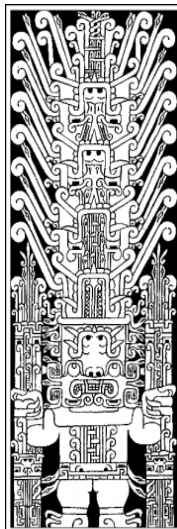


UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS
ALIMENTARIAS Y ACUICULTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ACUICULTURA



TESIS

BIOENSAYO AGUDO CON CIANURO TOTAL EN ALEVINES DE
TILAPIA GRIS *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) EN AMBIENTE
CONTROLADO

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO PESQUERO ACUICULTOR

PRESENTADA POR:

MEY LIN LAU CORALES

LIMA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A dios, por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar los obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A mis padres, Martha Corales y Eduardo Lau, por haberme apoyado en todo momento, por su infinito e incondicional amor hacia mí, por su motivación constante, por los valores inculcados y por ser junto a mi hermano los pilares de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos y familiares que de una u otra manera me han motivado y apoyado a la culminación de mi tesis y en el transcurso de mi vida.

Mi agradecimiento especial al Dr. Abel Walter Zambrano Cabanillas, asesor de esta investigación, por su valioso apoyo y guía para la realización del presente trabajo.

Bioensayo agudo con cianuro total en alevines de tilapia gris *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) en ambiente controlado

Mey Lin Lau Corales

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto letal del cianuro mediante un bioensayo agudo estático, realizándose un total de tres replicas, sobre alevinos de *Oreochromis niloticus* “tilapia gris” después de exponerlos durante 96 horas al toxico, los alevinos de tilapia fueron adquiridos de una piscigranja en Tarapoto y el bioensayo se realizó en un ambiente controlado (Laboratorio de bioensayos implementado por la tesista), primero se realizó un bioensayo preliminar con rangos amplios de concentración del toxico, para luego establecer rangos más específicos, se emplearon un total de 10 alevinos por concentración del tóxico.

Se empleó el método Probit para procesar los resultados obtenidos, el resultado final de la prueba fue una concentración media letal LC_{50} de 0,31 ppm de cianuro, demostrándose que el cianuro es muy peligroso para la especie evaluada.

Palabras claves: Bioensayo, cianuro, concentración media letal (CL_{50}), tilapia.

Acute bioassay with total cyanide in gray tilapia fingerlings *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) in a controlled environment.

Mey Lin Lau Corales

Abstract

The objective of the present investigation was to evaluate the lethal effect of cyanide by a static bioassay, with a total of three replicates, on fingerlings of *Oreochromis niloticus* "gray tilapia" after exposing them for 96 hours to the toxic, the tilapia fingerlings were acquired of a fish farm in Tarapoto and the bioassay was conducted in a controlled environment (bioassay laboratory implemented by the thesis), first a preliminary bioassay was conducted with wide ranges of toxic concentration, to later establish more specific ranges, a total of 10 fingerlings by toxic concentration.

The Probit method was used to process the results obtained, the final result of the test was a LC_{50} Lethal Median concentration of 0.31 ppm of cyanide, demonstrating that cyanide is very dangerous for the evaluated species.

Key words: Bioassay, cyanide, lethal median concentration (LC_{50}), tilapia.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1 Antecedentes.....	18
1.2 Planteamiento del problema.....	25
1.2.1. Problema principal.....	26
1.2.2. Problemas secundarios.....	26
1.3 Objetivos.....	26
1.3.1 Objetivo central.....	26
1.3.2 Objetivos específicos.....	26
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	27
2.1. Características de Tilapia Gris.....	27
2.1.1. Ubicación taxonómica.....	27
2.1.2. Distribución geográfica.....	27
2.1.3. Hábitat.....	28
2.1.4. Alimentación.....	28

2.1.5.	Generalidades sobre el cultivo de Tilapia.....	29
2.2.	Contaminación.....	31
2.2.1.	Contaminación química.....	31
2.2.2.	Contaminantes Inorgánicos.....	32
2.2.3.	Contaminantes Orgánicos.....	32
2.2.4.	Efectos de la contaminación en la acuicultura.....	33
2.3.	Cianuro.....	34
2.3.1.	Uso del cianuro.....	36
2.3.2.	El cianuro y la minería.....	37
2.3.3.	Toxicología del cianuro.....	38
2.3.3.1.	Toxicidad en el hombre.....	38
2.3.3.2.	Toxicidad vida silvestre.....	40
2.4.	Bioensayo.....	40
2.4.1.	Clasificación de bioensayos.....	42
2.4.1.1.	Bioensayos de respuesta directa.....	42
2.4.1.2.	Ensayos de respuesta indirecta.....	44
2.4.2.	Índice de toxicidad.....	44
2.5.	Ecotoxicología.....	46
2.5.1.	Definición de ecotoxicología.....	46
2.6.	Marco conceptual.....	46
2.7.	Hipótesis central.....	48

CAPÍTULO III MÉTODO	49
3. Materiales y Método.....	49
3.1. Materiales	49
3.2. Equipos	50
3.3. Reactivos.....	50
3.4. Método.....	50
3.4.1. Obtención de alevinos y transporte	50
3.4.2. Acondicionamiento de acuarios para cuarentena	51
3.4.3. Cuarentena	55
3.4.4. Biometría	58
3.4.5. Infraestructura para bioensayo.....	59
a) Construcción de acuarios	59
b) Construcción de andamio para acuarios	62
c) Sistema de aireación	63
3.4.6. Preparación del contaminante.....	65
3.4.7. Bioensayo preliminar.....	71
CAPÍTULO IV RESULTADOS	89
4. Resultados	89
4.1. Bioensayo preliminar	89
4.2. Bioensayo final	95
4.3. Estimación de la concentración letal media (LC ₅₀)	111

CAPITULO V DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	117
5.1. DISCUSIONES.....	117
5.2. CONCLUSIONES	119
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	120
7. ANEXOS	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 LC ₅₀ con cianuro en diferentes especies.....	23
Tabla 2 LC ₅₀ con cianuro en diferentes especies expuestos a 96 horas.....	24
Tabla 3 Características del bioensayo preliminar.....	77
Tabla 4 Resultados del bioensayo preliminar.....	89
Tabla 5 Resultados de pH del bioensayo preliminar.....	89
Tabla 6 Resultados de Temperatura del agua del bioensayo preliminar.....	90
Tabla 7 Resultados de Temperatura del ambiental y Oxígeno disuelto.....	90
Tabla 8 Mortalidad en Bioensayo preliminar.....	91
Tabla 9 Resultados del bioensayo final.....	95
Tabla 10 Resultados de pH del bioensayo final.....	96
Tabla 11 Resultados de Temperatura del agua del bioensayo final.....	96
Tabla 12 Resultados de Temperatura del ambiental y Oxígeno disuelto bioensayo final.	97
Tabla 13 Resultados de mortalidad – bioensayo final primera replica.....	98
Tabla 14 Resultados de mortalidad – bioensayo final segunda replica.....	99
Tabla 15 Resultados de mortalidad – bioensayo final tercera replica.....	100
Tabla 16 Modelo Estimado de Regresión (Máxima Verosimilitud).....	111
Tabla 17 Coeficientes.....	111
Tabla 18 Estimación de valores de concentración letal y límites de confianza.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Adquisición de alevinos	51
Figura 2. Construcción de palé.....	52
Figura 3. Llenado de acuarios de cuarentena.	52
Figura 4. Decloración de agua.....	53
Figura 5. Recambio de agua.	53
Figura 6. Medición de pH (Método colorimétrico).....	54
Figura 7. Medición de Oxígeno Disuelto (Método Winkler).....	54
Figura 8. Medición de parámetros.....	55
Figura 9. Recepción de alevines en el laboratorio.....	56
Figura 10. Introducción de bolsa de alevinos al acuario.	56
Figura 11. Verificación de temperatura.....	57
Figura 12. Alevinos en acuario de cuarentena.....	57
Figura 13. Pesaje de los alevinos.....	58
Figura 14. Medición de la longitud de los alevinos.	58
Figura 15. Armado de acuarios.	56
Figura 16. Prueba de acuarios.	60
Figura 17. Construcción de andamio para bioensayo.....	62
Figura 18. Andamio para bioensayo.....	63
Figura 19. Andamio con acuarios para bioensayo.....	63
Figura 20. Instalación del sistema de aireación.....	64
Figura 21. Regulación del sistema de aireación.	64
Figura 22. Sistema de aireación.....	64
Figura 23. Desinfección de la mesa de trabajo.....	65
Figura 24. Lavado de material de vidrio.	65

Figura 25. Ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$	66
Figura 26. Pesado de Ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$	67
Figura 27. Pesado de 2.10g Ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$	67
Figura 28. Preparación de la solución patrón de cianuro.	68
Figura 29. Disolución de los cristales de ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$	69
Figura 30. Completando con agua desionizada.....	69
Figura 31. Homogenizando la solución de ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$	70
Figura 32. Solución de ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$	70
Figura 33. Llenado de los acuarios para bioensayo preliminar.	74
Figura 34. Decloración de agua para bioensayo preliminar.	74
Figura 35. Regulación del sistema de aireación bioensayo preliminar.	75
Figura 36. Batería de acuarios para bioensayo preliminar.	75
Figura 37. Extracción de agua de acuarios.....	76
Figura 38. Introducción de alevinos a acuarios para bioensayo preliminar.	76
Figura 39. Introducción del contaminante al acuario C2.	77
Figura 40. Retirada de alevinos muertos durante bioensayo preliminar.	79
Figura 41. Disecto de alevinos muertos durante bioensayo preliminar.....	79
Figura 42. Materiales para preparación de la solución patrón para bioensayo final. ...	83
Figura 43. Preparación de la solución patrón para bioensayo final.....	84
Figura 44. Selección de alevinos para bioensayo final.....	84
Figura 45. Introducción de alevinos al acuario C5 – primera replica.	85
Figura 46. Introducción del contaminante al acuario C4 – primera replica.	85
Figura 47. Introducción del contaminante al acuario C3 – segunda replica.	86
Figura 48. Medición de parámetros de calidad de agua.	86
Figura 49. Medición de pH.....	87

Figura 50. Retirada de los alevinos muertos – bioensayo final.....	87
Figura 51. Disecto de alevines – bioensayo final.....	88
Figura 52. Lavado del material de vidrio finalizado el bioensayo.....	88
Figura 53. Supervivencia (%) a 1 hora de exposición al toxico – bioensayo preliminar.	92
Figura 54. Supervivencia (%) a 4 horas de exposición al toxico – bioensayo preliminar.....	92
Figura 55. Supervivencia (%) a 12 horas de exposición al toxico – bioensayo preliminar.....	93
Figura 56. Supervivencia (%) a 42 horas de exposición al toxico – bioensayo preliminar.....	93
Figura 57. Supervivencia (%) a 72 horas de exposición al toxico – bioensayo preliminar.....	94
Figura 58. Supervivencia (%) a 96 horas de exposición al toxico – bioensayo preliminar.....	94
Figura 59. Diagrama de sistema de bioensayo.....	101
Figura 60. Supervivencia (%) a 1 hora de exposición al toxico – bioensayo final (primera replica).....	102
Figura 61. Supervivencia (%) a 4 horas de exposición al toxico – bioensayo final (primera replica).....	102
Figura 62. Supervivencia (%) a 12 horas de exposición al toxico – bioensayo final (primera replica).....	103
Figura 63. Supervivencia (%) a 48 horas de exposición al toxico – bioensayo final (primera replica).....	103

Figura 64. Supervivencia (%) a 72 horas de exposición al toxico – bioensayo final (primera replica).	104
Figura 65. Supervivencia (%) a 96 horas de exposición al toxico – bioensayo final (primera replica).	104
Figura 66. Supervivencia (%) a 1 hora de exposición al toxico – bioensayo final (segunda replica).....	105
Figura 67. Supervivencia (%) a 4 horas de exposición al toxico – bioensayo final (segunda replica).....	105
Figura 68. Supervivencia (%) a 12 horas de exposición al toxico – bioensayo final (segunda replica).....	106
Figura 69. Supervivencia (%) a 48 horas de exposición al toxico – bioensayo final (segunda replica).....	106
Figura 70. Supervivencia (%) a 72 horas de exposición al toxico – bioensayo final (segunda replica).....	107
Figura 71. Supervivencia (%) a 96 horas de exposición al toxico – bioensayo final (segunda replica).....	107
Figura 72. Supervivencia a 1 hora de exposición al toxico – bioensayo final (tercera replica).	108
Figura 73. Supervivencia (%) a 4 horas de exposición al toxico – bioensayo final (tercera replica).....	108
Figura 74. Supervivencia (%) a 12 horas de exposición al toxico – bioensayo final (tercera replica).....	109
Figura 75. Supervivencia (%) a 48 horas de exposición al toxico – bioensayo final (tercera replica).....	109

Figura 76. Supervivencia (%) a 72 horas de exposición al toxico – bioensayo final (tercera replica).....	110
Figura 77. Supervivencia (%) a 96 horas de exposición al toxico – bioensayo final (tercera replica).....	110
Figura 78. Movimiento en el mismo eje producido por cianuro.	114
Figura 79. Movimiento errático de alevino producido por cianuro – 0,5ppm.	114
Figura 80. Actividad en superficie producido por cianuro – 0,9ppm.....	115
Figura 81. Opérculo abierto – 0,9ppm.....	115
Figura 82. Cambio de color en branquia – 0,9ppm.	115
Figura 83. Alevín muerto con boca abierta – primera replica.	116
Figura 84. Alevines muertos con boca abierta – primera replica.	116

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales pilares de nuestra economía está centrado en la actividad minería, el Perú ocupa el primer puesto en producción de oro a nivel Latinoamérica y séptimo a nivel mundial, a través de la historia económica de nuestro país, la actividad minería ha contribuido y contribuye actualmente al crecimiento económico del país.

Sin embargo, junto al desarrollo de la minería en nuestro país, esta actividad trae consigo problemas medioambientales, el uso del cianuro para el desarrollo de la actividad minera se encuentra ligado a la extracción de oro, el cianuro es empleado para separar el metal de la roca en un proceso denominado lixiviación y cuyo costo es bajo, pero altamente tóxico en los seres vivos.

No solo las personas que manipulan el cianuro durante el proceso de lixiviación están expuestos a los efectos contaminantes, el cianuro contamina también los ríos que son los receptores de los efluentes mineros que en el caso de la minería ilegal se mezclan en los ríos sin tratamientos previos.

En muchos ríos de nuestro país se evidencia la presencia de cianuro, así por ejemplo según la ANA (2012) reporta que en el río Chira cuyos afluentes son el río Quiroz y Chipillico la concentración de cianuro es 0,002 mg/L a salida del Reservorio de Poechos en donde se reportan presencia de *Oreochromis niloticus* "Tilapia gris", según Imarpe (2007), en el río Moche la concentración de cianuro es menor a 0,004 mg/L según la ANA (2015), en el caso de los ríos Tambopata, Malinowski, Río Huepetuhe, Inambari, Dos de mayo y Madre de Dios la ANA (2010) reporta concentraciones menores a 0,004 mg/L.

Los bioensayos son ensayos de toxicidad que se usan para evaluar los efectos de un toxico en un corto tiempo y nos permiten conocer la concentración a la que el toxico causa daños nocivos o letales, la investigación desarrollada tuvo como objetivo conocer el efecto nocivo del cianuro en *Oreochromis niloticus*.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Sánchez & Andrade (2009), determinaron que la sensibilidad de la especie *Oncorhynchus mykiss* al cianuro empleando como contaminante el Cianuro de Sodio (NaCN), la investigación tuvo como objetivo determinar la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) por medio de bioensayos sobre alevinos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), concluyendo que la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) del cianuro es de 0,2039 mg/L, evidenciando efectos tóxicos a partir de una concentración de 0,15 mg/L.

David & Kartheek. (2014), analizaron la toxicidad del cianuro de sodio (NaCN) y correlacionando los niveles de proteína, aminoácidos libres, actividad proteasa e histopatología del hígado de la especie *Cyprinus carpio* durante 10 y 20 días, concluyendo que una concentración de 0,2 mg/l puede afectar duramente el hígado de los peces y provocar una variación en los aspectos bioquímicos e histopatológicos, sugiriendo se tomen medidas apropiadas para la desintoxicación del cianuro de sodio antes de su descarga a los arroyos, debido a que pueden comprometer la supervivencia del hábitat acuático.

Kim, W; Lee, Kim J. y Huh (2008), expusieron a la especie *Sebastes schlegeli* “Pez roca coreano” al cianuro de sodio (NaCN), para evaluar el consumo de oxígeno durante la exposición de la especie al contaminante, los organismos fueron expuestos a una concentración de 10 ppb durante en un rango de 221 a 230 horas, observándose que los peces fueron capaces de recuperar sus actividades rítmicas, sin embargo cuando fueron expuestos a 20 ppb durante un rango de 168 – 208 horas se observó que los peces no fueron capaces de recuperar su actividad metabólica, concluyendo que

concentraciones superiores a 20 ppb dañan irreversiblemente la actividad metabólica de *Sebastes schlegel*.

Argota, Espinoza y Lannacone (2015), evaluaron la toxicidad media letal del cianuro libre presente en efluente y relave minero utilizando como biomodelo a las especies *Brachydanio erio* y *Eisenia andrei*, la investigación fue realizada durante el periodo de poca lluvia, para lo cual se seleccionaron cuatro muestras representativas de efluente minero y se estableció tres replicas por cada muestra ambiental, las concentraciones empleadas fueron 0,035 mg/L, 0,078 mg/L, 0,131 mg/L y 0,15 mg/L, observándose una mortalidad del 100% a las 24 horas del ensayo a una concentración letal medio de 0,078 mg/L para *Brachydanio erio*, en el caso de *Eisenia andrei* la concentración letal media ocurrió a las 48 horas de duración del ensayo, y correspondió a 0,016g de relave, concluyendo que los bioensayos indicaron efectos de toxicidad inmediata en efluentes y relaves mineros expuestos a cianuro libre.

Núñez & Hurtado (2005), evaluaron la toxicidad aguda del cianuro utilizando como bioindicador ambiental a *Daphnia magna* desarrollada en un medio de cultivo modificado, se aislaron 10 cepas de *D. magna* en tres medio de cultivo, jugo de alfalfa, levadura fresca y disuelta y jugo de alfalfa y levadura fresca, solo obteniéndose el desarrollo de 4 cepas en el medio de cultivo de jugo de alfalfa las cuales fueron utilizadas para el ensayo toxicológico agudo con cianuro, obteniéndose como resultado el valor de EC_{50-24} una concentración de $1,5388 \text{ mg/L} \pm 0,1145$ y EC_{50-48h} de $0,6359 \text{ mg/L} \pm 0,0516$, concluyendo que los valores EC_{50-48h} están por debajo del límite permisible para liberación de cianuro en efluentes del sector Energía y Minas.

Jiménez & Gonzales (2009), determinaron que la concentración letal media CL_{50-48} , del Cianuro (Utilizando como contaminante Cianuro de potasio KCN) sobre *Daphnia pulex* es de 0,0903 ppm (mg/l), concluyendo que resultado se encuentra por debajo de lo contemplado en la Resolución 1074 de 1997 de Colombia, la cual establece como concentración máxima permisible para Cianuro 1,0 mg/l, afirmando que la concentración establecida no garantiza la supervivencia de la fauna acuática

Ticona & Argota (2016), utilizaron con biomotor ecotoxicológico a la especie *Gambusia punctata* para predecir el riesgo ecotoxicológico dado por la exposición de la especie a cianuro libre mediante la modelación cinético- matemática en condiciones controladas, se tomaron muestras de tres puntos correspondientes al ecosistema Ramis-Cuenca Hidrográfica Titicaca en Puno utilizando nitrato de plata para determinar la concentración de cianuro libre, obteniéndose como resultado que la concentración de cianuro libre fue de 0,14 mg/L a 0,16mg/L, obteniéndose la mortalidad del total de individuos a 24 horas de exposición a 0,078 ppm, concluyendo que el cianuro libre está en forma biodisponible en que sus concentraciones aun siendo bajas presentaron efectos de riesgo ecotoxicológico.

Smith LL Jr, Broderius SJ, Oseid DM, Kimball GL, Koenst WM.(1978), evaluaron la toxicidad agua del cianuro de hidrogeno en un rango de temperatura de 4° a 30°C y en concentraciones de oxígeno de 3,36 a 9,26 mg/L, en cinco diferentes especies: *Pimephales promelas*, *Lepomis macrochirus*, *Perca flavescens*, *Salvelinus Fontinalis* y *Salmo gairdneri*, mediante bioensayos se determinaron la CL_{50-96} de las especies, obteniéndose resultados significativos en *Pimephales promelas* cuya toxicidad aguda se encontró entre 121 µg/L a 352 µg/L en estadio huevo, 81,6 µg/L a 122 µg/L en alevines y 82,4 µg/L a 137 µg/L en estadio juvenil, demostrando que la especie fue más

resistente en estadio huevo y en temperatura bajas y buena disponibilidad de oxígeno disuelto.

Alabaster, Shurben y Mallet (1982), evaluaron la toxicidad aguda del cianuro y amoníaco de *Salmo salar* en bajas concentración de oxígeno disuelto, para evaluar la toxicidad del cianuro empleo cianuro de hidrogeno (HCN), en concentraciones de 10mg/L de oxígeno disuelto y luego de 24 horas de exposición dio como resultado una $LC_{50} = 0,073$ mg/L y en una concentración de oxígeno disuelto de 3,5 mg/L dio como una $LC_{50} = 0,024$ mg/L, evidenciando una mayor resistencia de la especie al cianuro de hidrogeno en un ambiente con mayor oxigenación.

Broderius, Smith y Lind (1977), evaluaron la relación entre el pH y la toxicidad del cianuro de hidrógeno en la especie *Pimephales promelas* “carpa cabezona” a una temperatura de 20°C en un rango de pH de 6,8 a 9,3, empleando un bioensayo agudo, dando como resultado que a pH ácido (6,830) la CL_{50-96} fue 124µg/l y a un pH básico (9,262) la CL_{50-96} fue 83 µg/l, durante el desarrollo de la experimentación los rangos de oxígeno disuelto se encontraron ente 7,56 mg/L y 7,71 mg/L, realizando un total de 12 tratamientos y 3 controles introduciéndose 10 organismos en cada tratamiento.

Dube & Hosetti (2010), evaluaron la toxicidad del cianuro en la especie *Labeo rohita* “Carpa rui” empleando como tóxico el cianuro de sodio (NaCN), para la experimentación se emplearon juveniles y fueron expuestos al tóxico mediante un bioensayo agudo, la experimentación dio como resultado una CL_{50-96} de 320 µg/l, observándose un comportamiento irregular, errático, perdida de equilibrio y mortalidad, observándose que el consumo de oxigeno disminuyo durante toda la experimentación.

Prashanth & Neelagung (2008), evaluaron la toxicidad del cianuro libre (empleando como tóxico el cianuro de sodio) para la especie *Cirrhinus mrigala* “Mrigal” utilizando el método de bioensayo estático. La LC_{50} en 96h fue 35 $\mu\text{g/l}$, observándose cambios de comportamiento cuando fueron expuestos a niveles letales la concentración de cianuro libre se evidenció un aumento del movimiento opercular, aumento en el comportamiento de la superficie, cambio en el color del cuerpo, pérdida de equilibrio, secreción aumentada de moco, actividad de natación irregular, sacudida rápida movimiento y finalmente la mortalidad de los organismos.

Kovacs & Leduc (1982), evaluaron la toxicidad del cianuro, empleando como contaminante el cianuro de hidrógeno (HCN) en la especie *Salmo gairdneri*, los cuales fueron aclimatados por 3 semanas a tres diferentes temperaturas 6°C, 12°C y 18°C, obteniéndose como resultados una LC_{50-96} de 0,028 mg/l para 6°C, 0,042 mg/l para 12°C y 0,068 mg/l para 18°C, evidenciando que el cianuro de hidrógeno (HCN) presenta mayor toxicidad a temperaturas más bajas.

En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos en diferentes especies a la exposición de cianuro en diferentes rangos de tiempo.

Tabla 1*LC₅₀ con cianuro en diferentes especies*

Especie utilizada	CL₅₀ mg/L CN	Tiempo de exposición (h)	Estadio	Referencia
<i>P. promelas</i>	0,111	96	alevinos	Hartmann, C. 2004
<i>Lepomis macrochirus</i>	0,15	96	alevinos	CETESB
<i>Pitú</i>	0,25	48	alevinos	CETESB
<i>Trucha arco iris</i>	0,27	96	alevinos	CCME, 1996
<i>Daphnia</i>	0,330	48	alevinos	CCME, 1996
<i>Daphnia</i>	0,180	48	alevinos	CCME, 1996
<i>Pimephales promelas</i>	0,128	72	alevinos	Broderius et al., 1977
<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	0,102	72	alevinos	Smith et al., 1979
<i>Salvelinus fontinalis</i>	0,143	72	alevinos	Smith et al., 1978
<i>Salmo trutta</i>	0,26	96	alevinos	Costa, H.H.1965
<i>Phoxinus phoxinus</i>	0,18	96	alevinos	Wuhrmann, K., and H. Woker1953
<i>Daphnia pulex</i>	0,0903	48	neonatos	Universidad de la Salle, JIMENEZ, GONZALEZ, 2009

Fuente: Sánchez & Andrade (2009)

JACC (2007), sostiene que los organismos acuáticos (peces, invertebrados y algas) son muy sensibles a concentraciones de cianuro, además la concentración de oxígeno disuelto es un factor importante que influye en la sobrevivencia de los

organismos acuáticos antes la exposición de cianuro, sin embargo, la alcalinidad y dureza total no evidencian influencia para la toxicidad de cianuro.

Murgatroyd *et al*, (1998; citado por JACC,2007) sostiene que, en los peces, el cianuro inhibe el metabolismo aeróbico, si las concentraciones de cianuro son suficientemente altas, los peces se ven obligados al metabolismo anaeróbico, y las diferencias entre las LC₅₀ entre diferentes especies se debe principalmente a la capacidad de estas en el potencial para el metabolismo anaeróbico (en la Tabla 2 se puede observar la variación de LC₅₀ a 96 horas de exposición de cianuro), sostiene también que el cianuro también puede causar daño tisular y efectos en el sistema nervioso, lo que puede provocar posibles efectos subletales, por ejemplo sobre la capacidad de nado de los peces y la reducción del metabolismo.

Tabla 2

LC₅₀ (µg/l) con cianuro en diferentes especies expuestas a 96 horas

Name	Family	Number of LC ₅₀ values	LC ₅₀ (µg CN ⁻¹ /l)	
			Mean ^a	Range
Freshwater				
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Salmonidae	15	57	27 - 97
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Salmonidae	24	99	51 - 499
<i>Perca flavescens</i>	Percidae	9	134	73 - 325
<i>Pimephales promelas</i>	Cyprinidae	35	137	79 - 339
<i>Lepomis macrochirus</i>	Centrarchidae	22	144	72 - 351
<i>Carassius auratus</i>	Cyprinidae	1	169	
<i>Leuciscus idus melanotus</i>	Cyprinidae	1	209	
<i>Danio rerio</i>	Cyprinidae	1	490	
<i>Cirrhinus mrigala</i>	Cyprinidae	3	511	197 - 839
<i>Labeo rohita</i>	Cyprinidae	3	600	199 - 1,046
<i>Tilapia mossambica</i>	Cichlidae	3	600	194 - 1,068

Fuente: JACC, 2007.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad, en nuestro país se emplea el cianuro en la industria minera para el proceso de extracción de oro, el cual representa un problema ambiental.

Las causas principales de la presencia del cianuro en el agua son las descargas provenientes de algunos procesos de tratamiento de minerales (para separar el oro y la plata de la roca madre), de industrias de sustancias químicas orgánicas, así como de plantas o manufactura de hierro o acero (Rimarachin, 2013), mientras que gran parte del cianuro presente en las aguas del proceso minero se descompone en compuestos mayoritariamente inoos, concentraciones considerables de otros compuestos de la descomposición del cianuro que son potencialmente tóxicos, pueden persistir, estos compuestos representan el mayor riesgo para las especies de peces de agua dulce (Moran, 2013), según la ANA (2012) reporta que en el río Chira cuyos afluentes son el río Quiroz y Chipillico la concentración de cianuro es 0,002 mg/L a salida del Reservorio de Poechos en donde se reportan presencia de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris”, según Imarpe (2007), en el río Moche la concentración de cianuro es menor a 0,004 mg/L según la ANA (2015), en el caso de los ríos Tambopata, Malinowski, Río Huepetuhe , Inambari, Dos de mayo y Madre de Dios la ANA (2010) reporta concentraciones menores a 0,004mg/L.

En el Perú, se desconoce a qué concentración de cianuro total se efectúan cambios en el comportamiento de la especie *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris” y que concentraciones afectan la supervivencia de la especie, al carecer de esta información no se puede determinar si los límites de cianuro establecidos en la normativa peruana aseguran la supervivencia de la especie, por lo que es importante determinar cuál es la concentración letal media para esta especie, que podría ser el resultado del presente trabajo o no.

En tal sentido se formula el siguiente problema para la investigación

1.2.1. Problema principal

¿Cuál es la concentración de cianuro total que es perjudicial a la sobrevivencia de los alevinos de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris”?

1.2.2. Problemas secundarios

- 1) ¿A qué concentraciones se evidencia efectos del cianuro total sobre los alevinos de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris”?
- 2) ¿Cómo se comportan los alevinos de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris” a diferentes concentraciones de cianuro total?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo central

Determinar el LC_{50} de cianuro para “Tilapia gris” *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) mediante un bioensayo agudo.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar la concentración de cianuro que sea perjudicial a la sobrevivencia de “Tilapia gris” *Oreochromis niloticus*.

Evaluar el comportamiento de la especie a diferentes concentraciones de cianuro total.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Características de Tilapia Gris

Baltazar (2006), afirma “Las tilapias son peces endémicos originarios de África y el Cercano Oriente, en donde su cultivo se inicia en 1820 y de ahí se ha extendido a gran parte del mundo, siendo considerada la tercera especie más cultivada después de las carpas y los salmónidos”.

2.1.1. Ubicación taxonómica

Phylum	: Vertebrata
Clase	: Teleostei
Subclase	: Actinoptergii
Orden	: Perciformes
Suborden	: Percoidei
Familia	: Cichlidae
Género	: Oreochromis
Especie	: <i>Oreochromis niloticus</i>

2.1.2. Distribución geográfica

En Perú, en la década del 50, la Dirección General de Caza y Pesca del Ministerio de Fomento y Agricultura realizó las primeras introducciones con la especie *Tilapia rendalli*, utilizada como forraje para el paiche (*Arapaima gigas*); en la década de los 70, el IMARPE y la Universidad Nacional Agraria La Molina introdujeron las especies *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis hornorum* y *Oreochromis mossambica* (Ramos y Gálvez, 2000), con fines de investigación

y cultivo en las zonas de selva. La Tilapia roja, *Oreochromis spp.*, ingresa a nuestro país entre los meses de octubre y noviembre de 1996, como parte complementaria de otro lote de reproductores grises, (con el objetivo de evitar la endogamia), procedentes de la Estación DIVISA, Panamá (Baltazar, 2006).

2.1.3. Hábitat

El nivel de oxígeno mayor a 4,5 ppm es el rango deseable para el crecimiento del pez. La descomposición de la materia orgánica, el alimento no consumido, las heces y la excesiva densidad de siembra disminuyen el nivel de oxígeno.

El rango óptimo de dureza del agua está entre 50 – 350 ppm, aguas por debajo de 20 ppm ocasionan problemas en la tasa de fecundidad. El pH óptimo debe estar entre 6,5 a 9; rangos por encima o por debajo retardan el crecimiento y retrasan la producción; valores cercanos a 5 causan mortalidad en pocas horas debido a problemas respiratorios. La temperatura de 24 –32 °C es la óptima para la instalación del cultivo de tilapias (Proyectos peruanos, 2017).

2.1.4. Alimentación

La tilapia es omnívora; consumen alimento natural hasta las cuatro semanas, luego aceptan alimento balanceado. El peletizado puede ser seco o húmedo, compacto o sin compactar.

El estiércol no solo es fertilizante natural de los estanques, también se emplea para la producción de alimento para las tilapias. La fertilización de los estanques se hace con 1 – 2 kilogramos de nitrógeno, 1 de fosfato, 2,7 de superfosfato triple y 50 de urea por hectárea por semana (Proyectos Peruanos,2017). La fertilización se hace después de que los estanques han sido

llenados (previo secado y encalado de los mismos). El abono natural necesario por hectárea es el producido por 500 – 2 000 gallinas y patos, 50 – 100 cerdos, 900 – 200 kilogramos de materia seca de vacuno por día por hectárea. El estiércol el exceso es malo porque disminuye el oxígeno en el agua (Proyectos Peruanos,2017).

A partir de los 4 – 5 centímetros las tilapias pueden consumir alimento artificial: harina de soya, harina de semillas de girasol de algodón, polvillo de arroz. El polvillo de arroz es un insumo energético. En la última etapa de cultivo se puede complementar la alimentación hecha a base de polvillo de arroz con abono natural (100 kilogramos de materia seca por día por hectárea). La cantidad de alimento proporcionada a las tilapias es del 3 – 4% de la biomasa, cantidad que se ajusta semanalmente. La alimentación para tilapias de más de 266 gramos debe ser con alimento balanceado que contenga de 28 – 32% de proteínas (Proyectos peruanos, 2017).

2.1.5. Generalidades sobre el cultivo de Tilapia

Luego de eclosionar las postlarvas de tilapia son aún mantenidas en la boca de las hembras hasta que absorben su saco vitelino. Se las cosecha cinco días después de su eclosión con una artesa de pesca, luego las larvas se clasifican con un clasificador de tubo de PVC y malla metálica de 8 – 10 milímetros, las larvas que pasen la malla deben ser revertidas sexualmente con el método químico. A los 28 – 30 días los alevines de tilapia gris alcanzan los 0,3 – 0,5 gramos y de 2,5 – 4 centímetros de longitud. Al año de vida las tilapias grises llegan a pesar 700 gramos, peso al cual es posible conseguir filetes de 3 – 5 onzas. La tasa de mortalidad esperada en tilapias es de: 33,25% para peces de 1 –

50gramos, de 20% para peces de 50 – 266 gramos, para peces mayores la mortalidad es del 8% (Proyectos peruanos, 2017).

Reversión sexual

Para trabajar en el cultivo únicamente con machos se pueden emplear tres métodos: hacer el sexaje manual, conseguir peces híbridos o hacer una reversión química a los alevines (Proyectos peruanos, 2017).

1) **Sexaje manual:** se hace revisando los orificios urogenitales de las tilapias de 30 – 40 gramos de peso, si se ve sólo uno se trata de la uretra y corresponde a un macho; si se ven dos orificios, la uretra y el oviducto genital, se trata de una hembra. En este tipo de separación de machos un 2 a 5% es el margen de error aceptado. Las glándulas sexuales se diferencian a los 15 – 20 días, a los 2 –3 meses ya están maduras y necesitan más de 24 °C para su reproducción (Proyectos peruanos, 2017).

2) **Hibridación:** se obtiene mediante el cruce de dos especies genéticamente diferentes. El vigor híbrido otorga mejores atributos que la de los progenitores. El resultado de la hibridación son peces 100% machos si los progenitores son 100% puros (Proyectos peruanos, 2017).

3) **Reversión Química:** las tilapias tienen inestabilidad sexual desde que eclosionan hasta que llegan a los 7 – 11 milímetros. La reversión se hace en este período suministrando andrógenos oralmente en la dieta durante 28 días. La reversión debe terminar cuando alcanzan los 11 milímetros (Proyectos peruanos, 2017).

Se recolectan los huevos luego del desove y pasan a incubación artificial, se alimentan con la hormona durante cuatro semanas consecutivas. Se usan 60

miligramos de hormona por cada kilogramo de alimento (Proyectos peruanos, 2017). Los andrógenos más usados son: Melitiltestosterona (MT), Etiniltestosterona (ET) y Mesterolona. Con el primero de los andrógenos señalados se obtienen 98% machos (Proyectos peruanos, 2017).

La reversión se hace en ambientes especiales bajo techo, se usan tanques de PVC. La hormona que se usa en la reversión es importada, el tamaño de la partícula es de 0,5 – 0,8 mm y se disuelve previamente en 500 – 800 milímetros de etanol por kilogramo, tratando de hacer una mezcla homogénea, se hace a temperatura ambiente y se deja secar por dos días para volatilizar el alcohol. La mezcla de la hormona con el alimento debe ser de 60 – 120 miligramos de la hormona por kilogramos de alimento. Los alevines para la reversión se alimentan cuatro veces por día durante siete días por semana. La tasa de mortalidad es de 20% (Proyectos peruanos, 2017).

2.2. Contaminación

Incorporación al ambiente de una sustancia o forma de energía en tal cantidad que resulte perjudicial para los ecosistemas naturales. La contaminación del agua ocurre cuando un cuerpo de agua es afectado por la descarga de una gran cantidad de material contaminante (Kratz, 2005; citado por Molina, 2005).

2.2.1. Contaminación química

Se debe tener en cuenta las propiedades ecotoxicológicas del contaminante.

La biodegradabilidad que limita la persistencia del contaminante en el medio y sus efectos fisicoquímicos y biológicos y favorece la integración de este a los ciclos biogeoquímicos (Molina, 2005).

La bioacumulación es la capacidad del contaminante de ser almacenado en los tejidos animales y contaminar los ecosistemas a través de las cadenas tróficas. Definida por el factor de acumulación que es la relación entre las concentraciones en el organismo y en el agua (Molina, 2005).

La toxicidad que define los niveles a partir de los cuales se alteran las funciones biológicas (Molina, 2005).

Los contaminantes pueden ser inorgánico su orgánicos

2.2.2. Contaminantes Inorgánicos

Dentro de estos encontramos a los metales pesados como: mercurio, plomo y cadmio, y los oligoelementos como cobre y zinc. Se introducen en el agua por la erosión de los suelos, y los vertidos industriales y su toxicidad depende de su estado oxido – reducción, las formas larvarias son más sensibles que los adultos (Valverde, 2015).

2.2.3. Contaminantes Orgánicos

Se consideran diversas sustancias como residuos de hidrocarburos derivados del petróleo, moléculas tensoactivas utilizadas en detergentes domésticos, biocidas provenientes de tratamientos intensivos (pesticidas) (Valverde, 2015).

Hidrocarburos: Formados por un amplio grupo de productos, algunos son constituyentes normales de los tejidos animales (p.e. fitano, pristano o

escualeno). Los residuos provenientes del petróleo o dispersados en forma de emulsión, son ingeridos por el hombre y se incorporan en el metabolismo lipídico. Los peces son más sensibles que los moluscos y crustáceos ante la presencia de tensoactivos y los derivados iónicos son más tóxicos que los no iónicos (Valverde, 2015).

Pesticidas: Los pesticidas sintéticos actúan bloqueando los mecanismos bioquímicos fundamentales como la fosforilación oxidativa, la actividad de la colinesterasa, la síntesis de proteínas, etc (Molina, 2005).

Compuestos Organometálicos: Los grupos alifáticos y aromáticos se asocian con el arsénico, mercurio, plomo y estaño para formar compuestos, de los que se asocian con el mercurio tenemos el metilmercurio que es vertido por las fábricas de cloroalcali (Molina, 2005).

2.2.4. Efectos de la contaminación en la acuicultura

Cualquiera sea el origen de los contaminantes, estos actúan sobre la acuicultura de las siguientes formas:

- Modificando las características de la calidad del agua (temperatura, oxígeno disuelto, sales nutrientes, etc.), favoreciendo de esa forma la proliferación de algas o anoxia; poniendo en riesgo las especies (Valverde, 2015).
- A través de los tejidos animales por las biotoxinas, microorganismos patógenos y sustancias químicas diversas que hacen la producción no sea apta para el consumo humano (Alzieu 1991, citado por Molina 2005).
- Por acción tóxica directa de sustancias biocidas, lo que acarrea perturbaciones fisiológicas graves o mortalidades masivas (Valverde, 2015).

2.3. Cianuro

Cianuro es un término general que se aplica a un grupo de sustancias químicas que contienen carbono y nitrógeno. Los compuestos de cianuro contienen sustancias químicas (antropogénicas) que se encuentran presentes en la naturaleza o que han sido producidas por el hombre. Existen más de 2000 fuentes naturales de cianuro, entre ellos, distintas especies de artrópodos, insectos, bacterias, algas, hongos y plantas superiores. Las principales formas de cianuro producidas por el hombre son el cianuro de hidrógeno gaseoso y el cianuro sólido de sodio y de potasio (Logsdon, Hagelstein y Mudder, 2008).

En la naturaleza, el cianuro es formado, excretado y degradado por miles de animales, plantas, insectos, hongos y bacterias. Los niveles de cianuro potencialmente liberado por la digestión o inadecuada preparación de plantas cianogénicas pueden llegar a concentraciones de cientos de partes por millón. La ingesta de estos vegetales puede originar la muerte en animales y el envenenamiento del ser humano. En la naturaleza se encuentran presentes bajas concentraciones de cianuro, por ejemplo, en muchos insectos y plantas, entre las que se incluyen una amplia variedad de especies vegetales. El cianuro se encuentra en almendras, albaricoques, bambúes, frijoles germinados, cerezas, aceitunas, papas, sorgo, soya, y nueces, a las que brinda protección contra los depredadores.

Presencia del cianuro en la naturaleza: El carbono y el nitrógeno, los dos elementos que forman el cianuro, están presentes a nuestro alrededor. Juntos forman casi el 80% del aire que respiramos y ambos están presentes en las moléculas orgánicas que son la base de todas las formas de vida. Básicamente, el cianuro se presenta como cianuro de hidrógeno (HCN), o el cloruro de cianógeno (CICN), que son

gases, o en forma de cristales como el cianuro de sodio (NaCN) o el cianuro de potasio (KCN). El cianuro de hidrógeno se formó en las primeras etapas del desarrollo de nuestro planeta como precursor de los aminoácidos, a partir de los cuales evolucionó la vida sobre la tierra. El cianuro se forma naturalmente, las plantas y los animales lo producen y utilizan como un mecanismo de protección que los convierte en una fuente alimenticia poco atractiva. Muchos organismos pueden adaptarse a la presencia del cianuro o eliminar su toxicidad (Logsdon, Hagelstein y Mudder, 2008).

El cianuro se produce industrialmente de dos maneras: como subproducto de la fabricación de fibras acrílicas y de ciertos plásticos o mediante la combinación de gas natural y amoníaco a altas temperaturas y presiones para producir cianuro de hidrógeno (HCN) gaseoso. Posteriormente, el cianuro de hidrógeno gaseoso se puede combinar con hidróxido de sodio (NaOH) para producir cianuro de sodio (NaCN) y agua (H₂O). Luego se elimina el agua mediante secado y filtrado y el cianuro de sodio se convierte en briquetas blancas y sólidas de aproximadamente 10 centímetros cuadrados. Las briquetas sólidas de cianuro de sodio se mantienen a temperatura y humedad controladas. Todos los embarques de cianuro de sodio se acompañan de las Hojas de Seguridad donde figuran los datos químicos y de toxicidad del cianuro de sodio, instrucciones en caso de accidentes, número de teléfono para solicitar ayuda en casos de emergencia e información adicional del fabricante. En el mundo hay tres productores primarios de cianuro sólido, líquido y gaseoso: Dupont, en los Estados Unidos, ICI, en Inglaterra y Degussa Corporation, en Alemania. La producción anual mundial es de aproximadamente 1.4 millón de

toneladas de HCN. FMC Corporation también produce cianuro de sodio en los Estados Unidos (Logsdon, Hagelstein y Mudder, 2008).

2.3.1. Uso del cianuro

El cianuro es uno de los principales compuestos utilizados por la industria química debido a su composición de carbono y nitrógeno, ambos elementos comunes, y a la facilidad con la cual reacciona con otras sustancias. Anualmente se utiliza más de un millón de toneladas de cianuro, que representan alrededor del 80% de la producción total, en la producción de químicos orgánicos como el nitrilo, el nylon y los plásticos acrílicos. Otras aplicaciones industriales incluyen la galvanoplastia, el procesamiento de metales, el endurecimiento del acero, las aplicaciones figura gráficas y la producción de goma sintética. Los cianuros de hierro se utilizan con frecuencia como aditivo antiaglutinante en la sal usada para derretir el hielo en los caminos. El cianuro de hidrógeno gaseoso se ha utilizado ampliamente para exterminar a los roedores y depredadores grandes, y en la práctica hortícola, para controlar las plagas de insectos que han desarrollado resistencia a otros pesticidas. Además, el cianuro se utiliza en productos farmacéuticos como el laetril, una sustancia para combatir el cáncer, y el nitroprusiato, una droga para reducir la presión arterial. Los compuestos de cianuro también se utilizan en vendas quirúrgicas que promueven la cicatrización y reducen las cicatrices. El 20% restante de la producción de cianuro se utiliza para fabricar cianuro de sodio, una forma sólida de cianuro cuya manipulación es relativamente fácil y segura. De este porcentaje, el 90%, es decir, el 18% de la producción total, se utiliza en minería

en todo el mundo, mayormente para la recuperación de oro (Logsdon, Hagelstein y Mudder, 2008).

2.3.2. El cianuro y la minería.

En términos de la gravedad de riesgos y efectos asociados con la minería, el cianuro es el contaminante de mayor importancia después del DAM (Drenaje ácido de mina). Es uno de los venenos de más rápido efecto de la Minería del oro a cielo abierto utilizando la lixiviación con cianuro, debe evitarse que fuentes y corrientes de agua entren en contacto con cianuro, para proteger el agua que es utilizada para beber (por animales y seres humanos) e irrigar plantaciones, y para evitar efectos adversos en plantas, peces, fauna y seres humanos. El cianuro tiene dos usos principales en la minería: Ya que tiene una atracción natural al oro, la plata y otros metales, el cianuro es utilizado cada vez más a menudo para extraer oro de menas de baja ley en oro utilizando procedimientos de lixiviación en cúmulos. El cianuro se va pegando al oro a medida que va penetrando la mena triturada, lo que permite más adelante captar la solución de oro y cianuro. Finalmente, el oro es separado del cianuro. Este método también es usado para la extracción de la plata. El cianuro también es usado en la molienda y concentración de cobre, plomo, cinc, cobalto y molibdeno. Se agrega cianuro en ciertas fases de la molienda para separar los minerales valiosos de la mena, como por ejemplo el sulfuro (San Carlos de Bariloche, 2004).

2.3.3. Toxicología del cianuro

2.3.3.1. Toxicidad en el hombre

La inadecuada manipulación o empleo del cianuro lo convierte en un compuesto potencialmente tóxico. En Canadá, el cianuro puede ser descargado en valores de CN total de entre 1-2 mg/l y CN WAD (weak acid dissociable) de 0,1 - 0,5 mg/l; mientras que en Estados Unidos los límites establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) son de 0,2 mg/l de cianuro WAD y 1 mg/l de cianuro total. En el Perú, la legislación establece niveles de cianuro total de 1 mg/l; 0,1 mg/l de cianuro libre y 0,2 mg/l de cianuro WAD. Diariamente los seres humanos tienen contacto directo con el cianuro o sus derivados a través de los alimentos que consume y productos que utiliza. De otro lado, en la industria minera son numerosos los trabajadores que tienen contacto frecuente con este reactivo no reportándose accidentes fatales o muertes originadas por la intoxicación de este compuesto. La causa principal de muerte por cianuro involucra la ingesta de plantas cianogénicas, cuyos elevados niveles de cianuro provocan una parálisis permanente de las extremidades. A nivel tisular (tejidos), el cianuro actúa sobre el sistema respiratorio, impidiendo el uso del oxígeno mediante la inhibición de la acción de las enzimas respiratorias. Una vez que se encuentra en el torrente sanguíneo, el cianuro forma un complejo estable con la citocromo oxidasa, una enzima que promueve el traspaso de electrones a las mitocondrias de las células durante la síntesis de 2 adenosin trifosfato (ATP). Si la citocromo oxidasa no funciona correctamente las células no consiguen aprovechar el oxígeno del torrente sanguíneo, lo que causa hipoxia citotóxica o asfixia celular. La falta de oxígeno provoca que el metabolismo cambie de aerobio a anaerobio, lo que conlleva a la acumulación de lactato en la

sangre. El efecto conjunto de la hipoxia y la acidosis láctica provoca una depresión en el sistema nervioso central que puede causar paro respiratorio y resultar mortal. La exposición a períodos de inhalación crónica (a largo plazo) resulta en efectos sobre el sistema nervioso central (SNC). Otros efectos incluyen efectos sobre el sistema respiratorio y cardiovascular, un agrandamiento de la glándula tiroides e irritación a los ojos y la piel.

En términos generales, se puede señalar que las personas expuestas a pequeñas cantidades de cianuro por la respiración, la absorción de la piel o el consumo de alimentos contaminados con cianuro pueden presentar algunos o todos los síntomas siguientes en cuestión de minutos: respiración rápida; agitación; mareo; debilidad; dolor de cabeza; náusea y vómito; y ritmo cardíaco rápido. Asimismo, la exposición por cualquier medio a una cantidad grande de cianuro puede también causar otros efectos en la salud como: convulsiones; presión sanguínea baja; ritmo cardíaco lento; pérdida de la conciencia; lesión en el pulmón y falla respiratoria que lleva a la muerte. El cuerpo posee diversos mecanismos para expulsar el cianuro de forma efectiva. El cianuro reacciona con el tiosulfato y produce tiocianato en reacciones catalizadas por enzimas de azufre como la rodanasa. El tiocianato es liberado por la orina en cuestión de días. Si bien el tiocianato es siete veces menos tóxico que el cianuro, en concentraciones altas provenientes de una exposición crónica al cianuro puede afectar la glándula tiroides. El cianuro tiene más afinidad por la metahemoglobina que por el citocromo oxidasa, y juntos forman cianometahemoglobina. Si estos u otros mecanismos de desintoxicación no son superados por la concentración de cianuro y el tiempo de exposición a la que el

cuerpo estuvo expuesto, se puede evitar que el envenenamiento por cianuro sea fatal (Guerrero, 2010).

2.3.3.2. Toxicidad vida silvestre

Además del hombre, los animales pueden verse afectados por los efectos del cianuro. Los mamíferos terrestres son afectados de manera limitada, debido principalmente a que las operaciones mineras se encuentran debidamente aisladas. Un aspecto a tomar en cuenta lo constituye la exposición de animales domésticos y salvajes a plantas cianogénicas y recipientes que contengan cianuro empleados en el control de predadores molestos, como el coyote. Un segundo grupo de animales afectados por este compuesto químico son las aves migratorias y acuáticas que llegan a pozas o espejos de agua abiertos con altos contenidos de cianuro. Este problema ambiental es evitado mediante la colocación de coberturas o “bolas flotantes”, o disminuyendo la concentración del cianuro WAD. El componente más vulnerable del ecosistema a los impactos adversos de una exposición al cianuro lo constituye la vida acuática. Los organismos acuáticos son más sensibles a los efectos tóxicos de este reactivo, y físicamente no es posible evitar su ingreso a los cuerpos de agua (Guerrero, 2010).

2.4. Bioensayo

Los bioensayos de toxicidad permiten medir las respuestas de los organismos ante los contaminantes y complementan los análisis fisicoquímicos para tener una

visión integral de los daños que se ocasionan sobre los ecosistemas, adicionalmente se pueden utilizar como instrumentos de control para la descarga de sustancias tóxicas en los cuerpos de agua o en el ambiente en general (Sánchez & Andrade, 2009).

Los bioensayos son experimentos donde tejidos y organismos vivos son empleados para determinar el potencial tóxico de una sustancia fisiológicamente activa. Estos ensayos consisten específicamente en la exposición de grupos de organismos a determinadas concentraciones de tóxico en un tiempo determinado. Los organismos empleados deben encontrarse en buenas condiciones de salud y ser aclimatados previamente; Además se dispone de grupos de control (que no se exponen al tóxico). Luego se miden y registran los efectos biológicos observados en cada uno de los grupos de control y tratados y, posteriormente, se efectúa un análisis estadístico de los datos obtenidos (Sánchez & Andrade, 2009).

Los bioensayos son herramientas que se utilizan en la ecotoxicología, con la que se estudia el efecto y destino de los contaminantes antropogénicos, los tóxicos en ecosistemas acuáticos y terrestres, mediante mediciones experimentales bajo condiciones controladas en laboratorio, descubriendo en ciertos casos concentraciones muy bajas de contaminantes. Los ensayos de toxicidad con organismos vivos son métodos reconocidos por la comunidad científica internacional y empleados en muchos países, para el monitoreo y control de la contaminación hídrica, ya que frecuentemente el medio acuático es quien recibe las consecuencias de las actividades humanas, incluyendo las actividades industriales en donde se encuentran grandes cantidades de sustancias químicas contaminantes que ponen en riesgo la salud del ecosistema (Sánchez & Andrade, 2009).

Según Sánchez & Andrade (2009), los ensayos de toxicidad permiten establecer los límites permitidos para los distintos contaminantes, evaluar el impacto de mezclas sobre las comunidades de los ambientes que las reciben y comparar la sensibilidad de una o más especies a distintos tóxicos o a diferentes condiciones para el mismo tóxico. Mediante los ensayos de toxicidad se estudian las relaciones dosis o concentración, efecto y dosis o concentración - respuesta (efecto: cambio biológico evaluable por una escala de intensidad o severidad; respuesta: proporción de la población expuesta que manifiesta un efecto).

2.4.1. Clasificación de bioensayos

2.4.1.1. Bioensayos de respuesta directa

a) **Bioensayos Agudos:** Cuantifican las concentraciones letales de un xenobiótico a una especie en particular. El valor calculado se denomina concentración letal media (CL_{50}), y representa la concentración que causa la muerte al 50 % de la población experimental, en un tiempo determinado (generalmente 48 o 96 horas) (FAO 1981; citado por Sánchez y Andrade, 2009).

b) **De tipo estático:** Se efectúa sin la renovación continua del flujo constante de las diluciones sometidas al ensayo.

Sin renovación: los organismos se exponen a la misma solución de prueba el tiempo de duración del ensayo.

Con renovación: los organismos se someten a una preparación fresca de la misma concentración inicialmente empleada, periódicamente, generalmente cada 24 horas. Tal renovación puede ser necesaria cuando importantes sustancias tóxicas se deterioran, o son absorbidas, o se pierden por cualquier

otra razón, con suficiente rapidez para influir considerablemente con los resultados del ensayo (FAO 1981; citado por Sánchez y Andrade, 2009).

- c) **De flujo continuo:** Circula continuamente una corriente de sustancia de prueba nueva en contacto con los individuos experimentales. Se realizan con la renovación continua o casi continua de las diluciones sometidas al ensayo, con el fin de mantener casi constantes las concentraciones de las sustancias tóxicas activas (FAO, 1981; citado por Sánchez y Andrade, 2009).
- d) **Bioensayos Crónicos:** Estiman la concentración efecto media (CE_{50}), la cual es la concentración de la sustancia de prueba que causa un efecto al 50% de la población experimental, al cabo de un tiempo determinado; depende del estado de vida considerado o del ciclo de vida del organismo empleado (FAO, 1981; citado por Sánchez y Andrade, 2009).
- e) **Bioestimulación:** Se mide la facultad de las aguas residuales o de las sustancias químicas de estimular la multiplicación y el desarrollo de algas, efecto este de eutroficación que frecuentemente se traduce en una superabundancia o proliferación de algas (FAO, 1981; citado por Sánchez y Andrade, 2009).
- f) **Bioensayos de repelencia:** Trata de medir en el laboratorio las reacciones de escape de los animales acuáticos frente a un contaminante. Al organismo utilizado (generalmente pez o crustáceo de buen tamaño) se le ofrece la oportunidad de elegir entre aguas "contaminadas" y aguas "limpias" en un tubo o tanque pequeño; el gradiente de interfaz puede ser brusco (FAO 1981; citado por Sánchez y Andrade, 2009).

2.4.1.2. Ensayos de respuesta indirecta

- a) **Ensayos Organolépticos:** Algunos contaminantes pueden producir olores o sabores desagradables en los organismos acuáticos. El contaminante puede no ser nocivo para el organismo acuático, pero puede ocurrir que el organismo pierda valor económico (FAO, 1981; citado por Sánchez y Andrade, 2009).
- b) **Ensayo de bioestimulación:** Los efectos de los nutrientes adicionales pueden ser indirectos, como, por ejemplo, la producción de sustancias tóxicas o la desoxigenación del agua debida a la proliferación de algas (FAO, 1981; citado por Sánchez y Andrade, 2009).

2.4.2. Índice de toxicidad

Los índices de toxicidad expresan los resultados de varios ensayos de toxicidad como un valor único, que indica el nivel de toxicidad de la muestra. La elaboración de índices de toxicidad debe tener en cuenta cuidadosos criterios para dar peso a los componentes. Entre ellos se debe considerar:

- a) el interés de ponderar con mayor o menor peso a determinado punto final o especie.
- b) el número de especies que indican respuesta.
- c) la intensidad de la respuesta. Los índices de toxicidad son los parámetros toxicológicos que se utilizan en la evaluación de riesgos y se obtienen de los estudios de dosis-respuesta (Bustos & López 2004; citado por Sánchez & Andrade 2009).

Los parámetros empleados para determinar la toxicidad son los siguientes:

- a) **Concentración letal media (CL₅₀₋₉₆):** Es la concentración, obtenida por estadística, de una sustancia de la que puede esperarse que produzca la muerte, durante la exposición o en un plazo definido después de ésta, del 50% de los animales expuestos a dicha sustancia durante un periodo determinado. El valor de la CL₅₀ se expresa en peso de sustancia por unidad de volumen de aire normal (miligramos por litro, mg/L) (Bustos & López, 2004; citado por Sánchez & Andrade 2009).
- b) **Dosis letal media (DL₅₀):** es la dosis única que, obtenida por estadística, de una sustancia de la que puede esperarse que produzca la muerte del 50% de los animales a los que se haya administrado. El valor de la DL₅₀ se expresa en peso de la sustancia por unidad de peso del animal (miligramos por kilo, mg/kg) (Bustos & López 2004; citado por Sánchez & Andrade 2009).
- c) **Concentración Efectiva Media (CE₅₀):** es la concentración, calculada estadísticamente, de una sustancia en el medio, que se espera que produzca un determinado efecto en el 50% de los organismos de experimentación de una población dada, bajo un conjunto de condiciones definidas (Bustos & López 2004; citado por Sánchez & Andrade 2009).
- d) **NEANO (nivel de efectos agudos no observados):** es la mayor concentración del efluente para la cual la mortalidad registrada es del 10 % o menor (Bustos & López 2004; citado por Sánchez & Andrade 2009).
- e) **CENO (concentración de efectos no observables):** es la mayor concentración continuada medida de un efluente para la cual no se observa reacción crónica alguna en las especies ensayadas (Bustos & López 2004; citado por Sánchez & Andrade 2009).

- f) **MCEO (menor concentración que produce efectos observables):** es la menor concentración del efluente para la que puede observarse algún efecto sobre la especie ensayada. Se determina con técnicas de análisis de varianzas (Bustos & López 2004; citado por Sánchez & Andrade 2009).

2.5. Ecotoxicología

2.5.1. Definición de ecotoxicología

La ecotoxicología es definida como La ciencia que estudia la polución, su origen, evolución e interacciones con las moléculas que integran dinámicamente los ecosistemas, sus acciones y efectos sobre los seres vivos que forman estos ecosistemas, con su evaluación, como determinantes de criteriología y profilaxis biológica o socioeconómica (Capo, 2003).

La ecotoxicología tiene como materia fundamental de estudio a la polución, sobre los sistemas bióticos en forma de toxicidad, alteración de especies, reducción de una determinada productividad, etc., puesto que no siempre un polutante se comporta como un tóxico neto, sino que puede suponer solo la creación de un nivel indeseable en un determinado ecosistema. Considerando al polutante como un agente físico o una sustancia química que se encuentra en el ambiente y que tiene un efecto deletéreo sobre los organismos vivos (Capo, 2003).

2.6. Marco conceptual

- a) **Batería de ensayo:** Combinación de diversos ensayos de toxicidad con diferentes organismos (Morales et al., 2007).

- b) **Bioensayo Agudo:** Ocurre dentro de un periodo corto (minutos, horas o algunos días) en relación con el periodo de vida del organismo de ensayo (Morales et al., 2007).
- c) **Bioacumulación:** Proceso por el cual la cantidad de una sustancia en el organismo vivo aumenta en el tiempo. (WHO, 1979a, citado de Romani, 2004).
- d) **Bioensayo:** Ensayo en el cual el poder o potencia de una sustancia es medido a través de la respuesta de organismos vivos o de sistemas vivientes (Morales et al., 2007).
- e) **Contaminante:** Sustancia ajena, presente en un sistema natural en una concentración más elevada de lo normal por causa de actividad antrópica directa o indirecta, en un sentido más amplio se define como la presencia de cualquier agente físico , químico o biológico, o de combinaciones de los mismos en lugares, formas y concentraciones tales y con tal duración que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o bienestar de la población, o perjudiciales para la vida animal y vegetal, o que impidan el uso y goce de las propiedades y lugares de recreación (Morales et al., 2007).
- f) **Control:** Es un tratamiento en una investigación que duplica todos los factores que puedan afectar el resultado, excepto la condición que está siendo investigada (sinónimo de control negativo) (Morales et al., 2007)
- g) **Ensayo de toxicidad:** Determinación del efecto de un material o mezcla sobre un grupo de organismos seleccionados bajo condiciones definidas. Mide las proporciones de organismos afectados (efecto cuantal) o el grado de efecto (graduado) luego de la exposición a la muestra. (Morales et al., 2007)
- h) **Tiempo de exposición:** Tiempo en que el organismo se encuentra expuesto a la solución en estudio, disponibilidad (APHA 1989, citado de Romani, 2004).

- i) **Toxicidad:** Efectos adversos que causan en un organismo los contaminantes, generalmente un veneno o mezcla de venenos. La toxicidad es la resultante de la concentración y del tiempo de exposición, modificado por variables como la temperatura, formas, químicas y disponibilidad (APHA, 1989, citado por Romaní, 2004).
- j) **Toxicidad agua:** Efecto adverso (letal o subletal) inducido sobre los organismos de ensayo en prueba durante un periodo de exposición del material de ensayo, usualmente de pocos días (Morales et al., 2007).

2.7. Hipótesis central

La concentración media letal o LC_{50} de cianuro para la población puesta en prueba alevinos de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris”, después de 96 horas de exposición al toxico, se encuentra en la razón de concentración utilizado (0,1 – 0,9 ppm de cianuro).

CAPÍTULO III MÉTODO

3. Materiales y Método

3.1. Materiales

- Fiola (50ml y 100 ml)
- Bagueta
- Caja de papel indicador de pH (80 tiras)
- Bombilla
- Vaso de precipitado (100 ml)
- Piseta con agua destilada
- Aireador o difusor de oxígeno
- Probeta (250 ml)
- Regla
- Pipeta (1ml y 5 ml)
- Acuarios de las mismas dimensiones (30 litros)
- Mallas Colectoras
- Termómetro de alcohol
- Lapiceros
- Libreta de apuntes
- Guantes de nitrilo (caja)
- Espátula
- Baldes (10 L)
- Erlenmeyer
- Luna de reloj
- Probeta (1000 ml)

3.2. Equipos

- Balanza analítica

3.3. Reactivos

- Ácido Sulfúrico
- Tiosulfato de sodio
- Yoduro de potasio
- Almidón
- Sulfato de manganeso
- Ferricianuro de potasio

3.4. Método

3.4.1. Obtención de alevinos y transporte

Los alevinos de *Oreochromis niloticus* fueron adquiridos de una Piscigranja ubicada en Tarapoto, los mismos fueron enviados por transporte aéreo hacia Lima, se adquirieron un total de 300 alevinos, los cuales se mantuvieron en cuarentena durante 15 días, no hubo mortalidad en el transporte (Ver Figura 1).

TRANSBER S.A.C.
Soluciones Logísticas Integradas
Operador Logístico
CALLE CAJONERO N° 779 SUR INDUSTRIAL DINAMITA
PROV. CONST. DEL CALLAO - PUNO CONST. DEL CALLAO - CALLAO
CENTRAL TELEFONICA 512 1812 FAX 512 879
WWW.TRANSBERLOGISTICA.COM

R.U.C. N° 20101158927
CARTA DE PORTE AEREO NACIONAL
035 - N° 023748

ORIGEN: TYP
DESTINO: LHA

BULTOS	CONTENIDO DECLARADO	PESO	VOLUMEN	TARIFA	ITEMS	IMPORTE
1	BALDE CON PECES REPRODUCTORA CARGA AEREALEO VIVOS	7.88	0.00	0.00	FLETE TASCA MANIPULADO G.PURL OTROS	0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
SUB-TOTAL						0.00
IIV (18%)						1.42
TOTAL						1.42

La empresa no se responsabiliza por la carga que no es
debidamente embalada dentro de los 15 días de antes, vencido el plazo
la mercadería esta sujeta a sus disposiciones y/o incineración
sin responsabilidad del operador.

SON: OCHO COMA TREINTA Y OCHO SOLARES AEREALEO VIVOS

DIMENSIONES	X	X	PESO VOLUMEN	0.00	PESO TOTAL EN KILOS	7.88
-------------	---	---	--------------	------	---------------------	------

DESTINATARIO: MAYLINIA GARCIA
DNI: 71024330

Figura 1. Adquisición de alevinos.

3.4.2. Acondicionamiento de acuarios para cuarentena

Para el acondicionamiento de los acuarios en los cuales estuvieron en cuarentena los especímenes *Oreochromis niloticus*, se emplearon acuarios con capacidad de 120 litros construidos con vidrio de 8 mm de espesor, se construyó un palé, sobre el cual fueron ubicados los acuarios, los mismos que fueron llenados a una capacidad de 90%, se registraron diariamente los valores de Temperatura, Oxígeno disuelto (método winkler) y pH, diariamente se sifonearon los acuarios con una manguera delgada, con el objetivo de eliminar todos los residuos orgánicos que provienen de los desechos del metabolismo de los peces (Ver Figura 2,3, 4,5,6 y 7).



Figura 2. Construcción de palé



Figura 3. Llenado de acuarios de cuarentena.



Figura 4. Decloración de agua.



Figura 5. Recambio de agua.



Figura 6. Medición de pH (Método colorimétrico).



Figura 7. Medición de Oxígeno Disuelto (Método Winkler).

3.4.3. Cuarentena

Para iniciar el proceso de cuarentena de los alevinos de *Oreochromis niloticus* fue necesario contar con unas condiciones óptimas en los acuarios de cuarentena, para lo cual fue necesario verificar que los parámetros pH, Temperatura del agua, Temperatura ambiental y Oxígeno disuelto(Ver Figura 8)

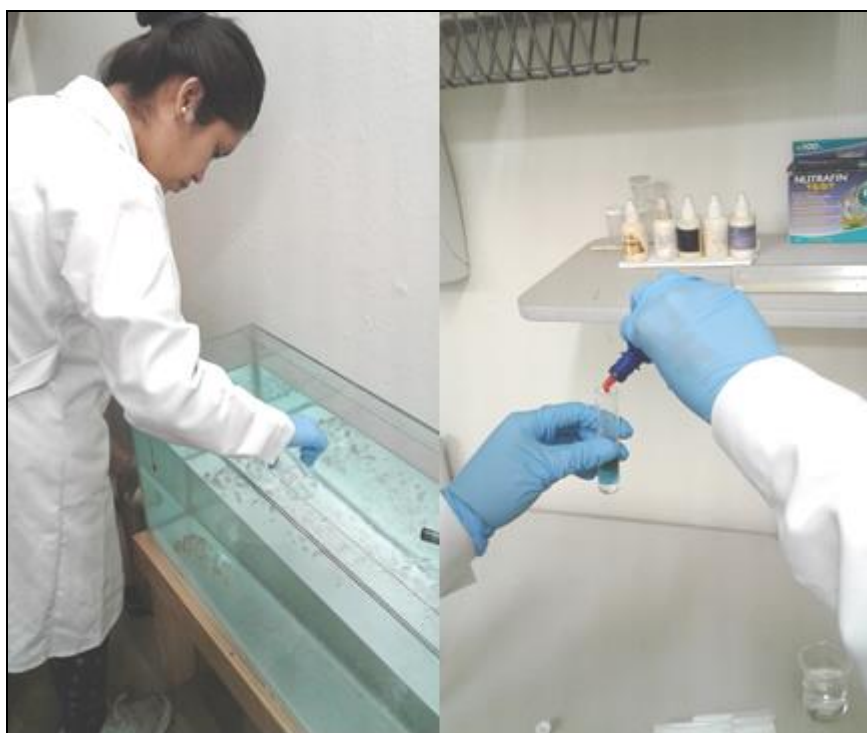


Figura 8. Medición de parámetros.

Después de comprobar la calidad de agua de los acuarios de cuarentena, se procedió a introducir los alevinos adquiridos, para ello los alevinos fueron transportado hasta el lugar donde se realizaron las pruebas (laboratorio de Bioensayos), la bolsa en la cual fueron transportados se introdujo al agua previamente aireada (Filtros marca Marina Elite Jet FLO). Este paso se realizó con el fin de igualar la

temperatura del medio donde vienen (bolsa) con la temperatura de los acuarios donde fueron introducidos (Ver Figuras 9, 10, 11 y 12).



Figura 9. Recepción de alevines en el laboratorio.



Figura 10. Introducción de bolsa de alevinos al acuario.



Figura 11. Verificación de temperatura.



Figura 12. Alevinos en acuario de cuarentena.

3.4.4. Biometría

La biometría se realizó con el objetivo de conocer la cantidad de alimento que se suministrará a los alevinos, para ello se empleó un ictiometro para determinar la longitud total y estándar, para determinar el peso se utilizó una balanza electrónica de precisión 0,1 gramo, se colocó un vaso precipitado con agua y se anotó el peso, posteriormente se colocó un alevino y se anotó el peso, para obtener el peso del alevino se restó el peso inicial y peso final (Ver Figura 13 y 14).



Figura 13. Pesaje de los alevinos.



Figura 14. Medición de la longitud de los alevinos.

3.4.5. Infraestructura para bioensayo

a) Construcción de acuarios

Para la realización del bioensayo preliminar y el bioensayo final se emplearon 06 acuarios de vidrio doble, los acuarios fueron armados y se dejaron secar durante toda una noche, al día siguiente se hicieron pruebas para confirmar que los acuarios no presentaban fugas, para determinar el volumen total de agua de los acuarios se realizaron los siguientes cálculos (Ver Figura 15 y 16):

Se determinó el volumen total de agua empleando la siguiente fórmula.

$$\text{Volumen total del acuario} = L \times A \times H$$

Dónde:

L = Largo total del acuario.

A = Ancho total del acuario.

H = Altura total del acuario

Medidas del acuario:

Largo del acuario = 50cm

Ancho del acuario = 30 cm

Alto del acuario = 30 cm

Espesor del vidrio (vidrio doble) = 0,4 cm



Figura 15. Armado de acuarios.



Figura 16. Prueba de acuarios.

Para el calculo del volumen total de los acuarios tenemos:

- **Largo del volumen de agua**

Largo del volumen de agua del acuario = $50 \text{ cm} - 2 * 4 \text{ mm}$ (espesor del vidrio)

Largo del volumen de agua del acuario = $50 \text{ cm} - 8 \text{ mm}$

Largo del volumen de agua del acuario = $50 \text{ cm} - 0,8 \text{ cm}$

Largo del volumen de agua del acuario = $49,2 \text{ cm}$

- **Ancho del volumen de agua**

Ancho del volumen de agua del acuario = $30 \text{ cm} - 2 * 4 \text{ mm}$ (espesor del vidrio)

Ancho del volumen de agua del acuario = $30 \text{ cm} - 8 \text{ mm}$

Ancho del volumen de agua del acuario = $30 \text{ cm} - 0,8 \text{ cm}$

Ancho del volumen de agua del acuario = 29,2 cm

- **Altura líquida del acuario**

Altura líquida del acuario (100%) = 30 cm – 4 mm (espesor del vidrio)

Altura líquida del acuario (100%) = 30 cm – 0,4 cm

Altura líquida del acuario (100%) = 29,6 cm

Volumen total del acuario = L x A x H

Volumen total del acuario = 49,2 cm x 29,2 cm x 29,6 cm

Volumen total del acuario = 42 524,5 cm³

Volumen total del acuario = 42 524,5 ml

Volumen total del acuario = 42,5245 L

Considerando que el volumen total de agua del acuario es 42,5245 L de capacidad al 100%, para el bioensayo trabajaremos con un volumen de agua del 70% de la capacidad total del acuario.

42.35245L ----- 100%

X ----- 70 %

$X = (42,35245 * 70\%) / 100 \%$

$X = 29,646715 \approx 30 \text{ L}$

- **Determinación del tirante de la altura líquida del acuario**

(tirante de agua)

Considerando la siguiente fórmula

Volumen total del acuario = L x A x H

Dónde:

L = Largo total del volumen de agua del acuario.

A = Ancho total del volumen de agua del acuario.

H = Altura total líquida del acuario con capacidad al 100%.

Tenemos:

Largo del volumen de agua del acuario = 49,2 cm

Ancho del volumen de agua del acuario = 29,2 cm

Entonces:

$30 \text{ L} = 49,2 \text{ cm} \times 29,2 \text{ cm} \times H$

$30\ 000 \text{ ml} = 49,2 \text{ cm} \times 29,2 \text{ cm} \times H$

$30\ 000 \text{ cm}^3 = 1\ 436,64 \text{ cm}^2 \times H$

H = 20,88 cm

b) Construcción de andamio para acuarios

Para el desarrollo del bioensayo se construyó una tribuna de metal de 2 metros de largo 70 centímetros de alto, se colocaron tablas de madera sobre las cuales fueron colocados los acuarios (Ver figuras 17,18 y 19), el diseño del andamio se realizó de esta manera para facilitar la manipulación de los acuarios.



Figura 17. Construcción de andamio para bioensayo.



Figura 18. Andamio para bioensayo.

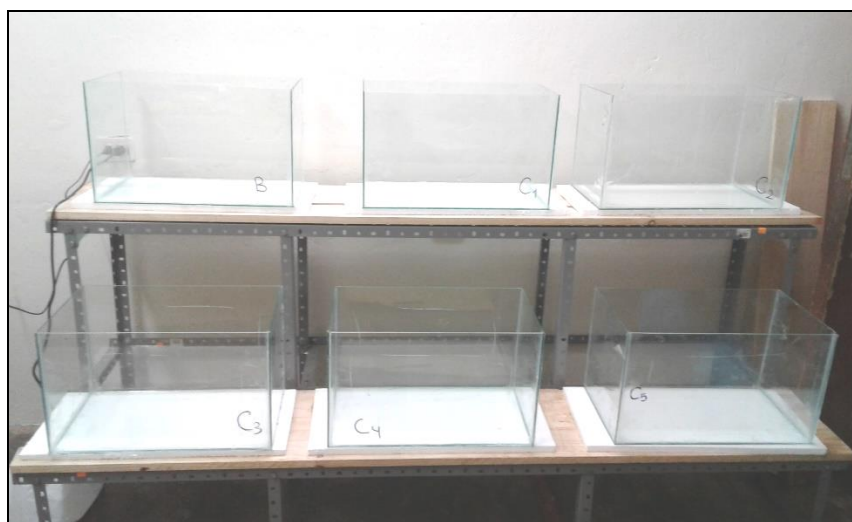


Figura 19. Andamio con acuarios para bioensayo.

c) Sistema de aireaciòn

Para el sistema de aireaciòn se utilizo un aireador de la marca Silfab de 220V - 50Hz el cual proporciono oxigeno constante a los acuarios durante todo el desarrollo de la investigaciòn, para la distribuciòn del oxigeno se utilizo manguera siliconeada de 4 mm de diametro y se colocaron piedras difusoras, la regulaciòn de los flujos se realizo con llaves siliconadas. (Ver Figuras 20,21 y 22).



Figura 20. Instalación del sistema de aireación.



Figura 21. Regulación del sistema de aireación.



Figura 22. Sistema de aireación.

3.4.6. Preparación del contaminante

Antes de la preparación de la solución patrón de cianuro, todos los materiales empleados fueron lavados con detergente industrial y después fueron enjuagados con agua deionizada, de igual forma se desinfectó la mesa de trabajo en donde se preparó el contaminante. (Ver Figuras 23 y 24).



Figura 23. Desinfección de la mesa de trabajo.



Figura 24. Lavado de material de vidrio.

Para la preparación de la solución patrón de cianuro total, se utilizó ferricianuro de potasio ($K_3Fe(CN)_6$), para obtener una solución patrón de 1000 ppm de cianuro se realizó el siguiente cálculo:

329,25 g/mol $K_3Fe(CN)_6$	-----	156,12 g/mol CN
X	-----	1 g CN
X = 2,109 g de $K_3Fe(CN)_6$		

Se procedió a pesar 2,109g de $K_3Fe(CN)_6$, para ello se utilizó una balanza analítica, la cual fue encendida y se taro el recipiente que se empleó para el peso del ferricianuro de potasio, se agregó ferricianuro hasta alcanzar el peso requerido. (Ver Figuras 25, 26, 27 y 28).

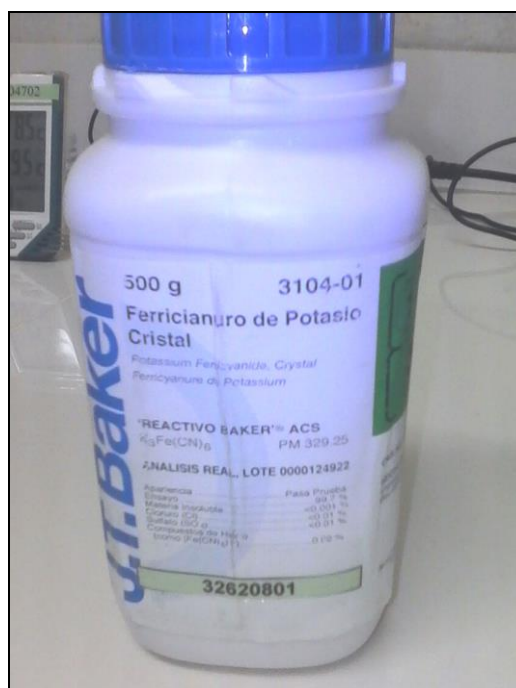


Figura 25. Ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$.



Figura 26. Pesado de Ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$.



Figura 27. Pesado de 2,109 g Ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$.

Los 2,109g de ferricianuro de potasio ($K_3Fe(CN)_6$) fueron vertidos a un beacker y se agregó agua desionizada, y con una vagueta se procedió a la disolución de los cristales, la disolución fue vertida en una fiola de 1000 ml, el beacker fue enjuagado con agua desionizada y se removió los cristales restantes de ferricianuro de potasio ($K_3Fe(CN)_6$), se repitió el mismo proceso hasta la disolución total de los cristales, se completó con agua desionizada hasta obtener el aforo de la fiola, la solución patrón fue vertida en un frasco de polietileno previamente rotulado. (Ver Figuras 28, 29, 30, 31 y 32).



Figura 28. Preparación de la solución patrón de cianuro.



Figura 29. Disolución de los cristales de ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$.



Figura 30. Completando con agua desionizada.



Figura 31. Homogenizando la solución de ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$.

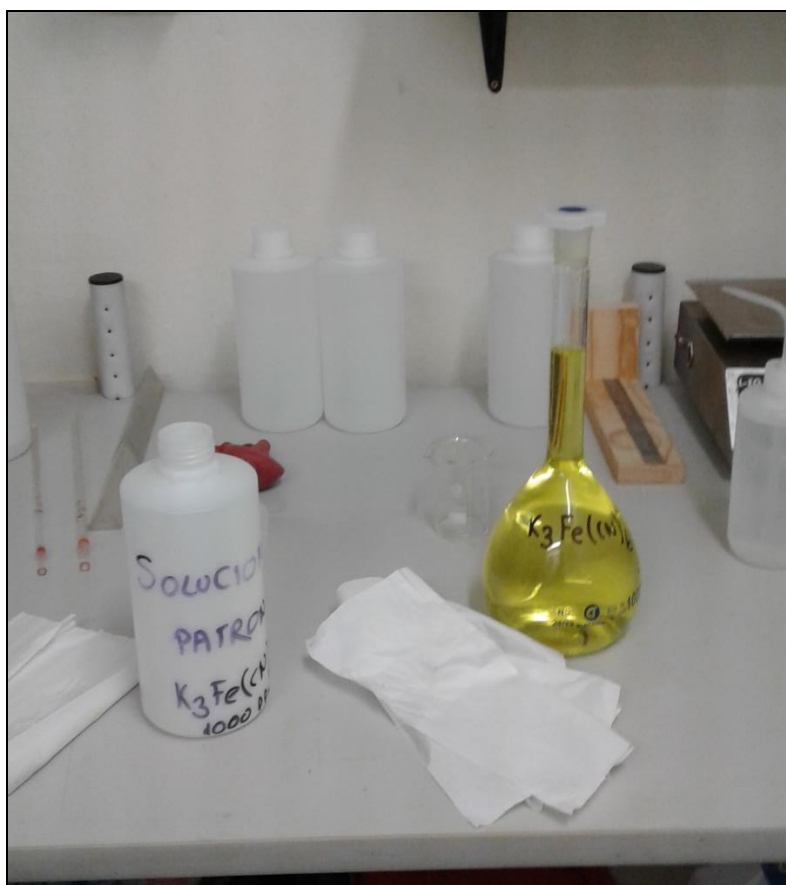


Figura 32. Solución de ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$.

3.4.7. Bioensayo preliminar

- 1. Acondicionamiento:** Previo al inicio del bioensayo preliminar, se procedió a la ubicación de los acuarios en el área de trabajo, para ello se colocó tecnopor en la base de los acuarios y se procedió a la instalación del sistema de aireación, seguido esto se llenaron los acuarios con agua potable y se procedió a agregar 1 gota de clorador por cada litro de agua con el objetivo de lograr la volatilización del cloro (Ver Figuras 33, 34,35 y 36).
- 2. Diseño experimental:** Se seleccionaron alevines de los acuarios de cuarentena, asegurándose que los peces para la experimentación estén libres de enfermedades y parásitos, la alimentación se suspendió 24 horas antes del inicio del experimento, se utilizaron 10 peces para cada concentración del toxico, durante el periodo de experimentación se mantuvieron las mismas condiciones ambientales a las cuales estuvieron los peces en el periodo de cuarentena (Ver Figuras 37,38 y 39).

Se calculó la cantidad de contaminante a agregar en cada acuario de la siguiente manera:

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

Dónde:

C_1 = Concentración de la solución patrón (1000 ppm).

V_1 = Volumen inicial de la solución patrón.

C_2 = Concentración final (Concentración del contaminante a trabajar en el acuario)

V_2 = Volumen final (Volumen de agua del acuario con la capacidad determinada)

- **Para el acuario C₁**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,01 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,01 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 0,01 \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0,3 \text{ ml}$$

El resultado nos indica que para el acuario C₁ se debe retirar 0.3 ml de agua y agregar 0.3 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$) para alcanzar una concentración de 0.01 ppm.

- **Para el acuario C₂**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,1 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,1 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 0,1 \times 30\,000 \text{ ml}$$

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

El resultado nos indica que para el acuario C₂ se debe retirar 3 ml de agua y agregar 3 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio $K_3Fe(CN)_6$) para alcanzar una concentración de 0.1 ppm.

- **Para el acuario C₃**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 1 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 1 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 1 \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 30 \text{ ml}$$

El resultado nos indica que para el acuario C₃ se debe retirar 30 ml de agua y agregar 30 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio K₃Fe(CN)₆) para alcanzar una concentración de 1 ppm.

▪ **Para el acuario C₄**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 5 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 5 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 5 \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 150 \text{ ml}$$

El resultado nos indica que para el acuario C₄ se debe retirar 150 ml de agua y agregar 150 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio K₃Fe(CN)₆) para alcanzar una concentración de 5 ppm.

▪ **Para el acuario C₅**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 10 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 10 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 10 \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 300 \text{ ml}$$

El resultado nos indica que para el acuario C₅ se debe retirar 300 ml de agua y agregar 300 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio K₃Fe(CN)₆) para alcanzar una concentración de 10 ppm.

En la Tabla 3, se pueden observar las características del bioensayo preliminar.



Figura 33. Llenado de los acuarios para bioensayo preliminar.



Figura 34. Declaración de agua para bioensayo preliminar.



Figura 35. Regulación del sistema de aireación bioensayo preliminar.



Figura 36. Batería de acuarios para bioensayo preliminar.



Figura 37. Extracción de agua de acuarios.



Figura 38. Introducción de alevinos a acuarios para bioensayo preliminar.



Figura 39. Introducción del contaminante al acuario C2.

En la Tabla 3, se detallan las especificaciones del bioensayo preliminar, el bioensayo preliminar se realizó con rangos amplios de contaminación de contaminante (cianuro).

Tabla 3
Características del bioensayo preliminar

Acuario	Concentración de cianuro (ppm)	Nº de peces	Talla (mm)	Volumen (l)	Densidad (pez/l)
B	0	10	23	30	3
C₁	0,01	10	23	30	3
C₂	0,1	10	23	30	3
C₃	1	10	23	30	3
C₄	5	10	23	30	3
C₅	10	10	23	30	3

Fuente: Elaboración propia

3. **Tipo de prueba:** El tipo de prueba que se realizó, fue una prueba estática, en donde el medio en donde se encuentran los peces (cianuro) no es cambiada durante todo el experimento.
4. **Tiempo de exposición:** El tiempo de exposición fue de 96 horas.
5. **Expresión de los Resultados:** Durante el desarrollo del bioensayo preliminar (agudo) con los alevinos de *Oreochromis niloticus* se contabilizo el número de organismos muertos, los registros de mortalidad fueron expresados en porcentaje (% de mortalidad) para cada acuario de cada concentración del toxico (cianuro), evaluándose el comportamiento de los peces durante todo el desarrollo de la experimentación.

Los peces muertos fueron retirados de los acuarios y colocados en contenedores rotulados con la concentración del toxico para ser examinados. (Ver Figuras 40 y 41).

6. **Validación del método:** Para que el bioensayo preliminar sea validado, se tomó como criterio que la mortalidad de los peces en el acuario control (B) no debe exceder el 10%, es decir la supervivencia debe ser mayor o igual al 90%, si no se diera el criterio mencionado la prueba se tiene que repetir.



Figura 40. Retirada de alevinos muertos durante bioensayo preliminar.



Figura 41. Disecto de alevinos muertos durante bioensayo preliminar.

3.4.8. Bioensayo final

Para el desarrollo del bioensayo final, se repitieron los procesos de acondicionamiento y diseño experimental que se empleó la misma metodología descrita para el bioensayo preliminar, se seleccionaron alevines sanos y en óptimas condiciones, los cuales fueron introducidos a los acuarios que contenían el agua de clorada y el sistema de aireación instalado, se mantuvieron las mismas condiciones de calidad de agua que en los acuarios de cuarentena, posteriormente se agregó el tóxico (cianuro) y se monitorearon los parámetros de pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto, se registraron todos los datos y las características que presentaban los organismos, se tomó como criterio para la validación del método, la supervivencia mayor o igual al 90% en el acuario control.

Las concentraciones de cianuro fueron determinadas a partir del bioensayo preliminar, el rango de trabajo fue 0,1ppm – 0,9ppm (0,1ppm, 0,3ppm, 0,5ppm, 0,7ppm y 0,9ppm) para determinar la cantidad de tóxico a agregar en cada acuario se realizaron los siguientes cálculos.

- **Para el acuario C₁**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,1 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,1 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 0,1 \times 30\,000 \text{ ml}$$

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

El resultado nos indica que para el acuario C₁ se debe retirar 3 ml de agua y agregar 3 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio K₃Fe(CN)₆) para alcanzar una concentración de 0,1 ppm.

▪ **Para el acuario C₂**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,3 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,3 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 0,3 \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 9 \text{ ml}$$

El resultado nos indica que para el acuario C₂ se debe retirar 9 ml de agua y agregar 9 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio K₃Fe(CN)₆) para alcanzar una concentración de 0.3 ppm.

▪ **Para el acuario C₃**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,5 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,5 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 0,5 \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 15 \text{ ml}$$

El resultado nos indica que para el acuario C₃ se debe retirar 15 ml de agua y agregar 15 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio K₃Fe(CN)₆) para alcanzar una concentración de 0,5 ppm.

- **Para el acuario C₄**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,7 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,7 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 0,7 \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 21 \text{ ml}$$

El resultado nos indica que para el acuario C₄ se debe retirar 21 ml de agua y agregar 21 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio K₃Fe(CN)₆) para alcanzar una concentración de 0,7 ppm.

- **Para el acuario C₅**

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,9 \text{ ppm} \times 30 \text{ litros}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 0,9 \text{ ppm} \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$1000 \times V_1 = 0,9 \times 30\,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 27 \text{ ml}$$

El resultado nos indica que para el acuario C₅ se debe retirar 27 ml de agua y agregar 27 ml de la solución patrón (Ferricianuro de potasio K₃Fe(CN)₆) para alcanzar una concentración de 0,9 ppm.

Se realizaron 3 réplicas por cada concentración, las 3 réplicas se realizaron en las siguientes fechas (Ver Figuras 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 y 52):

Primera replica: Se realizó del 01 de octubre del 2017 al 05 de octubre del 2017.

Segunda replica: Se realizó del 08 de octubre del 2017 al 12 de octubre del 2017.

Tercera replica: Se realizó del 13 de octubre del 2017 al 17 de octubre del 2017.

Los organismos muertos fueron retirados y fueron guardados en contenedores rotulados con la concentración del contaminante, posteriormente se disecto los peces y se realizó algunas observaciones a los órganos internos, finalizada la prueba los peces fueron descartados, el material de vidrio utilizado fue lavado con detergente industrial y enjuagados con agua deionizada (Ver Figura 42).



Figura 42. Materiales para preparación de la solución patrón para bioensayo final.

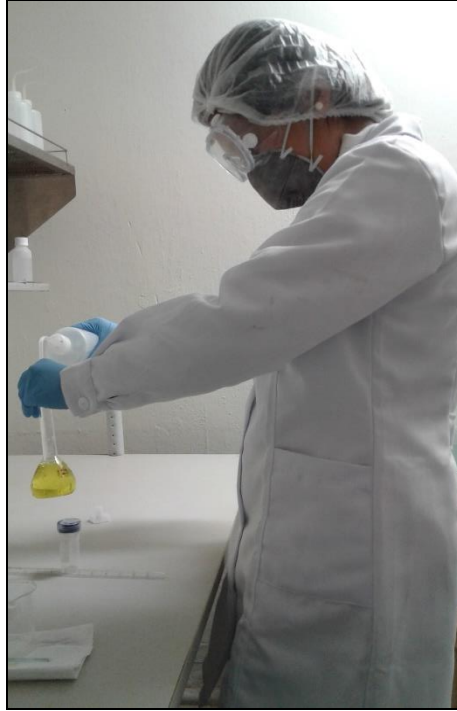


Figura 43. Preparación de la solución patrón para bioensayo final.



Figura 44. Selección de alevinos para bioensayo final.



Figura 45. Introducción de alevinos al acuario C5 – primera replica.



Figura 46. Introducción del contaminante al acuario C4 – primera replica.



Figura 47. Introducción del contaminante al acuario C3 – segunda replica.



Figura 48. Medición de parámetros de calidad de agua.



Figura 49. Medición de pH.



Figura 50. Retirada de los alevinos muertos – bioensayo final.

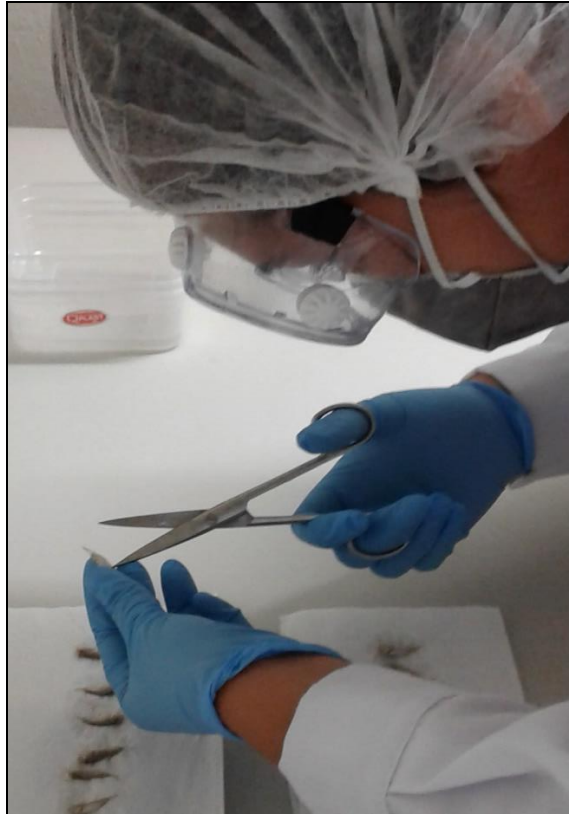


Figura 51. Disecto de alevines – bioensayo final.



Figura 52. Lavado del material de vidrio finalizado el bioensayo.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4. Resultados

4.1. Bioensayo preliminar

En la Tabla 4 se pueden observar los resultados del bioensayo preliminar, en el cual se utilizaron rangos amplios de concentración de cianuro total.

Tabla 4
Resultados del bioensayo preliminar

Acuario	Concentración de Cianuro (ppm)	Porcentaje de mortalidad (%)
B	0	0
C1	0,01	0
C2	0,1	10
C3	1	100
C4	5	100
C5	10	100

Fuente: Elaboración propia

Durante el desarrollo del bioensayo, se monitorearon los parámetros pH (Ver Tabla 5), Temperatura de agua (Ver Tabla 6), Temperatura ambiental y Oxígeno disuelto (Ver Tabla 7), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5
Resultados de pH del bioensayo preliminar

Acuario	Resultado de pH (Unidades de pH)							
	1 hora	2 horas	4 horas	12 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
B	8,5	8,5	8,0	8,2	8,2	8,2	8,0	8,0
C1	8,2	8,2	7,8	8,2	8,2	8,2	8,0	8,0
C2	8,0	8,0	8,2	8,2	8,2	8,2	8,0	8,0
C3	7,9	7,9	8,0	8,0	8,0	8,0	7,8	7,8
C4	8,2	8,2	8,0	8,0	8,0	8,0	7,8	7,8
C5	7,9	8,0	8,2	8,0	8,0	8,0	7,8	7,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6*Resultados de Temperatura del agua del bioensayo preliminar*

Acuario	Resultado de temperatura (°C)							
	1 hora	2 horas	4 horas	12 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
B	23,0	23,1	23,2	22,1	23,0	23,0	23,0	23,0
C1	23,0	23,1	23,2	22,2	23,0	23,0	23,0	23,0
C2	23,0	23,1	23,2	22,2	23,0	23,1	23,0	23,0
C3	23,0	23,1	23,2	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0
C4	23,0	23,1	23,2	21,9	23,0	23,1	23,0	23,0
C5	23,0	23,1	23,2	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0

Fuente: Elaboración propia**Tabla 7***Resultados de Temperatura del ambiental y Oxígeno disuelto.*

Acuario	Temperatura Ambiental		Oxígeno disuelto(mg/L)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
B	25,2	26,1	6,3	6,2
C1	25,2	26,1	6,3	6,1
C2	25,2	26,1	6,3	6,2
C3	25,2	26,1	6,3	6,2
C4	25,2	26,1	6,1	6,0
C5	25,2	26,1	6,0	5,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8
Mortalidad en Bioensayo preliminar.

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6
	Concentración 0 ppm	Concentración 0.01ppm	Concentración 0.1ppm	Concentración 1 ppm	Concentración 5 ppm	Concentración 10 ppm
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	10
12	0	0	0	10	10	-
24	0	0	0	-	-	-
72	0	0	1	-	-	-
96	0	0	-	-	-	-
Número total de muertos	0	0	1	10	10	10
% Mortalidad a las 96 horas	0	0	10	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 54, 55, 56, 57, 58 y 59 se muestran los resultados de supervivencia por horas (1h, 4h, 12h, 24h, 72h y 96h) del bioensayo preliminar de cianuro total, el bioensayo preliminar se realizó con el objetivo de conocer la sensibilidad de la especie al contaminante.

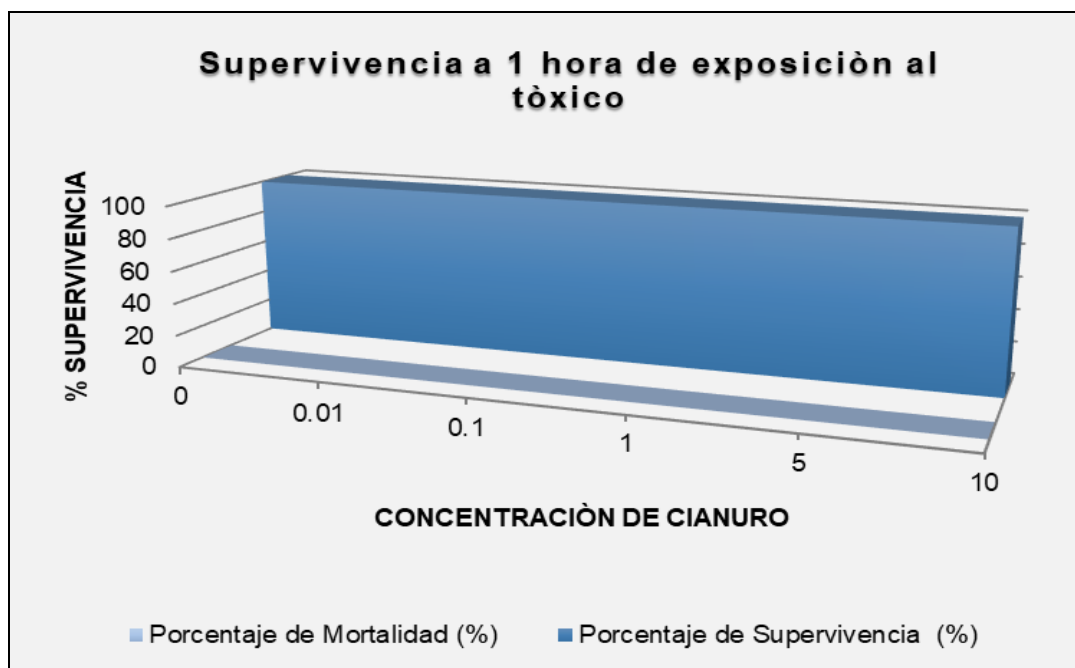


Figura 53. Supervivencia (%) a 1 hora de exposición al toxico – bioensayo preliminar.

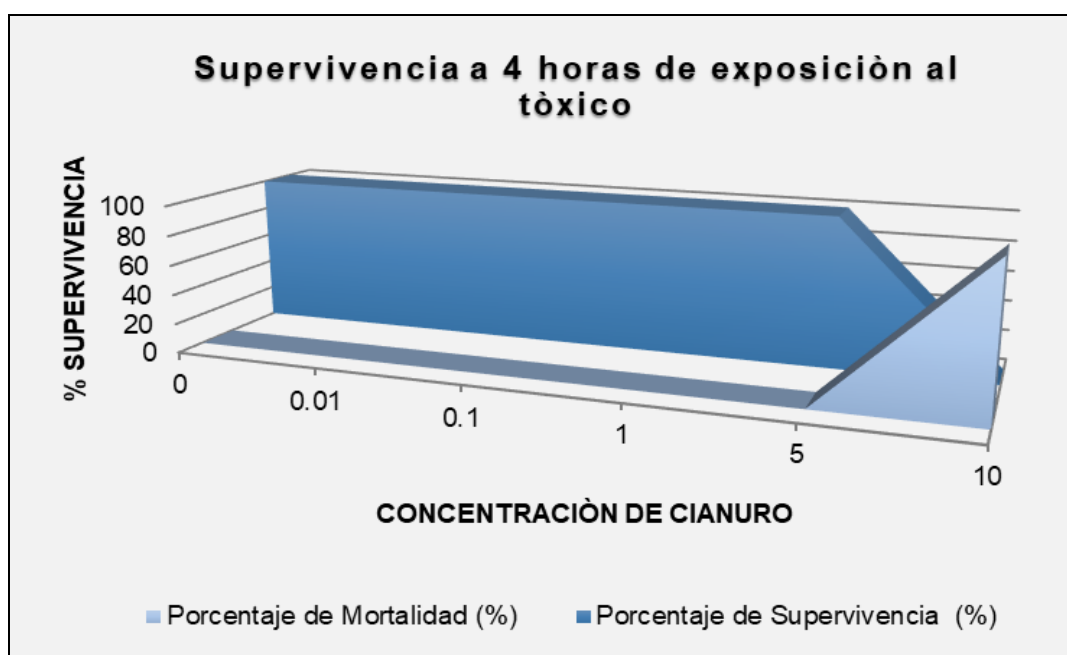


Figura 54. Supervivencia (%) a 4 horas de exposición al toxico – bioensayo preliminar.

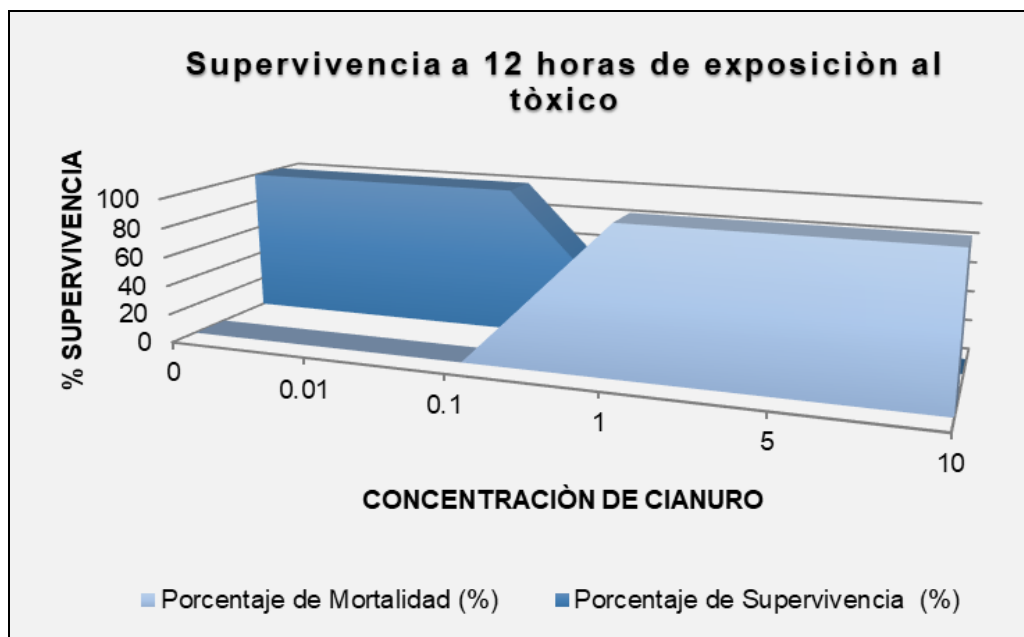


Figura 55. Supervivencia (%) a 12 horas de exposició al tòxic – bioensayo preliminar.

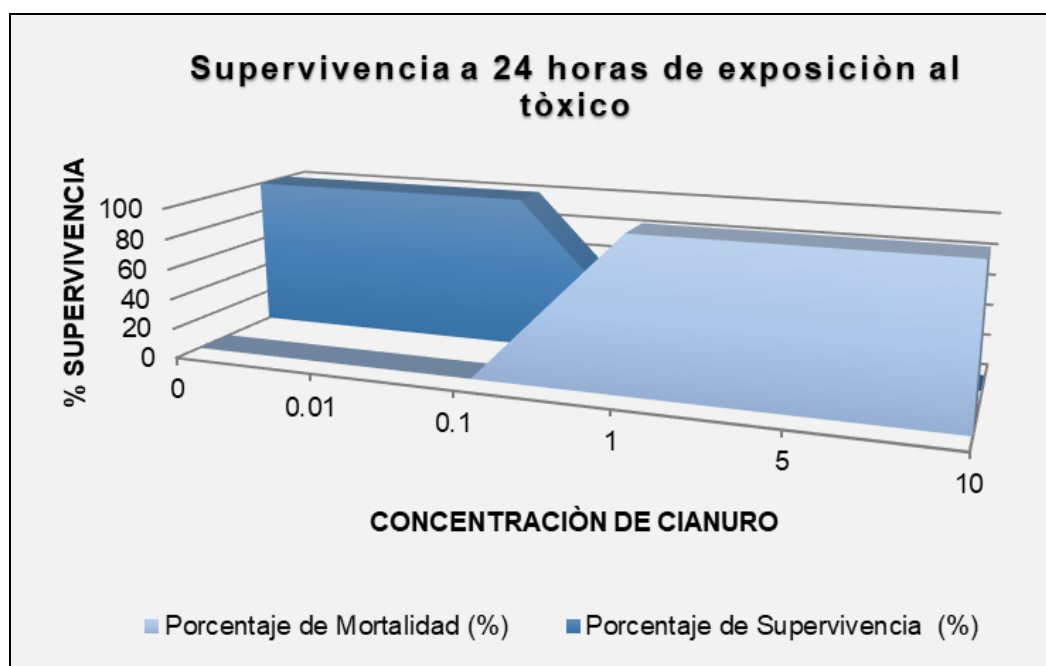


Figura 56. Supervivencia (%) a 24 horas de exposició al tòxic – bioensayo preliminar.

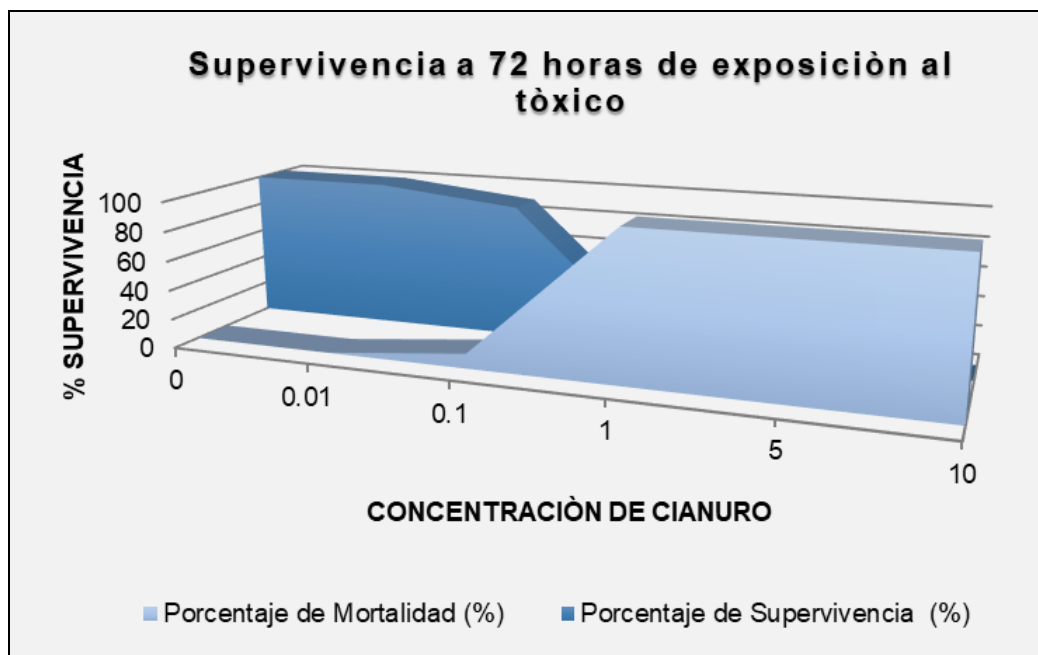


Figura 57. Supervivencia (%) a 72 horas de exposició al tòxic – bioensayo preliminar.

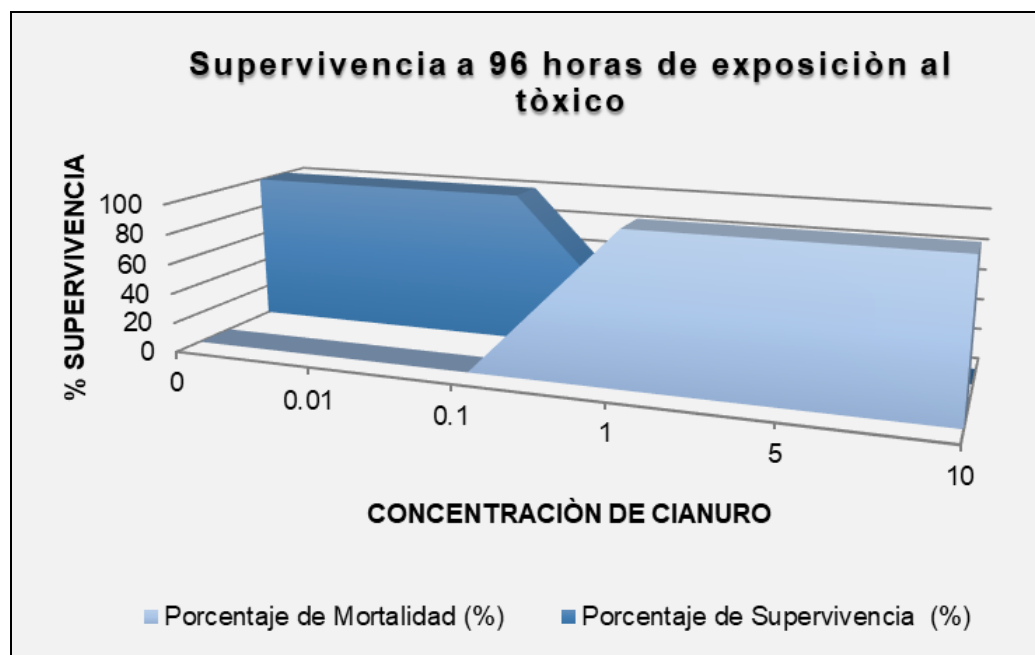


Figura 58. Supervivencia (%) a 96 horas de exposició al tòxic – bioensayo preliminar.

4.2. Bioensayo final

En la Tabla 9, se pueden observar los resultados del bioensayo final por triplicado, los resultados de las mediciones de pH se pueden observar en la Tabla 10, en la Tabla 11 se observan los resultados de temperatura del agua, los resultados de temperatura ambiental y oxígeno disuelto se observan en la Tabla 12 y en las Tablas 13,14 y 15 se observan los resultados de mortalidad de las tres replicas.

Tabla 9

Resultados del bioensayo final

A	Porcentaje de mortalidad (%)	B	Porcentaje de mortalidad (%)	C	Porcentaje de mortalidad (%)	Concentración de Cianuro (ppm)
AB	0	BB	0	CB	0	0
AC1	10	BC1	10	CC1	10	0.1
AC2	30	BC2	30	CC2	30	0.3
AC3	100	BC3	100	CC3	100	0.5
AC4	100	BC4	100	CC4	100	0.7
AC5	100	BC5	100	CC5	100	0.9

Fuente: Elaboración propia

AB, AC1, AC2, AC3, AC4 y AC5: Primer ensayo

BB, BC1, BC2, BC3, BC4 y BC5: Segundo ensayo

CB, CC1, CC2, CC3, CC4 y CC5: Tercer ensayo

Durante el desarrollo de las tres réplicas del bioensayo final, se monitorearon los parámetros pH, Temperatura de agua, Temperatura ambiental y Oxígeno disuelto, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 10*Resultados de pH del bioensayo final*

Acuario	Resultado de pH (Unidades de pH)							
	1 hora	2 horas	4 horas	12 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
B	8,5	8,5	8,0	8,2	8,2	8,2	8,0	8,0
C1	8,2	8,2	7,8	8,2	8,2	8,2	8,0	8,0
C2	8,0	8,0	8,2	8,2	8,2	8,2	8,0	8,0
C3	7,9	7,9	8,0	8,0	8,0	8,0	7,8	7,8
C4	8,2	8,2	8,0	8,0	8,0	8,0	7,8	7,8
C5	7,9	8,0	8,2	8,0	8,0	8,0	7,8	7,8

Fuente: Elaboración propia**Tabla 11***Resultados de Temperatura del agua del bioensayo final.*

Acuario	Resultado de temperatura (°C)							
	1 hora	2 horas	4 horas	12 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
B	23,0	23,1	23,2	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
C1	23,0	23,1	23,2	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
C2	23,0	23,1	23,2	23,0	23,0	23,1	23,0	23,0
C3	23,0	23,1	23,2	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
C4	23,0	23,1	23,2	23,0	23,0	23,1	23,0	23,0
C5	23,0	23,1	23,2	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12*Resultados de Temperatura del ambiental y Oxígeno disuelto bioensayo final.*

Acuario	Temperatura Ambiental		Oxígeno disuelto(mg/L)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
B	25,2	26,1	6,3	6,2
C1	25,2	26,1	6,2	6,0
C2	25,2	26,1	6,3	6,2
C3	25,2	26,1	6,3	6,2
C4	25,2	26,1	6,1	6,0
C5	25,2	26,1	6,0	5,9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13
Resultados de mortalidad – bioensayo final primera replica.

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6
	Concentración 0 ppm	Concentración 0.1ppm	Concentración 0.3ppm	Concentración 0.5 ppm	Concentración 0.7 ppm	Concentración 0.9 ppm
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	10	10	10
48	0	0	3	-	-	-
72	0	1	-	-	-	-
96	0	-	-	-	-	-
Número total de muertos	0	1	3	10	10	10
% Mortalidad a las 96 horas	0	10	30	100	100	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14*Resultados de mortalidad – bioensayo final segunda replica.*

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6
	Concentración 0 ppm	Concentración 0.1ppm	Concentración 0.3ppm	Concentración 0.5 ppm	Concentración 0.7 ppm	Concentración 0.9 ppm
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	10	10	10
48	0	0	3	-	-	-
72	0	1	-	-	-	-
96	0	-	-	-	-	-
Número total de muertos	0	1	3	10	10	10
% Mortalidad a las 96 horas	0	10	30	100	100	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15*Resultados de mortalidad – bioensayo final tercera replica.*

	Acuario 1	Acuario 2	Acuario 3	Acuario 4	Acuario 5	Acuario 6
	Concentración 0 ppm	Concentración 0.1ppm	Concentración 0.3ppm	Concentración 0.5 ppm	Concentración 0.7 ppm	Concentración 0.9 ppm
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	10	10	10
48	0	0	3	-	-	-
72	0	1	-	-	-	-
96	0	-	-	-	-	-
Número total de muertos	0	1	3	10	10	10
% Mortalidad a las 96 horas	0	10	30	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

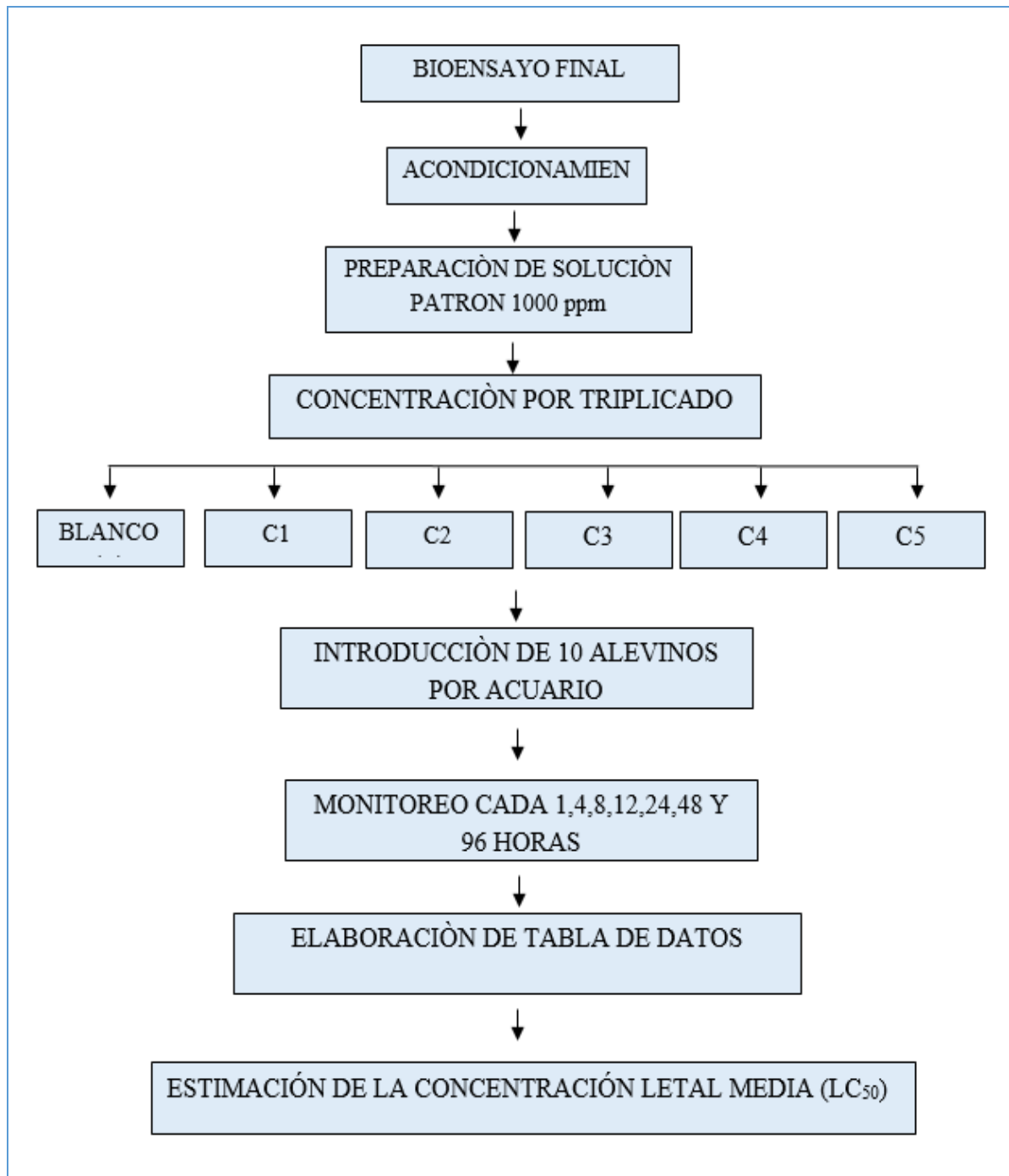


Figura 59. Diagrama de sistema de bioensayo.

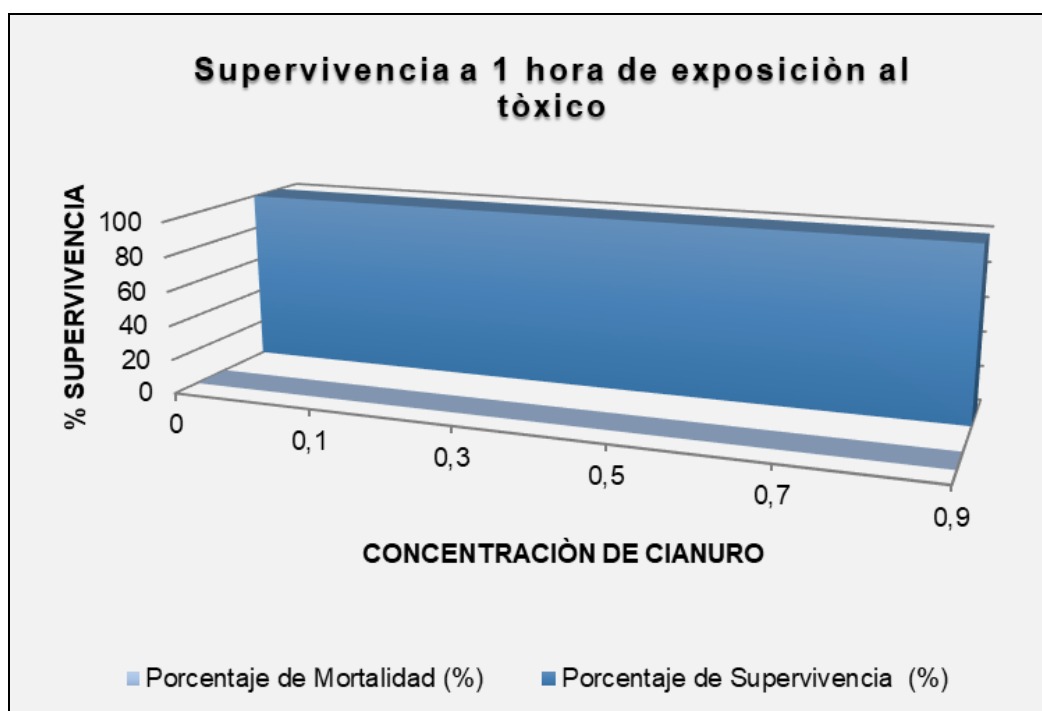


Figura 60. Supervivencia (%) a 1 hora de exposición al tóxico – bioensayo final (primera replica).

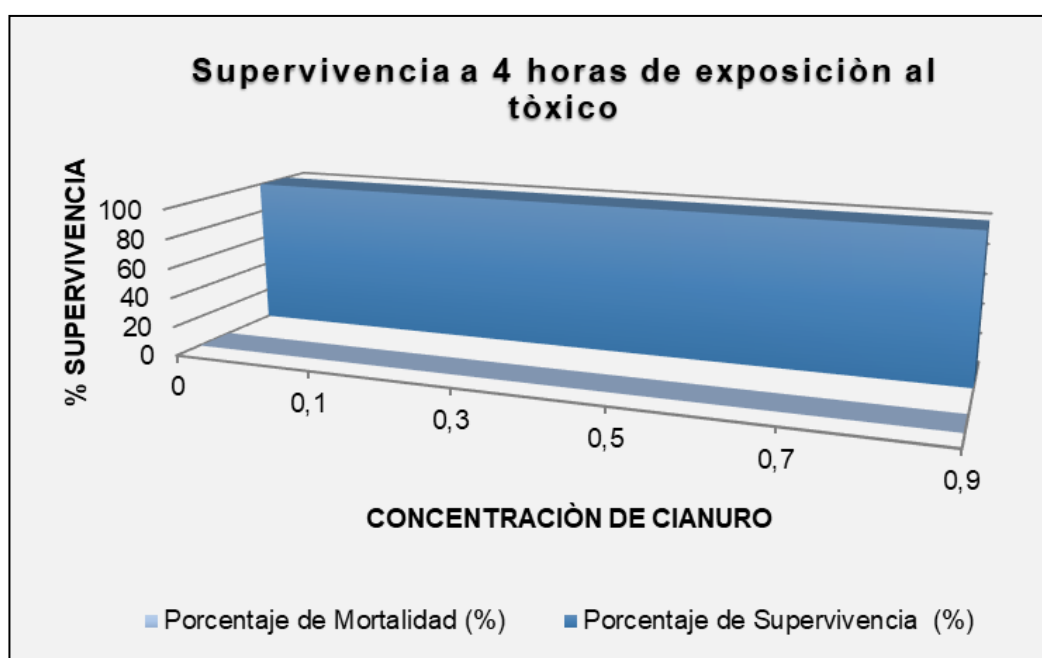


Figura 61. Supervivencia (%) a 4 horas de exposición al tóxico – bioensayo final (primera replica).

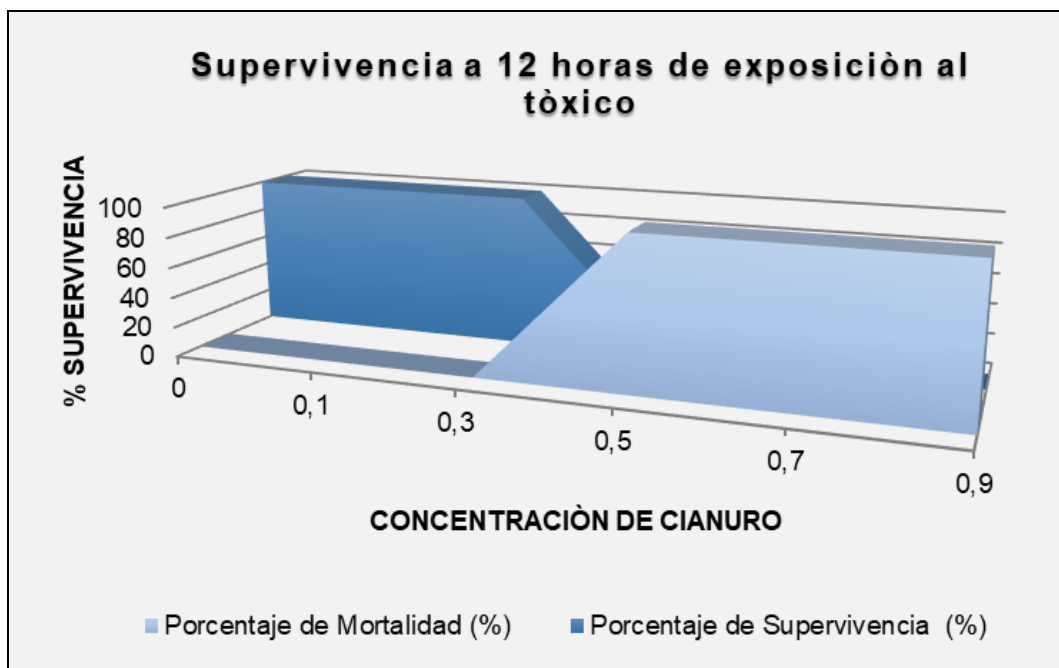


Figura 62. Supervivencia (%) a 12 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (primera replic).

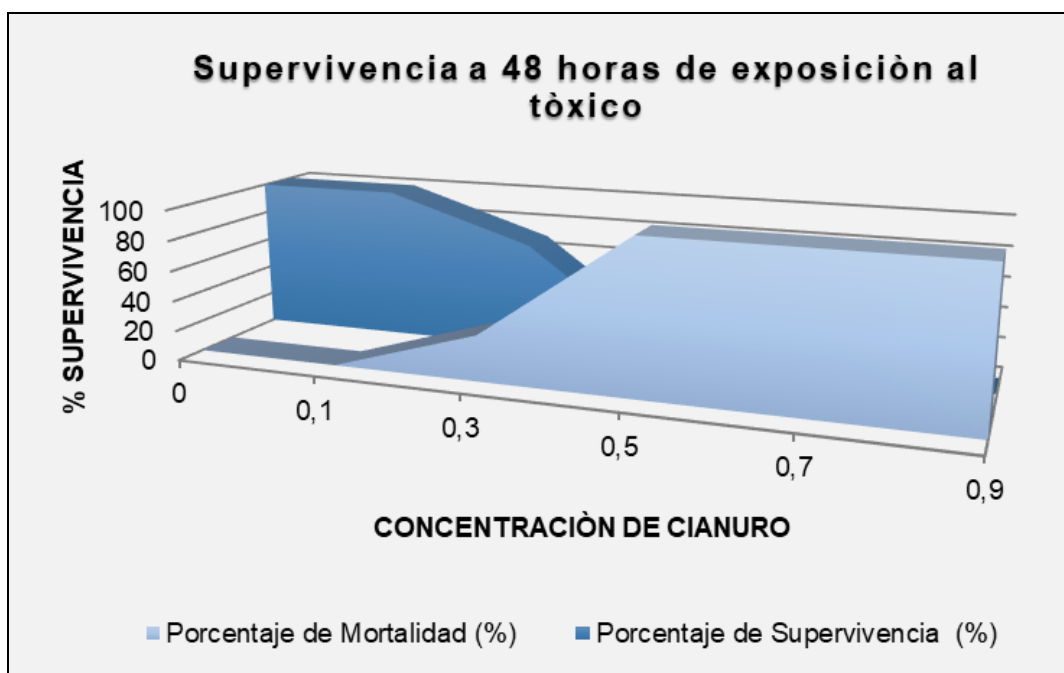


Figura 63. Supervivencia (%) a 48 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (primera replic).

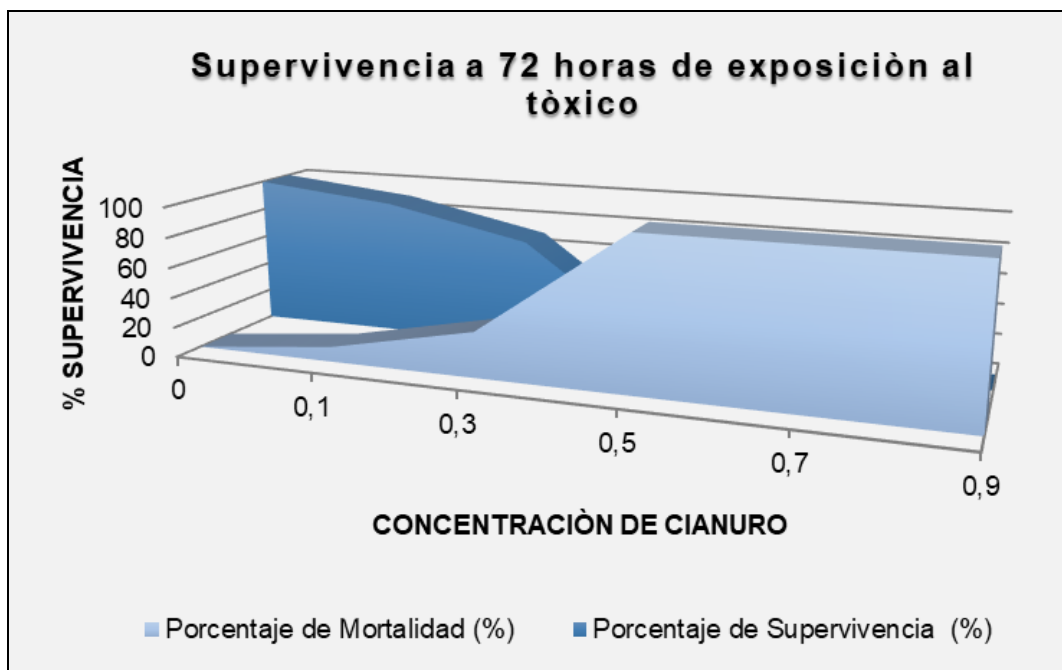


Figura 64. Supervivencia (%) a 72 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (primera replic).

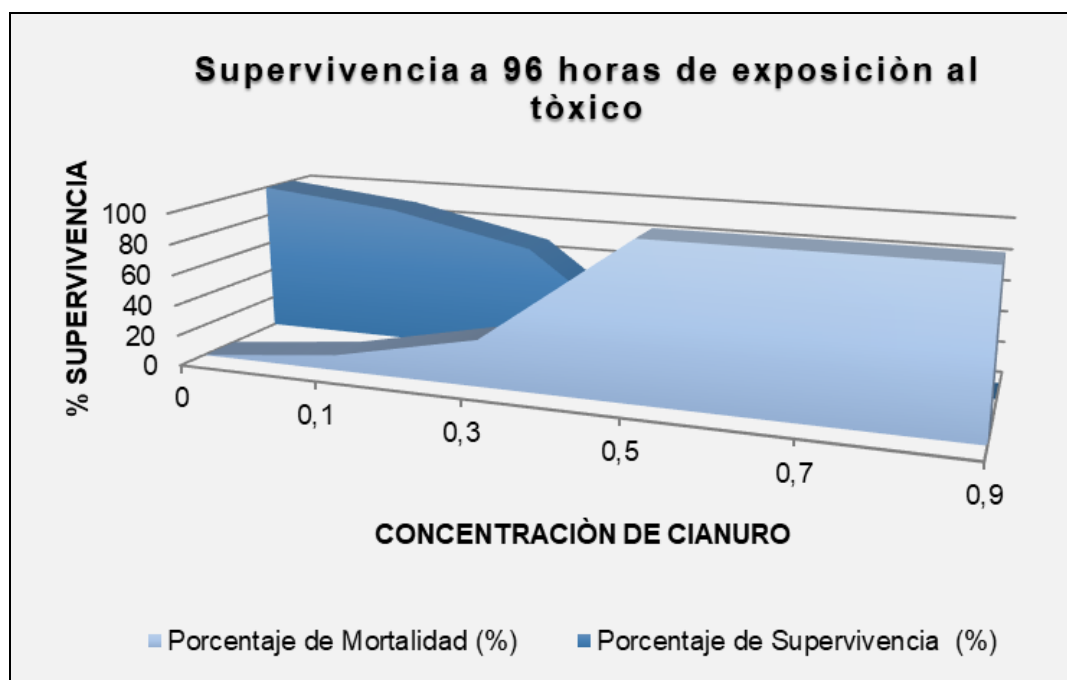


Figura 65. Supervivencia (%) a 96 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (primera replic).

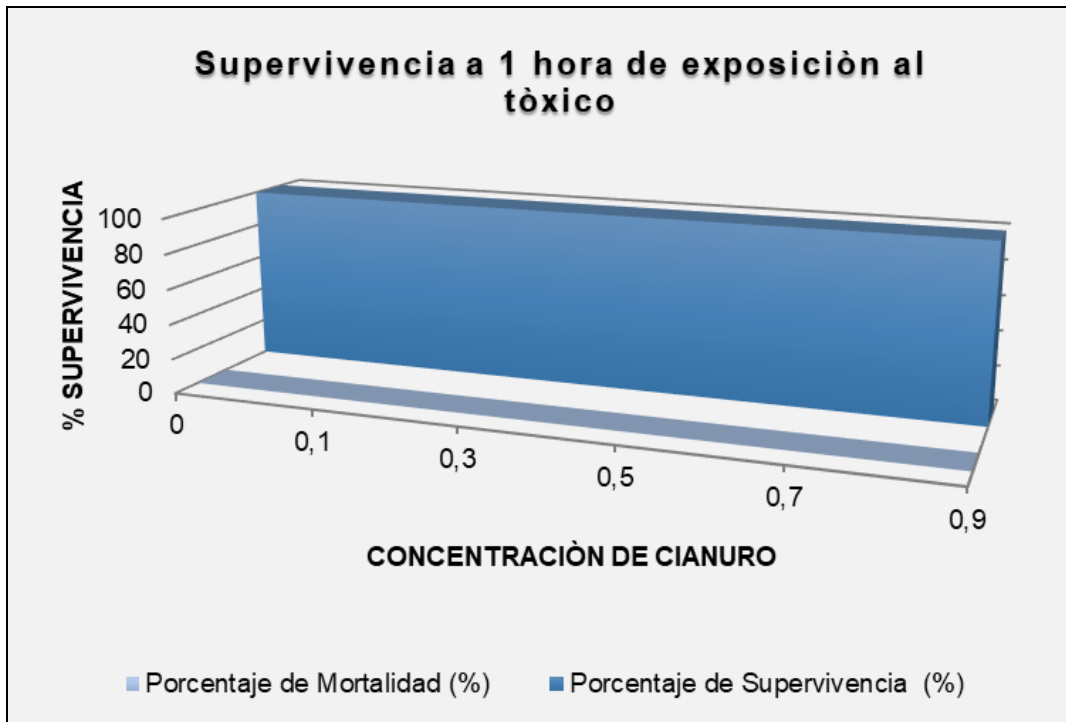


Figura 66. Supervivencia (%) a 1 hora de exposició al tòxic – bioensayo final (segunda replica).

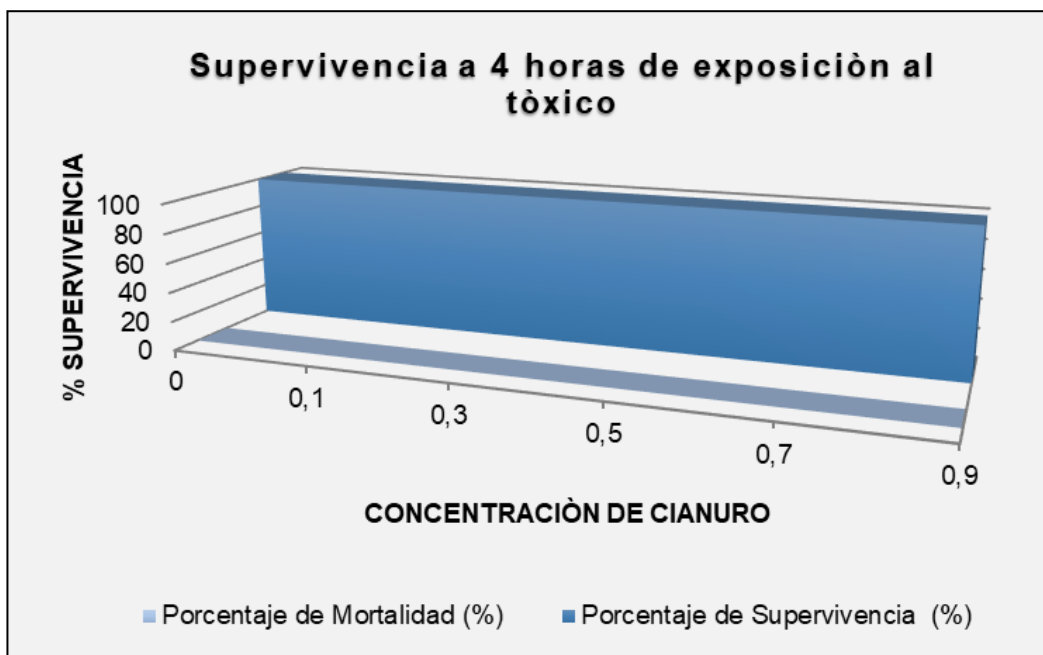


Figura 67. Supervivencia (%) a 4 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (segunda replica).

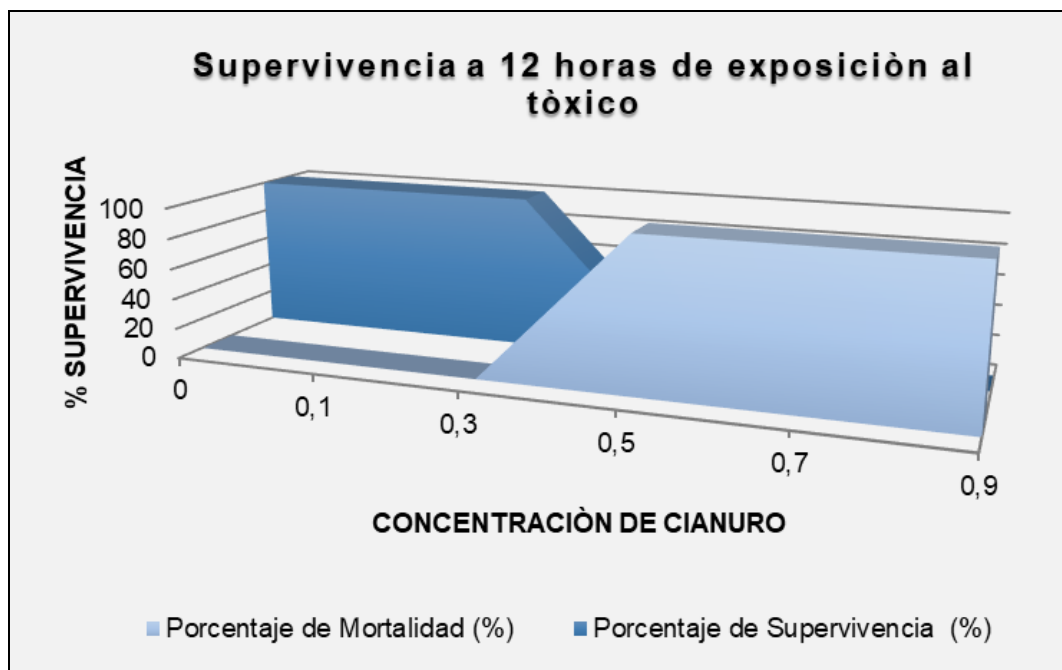


Figura 68. Supervivencia (%) a 12 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (segunda replica).

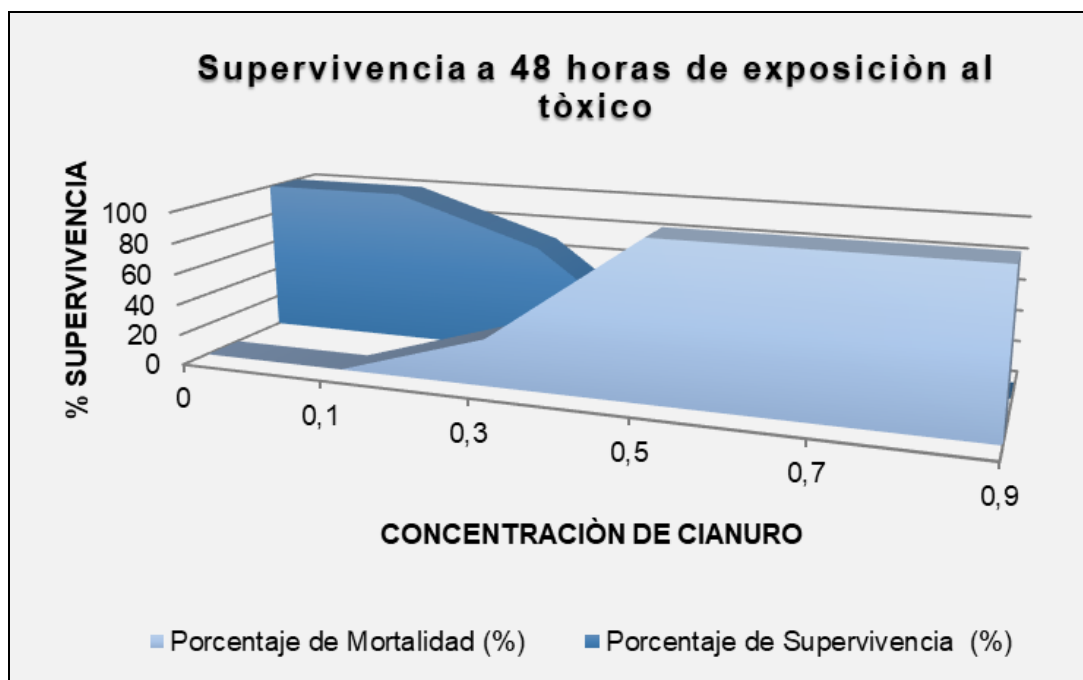


Figura 69. Supervivencia (%) a 48 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (segunda replica).

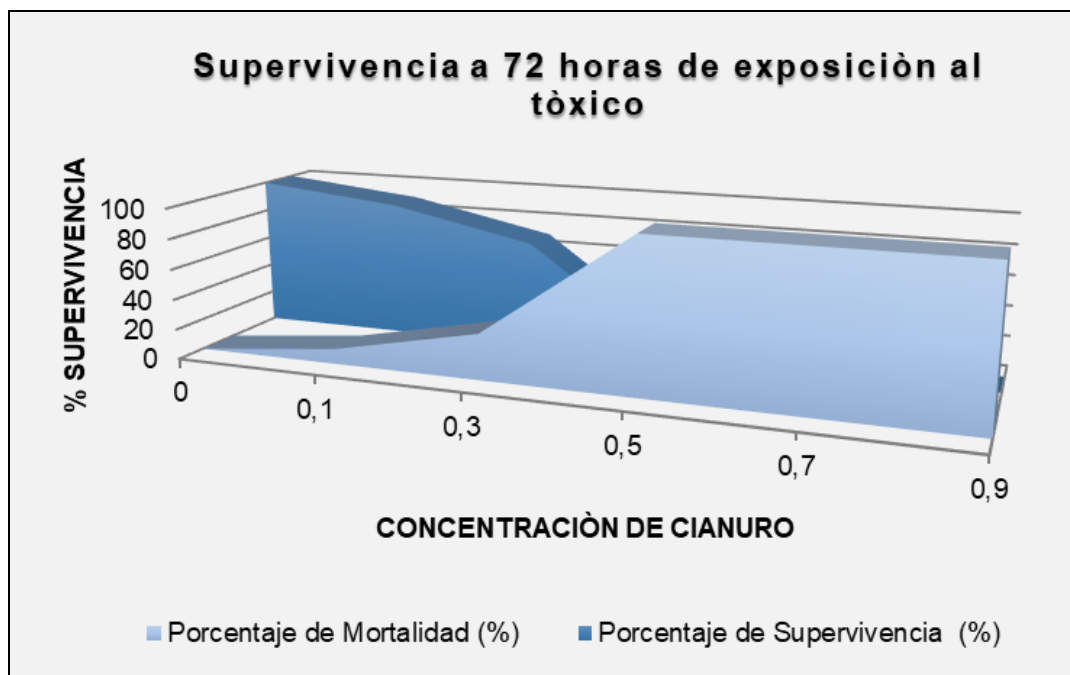


Figura 70. Supervivencia (%) a 72 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (segunda replica).

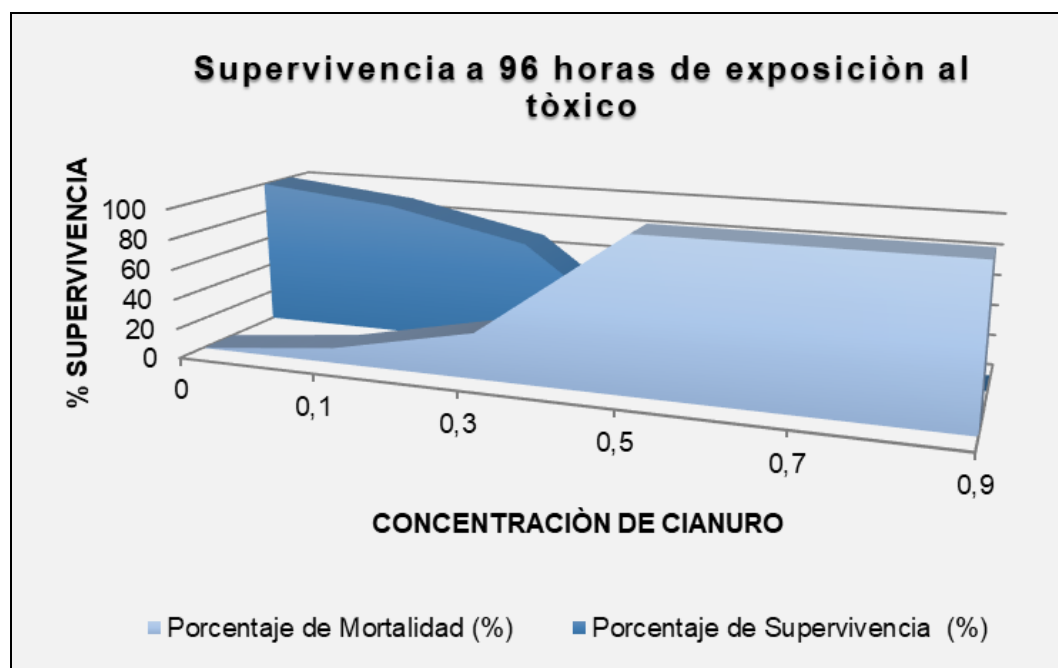


Figura 71. Supervivencia (%) a 96 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (segunda replica).

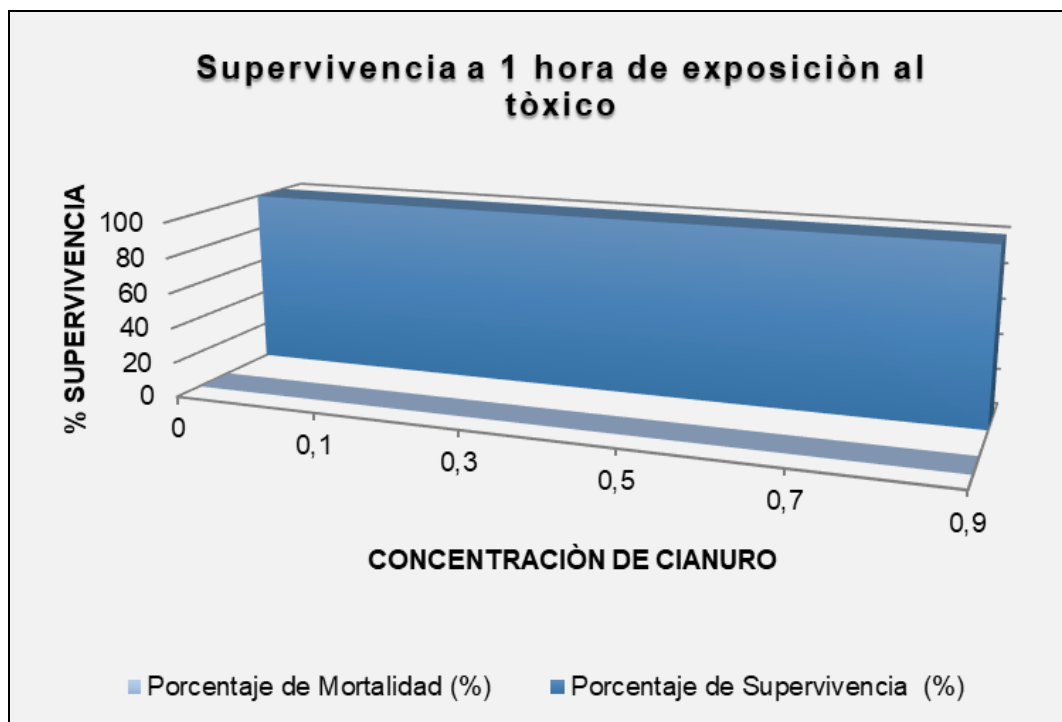


Figura 72. Supervivencia a 1 hora de exposició al tòxic – bioensayo final (tercera replica).

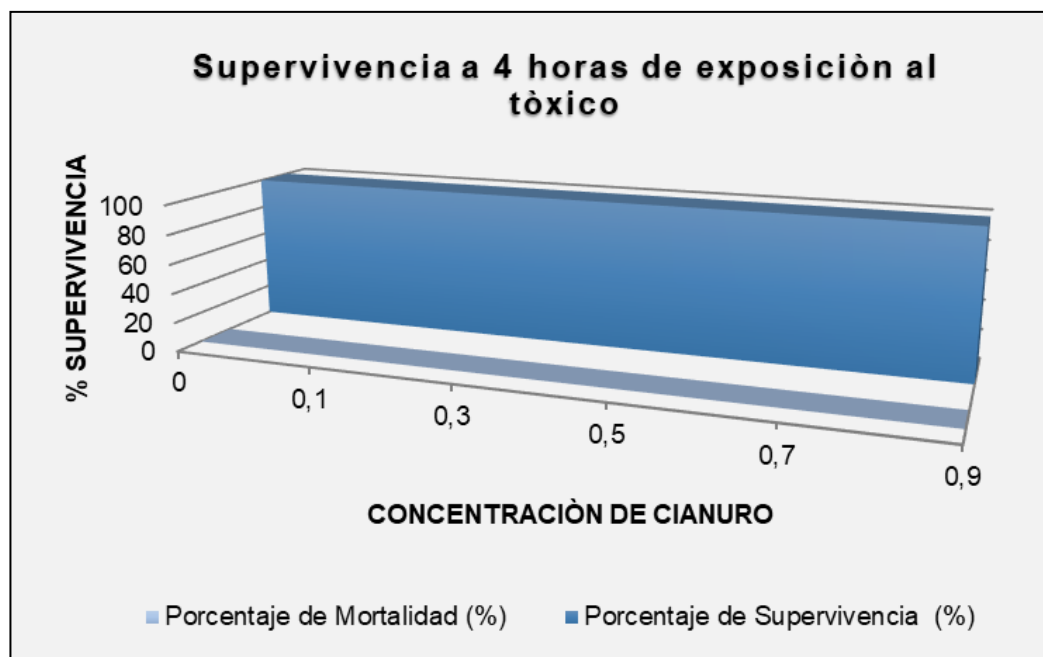


Figura 73. Supervivencia (%) a 4 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (tercera replica).

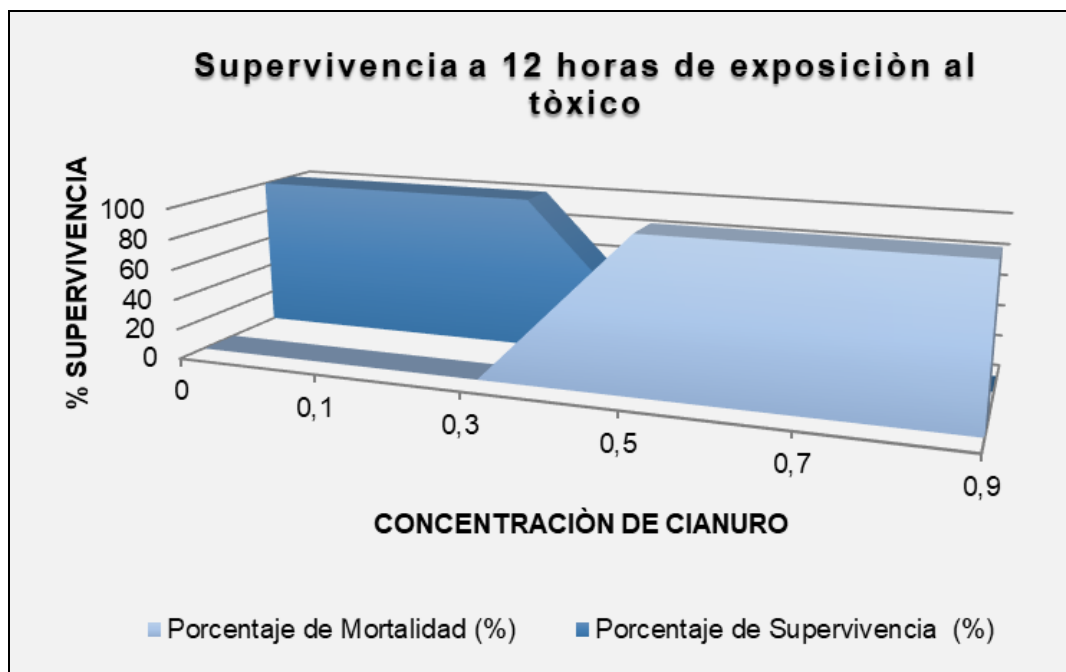


Figura 74. Supervivencia (%) a 12 horas de exposición al tóxico – bioensayo final (tercera replica).

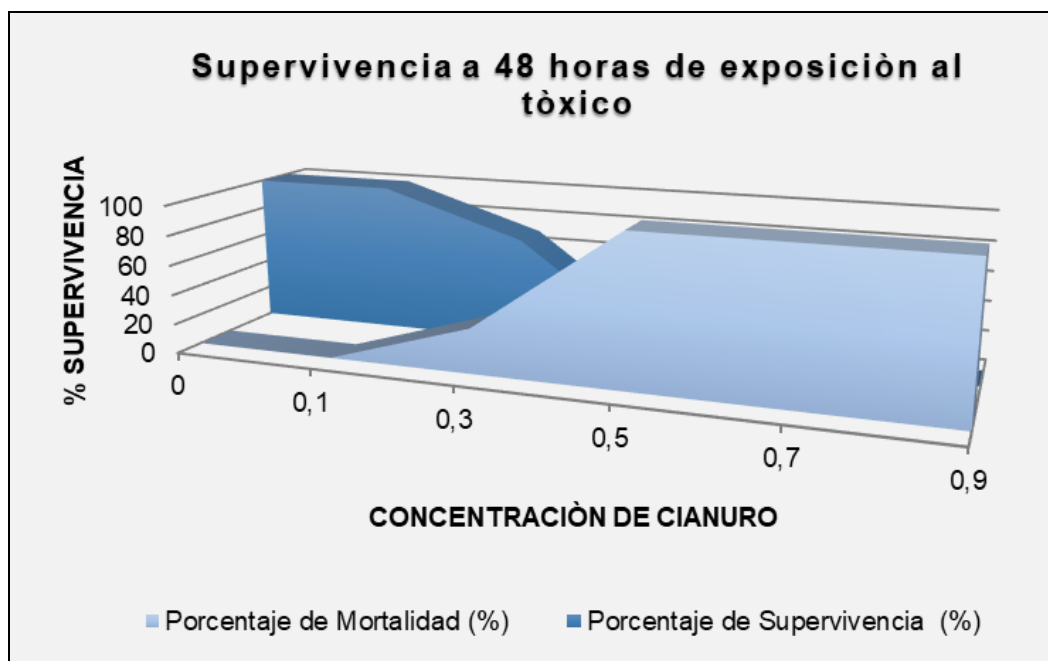


Figura 75. Supervivencia (%) a 48 horas de exposición al tóxico – bioensayo final (tercera replica).

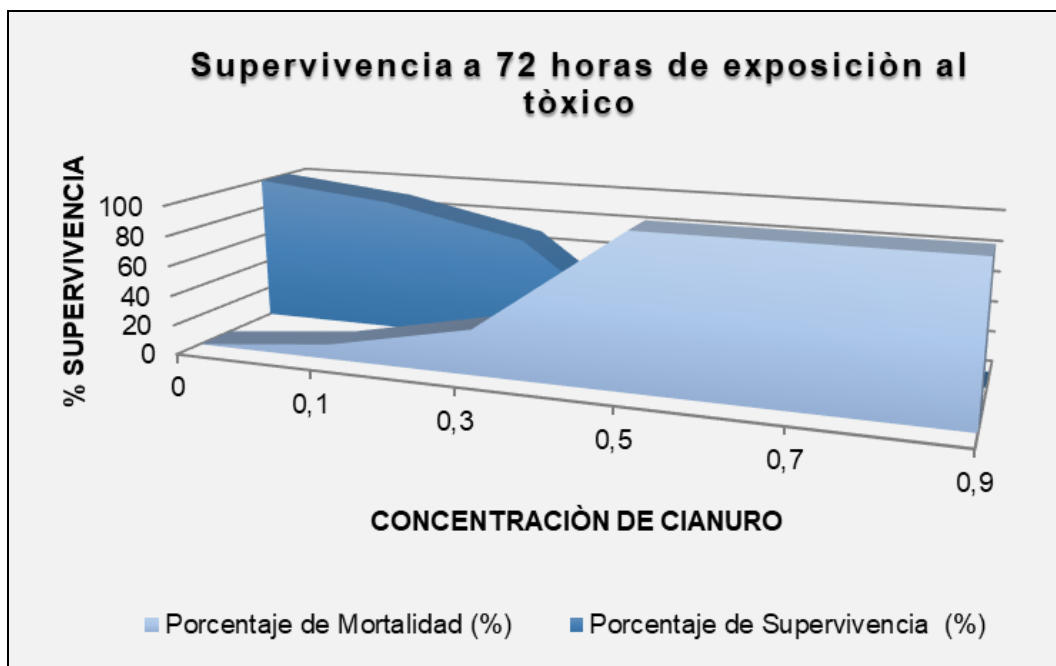


Figura 76. Supervivencia (%) a 72 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (tercera replica).

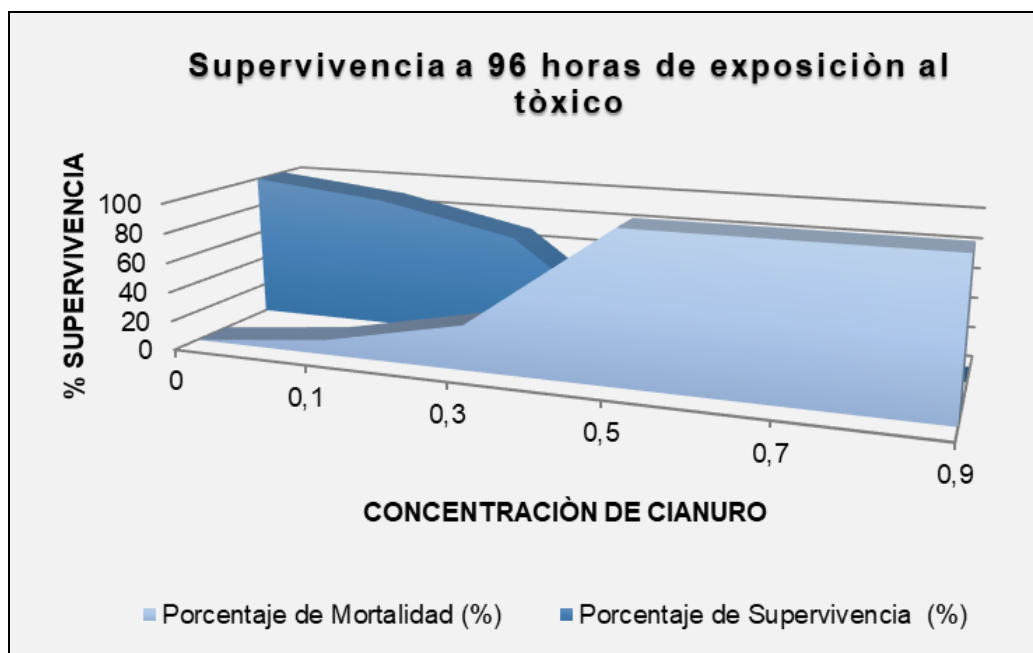


Figura 77. Supervivencia (%) a 96 horas de exposició al tòxic – bioensayo final (tercera replica).

4.3. Estimación de la concentración letal media (LC₅₀)

Para la estimación de la concentración letal media (LC₅₀) de cianuro total para la especie *Oreochromis niloticus* (alevines), se empleó el análisis probit.

Análisis Probit – Respuesta

Variable dependiente: Respuesta

Tamaños de muestra: Número total de individuos por concentración.

Factores: Concentración de Cianuro

Tabla 16

Modelo Estimado de Regresión (Máxima Verosimilitud)

Parámetro	Estimado	Error Estándar
CONSTANTE	-2.63243	0.417042
Concentración de Cianuro	8.43032	1.24877

Tabla 17

Coefficientes

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
CONSTANTE	-2.63243	0.417042	-3.51652	-1.74834
Concentración de Cianuro	8.43032	1.24877	5.78305	11.0776

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión probit para describir la relación entre respuesta (Mortalidad) y 1 variable(s) independiente(s) (Concentración de cianuro). La ecuación del modelo ajustado es

Respuesta = normal(η)

en donde " η = -2.63243 + 8.43032*Concentración de cianuro (ppm)

Como el valor-P es menor que 0,05 ($p < 0,05$), existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del

95,0%. La Tabla 18 muestra las predicciones inversas obtenidas del modelo ajustado. Las predicciones inversas indican el valor de Concentración de Cianuro al cual el modelo alcanza ciertos porcentajes, el valor correspondiente a $p=50\%$ (LC_{50}) es igual a 0,312258.

Tabla 18

Estimación de valores de concentración letal y límites de confianza

Porcentaje	Concentración de cianuro (ppm)	LC Inferior 95.0%	LC Superior 95.0%
		Límite Conf.	Límite Conf.
15.0	0.189317	0.123132	0.234493
20.0	0.212425	0.152825	0.255272
25.0	0.23225	0.177733	0.273664
30.0	0.250054	0.199559	0.290723
35.0	0.266552	0.219247	0.307067
40.0	0.282206	0.237397	0.323109
45.0	0.297353	0.254425	0.339161
50.0	0.312258	0.270653	0.355487
55.0	0.327163	0.286359	0.372335
60.0	0.342309	0.301805	0.38997
65.0	0.357964	0.317264	0.408703
70.0	0.374461	0.333057	0.428942
75.0	0.392265	0.349603	0.451281
80.0	0.41209	0.367519	0.476664
85.0	0.435199	0.387858	0.506797
90.0	0.464274	0.412808	0.545351
91.0	0.471297	0.418749	0.554748
92.0	0.478926	0.425171	0.564989
93.0	0.487315	0.432198	0.576285
94.0	0.496684	0.440005	0.58894
95.0	0.507369	0.448862	0.60342
96.0	0.519923	0.459212	0.620489
97.0	0.535356	0.471862	0.641547
98.0	0.555872	0.48857	0.669647
99.0	0.588208	0.514704	0.714137
99.5	0.617801	0.538453	0.755024
99.9	0.678822	0.587057	0.839695

4.4. Efectos del cianuro en *Oreochromis niloticus*

Iniciado el bioensayo preliminar, se evidenciaron diferencias en el comportamiento entre los alevinos del acuario control (B) y los acuarios con concentraciones de cianuro, en los acuarios C5 (10ppm) y C4 (5ppm) se observaron cambios de comportamiento, los alevinos del acuario control presentaban un comportamiento habitual, caracterizado por movimientos constantes, los alevinos de los acuarios C3 (1ppm), C4 (5ppm) y C5 (10ppm) presentaron una natación errática, desequilibrio en la postura, aumentando la actividad en superficie, observándose también una abertura anormal constante del opérculo, cambios de coloración en las branquias, estas pasaron de color rojizo a pardo claro, además de presentar un nado en su mismo eje, los alevinos murieron con la boca abierta, el cianuro en organismos produce hipoxia que es la deficiencia de oxígeno en la sangre, los efectos producidos por el contaminante .

En el bioensayo final, los alevinos presentaron una sintomatología igual al bioensayo preliminar, en los acuarios C5 (0.9ppm), C4 (0.7ppm) y C3(ppm) a las 2 horas de iniciado los alevinos comenzaron a presentar los síntomas, en el acuario C2 (0.3ppm) se observó la sintomatología a partir de las 24 en algunos alevinos, en el acuario C1 (0.1ppm) no se observaron cambios significativos, en el acuario control (B) los alevinos presentaron un comportamiento normal (Ver Figuras 77,78,79,80,81,82 y 83).



Figura 78. Movimiento en el mismo eje producido por cianuro.



Figura 79. Movimiento errático de alevino producido por cianuro – 0,5ppm.

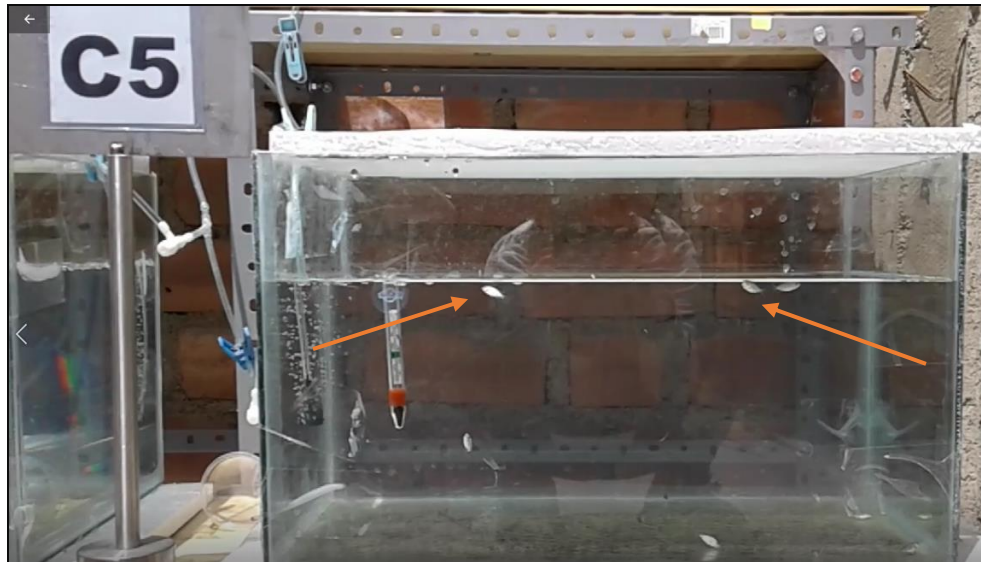


Figura 80. Actividad en superficie producido por cianuro – 0,9ppm.



Figura 81. Opérculo abierto – 0,9ppm.



Figura 82. Cambio de color en branquia – 0,9ppm.



Figura 83. Alevín muerto con boca abierta – primera replica.



Figura 84. Alevines muertos con boca abierta – primera replica.

CAPITULO V DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

5.1. DISCUSIONES

En comparación con los resultados obtenidos por Sánchez & Andrade en 2009 utilizando como toxico cianuro en alevines de *Oncorhynchus mykiss* en donde la LC_{50} fue 0.2039mg/L, el resultado obtenido por Alabaster, Shurben y Mallet en 1982 al exponer a la especie *Salmo salar* en donde la LC_{50} fue 0.073 mg/L, el resultado de exponer a la especie *Pimephales promelas* “carpa cabezona” por Broderius, Smith y Lind en 1997 en donde la LC_{50} fue 83 μ g/l y los resultado obtenidos por Prashanth & Neelagun en 2008 en la especie *Cirrhinus mrigala* “Mrigal” la LC_{50} fue 35 μ g/l, muestran una diferencia considerable comparados con el presente trabajo ($LC_{50} = 0,31$ mg/L), para las especies *Salmo salar*, *Pimephales promelas* y *Cirrhinus mrigala*.

De lo anterior se puede decir que comparados los resultados ante la exposición al toxico (cianuro) las especies tienen una tolerancia diferente, los alevinos de *Oreochromis niloticus* son más resistentes que las especies *Salmo salar*, *Pimephales promelas* y *Cirrhinus mrigala*.y menos resistente que la especie *Labeo rohita* “Carpa rui” la cual fue expuesta a cianuro resultando una $LC_{50} = 0,32$ mg/L.

La exposición de juveniles de *Oreochromis sp.* “Tilapia roja” evidencio que a concentraciones de 0,25 mg/l no se evidencio toxicidad de cianuro, sin embargo, a 2,5 mg/l los organismos presentaron sintomatología a los 4 minutos de ser expuestos, demostrando que los resultados en este tipo de pruebas varias de

acuerdo a la etapa de vida de la especie, siendo por lo general las etapas adultas las más resistentes.

El resultado obtenido $LC_{50} = 0,31$ mg/L, es mayor a los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, que establece una concentración de 0,0052 mg/L de cianuro para la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E2 Ríos y la concentración 0,1 mg/L de cianuro que establece para la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, sin embargo, según los resultados de la investigación la concentración de 0,1 mg/L de cianuro es perjudicial a la sobrevivencia de la especie.

5.2. CONCLUSIONES

La concentración media letal de cianuro después de 96 horas de exposición a los alevines de *Oreochromis niloticus* fue 0,31 ppm.

Las tres replicas presentaron la misma concentración media letal LC_{50} a las 96 horas de exposición, los resultados no mostraron diferencia en el número de alevines muertos según transcurrían las horas.

Se determinó que concentraciones de 0,1 mg/L de cianuro son perjudiciales a la sobrevivencia de alevinos de *Oreochromis niloticus*.

Se determinó que la sintomatología que presentaban los alevinos fueron el nado repetidamente hacia la superficie, errático y en el mismo eje, aberturas de opérculo y cambio de coloración en las branquias, observándose estos cambios en la exposición en todas las concentraciones de cianuro.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alabaster, J; Shurben, D. y Mallet, M. (1982, 26 de Abril). The acute lethal toxicity of mixtures of cyanide and ammonia to smolts of salmon, *Salmo salar* L. at low concentrations of dissolved oxygen. *Journal of Fish Biology*, 22(2), 215-222. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1095-8649.1983.tb04741.x/full>.

Argota, G, Espinoza, N. y Iannacone, J. (2015, enero - junio), Evaluación de la toxicidad letal media por exposición a cianuro libre en efluentes y relaves mineros utilizando los biomodelos *Brachydanio erio* y *Eisenia andrei*, *Cátedra Villarreal*, 3(1), 83-88. Recuperado de <http://revistas.unfv.edu.pe/index.php/RCV/article/view/47>.

Autoridad Nacional del Agua. (2012). Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/archivos/paginas/plan_de_gestion_de_recursos_hidricos_de_la_cuenca_chira-piura_0_0_0.pdf.

Autoridad Nacional del Agua. (2010). Vigilancia de la calidad de agua en los ríos Tambopata, Malinowski e Inambari – Madre de Dios. Recuperado de <http://mddconsortium.org/wp-content/uploads/2014/11/ANA-2010-Calidad-de-Agua-Tambopata-Malinowski-Inambari.pdf>

Autoridad Nacional del Agua (2015). Informe Técnico de Monitoreo de Calidad del Agua de la Cuenca del Río Moche - octubre 2015. Recuperado de <http://sial.segat.gob.pe/documentos/informe-tecnico-monitoreo-calidad-agua-cuenca-rio-moche-octubre-2015>

- Baltazar, P. (2006). La Tilapia en el Perú: acuicultura, mercado, y perspectivas. *Revista Peruana de Biología*.13 (3). 1-2. Recuperado de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/2355/0>
- Broderius, S; Lloyd, L & Lind, L. (2011). Relative toxicity of Free cyanide and dissolved sulfide forms to the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34(12), 2323-2332. Recuperado de <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/f77-311#.WhTGv0ribIU>.
- Capo. M (2003). La ecotoxicología, una ciencia de hoy. *Medicina Balear*,18(3),101-104. Recuperado de http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/medicinaBalear/import/2003_v18_n3/Medicina_Balear_2003v18n3_p101.pdf.
- David, M. & Kartheek, R. (2015). (enero 2015). Histopathological alterations in spleen of freshwater fish *Cyprinus carpio* exposed to sublethal concentration of sodium cyanide. *Open Veterinary Journal*, 5(1), 1-5. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285424675_Histopathological_alterations_in_spleen_of_freshwater_fish_Cyprinus_carpio_exposed_to_sublethal_concentration_of_sodium_cyanide.
- Dube, P. & Hosetti, B. (2010). Behaviour surveillance and oxygen consumption in the freshwater fish *Labeo rohita* (HAMILTON) exposed to sodium cyanide. *Biotechnology in Animal Husbandry* ,26 (1-2), 91-103. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.430.6066&rep=rep1&type=pdf>.
- Guerrero, J. (2010). Cianuro: Toxicidad y Destrucción Biológica. *El ingeniero de minas*, 10 (35), 22-25. Recuperado de <https://issuu.com/jessicasolano2/docs/cianuro>

- Instituto del mar del Perú. (2007). Determinación de los desembarques y esfuerzo pesquero en los recursos continentales. Recuperado de: [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_27\)__infomerepresas2007_web.pdf](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_27)__infomerepresas2007_web.pdf).
- Joint Assessment of Commodity Chemicals, JACC. (2007). *Cyanides of Hydrogen, Sodium and Potassium, and Acetone Cyanohydrin (CAS No. 74-90-8, 143-33-9, 151-50-8 and 75-86-5)* (JACC N°53, volumen 1). Recuperado de <http://www.ecetoc.org/publication/jacc-report-53-cyanides-of-hydrogen-sodium-and-potassium-and-acetone-cyanohydrin-vol-ii/>.
- Jimenez, N. & Gonzalez, L. (2009). Evaluación del tratamiento realizado al vertimiento de la industria galvánica “NICROZINC LTDA”, teniendo como referencia la concentración letal media (CL50-48) de cianuro y cadmio sobre *Daphnia pulex*. Tesis para Título en Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá: Universidad de la Salle. Recuperado de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14896/T41.09%20J564e.pdf?sequence=1>
- Kim, W; Lee J; Kim J. y Huh S. (2008), Effects of Sodium Cyanide (NaCN) on the Endogenous Rhythm of the Oxygen Consumption Rate in the Black Rockfish *Sebastes schlegeli*. *Ocean Science Journal*, 43(2), 107-113. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03020587>.
- Kovacs, T & Leduc, G. (1982). Sublethal Toxicity of Cyanide to Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) at Different Temperatures. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(10), 1389-1395. Recuperado de <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/f82-187#.WhTb1kribIU>.

Logsdon, M., Hagelstein, K. & Mudder, T. (2008). El manejo del cianuro en la extracción de oro. Canada: Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente.

M. David & Kartheek, R. (2014, 23 de Setiembre), Sodium cyanide induced biochemical and histopathological changes in fresh water fish *Cyprinus carpio* under sublethal exposure. *International Journal of Toxicology and Applied Pharmacology*, 4(4), 64-69. Recuperado de http://www.academia.edu/8921970/sodium_cyanide_induced_biochemical_and_histopathological_changes_in_fresh_water_fish_cyprinus_carpio_under_sublethal_exposure.

Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. (Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM)

Molina, G. (2005). *Bioensayo Agudo con mercurio en juveniles de camarón de río *Cryphios caementarius* (Molina,1782) en un ambiente controlado*. . Tesis para Título en Ingeniería Pesquera Acuícola. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.

Morales. C. G. (Ed.). (2004). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Mexico, Mexico:IMTA.

Moran, R. (2013). El Cianuro en la Minería: Algunas Observaciones sobre la Química, Toxicidad y Análisis de las Aguas Asociadas con la Minería. Recuperado de <http://tragua.com/wp-content/uploads/2013/10/El-cianuro-en-la-mineria.pdf>

- Núñez, M. & Hurtado, J. (2005, 24 de junio). Bioensayos de toxicidad agua utilizando *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado. *Revista Peruana de Biología*, 12(1), 165-170. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195018466018>.
- Prashanth, M. & Neelagund S. (2008). Behavioural surveillance of Indian major carp *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) exposed to free cyanide. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 3(1),31 -36. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Dr_Shivayogeeswar_Neelagund/publication/n/249314228_Behavioural_surveillance_of_Indian_major_carp/links/0c96051e423183b16c000000/Behavioural-surveillance-of-Indian-major-carp.pdf?origin=publication_list
- Proyectos Peruanos (2017). Crianza de tilapias. Recuperado de <http://proyectosperuanos.com/tilapias/>
- Rimarachin, J. (2013). Proyecto de ley N°1889/2012-CR por el cual se establece la prohibición para el uso del mercurio y cianuro en la minería. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2013/com2013enemin.nsf//pubweb/00A74E6EA814FC5705257BEB00524759/\\$FILE/PL1889.PDF](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2013/com2013enemin.nsf//pubweb/00A74E6EA814FC5705257BEB00524759/$FILE/PL1889.PDF)
- Romani M. (2004). *Ecotoxicidad aguda del relave de la mina San Vicente sobre plancton, invertebrados y peces*. Tesis para Título en Ingeniería Pesquera Acuícola. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- San Carlos de Bariloche. (2004). La minería del oro a cielo abierto utilizando la lixiviación del cianuro. Recuperado de http://www.incasur.org/noticias/documentos/doc261_2.pdf
- Sanchez, L. & Andrade, P. (2009). *Determinación de la concentración letal media (CL50-96) del cianuro, por medio de bioensayos sobre alevinos de trucha arco*

iris (Onconrhunchus mykiis). Tesis para Título en Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá: Universidad de la Salle.

Smith LL Jr, Broderius SJ, Oseid DM, Kimball GL, Koenst WM.(1978). Acute toxicity of hydrogen cyanide to freshwater fishes. *Environmental Contamination and Toxicology*, 7, 325-337. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/215091>.

Ticona, R. & Argota G. (2016, Enero - Junio). Predicción de riesgo ecotoxicológico dada la exposición a cianuro libre mediante modelación cinético – matemática en condiciones controladas utilizando el biomonitor *Gambusia punctata*. *Campus*, 21(21), 37-48. Recuperado de <http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/2169>

Valverde, S. (2015). *Bioensayo Agudo con Sulfato de Cobre en Alevinos de Carpa *Cyprinus Carpio (LINNAEUS,1758)* y su posible Impacto debido a la Actividad Minera*. Tesis para Maestro en Ciencias con Mención en minería y medio ambiente. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

7. ANEXOS

ANEXO 1: Hoja de seguridad del Ferricianuro de potasio.

	“Hoja de datos de seguridad”
	Objetivo: Conocer los riesgos en el manejo y uso del producto, así como qué hacer en caso de una contingencia. Alcance: Todos los involucrados en caso de una contingencia en el uso y manejo del producto.

Producto:	FERRICIANURO DE POTASIO
Fecha de elaboración: Junio 15, 2002	Fecha de revisión: Mayo, 2014.
Responsable: Departamento de Control de Calidad, Seguridad e Higiene.	
De acuerdo a NOM-018-STPS-2000.	

SECCION I Identificación de la Compañía	
Nombre del fabricante	KARAL, S.A. DE C.V.
Teléfono	(01 477) 7 63 60 60 , 7 70 71 50
Teléfono de emergencia	(01 477) 7 63 60 60
Fax	(01 477) 7 63 60 60
Teléfono SETIQ (ANIQ)	(01 800) 0 02 14 00 (con 4 líneas) (sin costo). (01 555) 5 59 15 88 (con 4 líneas).
Domicilio	Blvd. Aviadores 212, Col. Cd. Industrial; C.P. 37490, León, Gto.

SECCION II Datos generales de la sustancia química	
Nombre químico	Ferricianuro de potasio
Nombre comercial	Ferricianuro de potasio
Sinónimos	Ferricianato de potasio.
Familia química	Sales de potasio
Catálogo KARAL	5056
Otros datos:	
Fórmula	$K_3Fe(CN)_6$

SECCION III Identificación de componentes			
PRODUCTO	% COMPOSICIÓN	No. CAS	RIESGOSO
Ferricianuro de potasio	99 - 100 %	13746-66-2	Si
Límites máximos permisibles de exposición:		No especificado.	

FERRICIANURO DE POTASIO

Clasificación de los grados de riesgo:			
Código de colores		N.F.P.A	
Salud	1 (ligero)	Salud	1 (ligero)
Inflamabilidad	0 (nulo)	Inflamabilidad	0 (nulo)
Reactividad	1 (ligero)	Reactividad	0 (nulo)
Contacto	2 (moderado)	Riesgo específico	ninguno

Elementos de las etiquetas del SGA (Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos), incluidos los consejos de prudencia

Pictograma	N/A
-------------------	-----

SECCION IV Propiedades físicas y químicas	
Temperatura de ebullición (°C)	N.A.
Temperatura de fusión (°C)	No se encontró información
Temperatura de inflamación (°C)	N.A.
Apariencia	Polvo cristalino
Densidad relativa (AGUA=1)	1.85
Peso molecular	329.25
Estado físico	Sólido
Color	Rojo brillante
Olor	Sin olor
PH solución acuosa al 5 % a 25 °C	No se encontró información
Solubilidad en el agua	Ligeramente soluble 1 parte en 2.5 partes de agua fría

SECCION V Riesgos de fuego o explosión	
No es un material combustible.	


SECCION VI Datos de reactividad	
Sustancia (estable ó inestable)	Estable, bajo condiciones normales de almacenaje.
Incompatibilidad (sustancia a evitar)	Acidos fuertes, vapores de ácidos, trióxido de cromo, nitrito de sodio, nitrato cúprico.

FERRICIANURO DE POTASIO

Productos peligrosos de la descomposición	Emite vapores tóxicos de cianuro y óxido de nitrógeno cuando se calienta hasta la descomposición.
Polimerización espontánea	No puede ocurrir.
Condiciones a evitar	Calor e incompatibles.

SECCION VII Riesgos para la salud

1a. PARTE	EFFECTOS A LA SALUD
<i>Por exposición aguda:</i>	
A) Ingestión accidental	Cantidades muy grandes pueden causar vómitos, diarrea y dolor.
B) Inhalación	Irritación al sistema respiratorio, tos.
C) Piel (contacto y absorción)	Puede causar irritación
D) Ojos	Causa irritación, enrojecimiento, dolor.
<i>Sustancia química considerada como:</i>	
Cancerígena	No
Teratogénica	No
Mutagénica	No
STPS (NOM-010-STPS)	No
Información complementaria	Se ha investigado como mutagénico y sus efectos en el sistema reproductor.
Ratón oral LD50	2970 mg/kg.

2a. PARTE	EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS
Contacto con los ojos	Lavar inmediatamente con gran cantidad de agua por lo menos durante 15 minutos.
Contacto con la piel	Lavar inmediatamente con gran cantidad de agua por lo menos durante 15 minutos, quitar ropa y calzado y lavar antes de volver a utilizar.
Ingestión	Evite provocar el vomito, dé a beber gran cantidad de agua.
Inhalación	Colocar a la persona al aire fresco, en caso de que no respire proporcionar respiración artificial y si respira con dificultad administrar oxígeno.
 En todos los casos obtener atención médica inmediata.	

FERRICIANURO DE POTASIO

SECCION VIII Indicaciones en caso de fuga o derrame

Recoja el material en un recipiente limpio y seco y evite que se disperse el polvo.

SECCION IX Protección especial**EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL**

Respiratoria	Mascarilla contra polvos
Manos	Guantes de neopreno o PVC.
Ojos	Lentes y/o goggles.
Cuerpo	. Use guantes y botas adecuados.
Ventilación	Se recomienda ventilación de escape local. Para la instalación de extractores de techo se debe considerar la dirección de los vientos predominantes.

SECCION X Información sobre transportación

Producto no regulado.

SECCION XI Información ecológica**COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE:**

Movilidad	Miscible en agua, no se adsorbe apreciablemente en el suelo.
Presencia / degradabilidad	No se espera sea biodegradable.
Bioacumulación	No se espera sea bioacumulable.
Ecotoxicidad	No se espera sea tóxico a la vida acuática.

SECCION XII Precauciones especiales

MANEJO Y ALMACENAMIENTO: Almacénese en área color naranja/verde (almacén general). En un lugar seco y fresco, ventilado. Separado de productos o materiales incompatibles.

INFORMACIÓN ADICIONAL

La información contenida en esta hoja de datos de seguridad es proporcionada sin garantía de ninguna clase. El usuario deberá considerar estos datos como suplemento de información que pueda obtener de otras fuentes y deberá hacer sus propias consideraciones para el manejo de este producto, así como tomar sus propias medidas de seguridad para proteger a sus empleados y clientes.

FERRICIANURO DE POTASIO

Clasificaciones NFPA**Etiqueta de Advertencia de Peligro:**

COMO PARTE DE UN BUEN PROCESO DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL, EVITE EL CONTACTO O EXPOSICION INNECESARIA A LOS PRODUCTOS QUIMICOS.

ANEXO 2: Normativa peruana.

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua
Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₆ - C ₂₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/L	0,1	**	**
Cloroforno	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodoclorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copepodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃).



(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO_2^- -N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoforno, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{E_{\text{CAcloroformo}}} + \frac{C_{\text{dibromoclorometano}}}{E_{\text{CADibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{bromodichlorometano}}}{E_{\text{CABromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{bromoforno}}}{E_{\text{CABromoforno}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoforno, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO_3^- -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO_2^- -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,364	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

ORGÁNICO

Bifenilos Policlorados

Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04	0,045
------------------------------	------	------	-------

PLAGUICIDAS

Paratión	µg/L	35	35
----------	------	----	----

Organoclorados

Aldrin	µg/L	0,004	0,7
Clordano	µg/L	0,006	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001	30
Dieldrin	µg/L	0,5	0,5
Endosulfán	µg/L	0,01	0,01
Endrin	µg/L	0,004	0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01	0,03
Lindano	µg/L	4	4

Carbamato

Aldicarb	µg/L	1	11
----------	------	---	----

MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO

Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benz(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO_3^- -N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

(2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH_3 -N), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.

- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.

- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2