.76 | 20.41 | 7.93 |
| | | Antimonio | 0.3 | 0.3 | 0.2 |
| | | Níquel | 10.14 | 10.34 | 6.53 |
| | | Molibdeno | 0.4 | 0.4 | 0.2 |
| | | Cobre | 44.3 | 44.7 | 20.2 |
| | | Zinc | 61.4 | 63.1 | 35.1 |
| | | Hierro | 13289 | 12514 | 7461 |
| | | Manganeso | 687.24 | 563.26 | 163.72 |
| | | Bario | 333.5 | 318.2 | 182.9 |

Fuente: Elaboración propia

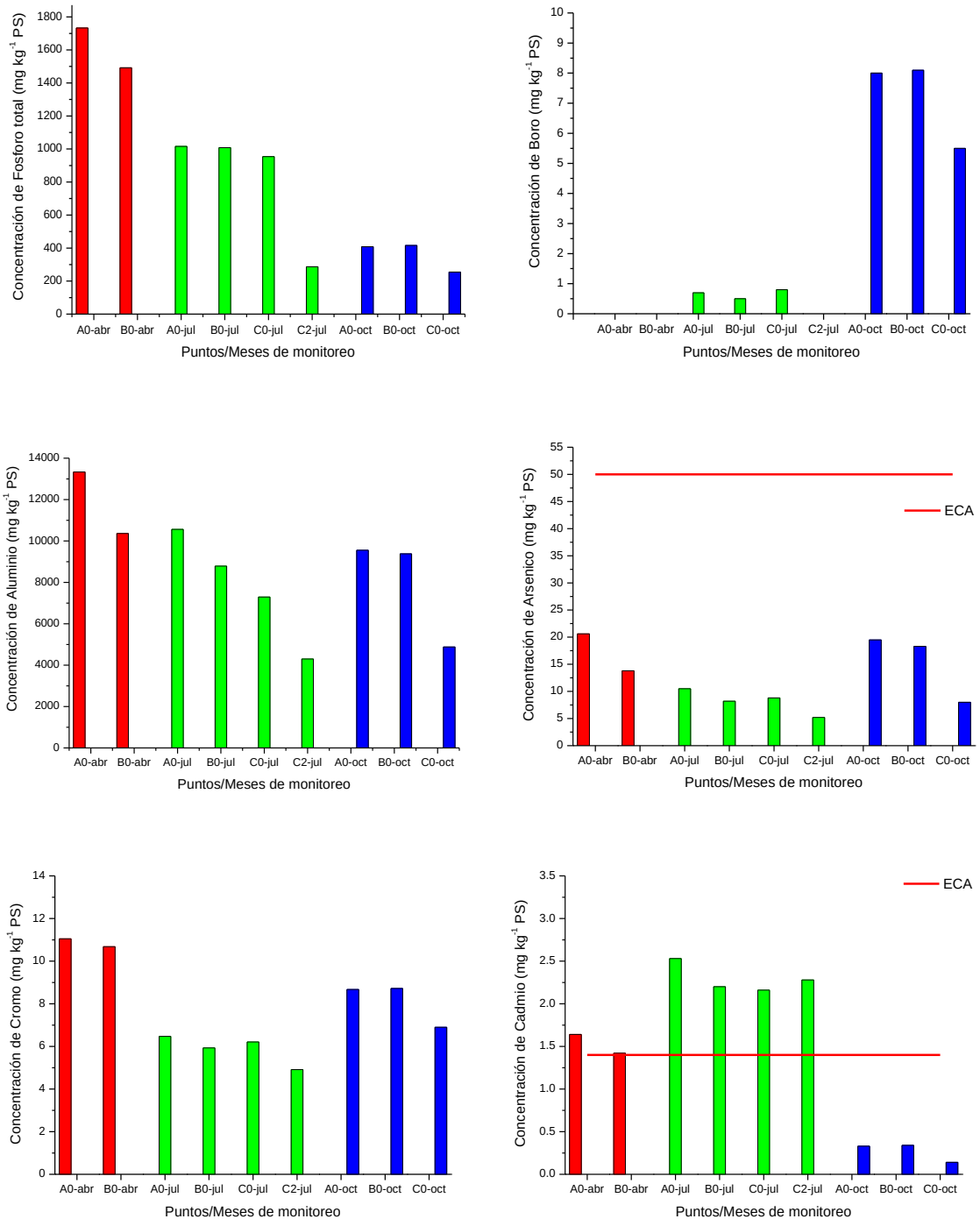



Figura 33.- Elementos en sedimento parte 1: (a) Fosforo, (b) Boro, (c) Aluminio, (d) Arsénico, (e) Cromo y (f) Cadmio.

Fuente: elaboración propia

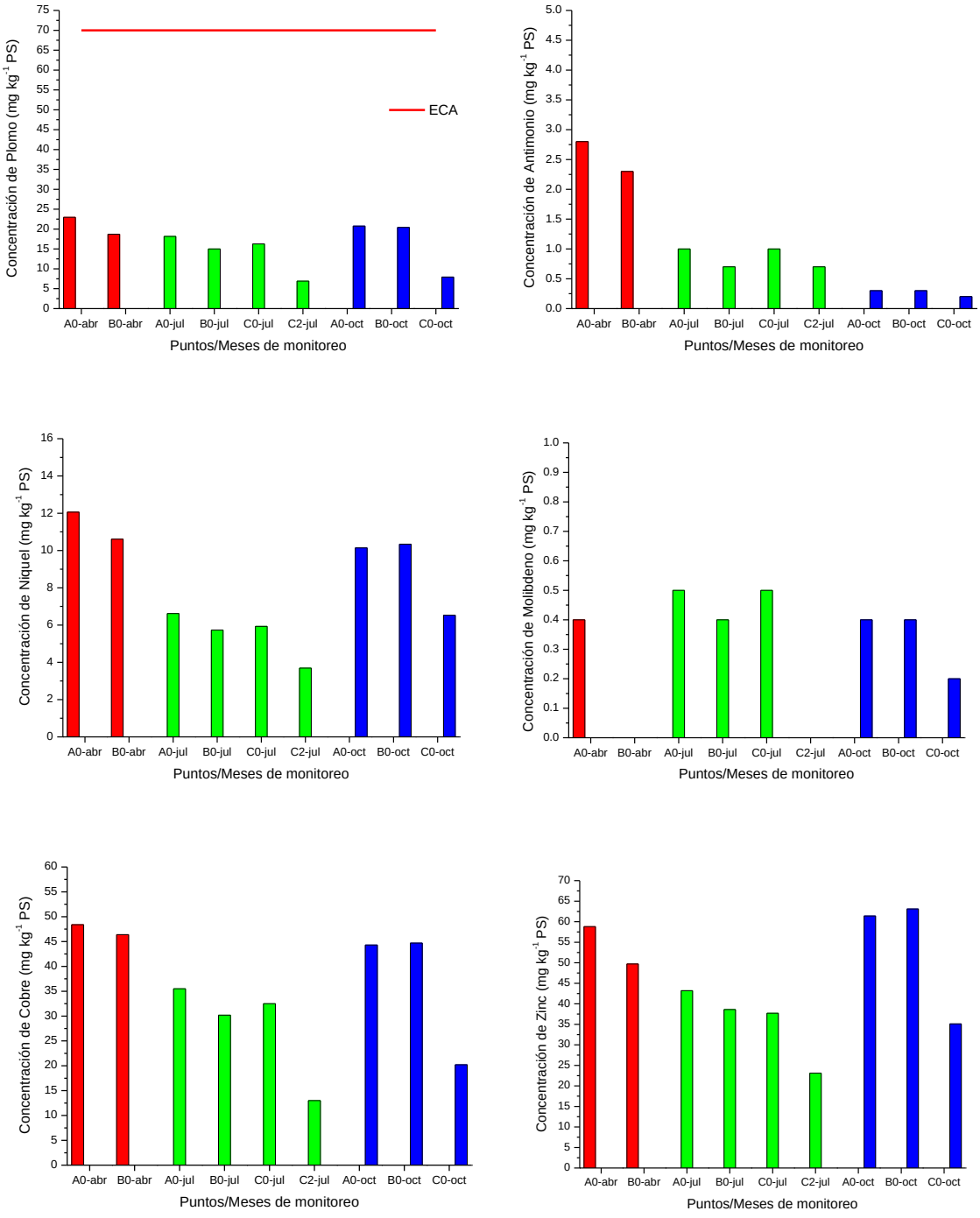



Figura 34.- Elementos en sedimento parte 2: (g) Plomo, (h) Antimonio, (i) Níquel, (j) Molibdeno, (k) Cobre y (l) Zinc.

Fuente: elaboración propia

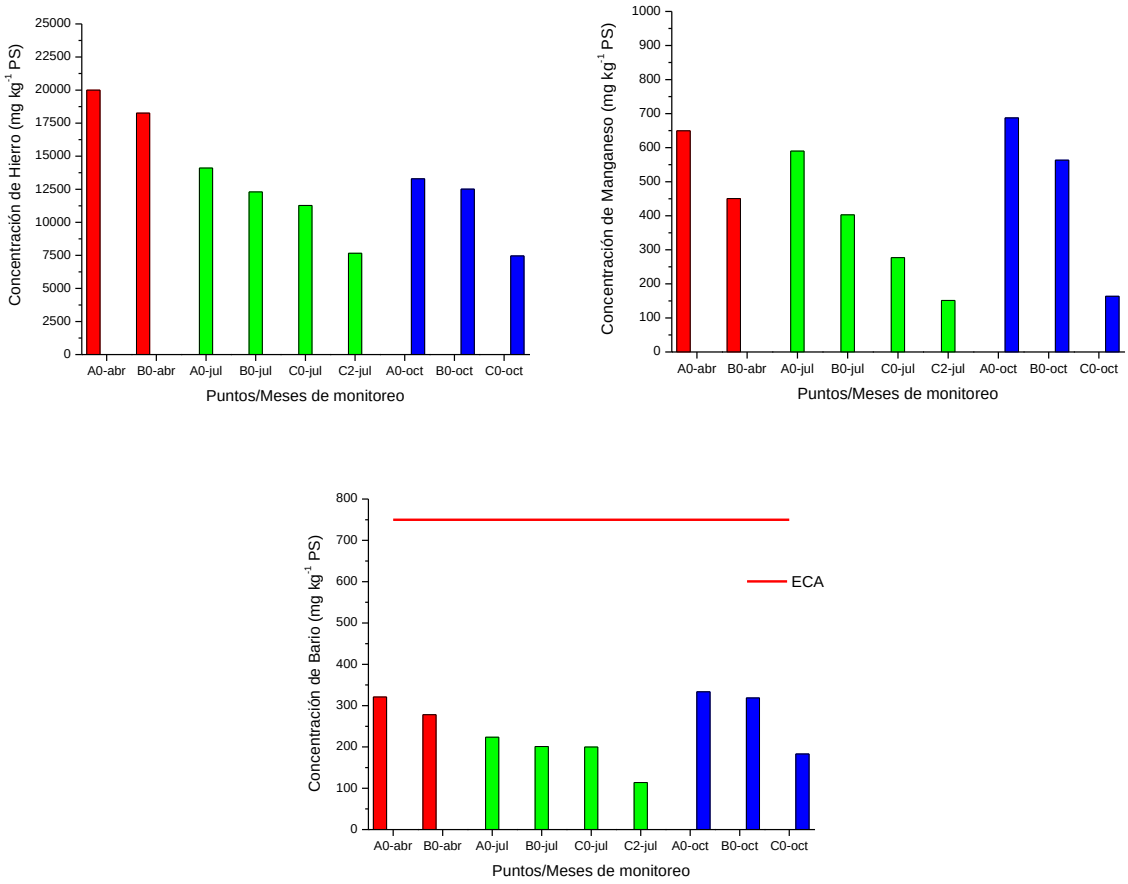



Figura 35.- Elementos en sedimento parte 3: (m) Hierro, (n) Manganeso y (o) Bario.

Fuente: elaboración propia

De los 15 elementos estudiados en muestras de sedimento (figura 33, 34 y 35), solo se cuenta con 4 valores estándares de comparación (cadmio, plomo, bario y arsénico), en la figura 33 se observa que los valores encontrados para cadmio superan el establecido dentro de normativa para suelo (ECA suelos), mientras los otros 3 elementos se mantienen dentro de los valores estándares.

En la figura 36, 37, 38 y 39 observamos la distribución espacial de los 15 elementos estudiados, el cual muestra donde se encuentra más concentrado un elementos en especial.

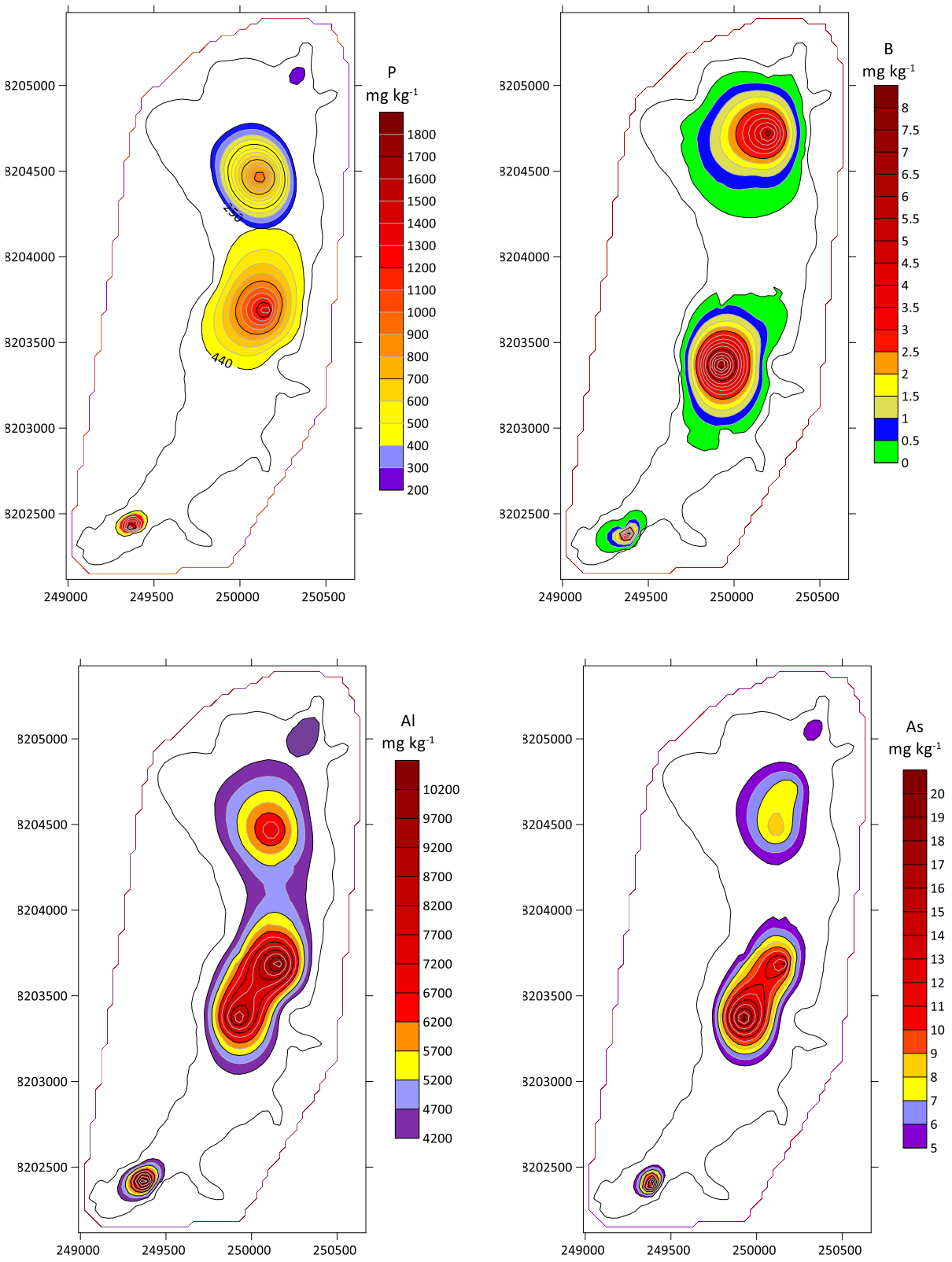



Figura 36.- Distribución espacial de fosforo (P), bario (B), aluminio (Al) y arsénico (As)

Fuente: elaboración propia

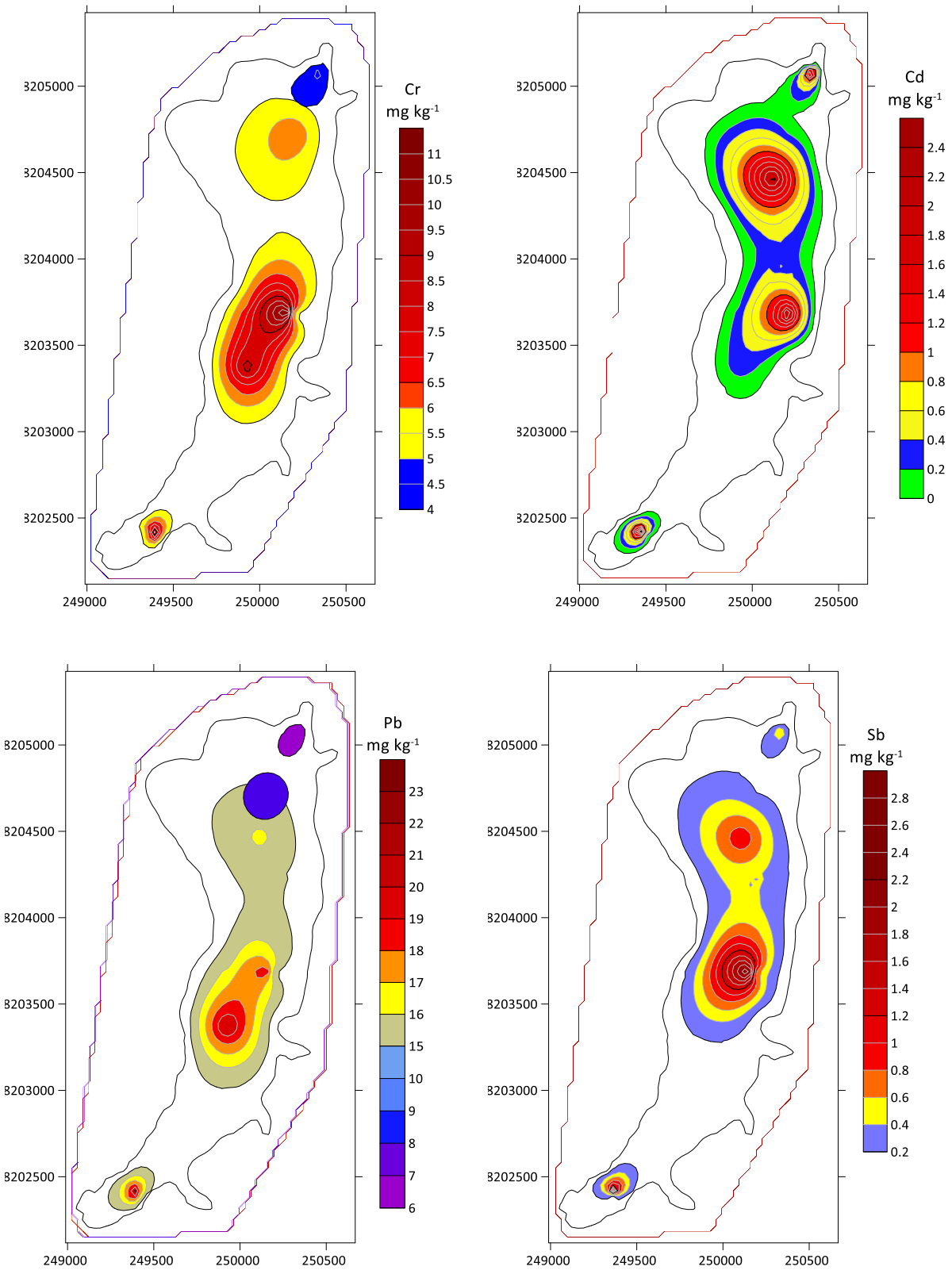



Figura 37.- Distribución espacial de cromo (Cr), cadmio (Cd), plomo (Pb) y antimonio (Sb)

Fuente: elaboración propia

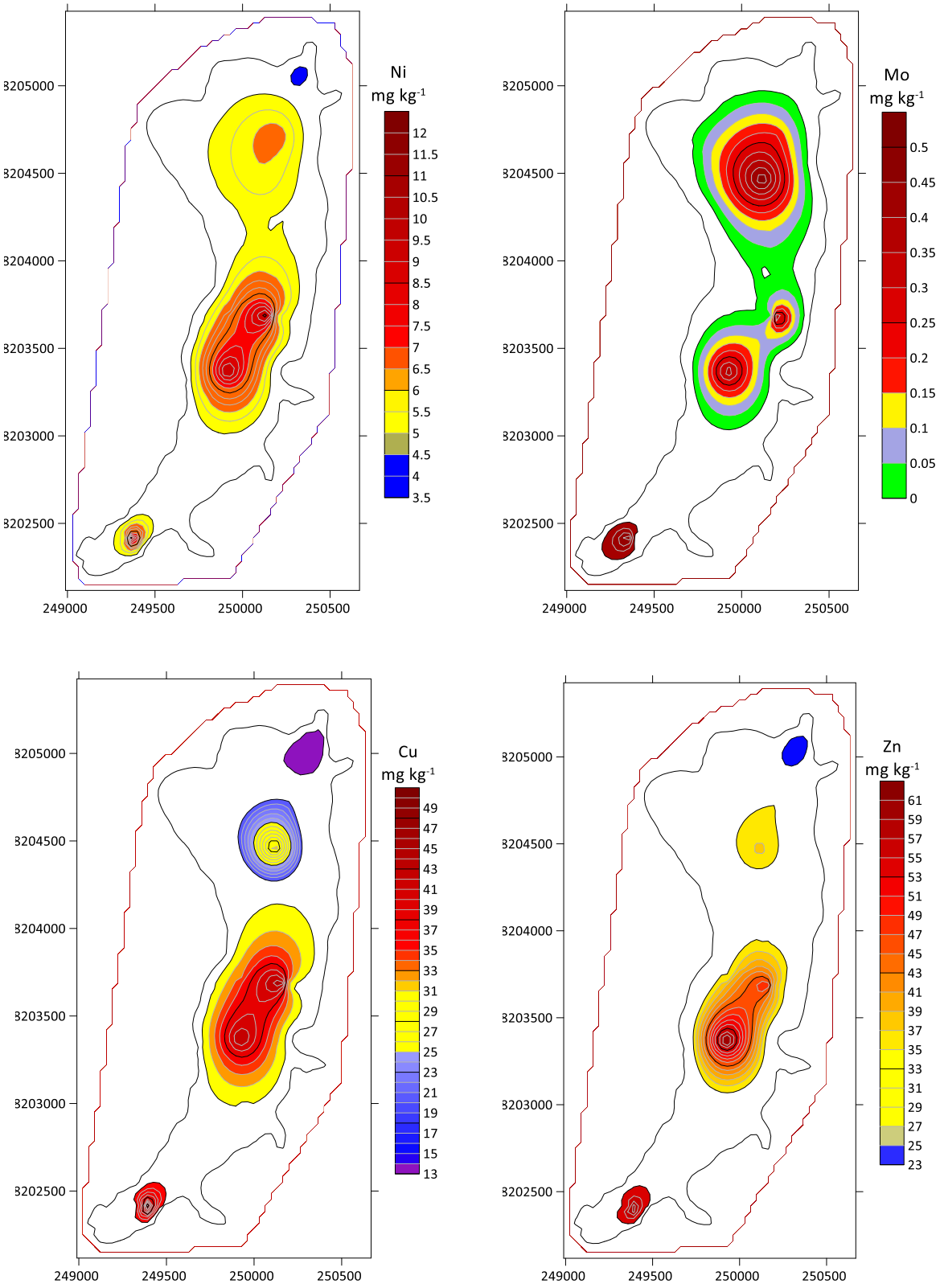



Figura 38.- Distribución espacial de níquel (Ni), molibdeno (Mo), cobre (Cu) y zinc (Zn)

Fuente: elaboración propia

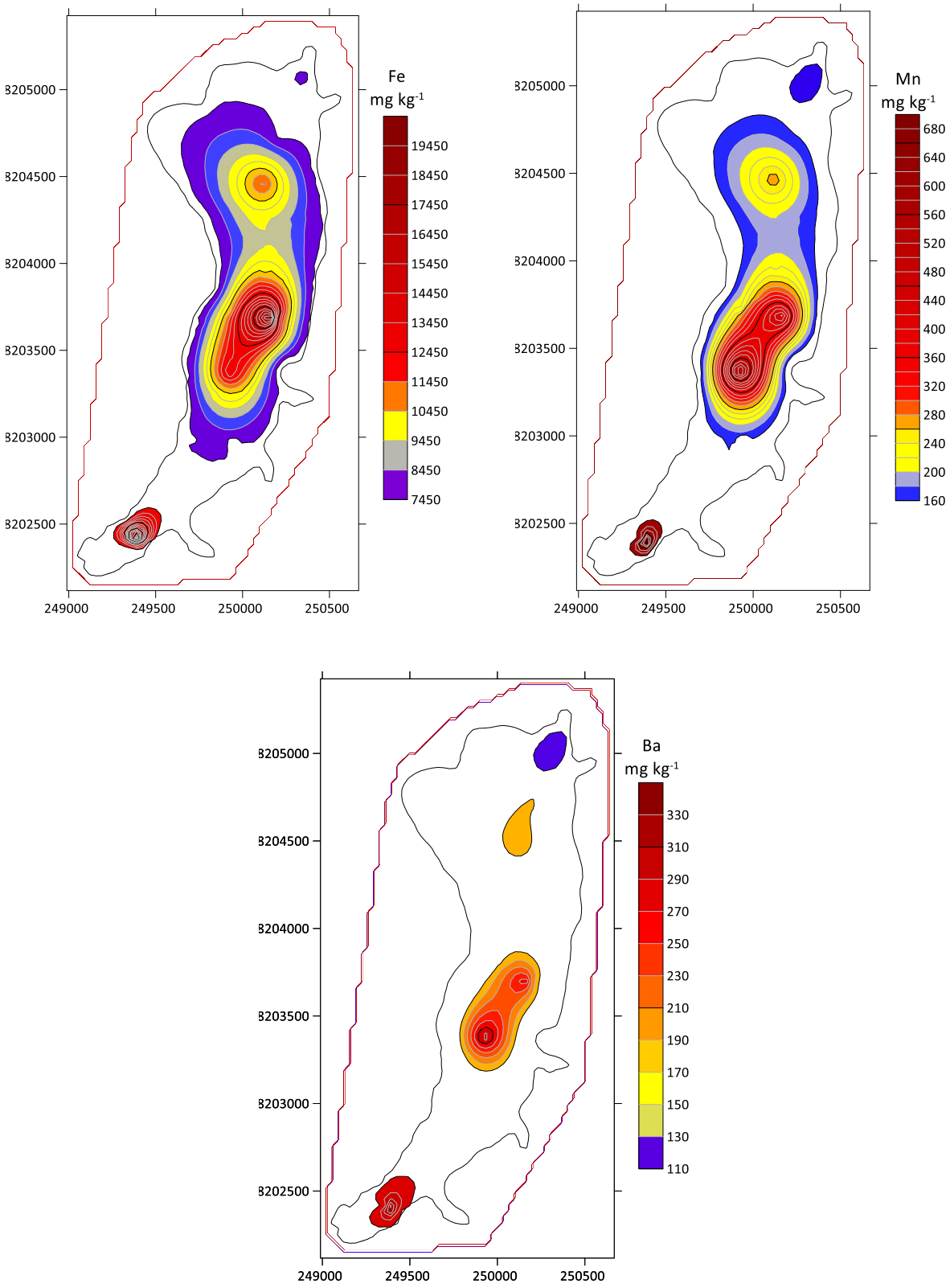



Figura 39.- Distribución espacial de hierro (Fe), manganeso (Mn) y bario (Ba).

Fuente: elaboración propia

Las concentraciones de metales pesados (mg $kg^{-1}$) encontradas para diez elementos analizados en sedimentos se muestran en la tabla 3, donde la concentración media de Cd (1.46 ± 0.94) y valores de As (20.60) y Pb (22.96) en algunos puntos fue más alta con relación a su background (Swarnalatha & Nair, 2017), mientras que Cr (7.73 ± 2.16), Sb (1.03 ± 0.92), Ni (7.96 ± 2.86), Cu (35.02 ± 12.36), Zn (45.63 ± 13.60) y Fe (12,984 ± 4,195) presentaron valores bajos. Cd se caracteriza por presentar altas concentraciones en sedimentos de diversas partes del mundo (Cáceres Choque et al., 2013; El-Radaideh et al., 2017; Vrhovnik et al., 2013; Yahaya et al., 2012), una fuente principal de ingreso de Cd al ambiente es la antropogenica, sin embargo nuestro área de estudio se encuentra alejada de la zona urbana y actividades industriales, estas altas concentraciones seria atribuida a la geología presente, material volcánico y emisiones volcánicas (Hutton, 1983), dado que la represa se encuentra cercana a dos volcanes (Misti y Chachani), otra fuente podría ser la deposición atmosférica (Cai et al., 2019), sin embargo la dinámica de sedimentación e ingreso de contaminantes es poco conocida para la represa.

Los sedimentos presentaron un pH ligeramente acido a neutro (5.86 a 6.47), esta ligera acidez estaría explicada por la geología del área de estudio, que presenta tufo volcánico, un tipo de roca ígnea. Se sabe que valores muy bajos de pH no permiten la adsorción de metales y los cuales serían ocupados por iones $H^+$ (Adeniyi et al., 2011), dejando libre a los metales, sin embargo, el pH encontrado podría promover la afinidad de los metales por el sedimento, apoyado por el considerable porcentaje de materia orgánica en sedimentos (3.44 - 6.30 %) y el pH básico que presenta el agua de zona profunda (7.96 – 8.66) (tabla 4), otros factores que influyen en la adsorción de metales pesados son las condiciones de anóxicas, buenas concentraciones de Fe y Mn, temperaturas bajas (H. Li et al., 2013). Las bajas temperatura (7 – 12°C, en agua) de la represa reduciría la liberación de metales hacia el agua (H. Li et al., 2013). La afinidad de los metales por el sedimento esta corroborado por bajas concentraciones que encontramos en agua a excepción del As (tabla 4), que presenta valores por encima de lo establecido en la normativa peruana, As > 10 µg $L^{-1}$ (MINAN, 2017), la elevada concentración de As en agua está en relación a la concentración de P, que presentaría una mejor adsorción por el sedimento (Prieto et al., 2016; H. Zhang & Selim, 2008). La concentración de Cd en agua es baja posiblemente porque el P presente en el sedimento trabaja como un sistema de adsorción evitando que se libere en el agua (Wang & Xing, 2004)

### 3.3. Determinar la concentración de clorofila “a” de la represa Aguada blanca, Arequipa.

La concentración de clorofila “a” en la represa de Aguada Blanca presenta diferentes concentraciones entre temporadas, la cual decrece de abril a octubre. Para el mes de abril la concentración promedio oscilo entre 12.1 a 8.5 µg/L (ppb), en julio oscilo de 8.0 a 1.6 µg/L (ppb) y en octubre oscilo de 2.4 a 0.5 µg/L (ppb). En la figura xx observamos el perfil de concentración de la clorofila “a” para el mes de abril, donde se observa que a nivel de la superficie la concentración es baja y entre los 2 a 4-6 m de profundidad la concentración de clorofila “a” es la más representativa. Ver figura 40.

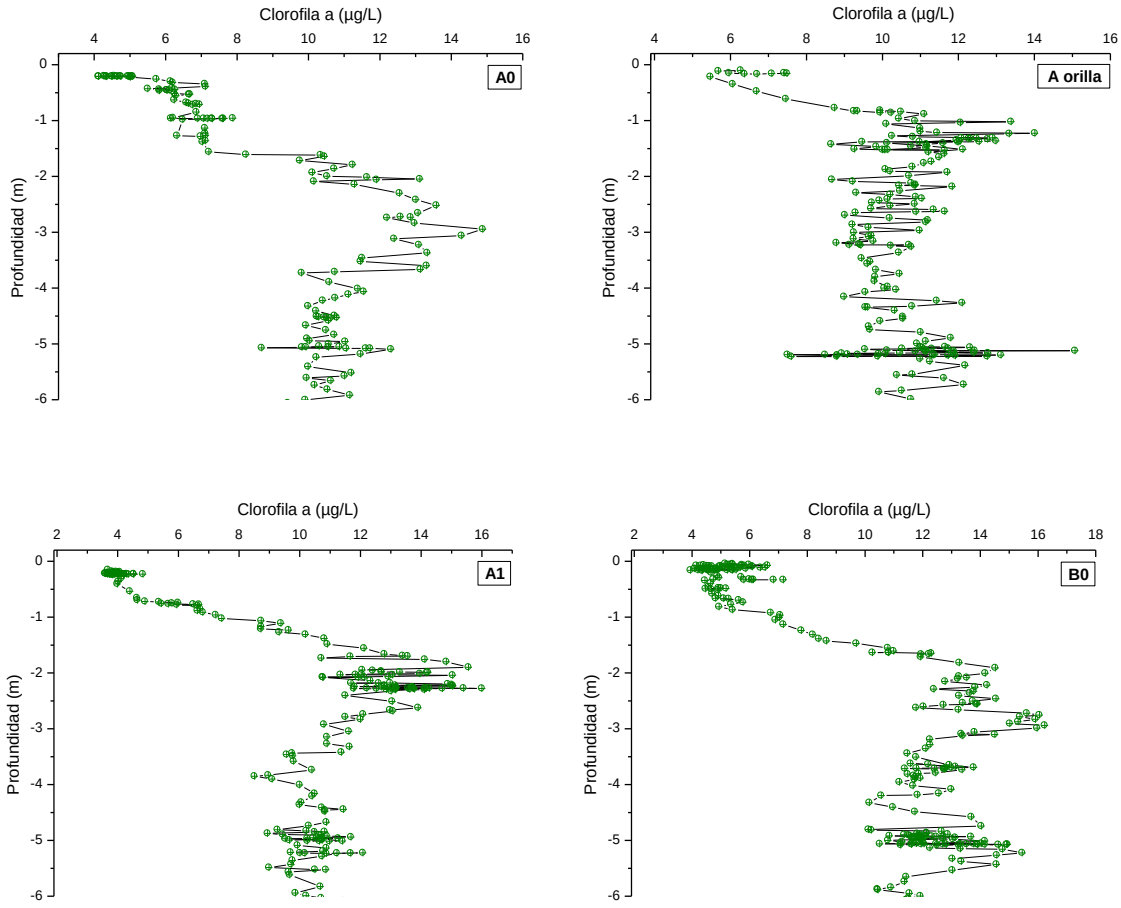



Figura 40.- Concentración de Clorofila “a” mes de abril (2019) en relación a la profundidad. Puntos: A0, A orilla, A1 y B0.

En la figura 41 observamos el perfil de clorofila “a” del mes de julio, donde la concentración disminuyo en relación a la encontrada en abril. El punto A orilla fue la que presento una mayor concentración en comparación a otros puntos de la represa.

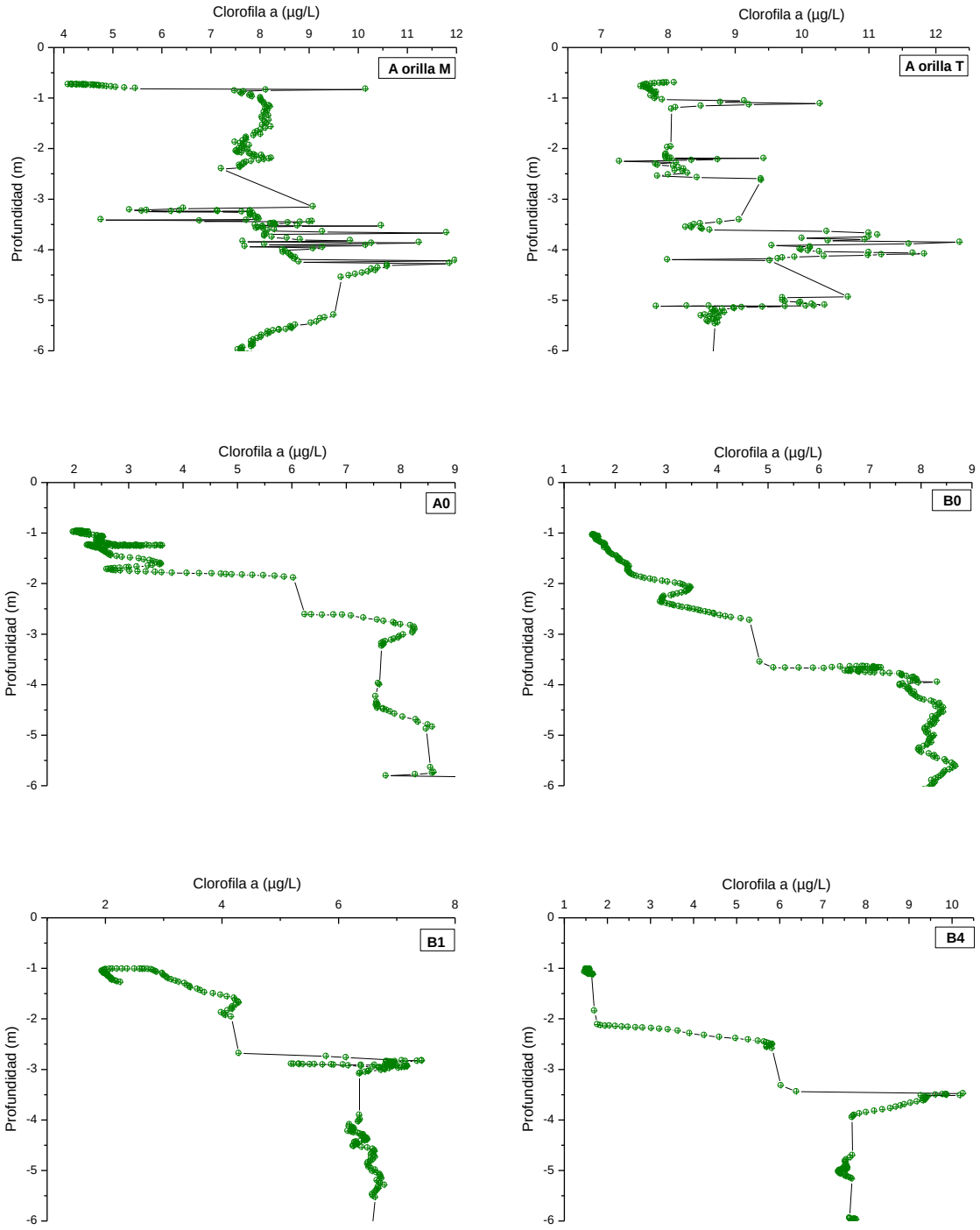



Figura 41.- Concentración de Clorofila “a” mes de julio (2019) en relación a la profundidad. Puntos A orilla M, A orilla T, A0, B0, B1 y B4.

La figura 42 muestra la concentración de clorofila “a” para la zona de ingreso de agua a la represa, el punto C2 muestra que la concentración de la entrada es baja con relación a los puntos más adentro de la zona de ingreso de se puede observar valores de 6 a 8 µg/L entre los 2 a 4 metros de profundidad.

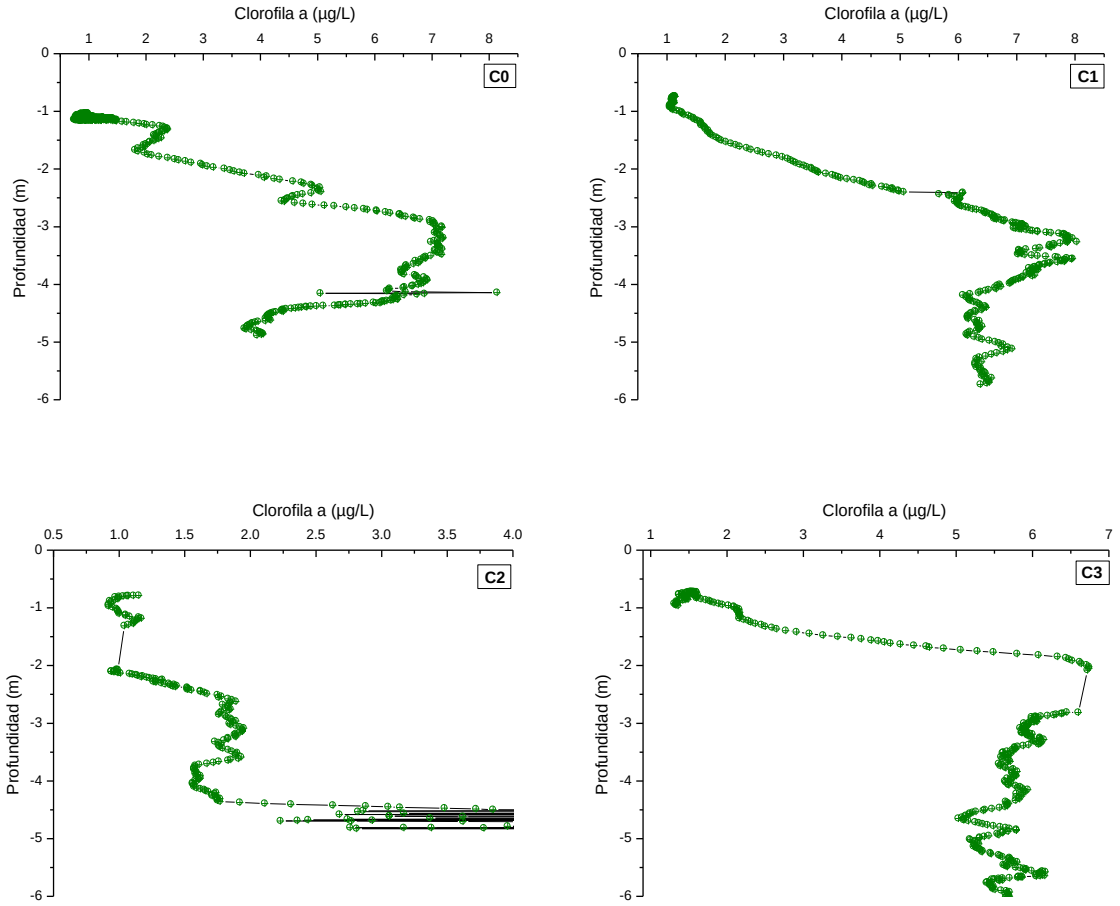



Figura 42.- Concentración de Clorofila “a” mes de julio (2019) en relación a la profundidad. Puntos: C0, C1, C2 y C3.

En la figura 43, observamos la concentración de clorofila “a” para el mes de octubre, el cual muestra valores de clorofila “a” bajos en esta temporada, en relación a la encontrada en los meses de abril y julio. Las bajas concentraciones de clorofila podrían ser por efecto de las bajas temperaturas encontradas en el mes de julio, que podrían haber afectado a la población de fitoplancton presente en la represa. La concentración de clorofila “a” para la zona de represamiento se encontró entre 1 a 4 µg/L (ppb), la concentración para la zona intermedia en 0.8 a1.5 µg/L (ppb), a excepción del punto B2 donde la concentración oscilo entre 1 a 4 µg/L

(ppb). La figura 44 observamos el perfil de la concentración de clorofila “a” para el mes de octubre, donde la concentración para la zona de represamiento oscilo entre 1 a 4.5 µg/L (ppb), mientras que para la zona media entre 0.5 a 1.5 µg/L (ppb).

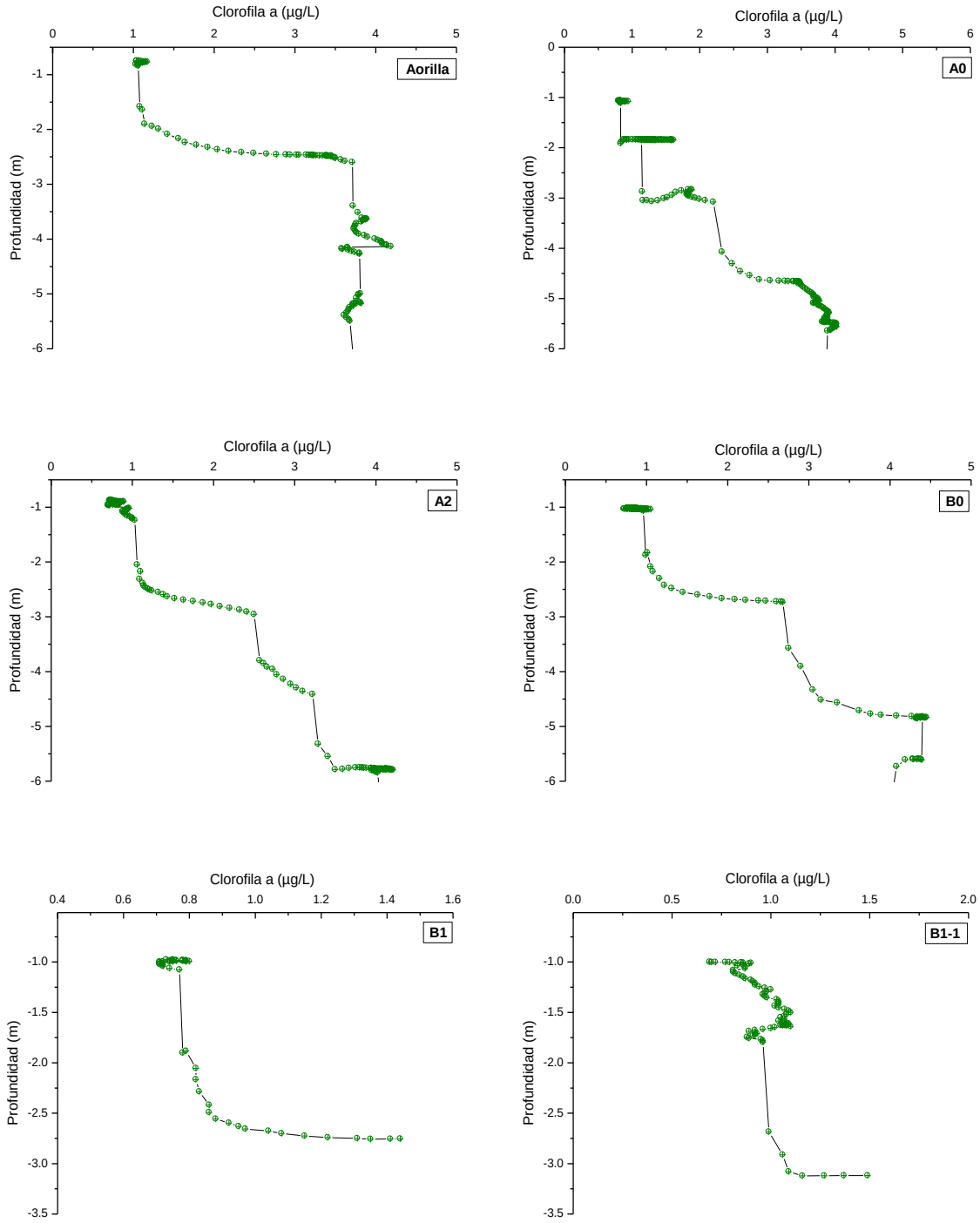



Figura 43.- Concentración de Clorofila “a” mes de octubre (2019) en relación a la profundidad. Puntos: A orilla, A0, A2, B0, B1 y B1-1.

El la figura 44 observamos el perfil de la concentración de clorofila “a” para la zona de ingreso a la represa, donde la concertación oscila entre 0.5 a 4 µg/L (ppb).

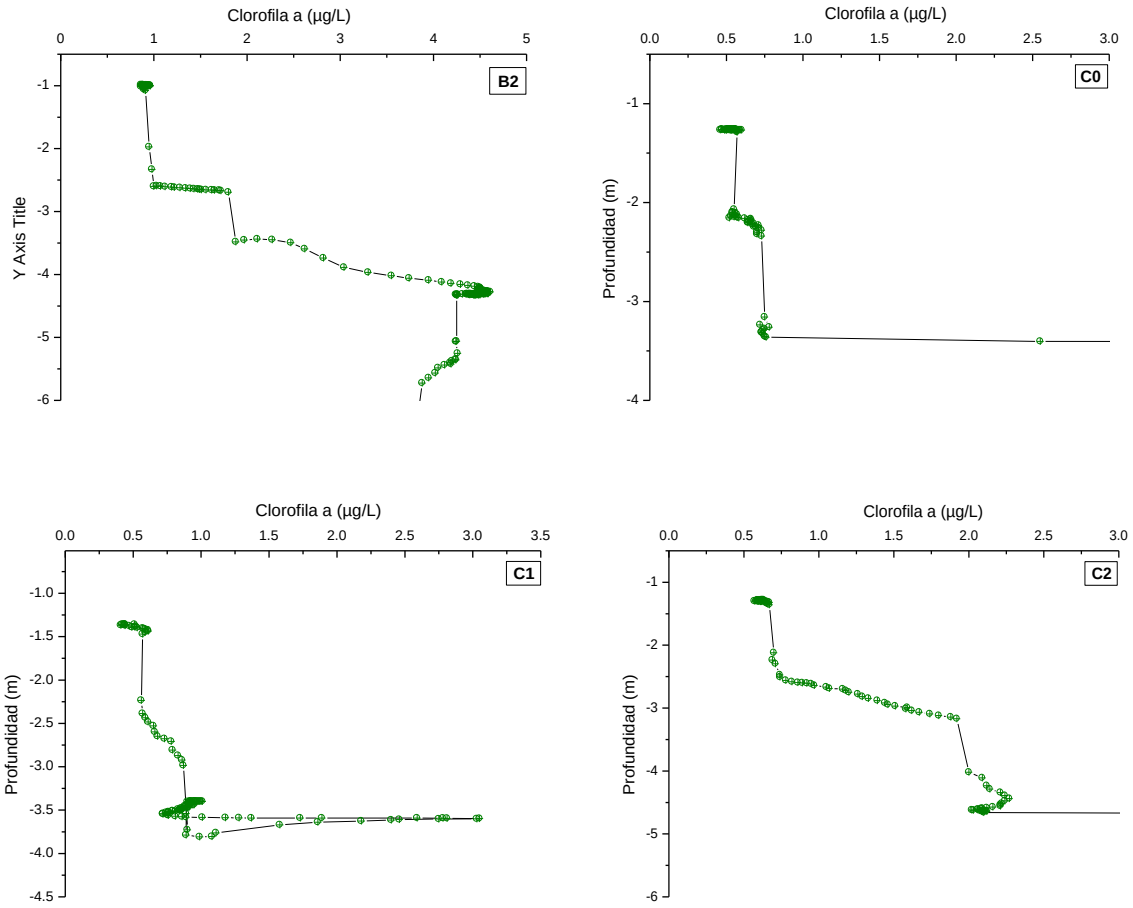



Figura 44.- Concentración de Clorofila “a” mes de octubre (2019) en relación a la profundidad. Puntos: B2, C0, C1 y C2

En la figura 45 observamos la concentración promedio distribuida en la represa entre 0 a 6 metros de profundidad, también observaremos la concentración por profundidades, en la figura 46 observamos la concentración de clorofila entre 0 a 2 metros de profundidad, la figura 47 muestra la concentración de clorofila entre 2 a 4 metros de profundidad y la figura 48 muestra la concentración de clorofila entre 4 a 6 metros de profundidad, y es en estas dos últimas profundidades donde la concentración de (figura 46 y 47), donde la clorofila se encuentra en mayor concentración.

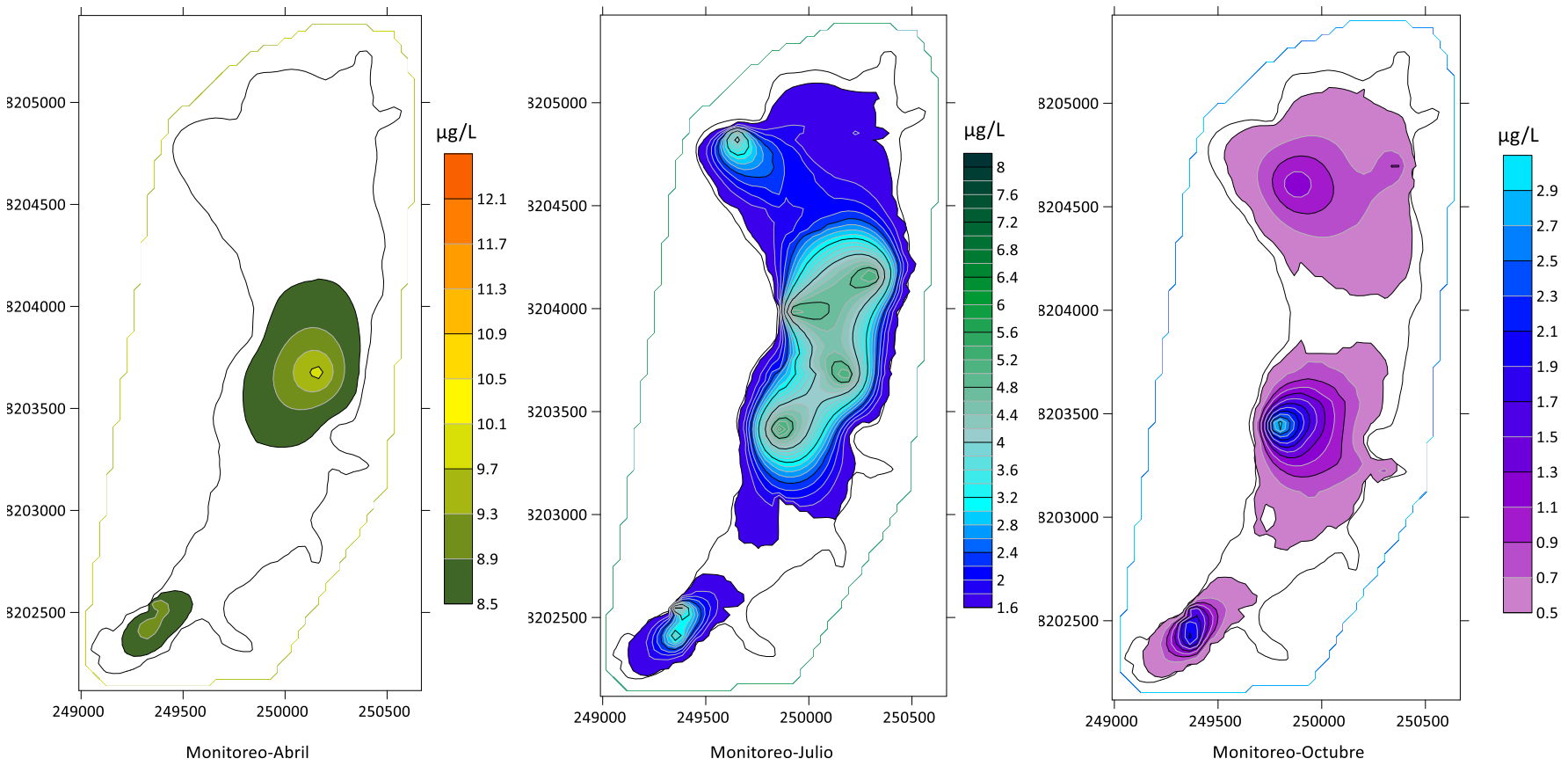



Figura 45.- Distribución de Clorofila “a” de mes de abril, julio y octubre (2019): Concentración promedio de clorofila “a” de 0 a 6 metros de profundidad.

Fuente: Elaboración propia

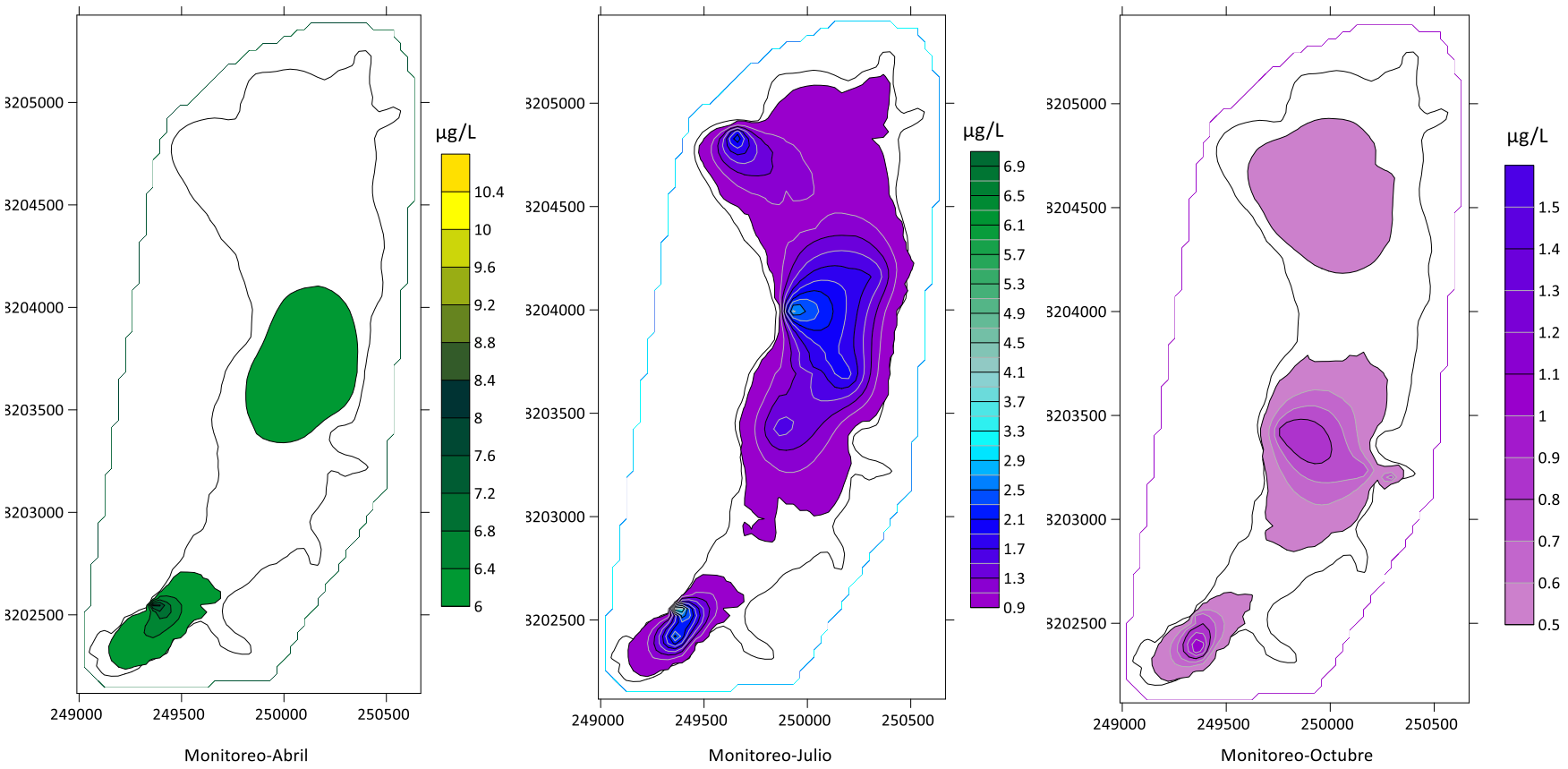



Figura 46.- Distribución de Clorofila “a” de mes de abril, julio y octubre (2019): Concentración de clorofila “a” entre 0 a 2 metros de profundidad.

Fuente: Elaboración propia

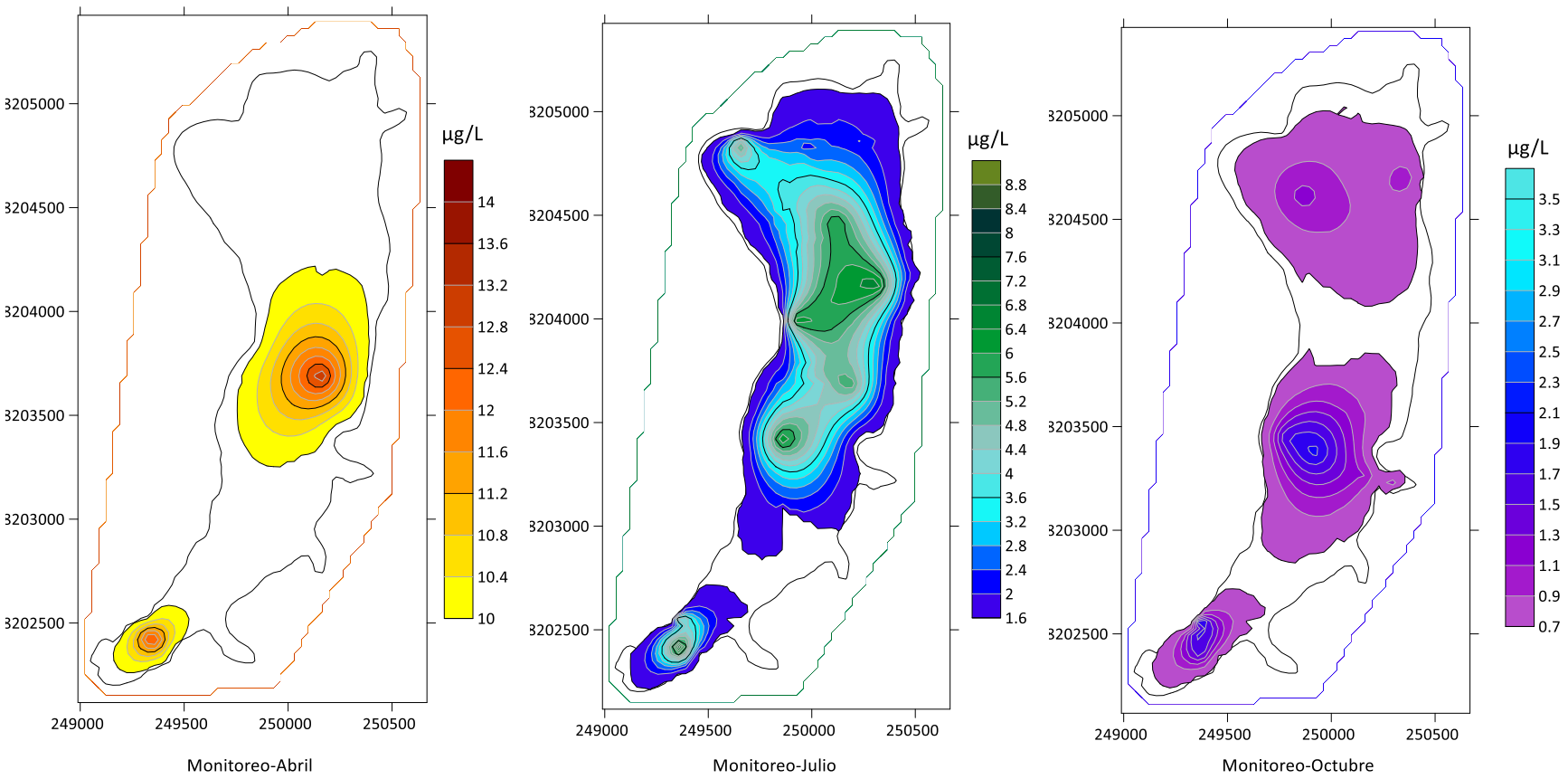



Figura 47.- Distribución de Clorofila “a” de mes de abril, julio y octubre (2019): Concentración de clorofila “a” entre 2 a 4 metros de profundidad.

Fuente: Elaboración propia

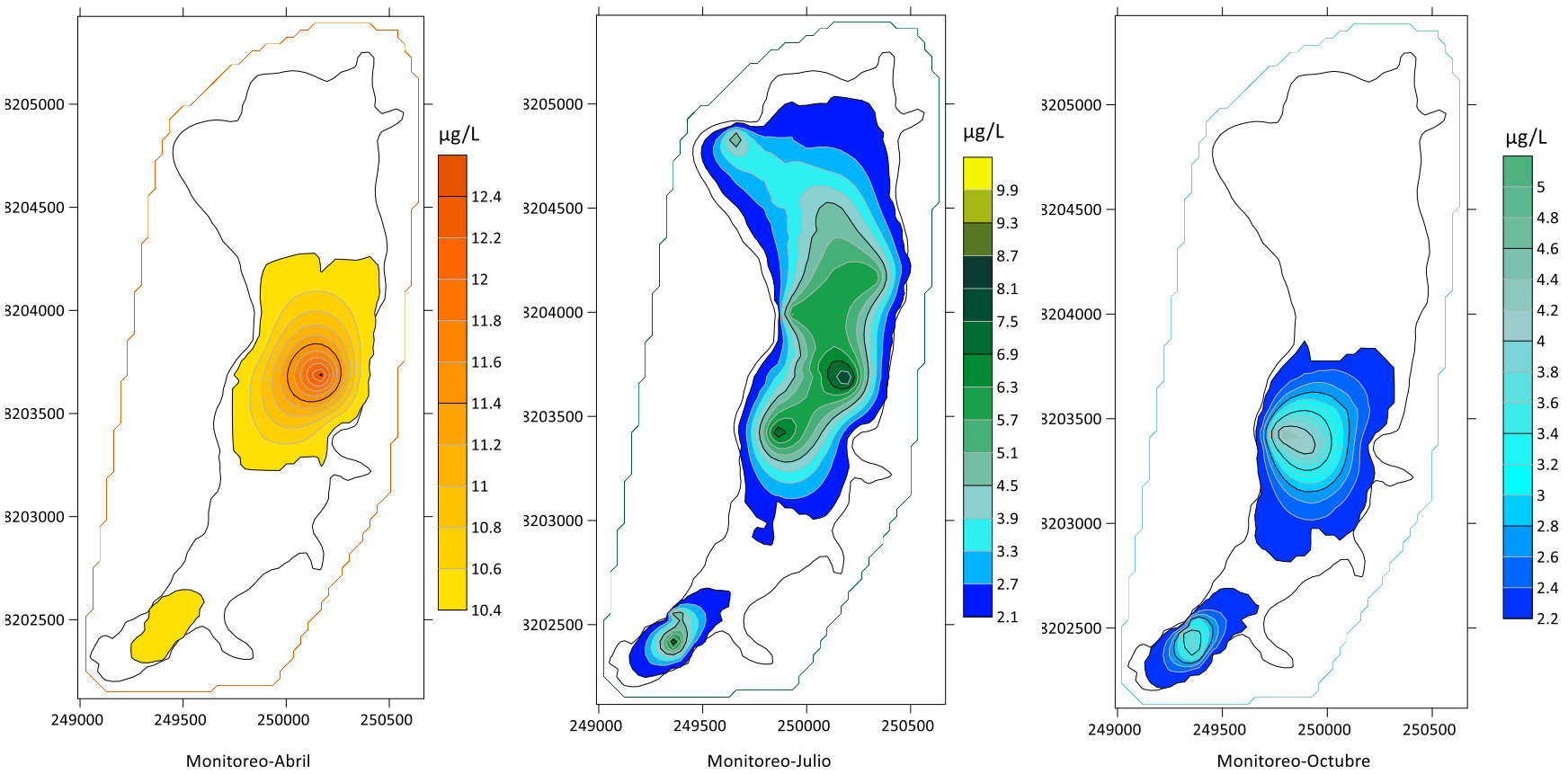



Figura 48.- Distribución de Clorofila “a” de mes de abril, julio y octubre (2019): Concentración de clorofila “a” entre 4 a 6 metros de profundidad.

Fuente: Elaboración propia

**CLOROFILA**

La distribución de clorofila a en el área de estudio presentó valores que fluctuaron entre 1.0 y 9.6; µg L-1 durante los meses de abril, julio y octubre respectivamente. Los resultados muestran que las más altas concentraciones para los meses de Abril: y Julio (12.1 y 13.5 µg $L^{-1}$ respectivamente), fueron localizadas en la profundidad de 2 a 4 m de la columna de agua, mientras que en el mes de octubre la mayor concentración de clorofila se registró a una profundidad de 4 a 6 m; siendo el valor de 2.2 µg $L^{-1}$. Concentraciones de pigmento de algas. Puede variar ampliamente dependiendo del metabolismo, la luz, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes (Robert G. Wetzel, et al. 1991) y la profundidad (ver anexo 2)

Los ecosistemas oligotróficos presentan bajas concentraciones de clorofila a (< 2.5 µg $L^{-1}$), mientras los eutróficos contienen altas concentraciones (5-140 µg $L^{-1}$, en casos extremos hasta 300 µg L-1) (Chapman, 1996). Teniendo en cuenta los valores observados se puede clasificar al embalse como eutrófico. Registrando un máximo de clorofila en el mes de abril. Estudios previos han mostrado que la mezcla constante de la columna de agua se genera por la influencia del viento, que además influye en la Re-suspensión de los sedimentos y en el mantenimiento de los nutrientes en suspensión accesibles para los productores.

### 3.3.1. Estado trófico de la represa de Aguada Blanca

El estado trófico de la represa de Aguada Blanca en el mes de Abril se caracteriza por ser eutrófico y meso-tróficos (ver anexo 2, b), mientras el mes de julio presento un estado mesotrófico (TLI: 30 – 50) y el mes de octubre se caracteriza por tener un estado trófico oligotrófico y mesotrófico (TLI: < 30; TLI entre 30 – 50). Estado trófico que tiene mucha relación con la temperatura ambiental que presenta la represa el cual influye directamente sobre el estado trófico (Zhang, 2011).

### 3.4. Determinar el índice de calidad de sedimentos en muestras de la represa Aguada Blanca, Arequipa.

#### 3.4.1. Factor de Enriquecimiento en muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca.

Se calculó el EF de cada sitio de muestreo para determinar el grado de enriquecimiento en el sedimento de la represa. Los resultados se muestran en la tabla 18, observamos que el grado de enriquecimiento presenta el siguiente orden: Cd (18.78 ± 14.89) > As (3.46 ± 1.14) > Pb (2.93 ± 0.58) > Zn (2.49 ± 0.62) > Cu (2.78 ± 0.57) > Ni (0.43 ± 0.11) > Cr (0.32 ± 0.07), donde Ni y Cr, son elementos que no presentan enriquecimiento, Cd presenta diferentes grados de enriquecimiento de moderado a muy grave, mientras As, Pb, Zn y Cu tuvieron un grado bajo a moderado. Un valor de EF entre 0.5 – 1.5 (0.5 < EF < 1.5) indican un enriquecimiento natural y valores por encima de 1.5 (EF > 1.5) se caracterizan por presentar un enriquecimiento antropogénico (J. Zhang & Liu, 2002). Los valores de EF en nuestro estudio son bajos con relación a los valores de EF encontrados por Cáceres Choque et al., (2013) del lago Titicaca, que presenta el siguiente orden Cd (14 – 519) > Pb (32 -233) > Zn (10 – 162) > Co (6 – 71) > Cu (5 – 15) > Mn (3 – 10) > Ni (1 – 18), donde observamos la predominancia del Cd, Pb, Zn, Cu en presentar los mayores valores de enriquecimiento. La diferencia entre valores de EF radica en bajos valores de Fe en el Lago Titicaca en relación a nuestra concentración de Fe (Cáceres-choque et al., 2013).

#### 3.4.2. Índice de Geoacumulación ($I_{geo}$) en muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca.

Los valores de $I_{geo}$ se calcularon para determinar la contaminación en los sedimentos de la represa de Aguada Blanca. Los resultados se muestran en la tabla 19, donde el valor de Cd (1.21 ± 1.45) presenta valores mayores a 0 ($I_{geo} > 0$), y presento un grado de contaminación de moderadamente a fuertemente contaminado, mientras As (-0.78 ± 0.69), Pb (-0.98 ± 0.62), Cu (-1.05 ± 0.64), Zn (-1.71 ± 0.47) y Cr (-4.18 ± 0.40) no presentan contaminación para la represa. El alto EF e $I_{geo}$ de Cd serían un riesgo en la represa en relación a otros elementos evaluados, y en comparación a otros estudios nuestro $I_{geo\ de}$ Cd seria ligeramente mayor (Abata E. O, 2013; Ekengele et al., 2017; F. Li et al., 2018; Marziali et al., 2017; Y. Zhang et al., 2017) y menor –

igual a estudios donde se describe que la concentración de Cd es un efecto antropogénico fuerte (Cáceres Choque et al., 2013; Çevik et al., 2009; J. Li, 2014; Nowrouzi & Pourkhabbaz, 2014).

Tabla 18.- Valores de EF para muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca (2019).

| Punto de muestreo | EF | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | As | Cr | Cd | Pb | Ni | Cu | Zn |
| **A0-abr** | 3.70 | 0.29 | 12.76 | 2.68 | 0.41 | 2.51 | 2.02 |
| **B0-abr** | 2.80 | 0.29 | 29.82 | 3.37 | 0.36 | 2.99 | 2.30 |
| **A0-jul** | 2.72 | 0.30 | 12.11 | 2.39 | 0.40 | 2.64 | 1.87 |
| **B0-jul** | 2.44 | 0.33 | 46.32 | 2.11 | 0.33 | 1.76 | 2.07 |
| **C0-jul** | 5.27 | 0.34 | 3.87 | 3.65 | 0.52 | 3.46 | 3.17 |
| **C2-jul** | 3.85 | 0.48 | 4.17 | 2.48 | 0.60 | 2.81 | 3.23 |
| **A0-oct** | 2.67 | 0.24 | 27.92 | 3.01 | 0.32 | 2.61 | 2.10 |
| **B0-ct** | 2.40 | 0.25 | 27.85 | 2.85 | 0.32 | 2.55 | 2.16 |
| **C0-oct** | 5.25 | 0.36 | 4.23 | 3.81 | 0.57 | 3.71 | 3.46 |
| Min | 2.40 | 0.24 | 3.87 | 2.11 | 0.32 | 1.76 | 1.87 |
| Max | 5.27 | 0.48 | 46.32 | 3.81 | 0.60 | 3.71 | 3.46 |
| Mean | 3.46 | 0.32 | 18.78 | 2.93 | 0.43 | 2.78 | 2.49 |
| SD | 1.14 | 0.07 | 14.89 | 0.58 | 0.11 | 0.57 | 0.62 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.- Valores de Igeo para muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca (2019).

| Punto de muestreo | Igeo | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | As | Cr | Cd | Pb | Ni | Cu | Zn |
| **A0-abr** | 0.08 | -3.61 | 1.87 | -0.39 | -3.08 | -0.48 | -1.28 |
| **B0-abr** | -0.89 | -4.38 | 2.49 | -0.72 | -3.95 | -0.93 | -1.72 |
| **A0-jul** | 0.00 | -3.96 | -0.45 | -0.53 | -3.33 | -0.61 | -1.21 |
| **B0-jul** | -0.09 | -3.95 | -0.40 | -0.56 | -3.30 | -0.59 | -1.18 |
| **C0-jul** | -0.50 | -3.66 | 1.66 | -0.68 | -3.27 | -0.54 | -1.52 |
| **C2-jul** | -1.25 | -4.51 | 2.29 | -1.00 | -4.15 | -1.16 | -1.88 |
| **A0-oct** | -1.15 | -4.44 | 2.26 | -0.88 | -4.10 | -1.05 | -1.92 |
| **B0-ct** | -1.29 | -4.29 | -1.17 | -1.92 | -3.97 | -1.74 | -2.02 |
| **C0-oct** | -1.91 | -4.78 | 2.34 | -2.12 | -4.79 | -2.38 | -2.62 |
| Min | -1.91 | -4.78 | -1.17 | -2.12 | -4.79 | -2.38 | -2.62 |
| Max | 0.08 | -3.61 | 2.49 | -0.39 | -3.08 | -0.48 | -1.18 |
| Mean | -0.78 | -4.18 | 1.21 | -0.98 | -3.77 | -1.05 | -1.71 |
| SD | 0.69 | 0.40 | 1.45 | 0.62 | 0.56 | 0.64 | 0.47 |

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. Índice de Riesgo Ecológico (RI) en muestras de sedimento de la represa de Aguada Blanca.

Los RI de las muestras de sedimento de la represa se muestran en la tabla 20. El valor de RI para los puntos A0-oct, B0-oct y C0-oct fue inferior a 150, lo que sugiere que estos sitios exhiben un bajo riesgo ecológico. Cinco sitios de muestreo presentaron valores superiores a 600, que significa un alto riesgo ecológico por la presencia de metales pesados. De acuerdo a $E_r^i$, Cd es el mayor elemento aportante de riesgo ecológico a cuerpos de agua, elementos que se caracteriza por incrementar el riesgo en distintas investigaciones (J. Li, 2014). Ver figura 49.

Tabla 20.- Índice de riesgo ecológico para 9 puntos en la represa de Aguada Blanca

| Punto de muestreo | Eri | | | | | RI | Nivel de riesgo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cd | Cu | Pb | Zn | Cr | | |
| **A0-abr** | 585.71 | 10.08 | 4.45 | 0.93 | 0.33 | 601.51 | Muy alto: (RI ≥ 600) |
| **B0-abr** | 507.14 | 9.67 | 3.63 | 0.78 | 0.32 | 521.54 | Considerable: (300 ≤ RI < 600) |
| **A0-jul** | 903.57 | 7.40 | 3.52 | 0.68 | 0.20 | 915.36 | Muy alto: (RI ≥ 600) |
| **B0-jul** | 785.71 | 6.29 | 2.91 | 0.61 | 0.18 | 795.70 | Muy alto: (RI ≥ 600) |
| **C0-jul** | 771.43 | 6.77 | 3.16 | 0.59 | 0.19 | 782.14 | Muy alto: (RI ≥ 600) |
| **C2-jul** | 814.29 | 2.71 | 1.34 | 0.36 | 0.15 | 818.85 | Muy alto: (RI ≥ 600) |
| **A0-oct** | 117.86 | 9.23 | 4.02 | 0.97 | 0.26 | 132.34 | Bajo: (RI < 150) |
| **B0-oct** | 121.43 | 9.31 | 3.96 | 0.99 | 0.26 | 135.95 | Bajo: (RI < 150) |
| **C0-oct** | 50.00 | 4.21 | 1.54 | 0.55 | 0.21 | 56.51 | Bajo: (RI < 150) |

Fuente: Elaboración propia

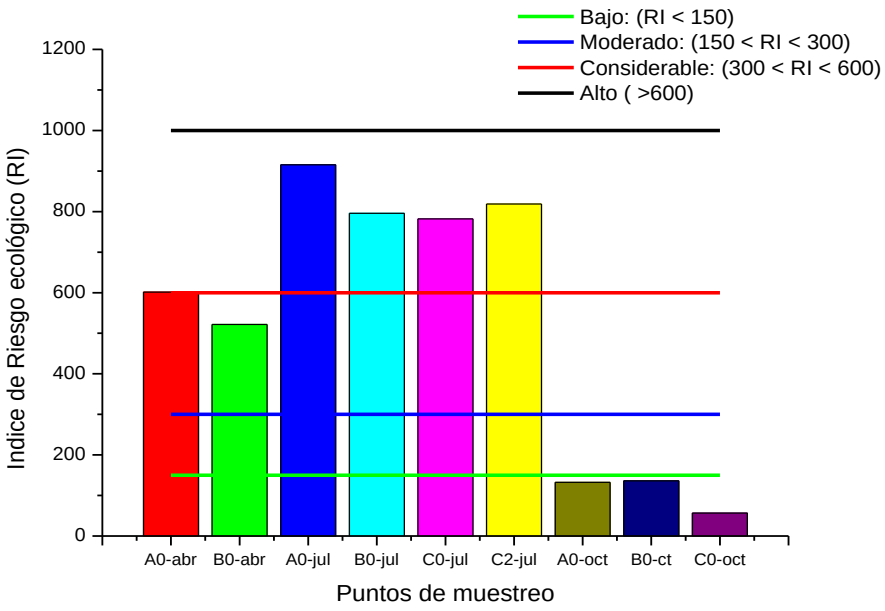



Figura 49.- Rengos de RI de  9 puntos de muestreo

## CONCLUSIONES

1.- La represa de Aguada Blanca presenta temperaturas promedio entre 6.5 a 12.4 °C (anual), un OD entre 5.8 a 7.9, un pH mayormente básico 8.2 a 8.5, un concentración de nitratos variable entre temporada que va de 0.35 a 9.7 ppm, la concentración de fosfatos aumenta de abril a octubre en el agua. Los valores de pH en sedimentos se encuentran entre 5.9 a 6.2, la concentración de materia orgánica aumenta de la zona de ingreso a la zona de represamiento (3.44 a 6.30 %) y la concentración de fosfatos decrece de abril a octubre.

2.- La concentración de elementos ecotóxicos en su mayoría se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental a excepción del arsénico (As >10 $ugL^{-1}$) que en los meses de julio y octubre superaron el valor del ECA de agua (D.S N° 004-2017-MINAM). Cadmio presenta valores muy bajo en el agua mientras que en sedimento los valores de cadmio (1.46 ± 0.94 mg $kg^{-1}$) superando el ECA de suelo (D.S. N°011-2017-MINAM).

3.- En los meses de abril se presentaron altos valores de clorofila (12.1 ± 1.3 $ugL^{-1}$) en relación a julio (5.3 ± 2.3 $ugL^{-1}$) y octubre (1.1 ± 0.2 $ugL^{-1}$) para la profundidad de 2 – 4 m, y según el índice de TLI en estos meses el cuerpo de agua se encuentra modernamente eutrofizado.

4.- Los metales presentan el siguiente orden de enriquecimiento en sedimentos: Cd (18.78 ± 14.89) > As (3.46 ± 1.14) > Pb (2.93 ± 0.58) > Zn (2.49 ± 0.62) > Cu (2.78 ± 0.57) > Ni (0.43 ± 0.11) > Cr (0.32 ± 0.07), donde Ni y Cr, son elementos que no presentan enriquecimiento en la represa de Aguada Blanca. Cadmio seria el metal que presentaría el mayor riesgo ecológico para la represa.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más estudios sobre la dinámica de acumulación, transporte y re-suspensión del cadmio del sedimento al agua y así conocer los posibles riesgos que podría ocasionar su alta concentración sobre el sistema acuático.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS


Abata E. O, A. E. O. (2013). Assessment of Heavy Metal Contamination and Sediment Quality in the Urban River: A Case Of Ala River in Southwestern – Nigeria. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, *4*(3), 56–63. https://doi.org/10.9790/5736-0435663

Acevedo-Figueroa, D., Jiménez, B. D., & Rodríguez-Sierra, C. J. (2006). Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico. *Environmental Pollution*, *141*(2), 336–342. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.08.037

Adeniyi, A. A., Owoade, O. J., Shotonwa, I. O., Okedeyi, O. O., Ajibade, A. A., Sallu, A. R., Olawore, M. A., & Ope, K. A. (2011). Monitoring metals pollution using water and sediments collected from Ebute Ogbo river catchments, Ojo, Lagos, Nigeria. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, *5*(8), 219–223.

ANA – Autoridad Nacional del Agua (2016). Protocolo de Nacional para el Monitoreo para la Calidad de los Recursos Hídricos, Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

Arango, G. y Pérez, J. C. (2005). Determinación de nitratos y amonio en muestras de suelo mediante el uso de electrodos selectivos. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. 58(1), 2733-2740.

Aydin E.R.B. Ayeri T. Sisman Y., Ardali Y. (2018). Evaluation of the anthropogenic impact in Suat Ugurlu Dam lake using multivariate statistical techniques. *Global NEST Journal*, 20(1), 161-168.

Bennett, M. G., Schofeld, K. A., Lee, S. S., and Norton, S. B. (2017). Response of chlorophyll a to total nitrogen and total phosphorus concentrations in lotic ecosystems: a systematic review protocol. *Environmental Evidence.* 6: 18.

Bollmann, Harry Alberto; Carneiro, C.; Pergorini, E. S. 2005. Qualidade da Água e Dinâmica de Nutrientes. In: Andreoli, C.V.; Carneiro, C. Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados. Curitiba: Gráfica Capital, LTDA. 500p. cap. 7, p. 213-270

Cáceres Choque, L. F., Ramos Ramos, O. E., Valdez Castro, S. N., Choque Aspiazu, R. R., Choque Mamani, R. G., Fernández Alcazar, S. G., Sracek, O., & Bhattacharya, P. (2013). Fractionation of heavy metals and assessment of contamination of the sediments of Lake Titicaca. *Environmental Monitoring and Assessment*, *185*(12), 9979–9994.

Cai, K., Yu, Y., Zhang, M., & Kim, K. (2019). Concentration, source, and total health risks of cadmium in multiple media in densely populated areas, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(13).

Carlos A. Benjumea & Hoyos, Á. Wills. 2007. Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la Ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental GAIA, Universidad de Antioquia. Apartado Aéreo 1226, Medellín, Colombia.

Carrero, A. A., Zambrano, A. G., Hernandez, E. G., Contreras, F. B., Machado, D. D., Bianchi, G. B., Varela, R. D. (2015). Métodos de comparación de extracción de Fosforo disponible en suelos acidos. *Avances en Química*. 10, 29-33.

Çevik, F., Göksu, M. Z. L., Derici, O. B., & Findik, Ö. (2009). An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, *152*(1–4), 309–317. https://doi.org/10.1007/s10661-008-0317-3

Chapman, D. (1996). Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, (2nd ed.) London.

Ciobotaru, I. E., Marcu, E., Cimpoeru, C., Savin, I., Ivanov, A. A. (2017). Nutrient speciation in sediment and water quality assessment of the Circului Lake, Bucharest. AES Bioflux. 9 (1), 1-16.

Cymes I., Glińska-Lewczuk K., Szymczyk S., Sidoruk M., Potasznik A. (2017). Distribution and potential risk assessment of heavy metals and arsenic in sediments of a dam reservoir: A case study of the Łoje Retention Reservoir, NE Poland. J. Elem., 22(3): 843-856. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.1.1253

Decena, S. C. P., Arguelles, M. S., & Robel, L. L. (2018). Assessing heavy metal contamination in surface sediments in an urban river in the Philippines. Polish Journal of Environmental Studies, 27(5), 1983–1995. https://doi.org/10.15244/pjoes/75204

Diario la Republica (2016). La mitad de la presa de Aguada Blanca está copada de barro.

Ekengele, L. N., Blaise, A., Jung, M. C. (2017). Accumulation of heavy metals in surface sediments of Lere Lake, Chad. Geosciences Journal. 1- 11.

El-Radaideh, N., Al-Taani, A. A., & Al Khateeb, W. M. (2017). Characteristics and quality of reservoir sediments, Mujib Dam, Central Jordan, as a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, *189*(4). https://doi.org/10.1007/s10661-017-5836-3

EPA METHOD 365.3 - Phosphorus all forma (Colorimetric, Ascorbic Acid Two Reagent), 1978.

EPA Method 6020A / EPA Method 3051A.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (s.f). CAPÍTULO 2, Contaminación provocada por los sedimentos. http://www.fao.org/3/W2598S/w2598s04.htm.

Goher, M. E., Farhat, H. I., Abdo, M. H., Salem, S. G., (2014). Metal pollution assessment in the surface sediment of Lake Nasser, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 40, 213–224.

Guzmán, G., Ramírez, E. M, Thalasso, F., Rodríguez, S., Guerrero, A. L. y Avelar, F. J. (2011). Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes. Universidad y Ciencia. 27 (1), 17-32.

Hambrook, J. and Canova, M. G. (2007). Algal Biomass Indicators, Chapter A7, Biological Indicators Version 1.0, 8/2007. U.S. Geological Survey TWRI Book 9.

Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J. M., Salgado, V. y Borbón, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. Tecnología en Marcha. 26 (1), 27 - 36.

Hutton, M. (1983). Sources of cadmium in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *7*(1), 9–24. https://doi.org/10.1016/0147-6513(83)90044-1

INVEMAR - Instituto De Investigaciones Marinas Y Costeras, (2003). Manual de técnicas Analíticas para la determinación De parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos).

Ki Young, C., Suk Hyun, K., Gi Hoon, H. and Chang Joon, K. (2013). Metal contamination and potential toxicity of sediment from lock gate port in South Korea. Journal of coastal Research. Special Issue Nº 65. DOI: 10.2112/SI65-006.1.

Laura, M., Tartari, G., Salerno, F., Valsecchi, L., Bravi, C., Lorenzi, E., Genoni, P., Guzzella, L. (2017). Climate Change Impacts on Sediment Quality of Subalpine Reservoirs: Implications on Management. Water. 9, 680.

Li, F., Xiao, M., Zhang, J., Liu, C., Qiu, Z., & Cai, Y. (2018). Spatial distribution, chemical fraction and fuzzy comprehensive risk assessment of heavy metals in surface sediments from the honghu lake, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(2), 1–17. https://doi.org/10.3390/ijerph15020207

Li, H., Shi, A., Li, M., & Zhang, X. (2013). Effect of pH, temperature, dissolved oxygen, and flow rate of overlying water on heavy metals release from storm sewer sediments. *Journal of Chemistry*, *2013*. https://doi.org/10.1155/2013/434012

Li, J. (2014). Risk assessment of heavy metals in surface sediments from the Yanghe River, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *11*(12), 12441–12453. https://doi.org/10.3390/ijerph111212441

Li, X., Shen, H., Zhao, Y., Cao, W., Hu, C., and Sun, C. (2019) Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Water, Sediments, and Aquatic Macrophytes: A Case Study of the Junction of Four Rivers in Linyi City, China. Int. J. Environ. Res. Public Healt, 16, 2861, 1-13.

Liu, X., Zhang, G., Sun, G., Wu, Y., and Chen, Y. (2019). Assessment of LakeWater Quality and Eutrophication Risk in an Agricultural Irrigation Area: A Case Study of the Chagan Lake in Northeast China. Wather, 11, 2830.

Maitera, O. N., Barminas, J. T. and Magili, S.T. (2011). Determination of heavy metal levels in water and sediments of river Gongola in Adamawa State, Nigeria. Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS). 2 (5): 891-896.

Mamani, A. (2017). Implementación de un modelo numérico de calidad del agua para el estudio del fenómeno de eutrofización del embalse El Pañe. (Tesis pre-grado). Facultad de Ingeniería de Procesos, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

Manual EXO (s.f) Manual de usuario de EXO: plataforma avanzada de análisis de calidad de agua.(https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Manuals/EXO_User_manual_Espa%C3%B1ol.pdf).

Marziali, L., Tartari, G., Salerno, F., Valsecchi, L., Bravi, C., Lorenzi, E., Genoni, P., & Guzzella, L. (2017). Climate change impacts on sediment quality of Subalpine reservoirs: Implications on management. *Water (Switzerland)*, *9*(9), 1–18. https://doi.org/10.3390/w9090680

MINAN. (2017). Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. *El Peruano*, 6–9. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf

Moreta, P. (2008). La eutrofización de los lagos y sus consecuencias. Tesis Profesional, Universidad Técnica del Norte, Guayaquil.

Nasehi, F., Monavari, M., Naderi, GH., Vaezi, M. A. and Madani, F. (2013). Investigation of heavy metals accumulation in the sediment and body of carp fish in Aras River. Iranian Juornal of Fisheries Sciences. 12 (2), 398 – 410.

Nowrouzi, M., & Pourkhabbaz, A. (2014). Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere

Reserve, Iran. *Chemical Speciation and Bioavailability*, *26*(2), 99–105. https://doi.org/10.3184/095422914X13951584546986

Padedda, B. M., Sechi, N., Lai, G. G., Mariani, M. A., Pulina, S., Sarria, M., Satta, C. T., Virdis, T., Buscarinu, P., Luglie, A. (2017). Consequences of eutrophication in the management of water resources in Mediterranean reservoirs: A case study of Lake Cedrino (Sardinia, Italy). Global Ecology and Conservation. 12, 21 – 35.

Pearce, A. R., Chambers, L. G., Hasenmueller, E. A. (2017) Characterizing nutrient distributions and fluxes in a eutrophic reservoir, Midwestern United States. Science of the Total Environment. Xxx, xxx–xxx. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.168.

Prieto, D. M., Martín-Liñares, V., Piñeiro, V., & Barral, M. T. (2016). Arsenic Transfer from As-Rich Sediments to River Water in the Presence of Biofilms. *Journal of Chemistry*, *2016*. https://doi.org/10.1155/2016/6092047

Ríos, N. (2013). Estudio químico de sedimentos de la represa de Gallito Ciego como contribución al estudio de calidad ambiental del reservorio. (Tesis Pregrado). Pontificia Universidad Católica Del Perú Facultad De Ciencias E Ingeniería, Lima, Perú.

Robert G. Wetzel, & Gene E. Likens; (1991). Limnological analyses. 2nd ed. Springer Science+Business Media New York.

Rodríguez, V. H. (2017). Detección de Cianobacterias Toxígenas de la represa El Pañe – Arequipa. (Tesis pre-grado). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.

Roldán Pérez, Gabriel. (2003). Bioindicación de la Calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/COL. Medellín: Universidad del Antioquia, 170 P.

SMEWW - APHA-AWWA-WEF. (2011). 10200 Plankton.

SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed.2012.Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed.2012.Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.

Sondergaard, M., J.P. Jensen & E. Jeppesen. (1999). Internal phosphorus loading in shallow Danish lakes. Hydrobiologia, 408: 145-152.

Sun, Y. (2017). Ecological Risk Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soil Based on Simulation. *Pol. J. Environ. Stud. 26 (4), 1693-1699.*

Swarnalatha, K. and Nair, A.G. (2017) Assessment of sediment quality of a tropical lake using sediment quality standards. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. 22, 65–73.

Swarnalatha, K., & Nair, A. G. (2017). Assessment of sediment quality of a tropical lake using sediment quality standards. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, *22*(1), 65–73. https://doi.org/10.1111/lre.12162

Talavera, C., Ortega, A., Villegas, l. (2010). Flora y Vegetación de la reserva nacional de salinas y aguada blanca. en h. zeballos, j. ochoa y e. lópez (eds), Diversidad Biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca (pp.89-1 04). Lima-Perú.

Tundu, C., Tumbare, M. J., and Jean-Marie Kileshye, J., M. (2018) Sedimentation and Its Impact/effects on River System and Reservoir Water Quality: Case study of Mazowe Catchment Zimbabwe.

U.S. Department of the Interior (2017) Dam Removal Analysis Guidelines for Sediment

UNESCO (2009). Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Sylvia Bonilla (editora). Documento Técnico PHI-LAC, N° 16.

Vera A.; Rosas L. (2017), Modelar la contaminación del agua de la Represa de Aguada Blanca por hierro y manganeso entre la temporada de lluvias y el estiaje para proporcionar agua de calidad a la población de Arequipa. Tesis. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa – Perú.

Vrhovnik, P., Šmuc, N. R., Dolenec, T., Serafimovski, T., & Dolenec, M. (2013). An evaluation of trace metal distribution and environmental risk in sediments from the Lake Kalimanci (FYR Macedonia). *Environmental Earth Sciences*, *70*(2), 761–775. https://doi.org/10.1007/s12665-012-2166-1

Wang, K., & Xing, B. (2004). Mutual effects of cadmium and phosphate on their adsorption and desorption by goethite. *Environmental Pollution*, *127*(1), 13–20. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00262-8

Watch, G. W. (2003). Información básica sobre parámetros. Recuperado el 15 de Enero de 2013, de Global water watch: http://www.globalwaterwatch.org/MEX/MXesp/MXInfoBasicaParametrosSp.asp x

Welcomme, R. L. (1980). Cuencas Fluviales, Fao, Doc., Téc. Pesca, (202): 62.

Yahaya, M. I., Jacob, A. G., Agbendeh, Z. M., Akpan, G. P., Kwasara, A. A., Yahaya, M. I., Jacob, A. G., Agbendeh, Z. M., Akpan, G P., & Kwasara, A. A. (2012). Seasonal potential toxic metals contents of Yauri river bottom sediments : North western Nigeria. *Journal of*

*Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, *4*(October), 212–221. https://doi.org/10.5897/JECE11.080

Zhang, H., & Selim, H. M. (2008). Competitive sorption-desorption kinetics of arsenate and phosphate in soils. *Soil Science*, *173*(1), 3–12. https://doi.org/10.1097/ss.0b013e31815ce750

Zhang, J., & Liu, C. L. (2002). Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China - Weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *54*(6), 1051–1070. https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0879

Zhang, J., & Liu, C. L. (2002). Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China - Weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *54*(6), 1051–1070. https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0879

Zhang, Y., Liu, S., Cheng, F., Coxixo, A., Hou, X., Shen, Z. and Chen, L. (2017) Spatial Distribution of Metals and Associated Risks in Surface Sediments Along a Typical Urban River Gradient in the Beijing Region. Arch Environ Contam Toxicol.

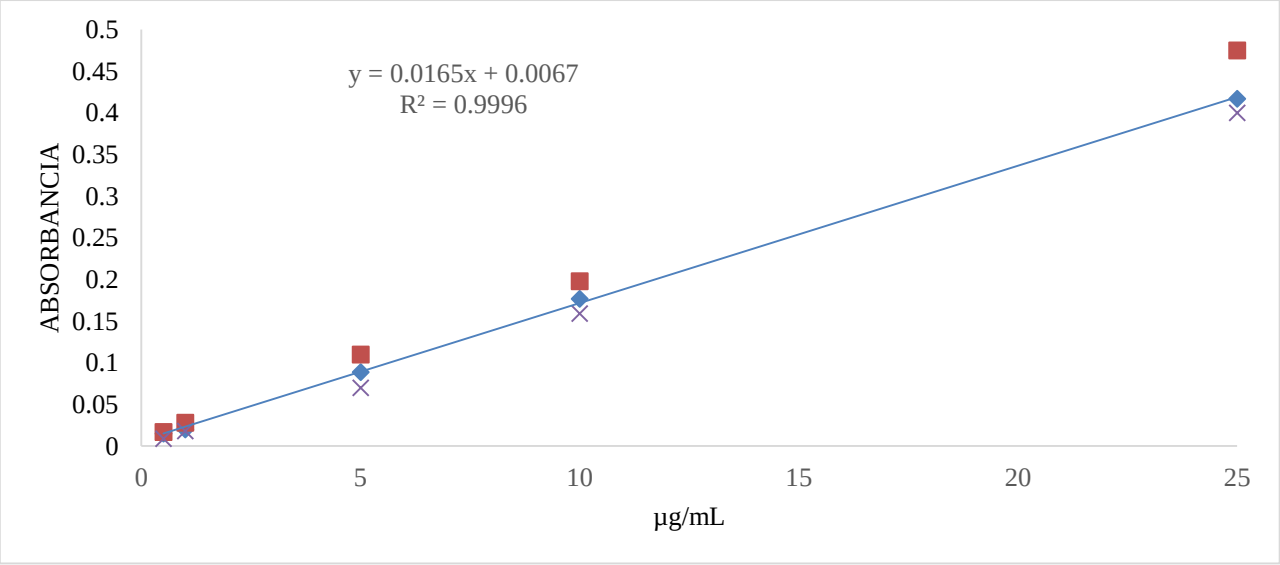
Zhu, Hui-na, Yuan, Xing-zhong, Zeng Guang-ming, Jiang Min, Liang Jie1, Zang Chang, Yin Juan, Huang Hua-jun, Liu Zhi-feng and Jiang Hong-wei1. (2013) Ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Xiawan Port based on modified potential ecological risk index. 22, 1470-1477.

# ANEXOS

## Anexo 1

## Curva de calibración de Fosfato ($PO_3^{4-}$)

| Concentración (µg/50 mL) | Abs 1 | | | Prom (Abs1) | Abs 2 | | | Prom (Abs2) | Abs3 | | | Prom (Abs3) | Prom general |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 0.827 | 0.829 | 0.829 | 0.828 | 0.950 | 0.952 | 0.952 | 0.951 | 0.800 | 0.802 | 0.805 | 0.802 | 0.881 |
| 25 | 0.417 | 0.417 | 0.419 | 0.418 | 0.475 | 0.475 | 0.475 | 0.475 | 0.400 | 0.402 | 0.402 | 0.401 | 0.441 |
| 10 | 0.177 | 0.178 | 0.178 | 0.178 | 0.198 | 0.202 | 0.202 | 0.201 | 0.159 | 0.163 | 0.164 | 0.162 | 0.183 |
| 5 | 0.089 | 0.091 | 0.091 | 0.090 | 0.110 | 0.111 | 0.114 | 0.112 | 0.070 | 0.071 | 0.072 | 0.071 | 0.094 |
| 1 | 0.020 | 0.022 | 0.022 | 0.021 | 0.028 | 0.030 | 0.033 | 0.030 | 0.018 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.024 |
| 0.5 | 0.015 | 0.017 | 0.017 | 0.016 | 0.017 | 0.020 | 0.020 | 0.019 | 0.009 | 0.008 | 0.009 | 0.009 | 0.014 |



## Anexo 2

## Concentración de clorofila y valor TLI

### Concentración de clorofila a para los 3 periodos de monitoreo

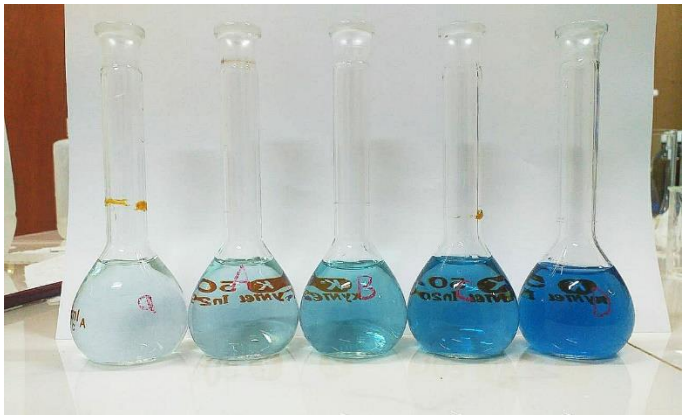
| Mes | puntos de muestreo | Concentración de Clorofila (ug $L^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0-6 depth | 0-2 depth | 2-4 depth | 4-6 depth |
| Abril | Aorilla | 10.4 | 10.3 | 10.1 | 10.8 |
| | A2 | 9.4 | 6.5 | 12.5 | 10.4 |
| | A0 | 8.8 | 6.5 | 12.4 | 10.6 |
| | B0 | 9.9 | 6.1 | 13.2 | 12.5 |
| | mean | 9.6 | 7.4 | 12.1 | 11.1 |
| | SD | 0.7 | 2.0 | 1.3 | 1.0 |
| Julio | Aorilla | 7.7 | 6.7 | 8.0 | 8.8 |
| | A0 | 3.8 | 2.7 | 7.7 | 8.0 |
| | B1 | 5.4 | 2.9 | 6.5 | 6.5 |
| | B4 | 5.6 | 1.6 | 6.5 | 7.5 |
| | B0 | 5.3 | 2.0 | 5.5 | 8.2 |
| | C3 | 4.7 | 2.5 | 5.9 | 5.6 |
| | C0 | 2.2 | 1.1 | 6.1 | 5.1 |
| | C1 | 5.4 | 1.7 | 6.7 | 6.4 |
| | C2 | 1.6 | 1.0 | 1.6 | 2.1 |
| | mean | 3.5 | 1.6 | 5.1 | 4.8 |
| | SD | 1.9 | 0.7 | 2.3 | 1.9 |
| Octubre | Aorilla | 2.9 | 1.1 | 3.3 | 3.9 |
| | A2 | 2.1 | 0.8 | 1.7 | 3.9 |
| | A0 | 2.3 | 1.2 | 1.7 | 3.7 |
| | B2 | 3.3 | 0.9 | 1.7 | 4.4 |
| | B0 | 1.5 | 0.9 | 2.0 | 4.2 |
| | B1 | 0.9 | 0.8 | 1.1 | - |
| | B1-1 | 0.9 | 0.9 | 1.2 | - |
| | C2 | 1.3 | 0.6 | 1.2 | 2.2 |
| | C0 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | - |
| | C1 | 1.0 | 0.5 | 1.1 | - |
| | mean | 1.0 | 0.6 | 1.1 | 2.2 |
| | SD | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 1.1 |

**Valor de TLI de los diferentes puntos de monitoreo en diferentes meses**

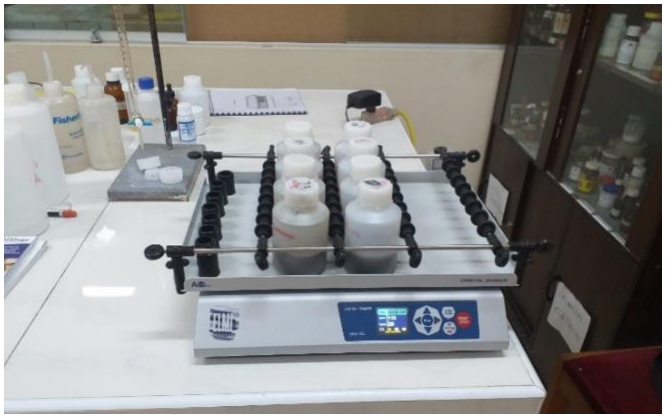
| mes | puntos de muestreo | TLI | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0-6 depth | 0-2 depth | 2-4 depth | 4-6 depth |
| Abril | Aorilla | 50.43 | 50.33 | 50.11 | 50.84 |
| | A2 | 49.33 | 45.33 | 52.43 | 50.43 |
| | A0 | 48.62 | 45.33 | 52.34 | 50.64 |
| | B0 | 49.90 | 44.64 | 53.02 | 52.43 |
| | mean | 49.57 | 46.41 | 51.98 | 51.09 |
| | SD | 0.78 | 2.63 | 1.28 | 0.91 |
| Julio | Aorilla | 47.17 | 45.66 | 47.58 | 48.62 |
| | A0 | 39.50 | 35.79 | 47.17 | 47.58 |
| | B1 | 43.31 | 36.56 | 45.33 | 45.33 |
| | B4 | 43.71 | 30.10 | 45.33 | 46.88 |
| | B0 | 43.11 | 32.53 | 43.51 | 47.85 |
| | C3 | 41.81 | 34.95 | 44.28 | 43.71 |
| | C0 | 33.56 | 26.04 | 44.64 | 42.69 |
| | C1 | 43.31 | 30.76 | 45.66 | 45.16 |
| | C2 | 30.10 | 25.00 | 30.10 | 33.06 |
| | mean | 40.62 | 33.04 | 43.73 | 44.54 |
| | SD | 5.43 | 6.23 | 5.27 | 4.73 |
| Octubre | Aorilla | 36.56 | 26.04 | 37.97 | 39.78 |
| | A2 | 33.06 | 22.58 | 30.76 | 39.78 |
| | A0 | 34.05 | 26.98 | 30.76 | 39.21 |
| | B2 | 37.97 | 23.86 | 30.76 | 41.09 |
| | B0 | 29.40 | 23.86 | 32.53 | 40.59 |
| | B1 | 23.86 | 22.58 | 26.04 | - |
| | B1-1 | 23.86 | 23.86 | 26.98 | - |
| | C2 | 27.85 | 19.45 | 26.98 | 33.56 |
| | C0 | 19.45 | 17.47 | 21.13 | - |
| | C1 | 25.00 | 17.47 | 26.04 | - |
| | mean | 29.10 | 22.41 | 28.99 | 39.00 |
| | SD | 6.16 | 3.30 | 4.59 | 20.24 |

## Anexo 3

## Panel Fotográfico trabajo de laboratorio



Balones de aforo de curva de fosforo

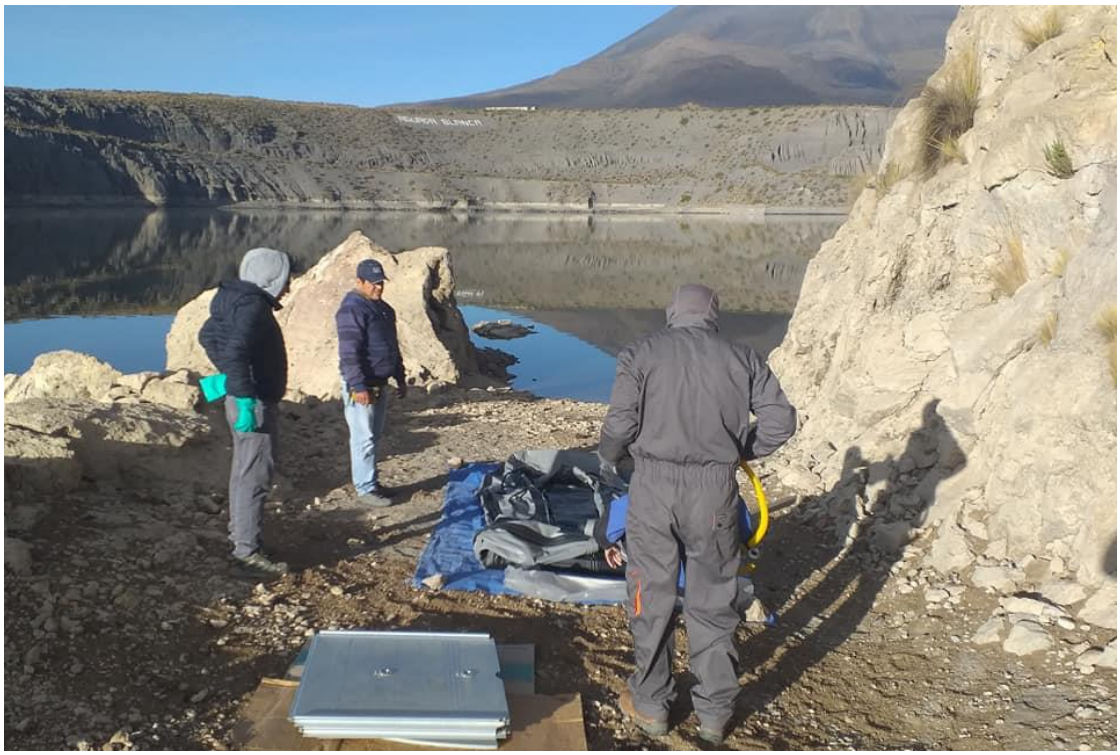


Shaker para extraccion de fosforo de sedimento

Espectrofotometro marca Biobase

## Anexo 4

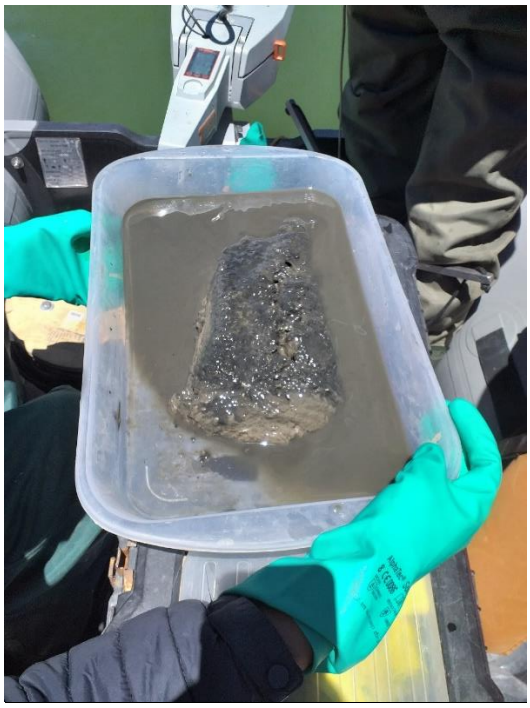
## Panel Fotográfico trabajo de campo



Armado de bote, para navegacion y toma de muestras

Ecosanoda (batimetria)

Toma de muestras de sedimentos



Muestras de sedimento de ingreso de agua

Muestras de Sedimento de zona de represamiento

Muestreo de sedimentos

Trabajo en bote

Vista aerea de la Represa de Aguada Blanca - Arequipa

Trabajo de toma de muestras de agua con botella niskin

Equipo de trabajo monitoreo de la Represa de Aguada Blanca

(Jurgen, Samuel, Albert y Alfonso)

# Anexo 5

## Resultados de Laboratorio

SAG

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047**

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N°LE - 047

## INFORME DE ENSAYO Nº 132559 - 2019
## CON VALOR OFICIAL

| | |
|---|---|
| **RAZÓN SOCIAL** | : TORRES ESPIRILLA ALFONSO |
| **DOMICILIO LEGAL** | : JR. CONVENCIÓN 118 P.J. BUENOS AIRES MZ W - CAYMA - AREQUIPA -AREQUIPA |
| **SOLICITADO POR** | : TORRES ESPIRILLA ALFONSO |
| **REFERENCIA** | : TESIS "AGUADA BLANCA" |
| **PROCEDENCIA** | : AREQUIPA |
| **FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** | : 2019-04-28 |
| **FECHA(S) DE ANÁLISIS** | : 2019-04-28 AL 2019-05-10 |
| **FECHA(S) DE MUESTREO** | : 2019-04-26 |
| **MUESTREADO POR** | : EL CLIENTE |
| **CONDICIÓN DE LA MUESTRA** | : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ. |

**I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:**

| Ensayo | Método | L.C | Unidades |
|---|---|---|---|
| | **AGUA** | | |
| Demanda Bioquímica de oxígeno ($DBO_5$) | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test. | 2.00(a) | mg/L |
| Demanda Química de oxígeno (DQO) | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017.Chemical Oxygen Demand (CDD). Closed Reflux, Colorimetric Method. | 10.0 | $O_2$ mg/L |
| METALES TOTALES por ICP-MS: Plata, Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Mercurio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo, Antimonio, Selenio, Talio, Torio, Uranio, Vanadio, Zinc. | EPA Method 200.8 Revision 5.4 (1994). Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. | --- | mg/L |
| METALES TOTALES por ICP-MS: Litio, Bismuto, Boro, Sodio, Magnesio, Silicio, Sílice, Silicato, Fósforo, Potasio, Calcio, Titanio, Hierro, Galio, Germanio, Rubidio, Estroncio, Zirconio, Niobio, indio, Estaño, Cesio, Lantano, Cerio, Terbio, Lutecio, Tantalio, Wolframio. | EPA Method 200.8 Revision 5.4. 1994 (Validado). Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. | --- | mg/L |
| | **SEDIMENTO** | | |
| Materia orgánica | ASTM D 2974-14. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils. 2014 | 0.47 | % |
| Metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc). | Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. | --- | mg/kg |

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

Quim. Belbeth Y. Fajardo Leon
C.Q.P N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Enviromental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

# INFORME DE ENSAYO Nº 132559 - 2019
# CON VALOR OFICIAL

**II. RESULTADOS:**

| Producto declarado | | | Agua Superficial | Agua Superficial |
|---|---|---|---|---|
| Matriz analizada | | | Agua Natural | Agua Natural |
| Fecha de muestreo | | | 2019-04-26 | 2019-04-26 |
| Hora de inicio de muestreo (h) | | | 10:00 | 12:00 |
| Condiciones de la muestra | | | Refrigerada/ Preservada | Refrigerada/ Preservada |
| Código del Cliente | | | A-01F | B-01F |
| Código del Laboratorio | | | 19042163 | 19042165 |
| Ensayo | | Unidad | Resultados | |
| Demanda Bioquímica de oxígeno ($DBO_5$) | | mg/L | <2.00 | <2.00 |
| Demanda Química de oxígeno (DQO) | | $O_2$ mg/L | 12.09 | 43.91 |
| Ensayo | L.D.M. | unidades | Resultados | |
| **Metales totales** | | | | |
| Litio (Li) | 0.00004 | mg/L | 0.01052 | 0.01018 |
| Berilio (Be) | 0.00001 | mg/L | <0.00001 | 0.00004 |
| Boro (B) | 0.0002 | mg/L | 0.1258 | 0.1025 |
| Sodio (Na) | 0.004 | mg/L | 12.681 | 11.286 |
| Magnesio (Mg) | 0.004 | mg/L | 3.389 | 3.064 |
| Aluminio (Al) | 0.004 | mg/L | 0.184 | 0.235 |
| Silicio (Si) | 0.004 | mg/L | 9.687 | 10.401 |
| Silice ($SiO_2$) | 0.008 | mg/L | 20.730 | 22.259 |
| Silicato ($SiO_3$) | 0.01 | mg/L | 26.25 | 28.19 |
| Fosforo (P) | 0.003 | mg/L | 0.028 | 0.045 |
| Potasio (K) | 0.008 | mg/L | 3.448 | 3.269 |
| Calcio (Ca) | 0.006 | mg/L | 13.485 | 12.508 |
| Titanio (Ti) | 0.00008 | mg/L | 0.00581 | 0.00617 |
| Vanadio (V) | 0.00004 | mg/L | 0.00192 | 0.00201 |
| Cromo (Cr) | 0.0002 | mg/L | 0.0003 | 0.0005 |
| Manganeso (Mn) | 0.000008 | mg/L | 0.012422 | 0.023055 |
| Hierro (Fe) | 0.00006 | mg/L | 0.22076 | 0.30195 |
| Cobalto (Co) | 0.000005 | mg/L | 0.000112 | 0.000186 |
| Niquel (Ni) | 0.00003 | mg/L | 0.00056 | 0.00055 |
| Cobre (Cu) | 0.0001 | mg/L | 0.0017 | 0.0016 |
| Zinc (Zn) | 0.00005 | mg/L | 0.01665 | 0.01598 |
| Galio (Ga) | 0.00003 | mg/L | <0.00003 | 0.00025 |
| Germanio (Ge) | 0.00002 | mg/L | <0.00002 | 0.00003 |
| Arsenico (As) | 0.00002 | mg/L | 0.00944 | 0.00737 |
| Selenio (Se) | 0.0002 | mg/L | <0.0002 | <0.0002 |
| Rubidio (Rb) | 0.00003 | mg/L | 0.00550 | 0.00537 |
| Estroncio (Sr) | 0.00002 | mg/L | 0.10709 | 0.10082 |
| Zirconio (Zr) | 0.00002 | mg/L | 0.00033 | 0.00047 |
| Niobio (Nb) | 0.00002 | mg/L | 0.00006 | 0.00013 |
| Molibdeno (Mo) | 0.00004 | mg/L | 0.00103 | 0.00109 |
| Plata (Ag) | 0.00002 | mg/L | 0.00010 | 0.00031 |
| Cadmio (Cd) | 0.00003 | mg/L | 0.00003 | 0.00021 |
| Indio (In) | 0.00003 | mg/L | <0.00003 | 0.00013 |
| Estaño (Sn) | 0.0006 | mg/L | <0.0006 | <0.0006 |
| Antimonio (Sb) | 0.0001 | mg/L | 0.0002 | 0.0002 |
| Cesio (Cs) | 0.00003 | mg/L | 0.00015 | 0.00031 |
| Bario (Ba) | 0.00004 | mg/L | 0.02420 | 0.02300 |
| Lantano (La) | 0.000002 | mg/L | 0.000191 | 0.000340 |
| Cerio (Ce) | 0.000004 | mg/L | 0.000408 | 0.000606 |
| Terbio (Tb) | 0.00002 | mg/L | <0.00002 | 0.00014 |
| Lutecio (Lu) | 0.000001 | mg/L | 0.000001 | 0.000129 |
| Tantalio (Ta) | 0.00001 | mg/L | <0.00001 | 0.00010 |
| Wolframio (W) | 0.00003 | mg/L | 0.00018 | 0.00092 |
| Mercurio (Hg) | 0.00002 | mg/L | <0.00002 | 0.00003 |
| Talio (Tl) | 0.00002 | mg/L | 0.00012 | 0.00084 |
| Plomo (Pb) | 0.0001 | mg/L | 0.0002 | 0.0006 |
| Bismuto (Bi) | 0.000005 | mg/L | <0.000005 | 0.000366 |
| Torio (Th) | 0.000006 | mg/L | 0.000046 | 0.000543 |
| Uranio (U) | 0.000002 | mg/L | 0.000202 | 0.000315 |

L.D.M.: límite de detección del método.

Quim. Belbeth Y. Fajardo Leon
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

**EPA:** Enviromental Protection Agency. **ASTM:** American Society for Testing and Materials. **NTP:** Norma Técnica Peruana.

**OBSERVACIONES:** • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo **laboratorio@sagperu.com**. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

# INFORME DE ENSAYO Nº 132559 - 2019
# CON VALOR OFICIAL

**II. RESULTADOS:**

| Producto declarado | | | Sedimento | Sedimento |
|---|---|---|---|---|
| Matriz analizada | | | Sedimento | Sedimento |
| Fecha de muestreo | | | 2019-04-26 | 2019-04-26 |
| Hora de inicio de muestreo (h) | | | 10:00 | 12:00 |
| Condiciones de la muestra | | | Conservada | Conservada |
| Código del Cliente | | | A-01-S | B-01-S |
| Código del Laboratorio | | | 19042162 | 19042164 |
| Ensayo | | Unidad | Resultados | |
| Materia orgánica | | % | 5.3 | 4.74 |
| Ensayo | L.D.M. | unidades | Resultados | |
| **Metales** | | | | |
| Plata (Ag) | 0.07 | mg/kg | <0.07 | <0.07 |
| Aluminio (Al) | 1.4 | mg/kg | 13331.9 | 10361.1 |
| Arsénico (As) | 0.1 | mg/kg | 20.6 | 13.8 |
| Boro (B) | 0.2 | mg/kg | <0.2 | <0.2 |
| Bario (Ba) | 0.2 | mg/kg | 320.8 | 277.9 |
| Berilio (Be) | 0.03 | mg/kg | 0.80 | 0.60 |
| Calcio (Ca) | 4.7 | mg/kg | 5867.6 | 5792.0 |
| Cadmio (Cd) | 0.04 | mg/kg | 1.64 | 1.42 |
| Cerio (Ce) | 0.2 | mg/kg | 64.4 | 52.4 |
| Cobalto (Co) | 0.05 | mg/kg | 10.63 | 8.44 |
| Cromo (Cr) | 0.04 | mg/kg | 11.05 | 10.68 |
| Cobre (Cu) | 0.1 | mg/kg | 48.4 | 46.4 |
| Hierro (Fe) | 0.2 | mg/kg | >20000 | 18255.5 |
| Mercurio (Hg) | 0.1 | mg/kg | <0.1 | <0.1 |
| Potasio (K) | 4.3 | mg/kg | 2564.1 | 2312.6 |
| Litio (Li) | 0.3 | mg/kg | 22.4 | 18.0 |
| Magnesio (Mg) | 4.4 | mg/kg | 3274.2 | 2946.1 |
| Manganeso (Mn) | 0.05 | mg/kg | 649.40 | 450.55 |
| Molibdeno (Mo) | 0.2 | mg/kg | 0.4 | <0.2 |
| Sodio (Na) | 2.3 | mg/kg | 2105.4 | 3635.6 |
| Níquel (Ni) | 0.06 | mg/kg | 12.06 | 10.61 |
| Fósforo (P) | 0.3 | mg/kg | 1733.8 | 1492.3 |
| Plomo (Pb) | 0.06 | mg/kg | 22.96 | 18.72 |
| Antimonio (Sb) | 0.2 | mg/kg | 2.8 | 2.3 |
| Selenio(Se) | 0.3 | mg/kg | <0.3 | <0.3 |
| Estaño (Sn) | 0.1 | mg/kg | <0.1 | <0.1 |
| Estroncio (Sr) | 0.1 | mg/kg | 84.7 | 73.7 |
| Titanio (Ti) | 0.03 | mg/kg | 466.88 | 409.06 |
| Talio(Tl) | 0.3 | mg/kg | <0.3 | <0.3 |
| Vanadio (V) | 0.04 | mg/kg | 42.53 | 36.49 |
| Zinc (Zn) | 0.2 | mg/kg | 58.8 | 49.7 |

L.D.M.: límite de detección del método.

Resultados de Sedimento reportado en base seca.

Lima, 13 de Mayo del 2019.

Quim. Belbeth Y. Fajardo Le...
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Enviromental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

# INFORME DE ENSAYO Nº 134972 - 2019
# CON VALOR OFICIAL

| | |
|---|---|
| **RAZÓN SOCIAL** | : TORRES ESPIRILLA ALFONSO |
| **DOMICILIO LEGAL** | : JR. CONVENCIÓN 118 P.J. BUENOS AIRES MZ W - CAYMA - AREQUIPA-AREQUIPA |
| **SOLICITADO POR** | : TORRES ESPIRILLA ALFONSO |
| **REFERENCIA** | : TESIS "AGUADA BLANCA" |
| **PROCEDENCIA** | : AREQUIPA |
| **FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** | : 2019-07-21 Y 2019-08-01 |
| **FECHA(S) DE ANÁLISIS** | : 2019-07-21 AL 2019-08-12 |
| **FECHA(S) DE MUESTREO** | : 2019-07-19 Y 2019-07-17 |
| **MUESTREADO POR** | : EL CLIENTE |
| **CONDICIÓN DE LA MUESTRA** | : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ. |

**I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:**

| Ensayo | Método | L.C | Unidades |
|---|---|---|---|
| **AGUA** | | | |
| Demanda Bioquímica de oxígeno ($DBO_5$) | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test. | 2.00(a) | mg/L |
| Demanda Química de oxígeno (DQO) | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017.Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method. | 10.0 | $O_2$ mg/L |
| METALES TOTALES por ICP-MS: Plata, Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Mercurio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo, Antimonio, Selenio, Talio, Torio, Uranio, Vanadio, Zinc. | EPA Method 200.8 Revision 5.4 (1994). Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. | --- | mg/L |
| METALES TOTALES por ICP-MS: Litio, Bismuto, Boro, Sodio, Magnesio, Silicio, Sílice, Silicato, Fósforo, Potasio, Calcio, Titanio, Hierro, Galio, Germanio, Rubidio, Estroncio, Zirconio, Niobio, indio, Estaño, Cesio, Lantano, Cerio, Terbio, Lutecio, Tantalio, Wolframio. | EPA Method 200.8 Revision 5.4. 1994 (Validado). Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. | --- | mg/L |
| **SEDIMENTO** | | | |
| Materia orgánica | ASTM D 2974-14. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils. 2014 | 0.47 | % |
| Metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc). | Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. | --- | mg/kg |

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

Quim. Beibeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Enviromental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

# INFORME DE ENSAYO Nº 134972 - 2019
# CON VALOR OFICIAL

**II. RESULTADOS:**

| Producto declarado | | | Agua Superficial | Agua Superficial | Agua Superficial | Agua Superficial |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Matriz analizada | | | Agua Natural | Agua Natural | Agua Natural | Agua Natural |
| Fecha de muestreo | | | 2019-07-19 | 2019-07-19 | 2019-07-19 | 2019-07-19 |
| Hora de inicio de muestreo (h) | | | 10:10 | 12:32 | 13:40 | 15:00 |
| Condiciones de la muestra | | | Refrigerada/ Preservada | Refrigerada/ Preservada | Refrigerada/ Preservada | Refrigerada/ Preservada |
| Código del Cliente | | | C 0 | B 0 | B 4 | A 0 |
| Código del Laboratorio | | | 19072653 | 19072654 | 19072655 | 19072656 |
| Ensayo | | Unidad | Resultados | | | |
| Demanda Bioquímica de oxígeno ($DBO_5$) | | mg/L | <2.00 | <2.00 | <2.00 | <2.00 |
| Demanda Química de oxígeno (DQO) | | $O_2$ mg/L | 14.6 | 10.5 | 28.7 | 10.5 |
| Ensayo | L.D.M. | unidades | Resultados | | | |
| **Metales totales** | | | | | | |
| Litio (Li) | 0.00004 | mg/L | 0.02078 | 0.02047 | 0.01857 | 0.01688 |
| Berilio (Be) | 0.00001 | mg/L | 0.00007 | 0.00011 | 0.00004 | 0.00007 |
| Boro (B) | 0.0002 | mg/L | 0.1805 | 0.1713 | 0.1596 | 0.1535 |
| Sodio (Na) | 0.004 | mg/L | 19.254 | 18.546 | 18.199 | 18.001 |
| Magnesio (Mg) | 0.004 | mg/L | 3.897 | 3.778 | 3.716 | 3.694 |
| Aluminio (Al) | 0.004 | mg/L | 0.077 | 0.089 | 0.093 | 0.090 |
| Silicio (Si) | 0.004 | mg/L | 11.521 | 10.773 | 10.530 | 10.570 |
| Silice ($SiO_2$) | 0.008 | mg/L | 24.654 | 23.054 | 22.534 | 22.619 |
| Silicato ($SiO_3$) | 0.01 | mg/L | 31.22 | 29.19 | 28.54 | 28.64 |
| Fosforo (P) | 0.003 | mg/L | 0.019 | 0.010 | 0.009 | 0.011 |
| Potasio (K) | 0.008 | mg/L | 1.858 | 1.816 | 1.788 | 1.792 |
| Calcio (Ca) | 0.006 | mg/L | 15.818 | 14.740 | 14.804 | 14.103 |
| Titanio (Ti) | 0.00008 | mg/L | 0.00223 | 0.00321 | 0.00253 | 0.00252 |
| Vanadio (V) | 0.00004 | mg/L | 0.00246 | 0.00216 | 0.00215 | 0.00223 |
| Cromo (Cr) | 0.0002 | mg/L | <0.0002 | <0.0002 | <0.0002 | <0.0002 |
| Manganeso (Mn) | 0.000008 | mg/L | 0.020716 | 0.027760 | 0.030973 | 0.047581 |
| Hierro (Fe) | 0.00006 | mg/L | 0.10636 | 0.12165 | 0.11563 | 0.13606 |
| Cobalto (Co) | 0.000005 | mg/L | 0.000107 | 0.000153 | 0.000126 | 0.000160 |
| Niquel (Ni) | 0.00003 | mg/L | 0.00058 | 0.00073 | 0.00060 | 0.00070 |
| Cobre (Cu) | 0.0001 | mg/L | 0.0018 | 0.0022 | 0.0017 | 0.0020 |
| Zinc (Zn) | 0.00005 | mg/L | 0.01192 | 0.00985 | 0.02125 | 0.00967 |
| Galio (Ga) | 0.00003 | mg/L | <0.00003 | 0.00028 | 0.00004 | 0.00006 |
| Germanio (Ge) | 0.00002 | mg/L | 0.00003 | 0.00007 | 0.00003 | 0.00003 |
| Arsenico (As) | 0.00002 | mg/L | 0.01383 | 0.01242 | 0.01207 | 0.01179 |
| Selenio (Se) | 0.0002 | mg/L | <0.0002 | <0.0002 | <0.0002 | <0.0002 |
| Rubidio (Rb) | 0.00003 | mg/L | 0.00700 | 0.00701 | 0.00701 | 0.00692 |
| Estroncio (Sr) | 0.00002 | mg/L | 0.16843 | 0.16083 | 0.15879 | 0.15437 |
| Zirconio (Zr) | 0.00002 | mg/L | 0.00016 | 0.00043 | 0.00015 | 0.00014 |
| Niobio (Nb) | 0.00002 | mg/L | <0.00002 | 0.00020 | 0.00008 | 0.00006 |
| Molibdeno (Mo) | 0.00004 | mg/L | 0.00109 | 0.00151 | 0.00112 | 0.00105 |
| Plata (Ag) | 0.00002 | mg/L | 0.00005 | 0.00027 | 0.00012 | 0.00027 |
| Cadmio (Cd) | 0.00003 | mg/L | <0.00003 | 0.00005 | <0.00003 | 0.00003 |
| Indio (In) | 0.00003 | mg/L | <0.00003 | 0.00020 | <0.00003 | <0.00003 |
| Estaño (Sn) | 0.0006 | mg/L | <0.0006 | <0.0006 | <0.0006 | <0.0006 |
| Antimonio (Sb) | 0.0001 | mg/L | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| Cesio (Cs) | 0.00003 | mg/L | 0.00019 | 0.00040 | 0.00020 | 0.00020 |
| Bario (Ba) | 0.00004 | mg/L | 0.02540 | 0.02470 | 0.02450 | 0.02450 |
| Lantano (La) | 0.000002 | mg/L | 0.000085 | 0.000216 | 0.000092 | 0.000095 |
| Cerio (Ce) | 0.000004 | mg/L | 0.000177 | 0.000307 | 0.000186 | 0.000174 |
| Terbio (Tb) | 0.00002 | mg/L | <0.00002 | 0.00013 | <0.00002 | <0.00002 |
| Lutecio (Lu) | 0.000001 | mg/L | 0.000001 | 0.000127 | 0.000013 | 0.000011 |
| Tantalio (Ta) | 0.00001 | mg/L | <0.00001 | 0.00016 | 0.00002 | 0.00002 |
| Wolframio (W) | 0.00003 | mg/L | 0.00007 | 0.00102 | 0.00026 | 0.00017 |
| Mercurio (Hg) | 0.00002 | mg/L | <0.00002 | <0.00002 | <0.00002 | <0.00002 |
| Talio (Tl) | 0.00002 | mg/L | 0.00011 | 0.00125 | 0.00039 | 0.00023 |
| Plomo (Pb) | 0.0001 | mg/L | 0.0002 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0002 |
| Bismuto (Bi) | 0.000005 | mg/L | 0.000011 | 0.000728 | 0.000062 | 0.000031 |
| Torio (Th) | 0.000006 | mg/L | 0.000082 | 0.000526 | 0.000186 | 0.000126 |
| Uranio (U) | 0.000002 | mg/L | 0.000168 | 0.000389 | 0.000192 | 0.000172 |

L.D.M.: límite de detección del método.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

**EPA:** Enviromental Protection Agency. **ASTM:** American Society for Testing and Materials. **NTP:** Norma Técnica Peruana.

**OBSERVACIONES:** • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

# INFORME DE ENSAYO Nº 134972 - 2019
# CON VALOR OFICIAL

**II. RESULTADOS:**

| Producto declarado | | | Sedimento | Sedimento | Sedimento |
|---|---|---|---|---|---|
| Matriz analizada | | | Sedimento | Sedimento | Sedimento |
| Fecha de muestreo | | | 2019-07-19 | 2019-07-19 | 2019-07-19 |
| Hora de inicio de muestreo (h) | | | 10:10 | 12:32 | 15:25 |
| Condiciones de la muestra | | | Conservada | Conservada | Conservada |
| Código del Cliente | | | C 0-S | B 0-S | A 0-S |
| Código del Laboratorio | | | 19072657 | 19072658 | 19072659 |
| Ensayo | | Unidad | Resultados | | |
| Materia orgánica | | % | 5.54 | 5.17 | 6.30 |
| Ensayo | L.D.M. | unidades | Resultados | | |
| **Metales** | | | | | |
| Plata (Ag) | 0.07 | mg/kg | <0.07 | <0.07 | <0.07 |
| Aluminio (Al) | 1.4 | mg/kg | 7294.3 | 8785.7 | 10563.0 |
| Arsénico (As) | 0.1 | mg/kg | 8.8 | 8.2 | 10.5 |
| Boro (B) | 0.2 | mg/kg | 0.8 | 0.5 | 0.7 |
| Bario (Ba) | 0.2 | mg/kg | 199.8 | 201.0 | 223.7 |
| Berilio (Be) | 0.03 | mg/kg | 0.57 | 0.64 | 0.79 |
| Calcio (Ca) | 4.7 | mg/kg | 3604.0 | 3474.0 | 3634.5 |
| Cadmio (Cd) | 0.04 | mg/kg | 2.16 | 2.20 | 2.53 |
| Cerio (Ce) | 0.2 | mg/kg | 53.0 | 54.2 | 63.7 |
| Cobalto (Co) | 0.05 | mg/kg | 6.26 | 6.93 | 9.14 |
| Cromo (Cr) | 0.04 | mg/kg | 6.21 | 5.93 | 6.47 |
| Cobre (Cu) | 0.1 | mg/kg | 32.5 | 30.2 | 35.5 |
| Hierro (Fe) | 0.2 | mg/kg | 11275.4 | 12297.5 | 14104.5 |
| Mercurio (Hg) | 0.1 | mg/kg | <0.1 | <0.1 | <0.1 |
| Potasio (K) | 4.3 | mg/kg | 1379.2 | 1501.3 | 1654.0 |
| Litio (Li) | 0.3 | mg/kg | 8.0 | 9.7 | 13.7 |
| Magnesio (Mg) | 4.4 | mg/kg | 1817.8 | 1911.4 | 2219.0 |
| Manganeso (Mn) | 0.05 | mg/kg | 277.04 | 402.72 | 590.00 |
| Molibdeno (Mo) | 0.2 | mg/kg | 0.5 | 0.4 | 0.5 |
| Sodio (Na) | 2.3 | mg/kg | 588.0 | 663.0 | 662.3 |
| Níquel (Ni) | 0.06 | mg/kg | 5.97 | 5.73 | 6.62 |
| Fósforo (P) | 0.3 | mg/kg | 954.5 | 1008.6 | 1016.7 |
| Plomo (Pb) | 0.06 | mg/kg | 16.28 | 15.00 | 18.16 |
| Antimonio (Sb) | 0.2 | mg/kg | 1.0 | 0.7 | 1.0 |
| Selenio(Se) | 0.3 | mg/kg | <0.3 | <0.3 | <0.3 |
| Estaño (Sn) | 0.1 | mg/kg | 0.5 | 0.5 | 0.6 |
| Estroncio (Sr) | 0.1 | mg/kg | 62.6 | 61.8 | 68.4 |
| Titanio (Ti) | 0.03 | mg/kg | 350.28 | 369.49 | 376.74 |
| Talio(Tl) | 0.3 | mg/kg | <0.3 | <0.3 | <0.3 |
| Vanadio (V) | 0.04 | mg/kg | 33.15 | 31.64 | 37.64 |
| Zinc (Zn) | 0.2 | mg/kg | 37.7 | 38.6 | 43.2 |

L.D.M.: límite de detección del método.
Resultados de Sedimento reportado en base seca.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Enviromental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

# INFORME DE ENSAYO Nº 134972 - 2019
# CON VALOR OFICIAL

**II. RESULTADOS:**

| Producto declarado | | | Sedimento |
|---|---|---|---|
| Matriz analizada | | | Sedimento |
| Fecha de muestreo | | | 2019-07-17 |
| Hora de inicio de muestreo (h) | | | 11:00 |
| Condiciones de la muestra | | | Conservada |
| Código del Cliente | | | C2-S |
| Código del Laboratorio | | | 19080155 |
| **Ensayo** | **L.D.M.** | **unidades** | **Resultados** |
| **Metales** | | | |
| Plata (Ag) | 0.07 | mg/kg | <0.07 |
| Aluminio (Al) | 1.4 | mg/kg | 4297.3 |
| Arsénico (As) | 0.1 | mg/kg | 5.2 |
| Boro (B) | 0.2 | mg/kg | <0.2 |
| Bario (Ba) | 0.2 | mg/kg | 113.8 |
| Berilio (Be) | 0.03 | mg/kg | 0.30 |
| Calcio (Ca) | 4.7 | mg/kg | 2073.8 |
| Cadmio (Cd) | 0.04 | mg/kg | 2.28 |
| Cerio (Ce) | 0.2 | mg/kg | 26.1 |
| Cobalto (Co) | 0.05 | mg/kg | 4.35 |
| Cromo (Cr) | 0.04 | mg/kg | 4.91 |
| Cobre (Cu) | 0.1 | mg/kg | 13.0 |
| Hierro (Fe) | 0.2 | mg/kg | 7662.2 |
| Mercurio (Hg) | 0.1 | mg/kg | <0.1 |
| Potasio (K) | 4.3 | mg/kg | 962.8 |
| Litio (Li) | 0.3 | mg/kg | 4.8 |
| Magnesio (Mg) | 4.4 | mg/kg | 1786.7 |
| Manganeso (Mn) | 0.05 | mg/kg | 151.23 |
| Molibdeno (Mo) | 0.2 | mg/kg | <0.2 |
| Sodio (Na) | 2.3 | mg/kg | 267.9 |
| Níquel (Ni) | 0.06 | mg/kg | 3.69 |
| Fósforo (P) | 0.3 | mg/kg | 287.4 |
| Plomo (Pb) | 0.06 | mg/kg | 6.91 |
| Antimonio (Sb) | 0.2 | mg/kg | 0.7 |
| Selenio(Se) | 0.3 | mg/kg | <0.3 |
| Estaño (Sn) | 0.1 | mg/kg | 0.9 |
| Estroncio (Sr) | 0.1 | mg/kg | 34.7 |
| Titanio (Ti) | 0.03 | mg/kg | 357.18 |
| Talio(Tl) | 0.3 | mg/kg | <0.3 |
| Vanadio (V) | 0.04 | mg/kg | 23.57 |
| Zinc (Zn) | 0.2 | mg/kg | 23.1 |

L.D.M.: límite de detección del método.
Resultados de Sedimento reportado en base seca.

Lima, 15 de Agosto del 2019.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

# INFORME DE ENSAYO Nº 137105 - 2019
# CON VALOR OFICIAL

| | |
|---|---|
| **RAZÓN SOCIAL** | : TORRES ESPIRILLA ALFONSO |
| **DOMICILIO LEGAL** | : JR. CONVENCIÓN 118 P.J. BUENOS AIRES MZ W - CAYMA - AREQUIPA - AREQUIPA |
| **SOLICITADO POR** | : TORRES ESPIRILLA ALFONSO |
| **REFERENCIA** | : TESIS "AGUADA BLANCA" |
| **PROCEDENCIA** | : AREQUIPA |
| **FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** | : 2019-10-11 |
| **FECHA(S) DE ANÁLISIS** | : 2019-10-11 AL 2019-10- 22 |
| **FECHA(S) DE MUESTREO** | : 2019-10-09 |
| **MUESTREADO POR** | : EL CLIENTE |
| **CONDICIÓN DE LA MUESTRA** | : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ. |

**I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:**

| Ensayo | Método | L.C | Unidades |
|---|---|---|---|
| **AGUA** | | | |
| Demanda Bioquímica de oxigeno ($DBO_5$) | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test. | 2.00[a] | mg/L |
| Demanda Química de oxigeno (DQO) | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017.Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method. | 10.0 | $O_2$ mg/L |
| METALES TOTALES por ICP-MS: Plata, Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Mercurio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo, Antimonio, Selenio, Talio, Torio, Uranio, Vanadio, Zinc. | EPA Method 200.8 Revision 5.4 (1994). Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. | --- | mg/L |
| METALES TOTALES por ICP-MS: Litio, Bismuto, Boro, Sodio, Magnesio, Silicio, Silice, Silicato, Fósforo, Potasio, Calcio, Titanio, Hierro, Galio, Germanio, Rubidio, Estroncio, Zirconio, Niobio, indio, Estaño, Cesio, Lantano, Cerio, Terbio, Lutecio, Tantalio, Wolframio. | EPA Method 200.8 Revision 5.4. 1994 (Validado). Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. | --- | mg/L |
| **SEDIMENTO** | | | |
| Materia orgánica | ASTM D 2974-14. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils. 2014 | 0.47 | % |
| Metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc). | Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. 17025 | --- | mg/kg |

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

RECIBIDO 31/12/19

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Enviromental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

# INFORME DE ENSAYO Nº 137105 - 2019
# CON VALOR OFICIAL

**II. RESULTADOS:**

| Producto declarado | | | Agua Superficial | Agua Superficial | Agua Superficial |
|---|---|---|---|---|---|
| Matriz analizada | | | Agua Natural | Agua Natural | Agua Natural |
| Fecha de muestreo | | | 2019-10-09 | 2019-10-09 | 2019-10-09 |
| Hora de inicio de muestreo (h) | | | 09:45 | 11:00 | 12:45 |
| Condiciones de la muestra | | | Refrigerada/ Preservada | Refrigerada/ Preservada | Refrigerada/ Preservada |
| Código del Cliente | | | C 0 | B 0 | A 0 |
| Código del Laboratorio | | | 19100934 | 19100935 | 19100936 |
| Ensayo | | Unidad | Resultados | | |
| Demanda Bioquímica de oxígeno ($DBO_5$) | | mg/L | <2.00 | <2.00 | <2.00 |
| Demanda Química de oxígeno (DQO) | | $O_2$ mg/L | 12.7 | <10.0 | <10.0 |
| Ensayo | L.D.M. | Unidades | Resultados | | |
| **Metales totales** | | | | | |
| Litio (Li) | 0.00004 | mg/L | 0.01853 | 0.02041 | 0.01765 |
| Berilio (Be) | 0.00001 | mg/L | 0.00005 | 0.00002 | 0.00002 |
| Boro (B) | 0.0002 | mg/L | 0.2019 | 0.1959 | 0.1966 |
| Sodio (Na) | 0.004 | mg/L | 18.749 | 18.443 | 18.027 |
| Magnesio (Mg) | 0.004 | mg/L | 3.740 | 3.614 | 3.532 |
| Aluminio (Al) | 0.004 | mg/L | 0.218 | 0.217 | 0.193 |
| Silicio (Si) | 0.004 | mg/L | 6.844 | 7.153 | 7.044 |
| Silice ($SiO_2$) | 0.008 | mg/L | 14.645 | 15.308 | 15.073 |
| Silicato ($SiO_3$) | 0.01 | mg/L | 18.55 | 19.38 | 19.09 |
| Fosforo (P) | 0.003 | mg/L | 0.093 | 0.092 | 0.087 |
| Potasio (K) | 0.008 | mg/L | 3.851 | 3.780 | 3.741 |
| Calcio (Ca) | 0.006 | mg/L | 13.678 | 13.969 | 13.819 |
| Titanio (Ti) | 0.00008 | mg/L | 0.00297 | 0.00382 | 0.00250 |
| Vanadio (V) | 0.00004 | mg/L | 0.00226 | 0.00224 | 0.00209 |
| Cromo (Cr) | 0.0002 | mg/L | 0.0002 | 0.0001 | <0.0002 |
| Manganeso (Mn) | 0.000008 | mg/L | 0.022141 | 0.040566 | 0.025257 |
| Hierro (Fe) | 0.00006 | mg/L | 0.12849 | 0.13934 | 0.10294 |
| Cobalto (Co) | 0.000005 | mg/L | 0.000155 | 0.000182 | 0.000124 |
| Niquel (Ni) | 0.00003 | mg/L | 0.00045 | 0.00043 | 0.00039 |
| Cobre (Cu) | 0.0001 | mg/L | 0.0027 | 0.0018 | 0.0019 |
| Zinc (Zn) | 0.00005 | mg/L | 0.05229 | 0.01912 | 0.01983 |
| Galio (Ga) | 0.00003 | mg/L | 0.00004 | 0.00004 | 0.00004 |
| Germanio (Ge) | 0.00002 | mg/L | 0.00004 | 0.00004 | 0.00004 |
| Arsenico (As) | 0.00002 | mg/L | 0.01130 | 0.01121 | 0.01092 |
| Selenio (Se) | 0.0002 | mg/L | 0.0001 | 0.0000 | <0.0002 |
| Rubidio (Rb) | 0.00003 | mg/L | 0.00652 | 0.00668 | 0.00656 |
| Estroncio (Sr) | 0.00002 | mg/L | 0.16047 | 0.15985 | 0.15849 |
| Zirconio (Zr) | 0.00002 | mg/L | 0.00033 | 0.00018 | 0.00014 |
| Niobio (Nb) | 0.00002 | mg/L | 0.00001 | 0.00000 | <0.00002 |
| Molibdeno (Mo) | 0.00004 | mg/L | 0.00101 | 0.00096 | 0.00098 |
| Plata (Ag) | 0.00002 | mg/L | 0.00008 | 0.00001 | 0.00006 |
| Cadmio (Cd) | 0.00003 | mg/L | 0.00002 | 0.00001 | <0.00003 |
| Indio (In) | 0.00003 | mg/L | 0.00017 | 0.00019 | 0.00019 |
| Estaño (Sn) | 0.0006 | mg/L | 0.0571 | 0.0563 | 0.0564 |
| Antimonio (Sb) | 0.0001 | mg/L | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 |
| Cesio (Cs) | 0.00003 | mg/L | 0.00021 | 0.00021 | 0.00017 |
| Bario (Ba) | 0.00004 | mg/L | 0.02461 | 0.02591 | 0.02496 |
| Lantano (La) | 0.000002 | mg/L | 0.000151 | 0.000155 | 0.000103 |
| Cerio (Ce) | 0.000004 | mg/L | 0.000327 | 0.000337 | 0.000239 |
| Terbio (Tb) | 0.00002 | mg/L | 0.00001 | 0.00000 | <0.00002 |
| Lutecio (Lu) | 0.000001 | mg/L | 0.000002 | 0.000001 | 0.000001 |
| Tantalio (Ta) | 0.00001 | mg/L | 0.00000 | 0.00000 | <0.00001 |
| Wolframio (W) | 0.00003 | mg/L | 0.00006 | 0.00005 | 0.00005 |
| Mercurio (Hg) | 0.00002 | mg/L | 0.00000 | 0.00000 | <0.00002 |
| Talio (Tl) | 0.00002 | mg/L | 0.00000 | 0.00000 | <0.00002 |
| Plomo (Pb) | 0.0001 | mg/L | 0.0003 | 0.0001 | <0.0001 |
| Bismuto (Bi) | 0.000005 | mg/L | 0.000000 | 0.000000 | <0.000005 |
| Torio (Th) | 0.000006 | mg/L | 0.000013 | 0.000008 | <0.000006 |
| Uranio (U) | 0.000002 | mg/L | 0.000164 | 0.000149 | 0.000148 |

L.D.M.: límite de detección del método.

Quim. Belbéth Y. Fajardo Leon
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Quimico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Enviromental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

# INFORME DE ENSAYO Nº 137105 - 2019
# CON VALOR OFICIAL

**II. RESULTADOS:**

| Producto declarado | | | Sedimento | Sedimento | Sedimento |
|---|---|---|---|---|---|
| Matriz analizada | | | Sedimento | Sedimento | Sedimento |
| Fecha de muestreo | | | 2019-10-09 | 2019-10-09 | 2019-10-09 |
| Hora de inicio de muestreo (h) | | | 09:45 | 11:00 | 12:45 |
| Condiciones de la muestra | | | Conservada | Conservada | Conservada |
| Código del Cliente | | | C 0-S | B 0-S | A 0-S |
| Código del Laboratorio | | | 19100937 | 19100938 | 19100939 |
| Ensayo | | Unidad | Resultados | | |
| Materia orgánica | | % | 3.44 | 6.15 | 6.27 |
| Ensayo | L.D.M. | unidades | Resultados | | |
| **Metales** | | | | | |
| Plata (Ag) | 0.07 | mg/kg | <0.07 | 0.07 | 0.08 |
| Aluminio (Al) | 1.4 | mg/kg | 4882.9 | 9378.9 | 9552.3 |
| Arsénico (As) | 0.1 | mg/kg | 8.0 | 18.3 | 19.5 |
| Boro (B) | 0.2 | mg/kg | 5.5 | 8.1 | 8.0 |
| Bario (Ba) | 0.2 | mg/kg | 182.9 | 318.2 | 333.5 |
| Berilio (Be) | 0.03 | mg/kg | 0.40 | 0.88 | 1.06 |
| Calcio (Ca) | 4.7 | mg/kg | 1949.0 | 2723.4 | 3010.1 |
| Cadmio (Cd) | 0.04 | mg/kg | 0.14 | 0.34 | 0.33 |
| Cerio (Ce) | 0.2 | mg/kg | 25.3 | 52.2 | 52.4 |
| Cobalto (Co) | 0.05 | mg/kg | 5.58 | 10.48 | 11.16 |
| Cromo (Cr) | 0.04 | mg/kg | 6.90 | 8.72 | 8.67 |
| Cobre (Cu) | 0.1 | mg/kg | 20.2 | 44.7 | 44.3 |
| Hierro (Fe) | 0.2 | mg/kg | 7461.9 | 12514.6 | 13289.2 |
| Mercurio (Hg) | 0.1 | mg/kg | <0.1 | <0.1 | <0.1 |
| Potasio (K) | 4.3 | mg/kg | 1089.3 | 1515.5 | 1496.8 |
| Litio (Li) | 0.3 | mg/kg | 7.9 | 18.0 | 19.4 |
| Magnesio (Mg) | 4.4 | mg/kg | 1536.8 | 2412.9 | 2491.3 |
| Manganeso (Mn) | 0.05 | mg/kg | 163.72 | 563.26 | 687.24 |
| Molibdeno (Mo) | 0.2 | mg/kg | 0.2 | 0.4 | 0.4 |
| Sodio (Na) | 2.3 | mg/kg | 329.1 | 409.4 | 457.1 |
| Níquel (Ni) | 0.06 | mg/kg | 6.53 | 10.34 | 10.14 |
| Fósforo (P) | 0.3 | mg/kg | 255.9 | 416.4 | 408.8 |
| Plomo (Pb) | 0.06 | mg/kg | 7.93 | 20.41 | 20.76 |
| Antimonio (Sb) | 0.2 | mg/kg | 0.2 | 0.3 | 0.3 |
| Selenio(Se) | 0.3 | mg/kg | <0.3 | <0.3 | <0.3 |
| Estaño (Sn) | 0.1 | mg/kg | 0.6 | 0.8 | 0.9 |
| Estroncio (Sr) | 0.1 | mg/kg | 61.9 | 99.4 | 104.2 |
| Titanio (Ti) | 0.03 | mg/kg | 412.80 | 364.06 | 333.67 |
| Talio(Tl) | 0.3 | mg/kg | <0.3 | 0.5 | 0.4 |
| Vanadio (V) | 0.04 | mg/kg | 27.91 | 41.24 | 41.60 |
| Zinc (Zn) | 0.2 | mg/kg | 35.1 | 63.1 | 61.4 |

L.D.M.: límite de detección del método.
Resultados de Sedimento reportado en base seca.

Lima, 25 de Octubre del 2019.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Enviromental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.