

1-1-2013

Determinación de la concentración letal media (CL50-96) mediante bioensayos con alevinos de Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del Río Bogotá

Sandra Janeth Flórez Cajamarca
Universidad de La Salle, Bogotá

Carol Andrea Bejarano Díaz
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria



Part of the [Engineering Commons](#)

Citación recomendada

Flórez Cajamarca, S. J., & Bejarano Díaz, C. A. (2013). Determinación de la concentración letal media (CL50-96) mediante bioensayos con alevinos de Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del Río Bogotá. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1083

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) MEDIANTE
BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*),
EN SEIS PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.**

SANDRA JANETH FLOREZ CAJAMARCA

CAROL ANDREA BEJARANO DIAZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ

2013

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) MEDIANTE
BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*),
EN SEIS PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.**

SANDRA JANETH FLOREZ CAJAMARCA

CAROL ANDREA BEJARANO DIAZ

Tesis de Grado para optar el título de:

Ingeniera Ambiental y Sanitaria

Director:

PEDRO MIGUEL ESCOBAR MALAVER

Químico Industrial

Lic. Químico y Biología

MSc. Alta Gestión, Consultoría y Verificación Medio Ambiental

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTA

2013



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de Tesis

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D. C, Septiembre de 2013



DEDICATORIA

“Creo firmemente que la vida nos regala muchas oportunidades, deseos y sueños”.

En esta ocasión regalo mi esfuerzo, mis alegrías y triunfos a:

A Dios por guiar y marcar el camino recorrido, quien me da fortaleza y amor cada día, la claridad para seguir mejorando en esta sociedad de exigencias y metas.

A ti mamá que con su presencia desde el cielo ha dejado que mi corazón brille para sentirla cerca de mí.

A mi tía marina que desde pequeña con sus consejos me oriento y motivo a ser una gran persona y a no perder el rumbo de mi vida.

A mi hijo Jerónimo por ser mi fuerza y templanza para terminar la U y convertir en realidad el sueño de ser ingeniera; él que con su presencia me llena de ganas para luchar cada día más por su bienestar. Su vida para mí es un aliento en mis caídas, una luz en mi oscuridad...

A todas las personas que rodearon esta bella etapa por su apoyo.

Mil gracias.

Y finalmente a la vida por lo aprendido....

La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”. Thomas chalmers

CAROL ANDREA BEJARANO DIAZ.



DEDICATORIA

A Dios por estar siempre presente en mí corazón, por guiarme por el camino del Éxito, por llenarme de fortaleza cuando más lo necesitaba, por ser mi luz y mi fiel amigo en este viaje.

GRACIAS DIOSITO.

A ti mamita hermosa por darme la vida y enseñarme que Dios existe y que con su voluntad divina todo se puede, Gracias por todas las oraciones que hiciste por mí. T.Q.M.

GRACIAS POR SER MI MADRE.

A tí papá por compartir con tu familia los últimos días de tu vida, Gracias por permitirme acariciar tu rostro y por darme tiempo de decirte que te quería mucho.

Gracias padre y Ojala desde el cielo te sientas orgulloso de tu hija.

A Ricardo que siempre estuvo a mi lado brindándome todo el apoyo que necesitaba, animándome cuando pensaba que todo estaba perdido, enseñándome que la vida está llena de oportunidades y que hay que aprovecharlas cuando se te presentan.

GRACIAS MI AMOR POR SER MI ANGEL.

Por creer en mí siempre, por acompañarme en esta lucha y por ser lo más lindo de mi vida. T.A.

“Nunca dejes de soñar, porque quizás algún día tus sueños se hagan realidad” Hoy puedo dar fe que realmente los sueños se cumplen.

ING . SANDRA JANETH FLOREZ CAJAMARCA.



AGRADECIMIENTOS

Se necesita tener la misma capacidad analítica para escribir una tesis que escoger las palabras adecuadas y agradecerles a aquellas personas que nos brindaran el apoyo necesario para completar este ciclo de vida.

Al Ingeniero Pedro Miguel Escobar Malaver, Director de tesis, por dirigirnos y suministrar todos los recursos en el desarrollo de este documento.

Al Ingeniero Leonardo Calle, Director del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle, por su apoyo y asesoría en la redacción final del presente documento.

Al jurado calificador, Ingeniera Diana Marcela Fúquene y Microbióloga Francly Janeth Méndez por haber aprobado este trabajo.

Al Ingeniero Oscar Contenido y su equipo de trabajo por brindarnos el espacio y colaborarnos en los análisis fisicoquímicos de las muestras ambientales de las seis estaciones de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.

A los docentes por los conocimientos transmitidos a lo largo de la carrera.

Al Ingeniero Javier Salas y Harold Velázquez subdirector de Planeación y Sistemas de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca por suministrarnos de forma amable y ágil la información requerida para el desarrollo del presente trabajo.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hacemos extensivos nuestros más sinceros agradecimientos.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	20
ABSTRACT	22
INTRODUCCIÓN	24
GLOSARIO	26
1. OBJETIVOS	30
1.1 Objetivo general	30
1.2 Objetivos específicos	30
2. MARCO TEÓRICO	31
2.1. TRUCHA ALEVINO ARCOÍRIS (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	31
2.1.1. Descripción	31
2.1.2. Morfología Interna	32
2.1.3. Factores determinantes en la crianza	33
2.1.4. Hábitat de la especie	35
2.2. BIOENSAYO	35
2.2.1. Definición	35
2.2.2. Tipo de ensayo	36
2.3. PRUEBAS DE TOXICIDAD	36
2.3.1. Control de los parámetros fisicoquímicos para la siembra de la especie.	39



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

2.3.2. Índices de toxicidad	42
2.4. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ	43
2.4.2. Localización de la cuenca	43
2.4.3. Generalidades de la cuenca alta del rio Bogotá.....	44
2.4.3.1. Tramo de la cuenca	44
2.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EL ANÁLISIS DE PRUEBAS DE TOXICIDAD CON LA ESPECIE BIOINDICADORA (<i>Oncorhynchus mykiss</i>). (Castillo Morales, Gabriela, 2004).....	47
2.5.1. Establecimiento de una relación dosis-respuesta	47
2.5.2. Método paramétrico (Probit)	49
2.5.3. Análisis de varianza (Anova).....	50
2.5.4. Método Grafico (Litchfield – Wilcoxon)	51
2.5.5. Método Grafico	53
3. MARCO LEGAL.....	55
4. METODOLOGÍA	62
4.1. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	63
4.1.1. Fase I. Identificación de los puntos de muestreo	63
4.1.2. Fase II. Recopilación de datos fisicoquímicos correspondientes a los seis puntos de muestreo.....	64
4.1.3. Fase III. Realización de las pruebas de bioensayos	66



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

4.1.4.	Fase IV: Análisis de resultados.....	79
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	82
5.1.	RESULTADOS DE CAMPO	82
5.1.1.	Punto N° uno: Estación Puente villapinzón.....	83
5.1.2.	Punto N° dos: Estación Chingacio	87
5.1.3.	Punto N° tres: Estación Achury.....	90
5.1.4.	Punto N°cuatro: Estación el espino.....	93
5.1.5.	Punto N°cinco: Estación Puente vargas	96
5.1.6.	Punto N°seis: Estación Puente la virgen.....	98
5.2.	RESULTADOS ENSAYOS DE TOXICIDAD.....	100
5.2.1.	Ensayos de sensibilidad con dicromato de potasio.....	100
5.2.2.	Pruebas de toxicidad en la cuenca alta del rio Bogota	107
5.3.	CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) OBTENIDA EN LOS SEIS PUNTOS DE ESTUDIO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.....	128
5.3.1.	Mapa toxicológico de los seis puntos de monitoreo ubicados en la cuenca alta del rio Bogotá con la especie bioindicadora trucha arcoiris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	129
5.3.2.	Mapa toxicológico de los seis puntos de monitoreo ubicados en la cuenca alta del rio Bogotá, a partir de los resultados de la CL_{50} con las especies bioindicadoras (<i>Trucha Arcoíris</i> , <i>Lactuca Sativa L</i> , <i>Daphnia Pulex</i> y <i>Daphnia Magna</i>).	130



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

6. CONCEPTO TÉCNICO DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS RECOPIADOS POR EL LABORATORIO AMBIENTAL DE LA CAR, LABORATORIO PIAS Y DETERMINACIÓN DE LA CL_{50} CON LAS ESPECIES ENSAYADAS EN EL LABORATORIO DE BIOENSAYOS DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE.	134
CONCLUSIONES	160
RECOMENDACIONES	164
BIBLIOGRAFÍA.....	165

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Trucha alevino Arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	31
Ilustración 2. Morfología interna de la trucha Arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	32
Ilustración 3. Tramo de la cuenca Alta del rio Bogotá.....	44
Ilustración 4. Principales actividades en la cuenca Alta del Rio Bogotá.	45
Ilustración 5. Ubicación de los Puntos de muestreo en la Cuenca alta del rio Bogotá	64
Ilustración 6. Ubicación de los puntos de muestreo en la Cuenca Alta del Rio Bogotá.	82

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Aclimatación de peces en acuarios.....	70
Imagen 2. Acondicionamiento del agua.	73
Imagen 3. Montaje del ensayo toxicológico con Dicromato de potasio.....	76



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Imagen 4. Batería de ensayos para pruebas de toxicidad con peces.	78
Imagen 5. Rio Bogotá, aguas arriba del Municipio de Villapinzón	85
Imagen 6. Toma de muestra para análisis de laboratorio, recolectada en botella de vidrio color ámbar.	85
Imagen 7. Medición de Oxígeno disuelto en de la muestra de agua mediante el Oxímetro.	85
Imagen 8. Medición de pH, Conductividad y Temperatura del agua con el Multiparametro.....	85
Imagen 9. Purga del recipiente utilizado para la recolección de muestras de agua utilizadas en las pruebas toxicológicas.....	86
Imagen 10. Toma de muestra para las pruebas toxicológicas	86
Imagen 11. Aplicación del preservante (HCl para Grasas y aceites y H_2SO_4 para DQO) en muestras de agua.....	86
Imagen 12. Toma de muestras del Rio Bogotá, en la estación Puente Villapinzón.	86
Imagen 13. Datos de coordenadas geográficas, estación puente Villapinzón, con GPS.	87
Imagen 14. Identificación del lugar de muestreo, estación Chingacio.	89
Imagen 15. Medición de turbidez en la muestra de agua superficial y demás parámetros fisicoquímicos	89
Imagen 16. Adición de preservantes a las muestras de agua superficial, para el análisis de laboratorio.....	89



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Imagen 17. Muestras de agua superficial del Rio Bogotá, estación Chingacio.....	89
Imagen 18. Medición de oxígeno disuelto en la muestra de agua superficial de la estación Chingacio.	90
Imagen 19. Toma de muestra para el análisis de grasas y aceites, en un recipiente de boca ancha y de vidrio.....	90
Imagen 20. Identificación del lugar de muestreo estación Achury.	92
Imagen 21. Equipos de campo para medición de parámetros. Multiparametro, Turbidímetro y Oxímetro	92
Imagen 22. Agua desionizada para lavado de electrodos de los equipos antes de cada medición	92
Imagen 23. Medición de parámetros <i>In-situ</i>	92
Imagen 24. Rio Bogotá, aguas arriba del Municipio de Zipaquirá.	95
Imagen 25. Medición Oxígeno Disuelto, muestra de agua, estación el Espino.....	95
Imagen 26. Recolección de muestras, estación el Espino.	95
Imagen 27. Rio Bogotá, aguas abajo del Municipio de Cajicá.	97
Imagen 28. Rio Bogotá aguas abajo del Municipio de Cajicá.	97
Imagen 29. Recolección de muestras de agua, estación Puente Vargas, Cajicá.	97
Imagen 30. Medición de Sólidos sedimentables, estación Puente Vargas.	97
Imagen 31. Análisis de Oxígeno Disuelto estación Puente la virgen-Cota.	99



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Imagen 32.	Vista panorámica del punto de muestreo, estación Puente la virgen-Cota.	99
Imagen 33.	Recolección de muestras estación Puente la Virgen-Cota.	99
Imagen 34.	Ubicación del punto de monitoreo, debajo del puente vehicular.	99
Imagen 35.	Mapa toxicológico (CL_{50-96}) de la Cuenca Alta del Rio Bogotá, para la especie bioindicadora Trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	129
Imagen 36.	Mapa toxicológico de los seis puntos de muestreo ubicados en la cuenca alta del rio Bogotá, a partir de los resultados CL_{50} de las especies: <i>Trucha arcoíris</i> , <i>Lactuca sativa</i> , <i>Daphnia magna</i> , <i>Daphnia pulex</i>	130

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Características principales de la especie bioindicadora.	34
Tabla 2.	Clasificación del agua según su dureza.	42
Tabla 3.	Normatividad legal vigente en Colombia decretos 1594/84 y 3930/2010.	55
Tabla 4.	Concentraciones máximas permisibles para el vertimiento de aguas de la industria de curtido de pieles del municipio de Villapinzón.	58
Tabla 5.	Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere tratamiento convencional.	59
Tabla 6.	Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere desinfección.	60



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 7. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola.....	61
Tabla 8. Variables de control en Campo (In-situ).	65
Tabla 9. Parámetros de control del agua.	71
Tabla 10. Variables de control en la fase III realización de las pruebas de bioensayos.	71
Tabla 11. Volúmenes para preparar las soluciones con Dicromato de potasio.....	75
Tabla 12. Volúmenes para preparar las soluciones de la cuenca alta del rio Bogotá. ..	78
Tabla 13. Criterios de clasificación de toxicidad en el agua según la concentración letal media CL_{50-96}	80
Tabla 14. Coordenadas geográficas de los puntos de Muestreo.	83
Tabla 15. Resultados en Campo, Estación Puente Villapinzón.....	84
Tabla 16. Resultados en Campo, Estación Chingacio.	88
Tabla 17. Resultados de Campo, Estación Achury.	91
Tabla 18. Resultados Parámetros fisicoquímicos medición <i>In situ</i> , estación de monitoreo el espino.	94
Tabla 19. Resultados parámetros fisicoquímicos medición <i>In situ</i> , estación de monitoreo Puente Vargas.....	96
Tabla 20. Resultados parámetros fisicoquímicos de la medición In situ, estación Puente la virgen.....	98



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 21. Resultados pruebas de sensibilidad ensayo N°1 para la especie Bioindicadora Trucha Arcoíris.....	101
Tabla 22. Resultados pruebas de sensibilidad ensayo N°2 sobre la especie Bioindicadora Trucha Arcoíris.....	101
Tabla 23. Concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para las pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio.....	103
Tabla 24. Resultados pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio de investigaciones realizadas en el laboratorio de bioensayos del programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad de La Salle.....	103
Tabla 25. Resultados de CL_{50-96} en ensayos de sensibilidad realizados en investigaciones internacionales.....	105
Tabla 26. Hipótesis del análisis de varianza ANOVA.....	106
Tabla 27. Resultados pruebas de toxicidad para el ensayo N°1, del punto muestreo N° 1, estación Puente Villapinzón – Municipio de Villapinzón.	108
Tabla 28. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de muestreo N° 1, estación Puente Villapinzón – Municipio de Villapinzón.	108
Tabla 29. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza ANOVA para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 1 (Estación Puente Villapinzón).....	110
Tabla 30. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de muestreo N° 2, estación Chingacio – Municipio de Villapinzón.	111
Tabla 31. Resultados de las pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto número dos, estación Chingacio – Municipio de Villapinzón.	112



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 32. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 2 (Estación Chingacio).	113
Tabla 33. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de monitoreo N° 3, estación Achury – Municipio de Sesquile.	114
Tabla 34. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de monitoreo N° 3, estación Achury – Municipio de Sesquile.	115
Tabla 35. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 3 (Estación Achury).	116
Tabla 36. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de monitoreo N°4 estación el espino – Municipio de Zipaquirá.	117
Tabla 37. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de monitoreo N°4 estación el espino – Municipio de Zipaquirá.	118
Tabla 38. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 4 (Estación El espino)..	119
Tabla 39. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de monitoreo N°5 estación puente Vargas – Municipio de Cajicá.	121
Tabla 40. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de monitoreo N°5 estación puente Vargas – Municipio de Cajicá.	121
Tabla 41. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 5 (Estación puente Vargas).....	123
Tabla 42. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de monitoreo N°6 estación Puente la virgen – Municipio de Cota.....	124



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 43. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de monitoreo N°6 estación puente la virgen – Municipio de Cota.	125
Tabla 44. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 6 (Estación puente la virgen).....	126
Tabla 45. Recopilación de resultados de la concentración letal media (CL_{50-96}) para la especie bioindicadora Trucha Arcoíris (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>) en los seis puntos de monitoreo de la Cuenca Alta del Rio Bogotá.	128
Tabla 46. Convenciones del mapa toxicológico de la cuenca alta del rio Bogotá.	131
Tabla 47. Registro de los parámetros fisicoquímicos analizados por el laboratorio ambiental de la CAR en los últimos cinco años.....	135

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Relación Dosis – Respuesta de las pruebas de sensibilidad con Dicromato de potasio para el ensayo 1 y 2.....	102
Gráfico 2. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo N° 1, (estación puente Villapinzón).....	109
Gráfico 3. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo N° 2 (estación Chingacio).....	112
Gráfico 4. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo número tres (estación Achury).....	115
Gráfico 5. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo número cuatro (estación El espino).....	118
Gráfico 6. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo número cinco (estación Puente Vargas).....	122



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Gráfico 7. Relación Dosis – Respuesta de las ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo número seis (estación Puente la virgen).....	125
Gráfico 8. Variación en la concentración de Oxígeno Disuelto (OD) en la Cuenca Alta del río Bogotá.	139
Gráfico 9. Variación en la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) en la Cuenca Alta del río Bogotá..	141
Gráfico 10. Variación en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la cuenca alta del río Bogotá..	143
Gráfico 11. Variación en la Conductividad en la cuenca alta del río Bogotá.	145
Gráfico 12. Variación en las unidades del potencial de Hidrogeno en la cuenca alta del río Bogotá.	147
Gráfico 13. Variación en la concentración de Sólidos Totales (ST) en la cuenca alta del río Bogotá	149
Gráfico 14. Variación en la concentración de Turbidez en la cuenca alta del río Bogotá.	151
Gráfico 15. Variación en la concentración de Nitrógeno Amoniacal en la cuenca alta del río Bogotá.....	153
Gráfico 16. Variación en la concentración de Nitratos en la cuenca alta del río Bogotá..	155
Gráfico 17. Variación en la concentración de Sulfatos en la cuenca alta del río Bogotá.	157
Gráfico 18. Variación en la concentración de Cromo Hexavalente en la cuenca alta del río Bogotá.	159
Gráfico 19. Variación en la concentración de Plomo en la cuenca alta del río Bogotá.	161



LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Determinación de la $CL_{50}/CE_{50}/CL_{50}$ para pruebas de toxicidad con múltiples concentraciones.	48
Diagrama 2. Metodología Fase II.....	66
Diagrama 3. Metodología fase III.....	67
Diagrama 4. Aclimatación de peces.	72
Diagrama 5. Desarrollo de la Metodología para las fases I-II-III-IV.	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Plan de muestreo.

Anexo B. Cadena de custodia.

Anexo C. Cartas de control para las pruebas de sensibilidad con Dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$.

Anexo D. Cartas de control para las pruebas de toxicidad aguda en la cuenca alta del río Bogotá.

Anexo E. Registro de datos Método estadístico probit.

Anexo F. Resultados análisis de varianza ANOVA.

Anexo G. Registro de datos parámetros de control agua declarada.

Anexo H. Reporte de resultados parámetros fisicoquímicos analizados por el laboratorio PIAS, de los seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.

Anexo I. Registro resultados históricos de los parámetros fisicoquímicos analizados por el laboratorio ambiental de la CAR, de los seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.

Anexo J. Registro fotográfico.



RESUMEN

Se determinó experimentalmente la toxicidad aguda en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá (estaciones: puente Villapinzón, Chingacio, Achury, el espino, puente Vargas, puente la virgen) delimitadas por la corporación autónoma regional de Cundinamarca, empleando alevinos trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) como organismo bioindicador. Se utilizó el método analítico PROBIT para la determinación de la CL_{50-96} con un intervalo de confianza de 95% y el modelo matemático ANOVA para determinar los valores de la variable *concentración de tóxico* que causan un grado de efecto, en particular sobre los organismos expuestos.

Los resultados obtenidos mostraron que *Oncorhynchus mykiss* al ser expuesta a las muestras ambientales de la cuenca alta del Río Bogotá, presentó el siguiente orden de toxicidad, de acuerdo con la CL_{50-96} : *estación puente Villapinzón: > 100, estación Chingacio: > 100, estación Achury: > 100, Estación el espino: > 100, estación puente Vargas: > 100, estación puente la virgen: > 100*; De igual forma, se observó un comportamiento similar con los resultados de las concentraciones letales medias (CL_{50}) para las especies bioindicadoras (*Daphnia magna*, *Daphnia pulex*¹), exceptuando la especie bioindicadora *Lactuca Sativa*² que presentó un mayor grado de sensibilidad a los agentes contaminantes presentes en la cuenca.

Al recopilar los registros históricos de los parámetros fisicoquímicos analizados por el laboratorio ambiental de la CAR y el análisis realizado en el laboratorio PIAS de las muestras ambientales de las seis estaciones de monitoreo se emitió un concepto técnico concluyendo que la *Estación Chingacio* ubicada en cercanías al municipio de

¹ Cardenas, Oscar, Arias, Rafael. (2010). Determinación de la toxicidad aguda en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá, mediante bioensayos con organismos *Daphnia magna* y *Daphnia pulex*. Pagina 103 y 104. Tesis, Universidad de La Salle, Cundinamarca, Bogotá D.C.

² Melo Vanegas, Diana, Soler Manrique, Cindy. (2012). Determinación de la concentración de inhibición media (CL_{50-120}) en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá, mediante ensayos de toxicidad con semillas *Lactuca sativa* L. Página: 161. Tesis, Universidad de La Salle, Cundinamarca, Bogotá D.C.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

Villapinzón presentó mayor grado de contaminación en comparación con las demás estaciones, debido a los procesos de las actividades industriales (curtiembres), domésticas y agrícolas.

Finalmente, lo que indica el presente estudio al determinar la concentración letal media (CL_{50-96}) es que el nivel de toxicidad es bajo en los puntos de muestreo y por ende se puede desarrollar la vida acuática en la cuenca alta del río Bogotá con la especie ensayada.

Palabras claves: Bioensayos, cuenca alta, concentración letal media, trucha arcoíris.



ABSTRACT

The sharp toxicity determined experimentally in six points of sampling of the high basin of the river Bogota (stations: Villapinzón bridge, Chingacio, Achury, the hawthorn, Vargas bridge, the virgin bridge) delimited by Cundinamarca's autonomous regional corporation, using fries trout arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) as organism bioindicator. There was use the analytical method PROBIT for the determination of the CL_{50-96} with a confidence interval of 95 % and the mathematical model ANOVA for determining the values of the variable concentration of toxin that cause a degree of effect, especially on the exposed organisms.

The obtained results showed that *Oncorhynchus mykiss* to the being exposed to the environmental sample, presented the following order of toxicity, of agreement with the CL_{50-96} : station bridge Villapinzón:> 100, station Chingacio:> 100, station Achury:> 100, Station the hawthorn:> 100, station bridge Vargas:> 100, station bridge the virgin:> 100; Of equal form, a similar behavior was observed by the results of the lethal average concentrations (CL_{50}) for the species bioindicadoras (great Daphnia, *Daphnia pulex*), exempting the species bioindicadora Lactuca Sativa who presented a major degree of sensibility to the pollutant present agents in the high basin of the river Bogota.

On having compiled the historical records of the physicochemical parameters analyzed by the environmental laboratory of the CAR and the analysis realized in the laboratory YOU PEEP of six environmental samples of the stations of monitoring a technical concept was issued concluding that the Station Chingacio located in surroundings to Villapinzón's municipality presents major degree of pollution in comparison with other stations, specially for the processes of the industrial activities (tanneries) and servants.

Finally, which indicates the present study on having determined the lethal average concentration (CL_{50-96}) is that the level of toxicity is low in the points of sampling and for



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

ende the aquatic life can develop in the high basin of the river Bogota with the tested species.

Keywords: *Bioessay, high basin, lethal average concentration, Oncorhynchus mykiss.*



INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas acuáticos se ha incrementado drásticamente la contaminación, debido a que son utilizados como vertederos de todas las descargas de desechos industriales y residuos resultantes de un sin número de actividades del hombre, lo que afecta en gran medida a las comunidades que conforman dichos ecosistemas.

Esta técnica, avalada por las instituciones que velan por la protección del ambiente como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (APA) tienen la ventaja de evaluar en forma integrada la ecotoxicidad del conjunto de constituyentes con propiedades tóxicas de una muestra y las interacciones entre ellos.

Para cuantificar el daño causado a los ecosistemas se emplean técnicas adecuadas y precisas que permiten evaluar las condiciones toxicológicas, entre estas técnicas se encuentran: las pruebas de bioensayos consideradas como una herramienta útil en la investigación de este tipo de problemas; Estas pruebas se traducen tanto en la descripción y presencia de un organismo, como en la determinación de los límites de tolerancia medios denominada concentración letal media (CL_{50}), con la cual se puede establecer la peligrosidad de una sustancia tóxica vertida al medio ambiente acuático³.

Los peces en este caso son utilizados para evaluar los efectos agudos y crónicos producidos por una sustancia o un efluente contaminado que es letal al 50 por ciento de la población expuesta después de un periodo de 3, 6, 24, 48, 72 y 96 horas, designada como CL_{50-96} .

Partiendo de este hecho, nuestro objetivo general en este trabajo es “*Determinar la concentración letal media (CL_{50-96}) mediante Bioensayos con alevinos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del Río Bogotá*”, para evaluar la contaminación acuática debido a que las pruebas

³Leticia Ortuño, Bravo, Rosa Elena, Sosa Uscanga & Alma Delia, Giles Guzmán. (2009). Ejecución de bioensayos y asistencia en estudios de impacto ambiental. Página 14-18.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

fisicoquímicas no resultan suficientes para valorar los potenciales efectos sobre los organismos expuestos.



GLOSARIO

Las definiciones indicadas a continuación se basan en el documento EPS 1/RM/34 de *Environment Canada* (1999). Incluyen términos o conceptos de interés del presente estudio.

Agudo: Ocurre dentro de un periodo corto (minutos, horas o algunos días) en relación con el periodo de vida del organismo de ensayo.

Batería de ensayos: Combinación de diversos ensayos de toxicidad con diferentes organismos.

Bioensayo: Ensayo en el cual el poder o potencia de una sustancia es medido a través de la respuesta de organismos vivos o sistemas vivientes.

CAR: Corporación Autónoma regional de Cundinamarca, responsable de la gestión y protección de los recursos medioambientales del Departamento.

Carta control: Es un gráfico utilizado para seguir cambios a través del tiempo del punto final medido para un compuesto tóxico de referencia. En el eje X se grafica la fecha del ensayo, y en el eje Y, la concentración tóxica efectiva. Se toman como límite de alerta dos desviaciones estándar de la media histórica de la concentración letal media.

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 le 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.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

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).

Control positivo: Evaluación de la respuesta tóxica con una sustancia de referencia, utilizada para controlar la sensibilidad de los organismos en el momento en el cual se evalúa el material problema.

Crónico: Ocurre durante un periodo relativamente largo de exposición (una porción significativa de la vida del organismo >10%).

Cumplimiento: De acuerdo con reglamentaciones gubernamentales o requerimientos para el otorgamiento de un permiso.

CL_{50} : Concentración letal media, concentración del material en agua, suelo o sedimento que se estima letal para el 50% de los organismos de ensayo. La CL_{50} y sus límites de confianza (95%) son usualmente derivados de análisis estadístico.

CE_{50}/CI_{50} : Concentración efectiva o de inhibición media. Concentración del material en agua, suelo o sedimento que se estima afecta al 50% de los organismos de ensayo. La CE_{50} y sus límites de confianza (95%) son usualmente derivados de análisis estadístico.

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 cuantitativo) o el grado de efecto (graduado) luego de la exposición a la muestra.

Factores de aplicación: Multiplicadores aplicados a los CL_{50} para estimar posibles umbrales subletales de efecto en comunidades acuáticas. Los valores más comunes derivados de la experiencia práctica son:



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

- 1/10 del 96h- CL_{50} para compuestos no persistentes ni bioacumulables, o, 1/20 o menos, como la concentración mediana después de la mezcla luego de 24 horas.
- 1/20 y 1/100 del 96h- CL_{50} para compuestos persistentes.

Factor de emisión de toxicidad: Proporción de emisión de toxicidad de un determinado efluente por unidad de producción (ejemplo: por tonelada de producto) de la operación que genera el efluente.

Índices de toxicidad: Expresan los resultados de diferentes ensayos de toxicidad como un único valor numérico que clasifica, según categorías, a la muestra. No existen reglas fijas para la designación de los índices.

LOEC: Concentración más baja a la cual se observa efecto (LOEC, por sus siglas en inglés).

Muestreo puntual o simple: Muestra recolectada en un sitio específico durante un periodo corto, de minutos a segundos. Representa un instante en el tiempo y un punto en el espacio del área de muestreo. Las muestras *puntuales discretas* son aquellas que corresponden a un sitio seleccionado, a una profundidad y tiempo definidos. Una muestra *puntual integrada en profundidad* corresponde a la que es recolectada a profundidades definidas de la columna de agua, en un sitio y tiempo seleccionados. El diseño del muestreo deberá tener en consideración descargas cíclicas o temporales del cuerpo receptor en estudio.

Nivel guía de calidad: Es un valor numérico de concentración límite o indicación narrativa, con base científica, recomendado para proteger y mantener organismos nativos o un cuerpo de agua para un uso específico. Puede ser un nivel guía de calidad para suelos, agua, sedimentos. El objetivo de calidad tiene la misma definición, excepto que es aplicable a un sitio particular y refleja "condiciones oficiales" deseadas para determinada región. Un estándar de calidad es un objetivo que ha sido reconocido y es aplicado por legislación de control ambiental a escala gubernamental.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

NOEC: Concentración a la cual no se observa efecto (NOEC, por sus siglas en inglés).

PMTC (concentración mínima del tóxico esperada): Término elaborado por *Environment Canada* para su uso en el monitoreo ambiental de efectos de efluentes. Concentración de un efluente en el cuerpo receptor por debajo de la cual se esperaría que sólo un 5% de las muestras manifestaran efectos nocivos sub-letales, estimado con un nivel de confianza del 95% (PMTC, por siglas en inglés).

Replica: Es una cámara o recipiente de ensayo, conteniendo un número especificado de organismos en una concentración/dilución de muestra definida o de agua de dilución como control. En un ensayo de toxicidad con cinco concentraciones de ensayo y un control que usa tres replicados, se utilizan 18 cámaras de ensayo con tres cámaras por concentración. Un replicado debe ser una unidad separada o independiente de ensayo.

TOEC: Concentración umbral a la cual se observa efecto (media geométrica del NOEC y LOEC).

Toxicidad aguda: 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.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración letal media (CL_{50-96}) mediante Bioensayos con alevinos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del Rio Bogotá.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- + Establecer la sensibilidad en alevinos de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) con un patrón primario de Dicromato de Potasio.
- + Determinar las caracterizaciones fisicoquímicas mediante muestreos puntuales en los seis puntos de muestreo de la Cuenca Alta del Rio Bogotá.
- + Recopilar datos históricos de los parámetros fisicoquímicos de los seis puntos de muestreo de la Cuenca Alta del Rio Bogotá.
- + Elaborar un concepto técnico del estado eco-toxicológico en los seis puntos de muestreo.
- + Comparar los resultados obtenidos en los bioensayos con Trucha Arcoíris vs otros indicadores.



2. MARCO TEÓRICO

La siguiente sección describe las características de la especie bioindicadora, los tipos, clases y pruebas de bioensayos, los factores de calidad del agua que influyen en las condiciones de la especie y una descripción a grandes rasgos de las generalidades de la cuenca alta del río Bogotá. Posteriormente, se presenta el fundamento teórico de los métodos estadísticos utilizados para obtener las concentraciones letales.

2.1. TRUCHA ALEVINO ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*)

2.1.1. Descripción

La trucha arcoíris presenta un cuerpo alargado y comprimido, se caracteriza por poseer bastantes escamas pequeñas y la coloración cambia de acuerdo al hábitat donde se encuentren, a la alimentación, edad y otros factores. Un ejemplo en el cambio de coloración en ríos es que torna a plomo oscuro mientras que en un estanque o acuario expuesto a la luz solar presenta una tonalidad clara, verde oliva en la parte superior, y en el abdomen una franja rojiza, además posee un gran número de manchas negras en la piel, parecidas a los lunares. El nombre vulgar se debe a que presenta una franja de colores de diferentes tonalidades.⁴ (**Ver Ilustración 1**).

Ilustración 1. Trucha alevino Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)



⁴ Manual de crianza trucha arcoíris. Ragash- Perú, 2009. Página 4. Fecha de consulta: 13 de febrero de 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

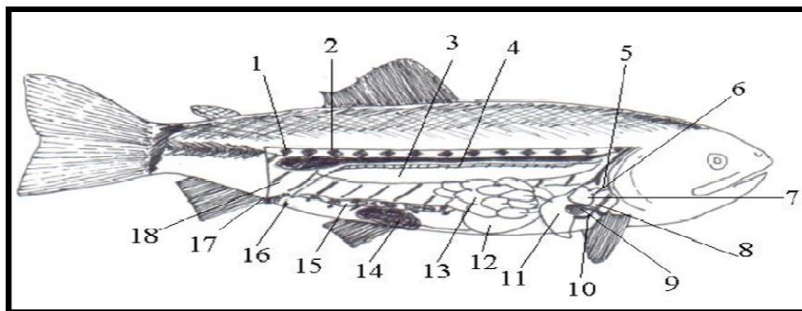
Fuente: citado en línea: página de internet: <http://truchaarcoiris.blogspot.com/p/informacion-tecnica.html>. Fecha de consulta: 13 de febrero de 2013.

2.1.2. Morfología Interna⁵

La trucha es un animal carnívoro, normalmente usa sus ojos para localizar e identificar la presa o alimento como animales.

El alimento pasa a través del esófago hasta el estómago en forma de U, el cual tiene una fuerte musculatura que se distiende cuando abunda el alimento o comida. Tienen un esfínter muscular entre el estómago y el intestino y al extremo de este hay numerosos huecos que incrementan el área de esta parte del intestino. El resto del intestino consiste en un tubo liso y enrollado que se abre al exterior por el ano, que está detrás de la aleta pélvica. A la entrada del tórax, existe un hígado pardo rojizo, con una vesícula biliar esférica. El tejido pancreático se encuentra diseminado. Un bazo rojo y oscuro en forma de lenteja, está también en esta zona. (**Ver ilustración 2**).

Ilustración 2. Morfología interna de la trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)



Fuente: HERNÁNDEZ, Álvaro. Manejos en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en piscicultura Manantiales, Puerto Nuevo. Centro de Formación Técnica Zipter. México 1996.

⁵ Disponible en línea: <http://es.scribd.com/doc/51422821/3/ANATOMIA-INTERNA>. Fecha de consulta: 13 de febrero de 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1. Riñón | 10. Esófago |
| 2. Vértabras | 11. Hígado |
| 3. Vejiga natatoria | 12. Estómago |
| 4. Ovarios | 13. Ciegos pilóricos |
| 5. Bulbo | 14. Bazo |
| 6. Ventrículo | 15. Intestino |
| 7. Aurícula | 16. Gonoporo |
| 8. Cavidad pericárdica | 17. Ano |
| 9. Vesícula | 18. Costillas |

2.1.3. Factores determinantes en la crianza⁶

El crecimiento de los alevinos se ve influenciado por varios factores entre los cuales están:

- ❖ La temperatura, cantidad y calidad del agua
- ❖ La alimentación recibida
- ❖ La densidad de ellos por unidad de superficie.

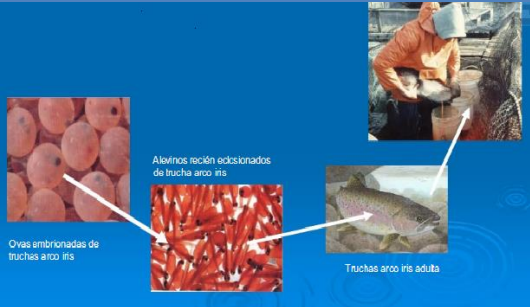
A continuación en la **tabla 1**, se presentan las características y condiciones generales del organismo prueba *Trucha arcoíris*, entre ellas, la taxonomía, ciclo de vida y reproducción, condiciones ambientales, longitud y peso para ser adaptadas a la siembra en el laboratorio y someterlas a los ensayos de toxicidad.

⁶ Citado en: <http://es.scribd.com/doc/39395925/Manual-Basico-Para-El-Cultivo-de-Trucha-Arco-Iris-1>. Fecha de consulta: 13 de febrero de 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 1. Características principales de la especie bioindicadora.

CARACTERÍSTICAS DE LA TRUCHA ARCOÍRIS (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	
TAXONOMÍA	Reino: Animal Subreino: Metazoa Phylum: chordata Clase: osteichthyes Familia: salmonidae Género: Oncorhynchus Especie: Oncorhynchus mykiss
CICLO DE VIDA Y REPRODUCCIÓN	 <p>Fuente: citado en línea: http://es.scribd.com/doc/38923101/cultivo-de-TRUCHA. Fecha de consulta: 13 de febrero de 2013.</p>
CONDICIONES AMBIENTALES	Rango Óptimo Temperatura del agua : 10 – 16°C Oxígeno Disuelto : 6,5 – 9 ppm pH : 6,5 – 8,5 CO ₂ : < 7ppm Alcalinidad : 20 – 200 mg/lit CaCO ₃ Dureza : 60 – 300 mg/lit CaCO ₃ NH ₃ : No mayor de 0,02 mg/lit H ₂ S : Máximo aceptado de 0,002 mg/lit Nitratos : No mayor de 100 mg/lit Nitritos : No mayor de 0,055 mg/lit Nitrógeno amoniacal : No > de 0,012 mg/lit Fosfatos : Mayores de 500 mg/lit Sulfatos : Mayor de 45 mg/lit Hierro : Menores de 0,1 mg/lit Cobre : Menores de 0.05 mg/lit Plomo : 0,03mg/lit Mercurio : 0,05mg/lit
LONGITUD Y PESO	Alevino: Son peces pequeños que miden de 3 cm. A 10 cm. Con un peso que oscila entre 1.5 gr. a 20 gr. Juvenil: Son peces que miden de 10 cm a 15 cm. Cuyo peso es generalmente de 20 gr. a 100 gr. Comercial: Es donde los peces han recibido el proceso de engorde para ser comercializados, estos miden 15 cm. a 22 cm. Con un peso de 100 a 200 gr.

Fuente: Recopilación y adaptación por las autoras a partir de información de la Web, 2013.



2.1.4. Hábitat de la especie ⁷

La trucha arco iris es un pez resistente y fácil de desovar, de crecimiento rápido, tolerante a una amplia gama de ambientes y manipulaciones. En los ríos, la trucha precisa que las aguas sean ricas en oxígeno, lo cual requiere unas aguas sumamente limpias, aunque la trucha arco iris se adapta a aguas más pobres. También se requiere que el clima sea suave o frío, a fin de que la temperatura del agua no sufra grandes variaciones. Los ríos que se deslizan por extensos prados en los cuales el agua pierde su agresividad y se desliza mansamente suelen ser abundantes en truchas debido a que sus orillas son pródigas en coleópteros, gusanos y toda clase de insectos y, por lo tanto, ricos en alimentación.

2.2. BIOENSAYO

La siguiente información es de gran importancia debido a que con esta se desarrolla parte de la metodología e identifica el tipo de ensayo al cual se somete la especie bioindicadora (*trucha arcoíris*).

2.2.1. Definición

Los bioensayos son pruebas en las que se usan organismos vivos para detectar o medir la presencia y efectos de una o más sustancias tóxicas, así como determinar el límite de tolerancia de dichas sustancias con respecto a los organismos.

Los ensayos biológicos son herramientas de diagnóstico adecuadas para determinar el efecto de agentes físicos y químicos sobre organismos de prueba bajo condiciones

⁷ Citado en línea: página de internet <http://usuaris.tinet.cat/fgarc/la%20trucha.htm>. Fecha de consulta: febrero 15 de 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

experimentales específicas y controladas⁸. Los propósitos de la realización de los bioensayos son:

- ✚ Evaluar la toxicidad química de los desechos industriales que afecten la vida acuática.
- ✚ Determinar los efectos de los contaminantes en organismos acuáticos dentro de su medio natural o en condiciones controladas de laboratorio.

2.2.2. Tipo de ensayo ⁹

2.2.2.1. Bioensayos por sus efectos

2.2.2.1.1. Bioensayos de toxicidad aguda

Ocurren dentro de un periodo corto (minutos, horas o días) en relación con el periodo de vida del organismo de ensayo. Las pruebas agudas cuantifican las concentraciones letales de un xenobiótico a una especie en particular. El valor calculado se denomina concentración letal media (CL_{50}) y corresponde a la concentración de un xenobiótico que causa la muerte al 50% de la población experimental al cabo de un tiempo determinado, generalmente en 48 o 96 horas.

2.3. PRUEBAS DE TOXICIDAD

El propósito de una prueba de toxicidad es obtener información útil que nos permita lograr la protección de los organismos acuáticos de una especie determinada o, de todas las comunidades que integran la biota de un ecosistema, de los peligros

⁸ Alicia Ronco, María Consuelo Díaz Báez y Yolanda Pica Granados. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Página 13. Fecha de consulta: 16 de febrero de 2013.

⁹ Citado en línea:

http://www.dgcytm.sep.gob.mx/work/models/dgcytm/Resource/313/1/images/laboratorista_amb_modulo_v.pdf. Fecha de consulta: 16 de febrero de 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

ocasionados por las sustancias peligrosas arrojadas al ambiente por el hombre y en especial a los cuerpos de agua. En el caso de peces, cuando el tóxico se encuentra disuelto en el agua, en lugar de la dosis lo que se hace es obtener la concentración del tóxico en el agua y esta entonces será la variable contra la cual se gráfica la respuesta tóxica.

A las exposiciones a concentraciones que producen la muerte en 96 horas o menos se les denomina exposiciones agudas, mientras que las exposiciones de mayor duración a concentraciones subletales se les denomina exposiciones crónicas. La duración de estas exposiciones crónicas experimentales pueden ser por un período del desarrollo o quizás extenderse por períodos largos.

En el caso de los estudios de toxicidad aguda, la respuesta que se mide es la muerte de los peces en estudio.¹⁰ La mayoría de los estudios de toxicidad aguda en peces reportan los resultados calculando la CL_{50} , que es la concentración que resulta letal para el 50% de los peces expuestos durante un período especificado. Antes de las letras CL se acostumbra escribir la duración de la exposición expresada en horas. Normalmente se logran las CL_{50} para exposiciones de 96 horas, o sea las CL_{50-96} .

A las concentraciones del tóxico que están por abajo de las respuestas subletales se les nombra nivel de no efecto. A la CL_{50} se le llama concentración letal y las concentraciones mayores a la CL_{50} se dice que forman el rango letal.

El tiempo de resistencia se define como la mediana del tiempo letal, LT_{50} , el cual se refiere al tiempo de exposición que requieren los individuos para que muera la mitad de ellos en las circunstancias experimentales.

Desde el ámbito ambiental, el parámetro que se trata de determinar en los estudios de toxicología acuática es la concentración del tóxico que se puede permitir en un cuerpo

¹⁰ Citado en línea: <http://cdigital.udem.edu.co/TESIS/CDROM15912005/03.Texto%20Completo.pdf>. Fecha de consulta: 16 de febrero de 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

de agua, sin que cause daño significativo a la biota residente o a una especie determinada de ese consorcio. Este parámetro normalmente se determina en exposiciones crónicas y es la base para el establecimiento de las normas o criterios de calidad del agua.

El parámetro toxicológico que más comúnmente se mide experimentalmente para evaluar el impacto ambiental de una sustancia, es la toxicidad aguda expresada como CL_{50-96} . También se mide la pendiente de la curva de concentración/respuesta construida a partir de una serie de CL_{50} a períodos fijos, por ejemplo 3, 6, 24, 48 y 96 horas. La pendiente de la curva tiene significación si la concentración del tóxico se puede mantener constante durante todos y cada uno de los períodos experimentales. Esto no es muy fácil de lograr debido a las pérdidas del tóxico por evaporación o por transformaciones fisicoquímicas durante la prueba.

Como es de esperarse, los valores de CL_{50} varían con la temperatura al llevar a cabo el experimento y a su vez el nivel de oxígeno disuelto en el agua. La hipoxia puede aumentar la toxicidad de un compuesto, aunque en algunas especies sucede lo contrario. El aumento de temperatura incrementa la tasa metabólica.

La experimentación a concentraciones subletales se llevan a cabo con exposiciones crónicas de duración mucho más prolongadas que las exposiciones agudas y las más usadas son las siguientes:

- ❖ *Pruebas de ciclo vital* - En esta prueba todos los estadios del ciclo vital son expuestos al agente tóxico. La prueba se inicia con los huevos o etapas embrionarias tempranas y se exponen hasta la madurez, la ovodeposición y se continúa hasta que la progenie tiene 30 días de edad.
- ❖ *Pruebas de ciclo parcial* - Son similares a la prueba crónica anterior, pero se inicia con juveniles y se continúa hasta que la progenie cumple



30 días de edad. Se usa con especies que requieren períodos prolongados para madurar.

- ❖ *Pruebas de embrión-larvas* - Se observa el efecto del tóxico sobre estos dos estadios de desarrollo.
- ❖ *Prueba de velocidad de respiración* - Se mide el efecto del tóxico sobre la velocidad de respiración en un experimento de flujo continuo.¹¹

2.3.1. Control de los parámetros fisicoquímicos para la siembra de la especie

La calidad del agua es fundamental para mantener la supervivencia de la especie pues es el medio donde los peces se desarrollan, es decir se debe conservar las condiciones ambientales de su hábitat natural para la siembra en los acuarios y por ende para garantizar la calidad del procedimiento experimental en los ensayos de toxicidad, dado a que si se varían los rangos establecidos en dichos parámetros, se altera el valor de la concentración letal.

A continuación, se enumeran los parámetros fisicoquímicos más importantes, entre ellos se tiene:

2.3.1.1. Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto que se requiere para la respiración de los organismos acuáticos, la disminución en los niveles de este, puede tener un efecto como si se tratara de un factor limitante para los organismos acuáticos. Los criterios modernos de calidad del agua reconocen que una reducción del OD por debajo del nivel natural tendrá un efecto

¹¹ Disponible en línea: <http://toxamb.pharmacy.arizona.edu/c6-3-3-2.html>. Fecha de consulta: 18 de febrero de 2013.



drástico sobre los organismos y no existe un número que pueda usarse como criterio de nivel aceptable. Se debe esperar que el estrés causado en los organismos por una reducción en el nivel de oxígeno disuelto, incremente considerablemente la toxicidad de los contaminantes en el agua.

Este comportamiento se basa en la relación incremento de la letalidad - disminución de oxígeno que entra en las branquias de los organismos prueba; la reducción de oxígeno, ocasiona una mayor concentración de los contaminantes tóxicos en las membranas de las branquias. En cambio si la toxicidad de una sustancia depende del pH, dicho cambio puede reducir los niveles de OD en el agua.¹²

2.3.1.2. Concentración de Hidrogeno (pH)

Los efectos directos de pH sobre los organismos son graduales; el mayor efecto de este como factor modificante esta dado para sustancias que ionizan bajo la influencia del pH, como la mayoría las moléculas no disociadas, las cuales, pueden ser más tóxicas toda vez que ellas puedan penetrar las membranas celulares fácilmente.

El pH o potencial de hidrógeno en el agua es de suma importancia puesto que los valores demasiado bajos o elevados, causan estrés en las truchas. Los ríos con aguas alcalinas, suelen albergar una fauna salmonícola superior, pues la alcalinidad o riqueza mineral, promueve la existencia de animales acuáticos de los que se alimenta la trucha, a diferencia de las aguas ácidas, que son más pobres desde el punto de vista biológico. Sin embargo, en salmonicultura se prefieren las aguas ligeramente ácidas, pues los productos tóxicos, procedentes de la alimentación artificial de los peces, muestran, en estas condiciones, efectos amortiguados. Para la cría de la trucha arco iris los valores deseables del pH deben estar en un rango de 6.5 a 9, estos son los más apropiados para la producción.

¹² **CRUZ TORREZ** Luís Eduardo; **DIAZ BAEZ**, María Consuelo; **REYES**, Carmen; Ensayos de toxicidad y su aplicación al control de la contaminación industrial; Universidad Nacional; Facultad de Ingeniería. 1996. factores que afectan la toxicidad pág. 15



2.3.1.3. Temperatura

Las especies de organismos presentes en una comunidad acuática dada, están determinados por el régimen de temperatura del agua y existe un límite letal de temperatura tanto superior como inferior, más allá del cual el organismo no puede sobrevivir. Para proteger la vida acuática contra los cambios de temperatura, se deben tener en cuenta todos los factores que el cambio de temperatura puede modificar.

La trucha arco iris no tiene capacidad propia para regular su temperatura corporal, esta depende totalmente del medio acuático en el que viva; la trucha es un animal poiquilotermo, a diferencia de los llamados homeotermos, como los mamíferos, que tienen su propia temperatura, con independencia del medio en el que se encuentren. La temperatura tiene una incidencia directa sobre la biología de los salmónidos, ya que condiciona la maduración de las gónadas de los reproductores existentes, el tiempo de incubación de los huevos hasta su eclosión y el crecimiento de alevinos a adultos. Indirectamente influye en la concentración de oxígeno, de amoníaco y en el tiempo de descomposición de los materiales excretados. La temperatura del agua interviene en el grado de actividad metabólica de las truchas, en aguas frías las truchas apenas ingieren alimento y su crecimiento es lento, en temperaturas altas la trucha es muy voraz. La Trucha en condiciones naturales puede vivir en aguas con temperaturas entre 0° y 25°C y en condiciones de cría debe contar con temperaturas entre los 9° y 16°C ya que son las necesarias para su crecimiento y desarrollo.

2.3.1.4. Dureza

Los niveles de dureza están usualmente asociados con la tendencia del agua de enfriamiento a formar o no incrustaciones. Algunos programas de control de corrosión requieren de un cierto nivel de dureza para funcionar correctamente como inhibidor de corrosión, por lo cual es importante asegurar que el nivel de dureza no este debajo en aquellos programas (*Ver tabla 2*). El calcio y en menor extensión el magnesio, son los



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

cationes disueltos predominantemente en aguas naturales y son los principales responsables de la dureza de las aguas.

Tabla 2. Clasificación del agua según su dureza.

Tipo de Agua	Concentración de $CaCO_3$
Blanda	0 -75 mg/l $CaCO_3$
Moderadamente Dura	75 – 150 mg/l $CaCO_3$
Dura	150 -300 mg/l $CaCO_3$
Muy Dura	> 300 mg/l $CaCO_3$

Fuente: Cruz Torres Luis Eduardo; Díaz Báez, María Consuelo; Reyes, Carmen. Ensayos de toxicidad y su aplicación al control de la contaminación industrial; Universidad Nacional; Facultad de Ingeniería. 1996. Factores que afectan la toxicidad. Página 22.

2.3.2. Índices de toxicidad¹³

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 y 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.

¹³ BUSTOS LOPEZ, Martha Cristina; DIAZ BAEZ, María Consuelo; ESPINOZA RAMIREZ, Adriana Janneth. Pruebas de toxicidad acuática. Fundamentos y métodos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, sección de Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.; 2004 P 36.



2.4. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ ¹⁴

A continuación, se define cuenca hidrográfica y se describe la localización del área de estudio.

2.4.1. Definición

Es una unidad de territorio definido por la existencia de la divisoria geográfica principal de las aguas superficiales, conformando un sistema interconectado de cauces secundarios que convergen en un cauce principal único que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (territorial, 2009).

2.4.2. Localización de la cuenca¹⁵

La cuenca Alta del Río Bogotá nace en el Páramo de Guacheneque Alto de la Calavera recorre la provincia de Almeidas y la sabana de Bogotá bañando con sus aguas los Municipios de Villapinzón, Chocontá, Suesca, Sesquile, Gachancipa, Tocancipa, Cajica, Chía, Cota, Funza, Mosquera, Soacha. En la cuenca alta el río tiene un caudal medio de 10 m³/s. La cuenca alta del río Bogotá está situada en el centro del departamento de Cundinamarca, está comprendida entre dos puntos extremos, el nacimiento del río Bogotá en el municipio de Villapinzón y el salto del Tequendama en el municipio de Soacha.

¹⁴ Citado en línea: http://www.sogeocol.edu.co/documentos/lib_descripcion_cuenca/capitulo%201.html. Fecha: 20 de febrero de 2013.

¹⁵ Citado en línea: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Contaminacion-En-Las-Cuencas-Del-Rio/3794034.html>




DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

2.4.3. Generalidades de la cuenca alta del río Bogotá

2.4.3.1. Tramo de la cuenca

A continuación, se describen las generalidades y las condiciones actuales de contaminación de la cuenca alta del río Bogotá (*Ver ilustración 3*).

Ilustración 3. Tramo de la cuenca Alta del río Bogotá.

Cuenca Alta		
Tramo	Desde el nacimiento del Río Bogotá, en Villapinzón hasta el puente de la Virgen en Cota.	 División política 18 Municipios Villapinzón, Chocontá, Suesca, Sesquile, Gachancipá, Tocancipá, Zipaquirá, Cajicá, Sopó, Chía, Cota, Nemocón, La Calera, Cogua, Guatavita, Guasca, Tabio, y Tenjo
Longitud del río en el tramo	170 Km.	
Estructura hídrica	El caudal del río es regulado por la presencia de dos embalses: El Embalse de Tominé y el Embalse de Siga.	
Caudal medio	El caudal medio en la estación de La Virgen es de 13.5 m ³ /s.	
Uso principal del agua	El agua del río se utiliza para potabilización y suministro de agua para consumo de la ciudad de Bogotá en la Planta de Tratamiento de Tibitoc.	

Fuente: Citado en línea: <http://institutoestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/0112111.html>. Fecha de consulta: 8 de Marzo de 2013.

2.4.3.2. Contaminación de la cuenca

Desde Villapinzón hasta el río Juan Amarillo, el río Bogotá recibe aguas residuales de 21 municipios que tienen una población urbana de 350.000 habitantes.

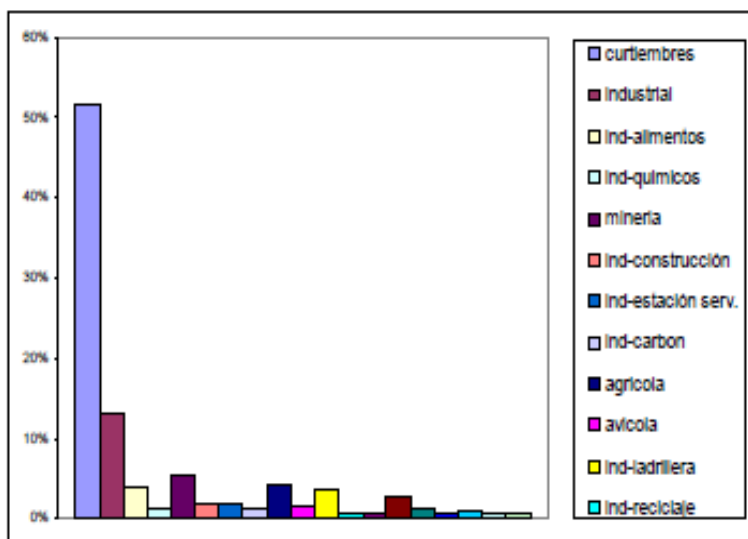
El agua sale cristalina del páramo. Sin embargo, a unos pocos kilómetros de su recorrido, encuentra sus primeros contaminadores: los papicultores que vierten grandes cantidades de las sustancias químicas empleadas para la fumigación y el control de



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

plagas. Entre Villapinzón y Chocontá, tienen asiento 166 curtiembres, en tan sólo 6 kilómetros. Esta industria produce, en promedio, 50.000 pieles por mes y utiliza 720 millones de litros de agua al año para su proceso productivo. **(Ver ilustración 4).**

Ilustración 4. Principales actividades en la cuenca Alta del Rio Bogotá.



Fuente: CAR, evaluación ambiental y plan de gestión ambiental, 2008. pag 43.

2.4.3.3. Situación ambiental de la cuenca alta del rio Bogotá.

En la actualidad, esta zona se caracteriza principalmente por el establecimiento de bodegas de curtiembres, bodegas que prestan servicio a las curtiembres, viviendas contiguas y al interior de las bodegas, viviendas independientes y predios con pastos, así mismo la principal actividad económica de los municipios albergados en la cuenca alta, es el sector agrícola, concentrado en la producción de papa.

En su recorrido en las riberas de estas poblaciones, la cuenca alta del rio Bogotá recibe las descargas contaminadas por el vertimiento de fertilizantes y abonos químicos, desechos de ganado y los producidos por los asentamientos humanos e Industrias de



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

curtiembres de los municipios de Villapinzón y Chocontá. Si bien es cierto, que la industria del cuero ha contaminado en cierta parte al río, no es menos cierto que los procesadores del cuero siempre han estado listos a sanear su industria y a colaborar con las autoridades. Y aquí se llega a la esencia del problema de la contaminación del río, que por la suciedad y elementos altamente nocivos para la flora, la fauna y el consumo, arrojados por varias poblaciones e industrias, especialmente por los desechos de los siete millones de habitantes de Bogotá, se torna en problema nacional puesto que sus aguas también destruyen la vida de otros ríos, especialmente del Río Magdalena.¹⁶

Dentro de los contaminantes de la Industria del cuero, los sulfatos se presentan aguas abajo de las curtiembres de Villapinzón (0 – 12 Km), debido a la contaminación del Sulfuro de sodio empleado en el proceso de curtido. Otros elementos importantes generados en el proceso de la curtición son el Cromo y el nitrógeno amoniacal. Por su parte, la contaminación asociada a esta actividad productiva, trae como consecuencia, disminución de Oxígeno disuelto que empeora la calidad del recurso.¹⁷

¹⁶ ESCOBAR, Luis Antonio. *Villapinzón*. Santa Fe de Bogotá: Litográficas Mundial, 1993. En: <http://www.lablaa.org/blaavirtual/geografia/vpinzon/indice.htm>. Fecha de consulta: 8 de marzo de 2013.

¹⁷ *Municipio de Chocontá*. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Documento Técnico Volumen I. Andean Geological Services. Fecha de consulta: 8 de marzo de 2013.



2.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EL ANÁLISIS DE PRUEBAS DE TOXICIDAD CON LA ESPECIE BIOINDICADORA (*Oncorhynchus mykiss*). (Castillo Morales, Gabriela, 2004)

Para dar cumplimiento a los requerimientos de validez y precisión de las pruebas de toxicidad fue necesario utilizar una metodología estadística desde la planificación hasta la ejecución y, luego, el posterior análisis de los resultados. El criterio básico recomendado es seleccionar un método estadístico sencillo, que se ajuste a las condiciones experimentales y que permita obtener resultados aceptables.

El método estadístico seleccionado para calcular la concentración letal mediante los bioensayos con los alevinos *trucha arcoíris* es el método PROBIT y el análisis de varianza (ANOVA), enunciados a continuación.

2.5.1. Establecimiento de una relación dosis-respuesta

Como resultado del análisis de los datos de un diseño para estimar una relación dosis-respuesta, lo que se pretende obtener son las estimaciones de los parámetros del modelo seleccionado para relacionar las variables y, a continuación, utilizar el modelo con las estimaciones de los parámetros encontrados para determinar los valores de la variable *concentración de tóxico* que causan un grado de efecto, en particular sobre los organismos expuestos. Entre estas concentraciones, la más utilizada es la que se conoce como concentración letal, efectiva o inhibitoria 50 ($CL_{50}/CE_{50}/CI_{50}$), que es la concentración que produce la respuesta esperada sobre el 50% de los organismos expuestos.

Como se ha dicho anteriormente y dado que la variable concentración del tóxico es de tipo continua, el tipo de variable de la respuesta (mortalidad, inhibición de la elongación de la raíz, etcétera) condiciona el modelo a utilizar en el análisis.

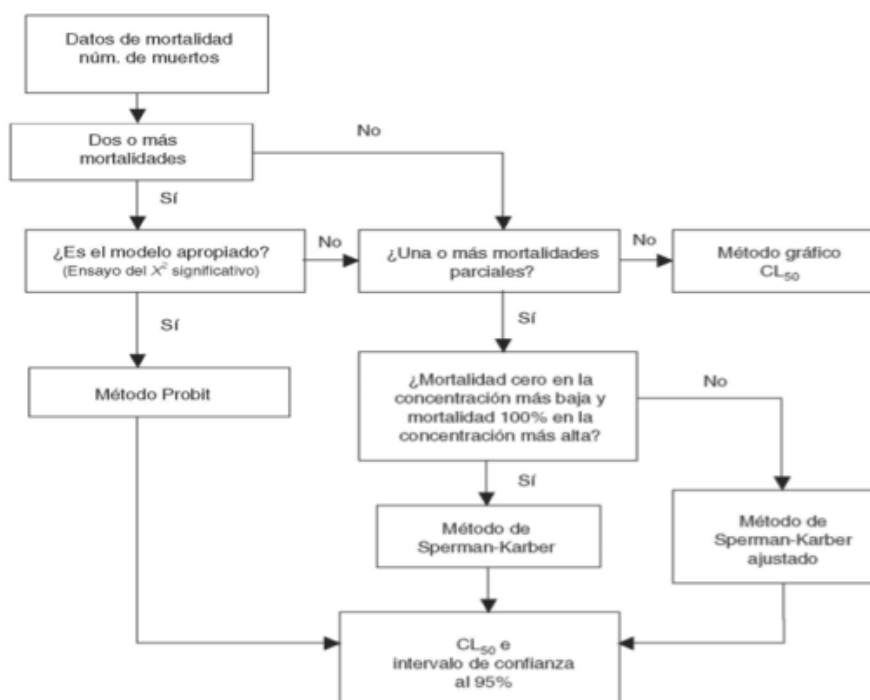


2.5.1.1. Establecimiento de una relación dosis-respuesta de tipo mortalidad

La selección del método a utilizar para estimar los valores de $CL_{50}/CE_{50}/CI_{50}$ de este tipo de pruebas de toxicidad aguda con múltiples concentraciones dependerá de la forma de la distribución de tolerancias, y que tan bien las concentraciones o dosis seleccionadas la caracterizan (por ejemplo, el número de mortalidades parciales).

El siguiente diagrama presenta un modelo recomendado por la US EPA (1993) para la selección del método en las pruebas de toxicidad, basado en los requerimientos de cada uno.

Diagrama 1. Determinación de la $CL_{50}/CE_{50}/CI_{50}$ para pruebas de toxicidad con múltiples concentraciones.



Fuente: Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas, 2004.



En general, se recomiendan los siguientes cuatro métodos para la estimación de $CL_{50}/CE_{50}/CI_{50}$:

2.5.2. Método paramétrico (Probit)

El método consiste en la aplicación de correlaciones estadísticas para estimar las consecuencias desfavorables sobre una población.

Está basado en la cuantificación probabilística de la vulnerabilidad ante efectos físicos de una magnitud determinada; la vulnerabilidad se expresa como el número de individuos que previsiblemente pueden resultar afectados con un cierto nivel de daño.

Para el cálculo de los CL_{50} generalmente se usa el análisis Probit (con o sin ajuste). En pruebas de toxicidad aguda se tiene la siguiente situación:

$$p = rn * 100$$

Dónde:

- ❖ Número de individuos (n).
- ❖ Número de organismos muertos o afectados (r).
- ❖ Porcentaje de efecto (p).

La representación gráfica de p vs. d , (relación dosis-respuesta), genera una curva parabólica que muchas veces presenta dificultades en la construcción de un modelo lineal. Una forma de abordar este problema es transformando d a una escala logarítmica $X = \log_{10}(d)$, lo cual mostrará una relación dosis-respuesta de forma S o sigmoidea; de esta manera la distribución de p vs. X será de tipo normal.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

Posteriormente, mediante las tablas de Probit se transforma p (porcentaje de efecto) a unidades Probit (buscando en una tabla de distribución normal el valor de z correspondiente a una probabilidad acumulada igual a p y sumándole a continuación cinco unidades), se obtiene una distribución de puntos en un sistema bivariado de tipo lineal, los cuales se procesan según un análisis de regresión típico.

Vale la pena enfatizar que el Probit es una transformación sobre la tasa de efecto (p), y la ecuación generada es de la forma:

$$y = a + bx$$

Dónde:

- ❖ y (expresado en unidades Probit) = $z + 5$
- ❖ z = variable normal estándar = z_0 tal que la $\text{Prob} z \leq z_0 = p$
- ❖ a y b (estimadores de los parámetros de la recta de regresión)
- ❖ $p = 50\%$ entonces $y = 5$, por lo tanto:
- ❖ $X = \log_{10} CL_{50}$, entonces $CL_{50} = 10^5$

El procedimiento Probit permite encontrar estimadores m -verosímiles de parámetros de regresión y de tasas naturales (por ejemplo, tasas de mortalidad) de respuesta para ensayos biológicos, analizando porcentajes de efecto vs dosis dentro del marco de la regresión.

2.5.3. Análisis de varianza (Anova)

Se trata de una técnica que consiste en aislar y estimar las varianzas separadas que contribuyen a la varianza total de un experimento; es posible, determinar si ciertos factores producen resultados significativos diferentes de las variables ensayadas. En este caso, se realizó para determinar si existían o no, diferencias significativas en las mortalidades de los tratamientos. Como resultado del análisis de los datos de un diseño



para estimar una relación dosis-respuesta, lo que se pretende obtener son las estimaciones de los parámetros del modelo seleccionado para relacionar las variables y utilizar el modelo con las estimaciones de los parámetros encontrados para determinar los valores de la variable *concentración de tóxico* que causan un grado de efecto, en particular sobre los organismos expuestos. Entre estas concentraciones, la más utilizada es la que se conoce como concentración letal 50 (CL_{50}), que es la concentración que produce la respuesta esperada sobre el 50% de los organismos expuestos.¹⁸

2.5.4. Método Grafico (Litchfield – Wilcoxon)

Este método consiste en la construcción de una gráfica a partir de los datos obtenidos en pruebas de toxicidad aguda de un agente tóxico. Se utiliza papel *prob-log*, en el cual se colocan en el eje de las X el logaritmo (X) de las concentraciones usadas y en el eje de las Y el porcentaje de respuesta del efecto observado. En la literatura se presentan varios ejemplos de cálculo, como el que se puede observar en la norma sobre análisis estadísticos de CETESB (L50.17-1992).

Para el cálculo de la $CL_{50}/CE_{50}/CI_{50}$ mediante este método, es necesario tener por lo menos, un porcentaje intermedio de efecto observado (valores entre 0 y 100% de efecto).

2.5.4.1. Elaboración de tabla y gráfico

- Se prepara una tabla con las concentraciones utilizadas en la prueba, el número de organismos afectados sobre el número de organismos probados y un porcentaje de efecto observado. En la tabla se colocan sólo las concentraciones consecutivas que producen un efecto observado entre 100 y 0 por ciento.

¹⁸ BULUS ROSSINI, Gustavo Daniel; DIAZ BAEZ, María Consuelo; PICA GRANADOS, Yolanda, Capítulo 5. Métodos Estadísticos para el análisis de resultados de toxicidad. Página 106 En línea. Diciembre de 2006<http://www.idrc.ca/en/ev-66572-201-1-DO_TOPIC.html.2004>



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

- Se grafica en el papel *prob-log* el porcentaje de efecto observado (en el eje probabilístico) en función de las concentraciones probadas (en el eje logarítmico), excepto los valores de 0 y 100%.
- Luego se ajusta la recta a través de los puntos graficados, teniendo en cuenta principalmente los puntos que se encuentran en la región entre el 40 y 60% de efecto observado.

2.5.4.2. Obtención de los porcentajes de efecto esperado

A partir de los puntos de intersección de la recta trazada con los valores de las concentraciones estudiadas, se obtienen los respectivos porcentajes de efecto esperado, los cuales se anotan en la columna correspondiente de la tabla. No se deben considerar los valores de porcentaje esperado para cualquier concentración probada que estén por debajo de 0,01% o por encima de 99,9 por ciento.

2.5.4.3. Introducción de los valores 0 y 100% de efecto observado

Utilizando los porcentajes de efectos esperados, se obtienen mediante la tabla del anexo 5.3 los valores corregidos para los porcentajes 0 y 100% de efecto. A continuación se tabulan los valores al lado de los porcentajes de efecto observado. En el gráfico se colocan los valores corregidos y se verifica si la recta trazada es adecuada. Cuando la recta trazada es inadecuada, se rehace la recta repitiendo el procedimiento antes mencionado para obtener un ajuste de los valores esperados y corregidos.

2.5.4.4. Determinación de la $CL_{50}/CE_{50}/CI_{50}$

Mediante el uso de la recta trazada se obtiene en el eje logarítmico la concentración correspondiente al 50% del efecto observado sobre el eje probabilístico. La concentración así obtenida corresponde a la $CL_{50}/CE_{50}/CI_{50}$.



2.5.4.5. Cálculo del intervalo de confianza (al nivel del 95%)

A partir del gráfico elaborado, obtener las concentraciones correspondientes a 16, 50 y 84% de efecto esperado.

La pendiente de la recta (S) se calcula de la siguiente forma:

$$S = \frac{CL_{84} / CL_{50} + CL_{50} / CL_{16}}{2}$$

Se obtiene el valor de N' o el número total de organismos utilizados en las concentraciones probadas, en las cuales se observó un porcentaje de efecto esperado entre 16 y 84 por ciento.

Se calcula un exponente E para una inclinación de la recta (S) y un factor (fCL_{50}) de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E = \frac{2,77}{\sqrt{N'}} \quad fCL_{50} = S^E$$

También se puede obtener el CL_{50} o el CE_{50} a partir de nomográficos elaborados para tal fin.

Para calcular los límites de confianza se utilizan las siguientes expresiones:

$$(CL_{50}) (fCL_{50}) = \text{límite superior al 95\% de confianza}$$
$$\left(\frac{CL_{50}}{fCL_{50}} \right) = \text{límite inferior}$$

2.5.5. Método Grafico

De forma similar, se parte de los datos obtenidos en las pruebas de toxicidad aguda, y utilizando papel logarítmico se grafican en el eje de las X las concentraciones (mg/L) y en el eje de las Y el porcentaje de mortalidad. Se colocan los puntos de los porcentajes



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

de mortalidad observados (en escala lineal) en función de las concentraciones probadas (en escala logarítmica); se conectan los puntos obtenidos más cercanos al 50% del efecto observado, o sea, a la mayor concentración que no causa efecto tóxico y a la menor concentración que causa efecto tóxico. A partir de la recta trazada, se obtiene el punto de corte correspondiente al 50% del efecto observado. Este valor corresponde a la CL₅₀/CE₅₀/CI₅₀ del estímulo o agente estudiado (Hubert, 1980 y 1995; Finney, 1978). Cuando no se logra hacer un ajuste adecuado de los datos, se pueden utilizar otros métodos para hacer las estimaciones de CL₅₀/CE₅₀/CI₅₀.



3. MARCO LEGAL

Dentro del marco legal, se tienen en cuenta los criterios de calidad admisibles para la destinación del consumo humano, doméstico y agrícola en los artículos 39 y 40 del Decreto 1594 de 1984 (**Ver tabla 5**), debido a que el Ministerio de Ambiente no ha establecido los valores máximos permisibles en el Decreto 3930 del 25 de Octubre de 2010 .

A su vez, se contempla el acuerdo 8 de 2004 de la CAR, que establece las concentraciones máximas permisibles para el vertimiento de aguas de la industria de curtido de pieles del municipio de Villapinzón (**Ver tabla 4**). Debido a que estos valores se comparan y analizan con los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas realizadas por el laboratorio ambiental de la CAR y el laboratorio del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la universidad de la Salle, como se muestra en el concepto técnico emitido en el presente estudio.

Tabla 3. Normatividad legal vigente en Colombia decretos 1594/84 y 3930/2010.

DECRETO 1594. JUNIO 26 DE 1984. REGLAMENTACIÓN DE LOS USOS DEL AGUA Y RESIDUOS LÍQUIDOS. REPÚBLICA DE COLOMBIA	
Artículo 15	Denominase bioensayo acuático al procedimiento por el cual las respuestas de organismos acuáticos se usan para detectar o medir la presencia o efectos de una o más sustancias, elementos, compuestos, desechos o factores ambientales solos o en combinación.
Artículo 16	Denominase toxicidad la propiedad que tiene una sustancia, elemento o compuesto, de causar daños en la salud humana o la muerte de un organismo vivo.
Artículo 18	Denominase toxicidad-crónica la propiedad de una sustancia, elemento, compuesto, desecho o factor ambiental, de causar



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

	cambios en el apetito, crecimiento, metabolismo, reproducción, movilidad o la muerte o producir mutaciones después de cuatro (4) días a los organismos utilizados para el bioensayo acuático.
Artículo 19	Denominase CL_{50-96} a la concentración de una sustancia; elemento o compuesto, solos o en combinación, que produce la muerte al cincuenta por ciento (50%) de los organismos sometidos a bioensayos en un período de noventa y seis (96) horas.
Artículo 29	Usos del agua para: a) consumo humano y domestico; b) preservación de flora y fauna; c) agrícola; d) pecuario; e) Recreativo; f) industrial; g) transporte.
Artículo 74	Las concentraciones para el control de la carga de las sustancias de interés sanitario.
<p align="center">DECRETO 3930. OCTUBRE 25 DE 2010</p> <p align="center">POR EL CUAL SE REGLAMENTA PARCIALMENTE EL TÍTULO I DE LA LEY 9ª DE 1979, ASÍ COMO EL CAPÍTULO II DEL TÍTULO VI -PARTE III- LIBRO II DEL DECRETO-LEY 2811 DE 1974 EN CUANTO A USOS DEL AGUA Y RESIDUOS LÍQUIDOS Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES.</p>	
Artículo 3 Parágrafo 9 Definiciones	Bioensayo acuático. Procedimiento por el cual las respuestas de organismos acuáticos se <i>usan</i> para detectar o medir la presencia o efectos de una o más sustancias, elementos, compuestos, desechos o factores ambientales solos o en combinación.
Parágrafo 17	CL_{50-96} es la concentración de una sustancia, elemento o compuesto, que solo o en combinación, produce la muerte al cincuenta por ciento (50%) de los organismos sometidos a bioensayos en un período de noventa y seis (96) horas.
Parágrafo 30	Toxicidad. La propiedad que tiene una sustancia, elemento o compuesto, de causar daños en la salud humana o la muerte de



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

	un organismo vivo.
Parágrafo 31	Toxicidad aguda. La propiedad de una sustancia, elemento, compuesto, desecho, o factor ambiental, de causar efecto letal u otro efecto nocivo en cuatro (4) días o menos a los organismos utilizados para el bioensayo acuático.
Parágrafo 32	Toxicidad crónica. La propiedad de una sustancia, elemento, compuesto, desecho o factor ambiental, de causar cambios en el apetito, crecimiento, metabolismo, reproducción, movilidad o la muerte o producir mutaciones después de cuatro (4) días a los organismos utilizados por el bioensayo acuático.
Acuerdo 8 de 2004	
Por el cual se define la norma de vertimiento de la industria de curtido de pieles, y se adoptan otras determinaciones.	
Artículo 1.	Todo vertimiento a un cuerpo de agua generado por la industria del curtido de pieles en áreas de la jurisdicción de la corporación autónoma regional de Cundinamarca – CAR- deberá cumplir las concentraciones máximas permisibles.

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación se establecen las concentraciones máximas permisibles para la industria de curtido de pieles ubicadas en el municipio de Villapinzón (Cundinamarca); se hace referencia en estos límites debido a que este punto de muestreo presenta mayor contaminación, a pesar de realizar el tratamiento de las aguas residuales.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

Tabla 4. Concentraciones máximas permisibles para el vertimiento de aguas de la industria de curtido de pieles del municipio de Villapinzón.

Parámetro	Unidades	Tratamiento Físico - Químico	Tratamiento Biológico
DBO ₅	mg/l	200	60
DQO	mg/l	400	120
Sólidos suspendidos totales	mg/l	1000	100
Cloruros	mg/l	250	250
Sulfatos	mg/l	400	400
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	1	1
Cromo Total	mg/l	<0.01	<0.01
pH	Unidades	5 a 9	5 a 9
Aceite y Grasas	mg/l	Ausentes	Ausentes
Coliformes Totales	NMP/100 ml	5000	5000
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1000	1000
Cadmio	mg/l	0.05	0.05
Zinc	mg/l	25	25
Bario	mg/l	1	1
Cobre	mg/l	1	1

Fuente: <http://www.car.gov.co/?idcategoria=1760>, 2013. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación se establecen los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere tratamiento convencional o desinfección, según los artículos 38 y 39 del decreto 1594 de 1984.

Tabla 5. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere tratamiento convencional.

Referencia	Expresado como	Valor
Amoníaco	N	1.0
Arsénico	As	0.05
Bario	Ba	1.0
Cadmio	Cd	0.01
Cianuro	CN-	0.2
Cinc	Zn	15.0
Cloruros	Cl-	250.0
Cobre	Cu	1.0
Color	Color real	75 unidades, escala Platino - cobalto
Compuestos Fenólicos	Fenol	0.002
Cromo	Cr+ ^b	0.05

Difenil Policlorados	Concentración de agente activo	No detectable
Mercurio	Hg	0.002
Nitratos	N	10.0
Nitritos	N	1.0
pH	Unidades	5.0 - 9.0 unidades
Plata	Ag	0.05
Plomo	Pb	0.05
Selenio	Se	0.01
Sulfatos	SO ₄	400.0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5
Coliformes totales	NMP	20.000 microorganismos/100 ml.
Coliformes fecales	NMP	2.000 microorganismos /100 ml.

Fuente: Artículo 38 del Decreto 1594 de 1984. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 6. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere desinfección.

Referencia	Expresado como	Valor
Amoníaco	N	1.0
Arsénico	As	0.05
Bario	Ba	1.0
Cadmio	Cd	0.01
Cianuro	CN-	0.2
Cinc	Zn	15.0
Cloruros	Cl-	250.0
Cobre	Cu	1.0
Color	Color Real	20 unidades, escala Platino - cobalto
Compuestos Fenólicos	Fenol	0.002
Cromo	Cr+ ⁶	0.05
Difenil Policlorados	Concentración de agente activo	No detectable
Mercurio	Hg	0.002
Nitratos	N	10.0
Nitritos	N	1.0
pH	Unidades	6.5 - 8.5 unidades
Plata	Ag	0.05
Plomo	Pb	0.05
Selenio	Se	0.01
Sulfatos	SO ₄	400.0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5
Turbiedad	UJT	10 Unidades Jackson
		de Turbiedad, UJT
Conformes totales	nMP	1.000 microorganismos/100 ml.

Fuente: Artículo 39 del Decreto 1594 de 1984. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

En la **tabla 7** se observa los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola.

Tabla 7. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola.

Referencia	Expresado como	Valor
Aluminio	Al	5.0
Arsénico	As	0.1
Berilio	Be	0.1
Cadmio	Cd	0.01
Cinc	Zn	2.0
Cobalto	Co	0.05
Cobre	Cu	0.2
Cromo	Cr ⁺ ⁶	0.1
Flúor	F	1.0
Hierro	Fe	5.0
Litio	Li	2.5
Manganeso	Mn	0.2
Molibdeno	Mo	0.01
Níquel	Ni	0.2
pH	Unidades	4.5 - 9.0 unidades.
Plomo	Pb	5.0
Selenio	Se	0.02
Vanadio	V	0.1

Fuente: Artículo 40 del Decreto 1594 de 1984. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2013.



4. METODOLOGÍA

El presente proyecto se desarrolla con dos principios básicos de Investigación que son:

- **Cuantitativo**, ya que se *“utiliza la recolección, el análisis de datos, la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población”* (Hernández et al, 2003; p.5).
- **Cualitativo**, pues con frecuencia se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como las descripciones y las observaciones” (Hernández et al, 2003; p.5).

Partiendo de estos dos principios la metodología planteada se denominó: **Identificar-Characterizar-Determinar (I.C.D).**

1. **Identificar:** Fue el punto de partida del proyecto. Se tomó como referencia las estaciones de monitoreo delimitadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), para definir los sitios de muestreo ubicados a lo largo de la cuenca alta del río Bogotá.
2. **Caracterizar:** Bajo este principio se obtuvo los datos de los parámetros fisicoquímicos realizados en las mediciones ***In-situ*** en los seis puntos de muestreo. Igualmente se recolectaron las muestras ambientales para el análisis ***Ex -situ*** y montaje de pruebas toxicológicas.
3. **Determinar:** Fue la columna vertebral del proyecto, en la que se estableció la concentración letal media (CL_{50-96}) de los seis puntos de muestreo de la cuenca alta del Río Bogotá, mediante bioensayos con alevinos trucha arco iris (***Oncorhynchus mykiss***).



4.1. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

A continuación se explican las cuatro fases empleadas para el desarrollo del presente proyecto.

4.1.1. FASE I. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Con base en los estudios que el laboratorio de bioensayos de la Universidad de La Salle ha venido realizando en la Cuenca Alta del Río Bogotá, se continua trabajando esta línea de investigación, haciendo referencia en los mismos puntos de muestreo de la tesis de grado “***Determinación de la toxicidad aguda en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá, mediante bioensayos con organismos *Daphnia magna* y *Daphnia pulex****” (Oscar Cardenas, 2010), delimitados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

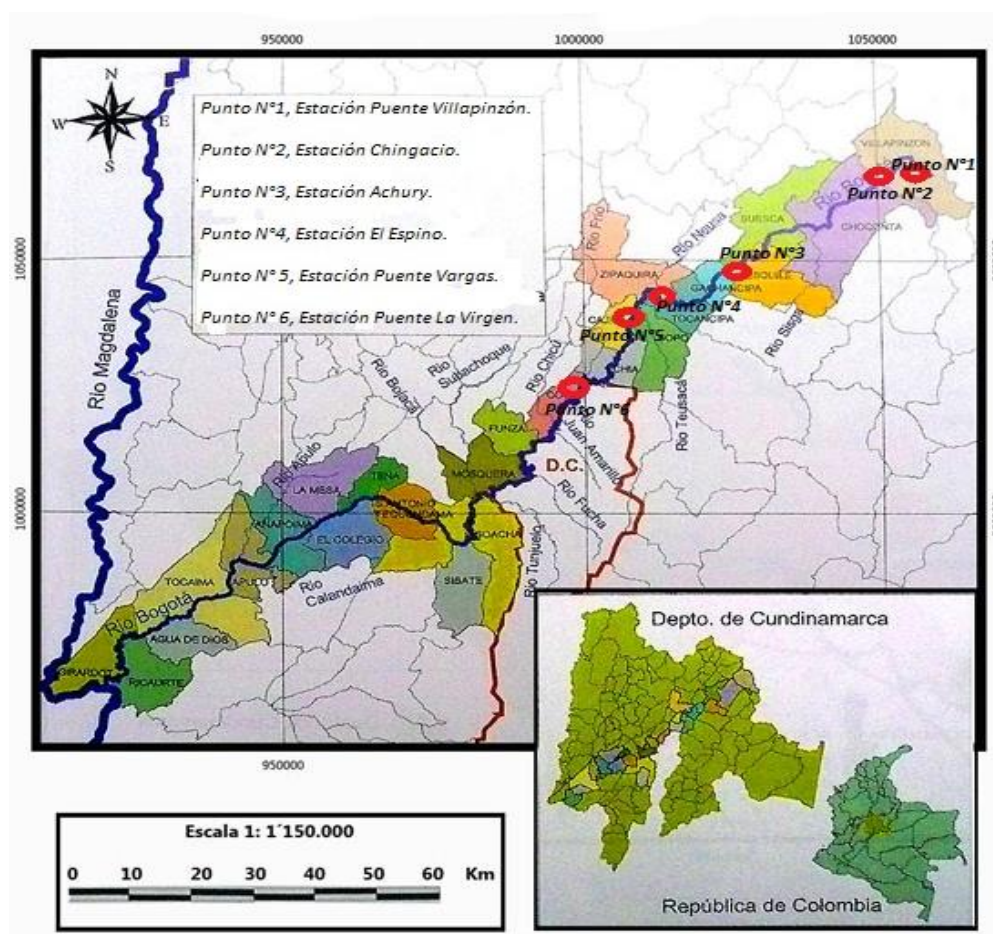
Los puntos de monitoreo se seleccionaron por facilidad de acceso al cauce del río y a la toma de muestras de agua superficial, por el seguimiento y control de los parámetros fisicoquímicos que la corporación autónoma regional de Cundinamarca ha venido realizando a través del tiempo en las estaciones de monitoreo de la cuenca alta dado a que los reportes de los últimos cinco años se utilizaron como punto de comparación para el análisis del comportamiento de las variables fisicoquímicas.

A continuación se mencionan las seis (6) estaciones de muestreo seleccionadas para la ejecución del presente trabajo: **Punto N° 1.** Estación puente Villapinzón (Villapinzón), **Punto N° 2.** Estación Chingacio (Villapinzón, vereda Chingacio), **Punto N° 3.** Estación Achury (Sesquilé), **Punto N° 4.** Estación el espino (Zipaquirá), **Punto N° 5.** Estación Puente Vargas (Cajicá), **Punto N° 6.** Estación Puente la virgen (Cota). (**Ver Ilustración 5**).



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Ilustración 5. Ubicación de los Puntos de muestreo en la Cuenca alta del rio Bogotá



Fuente: Las Autoras, a partir de información cartográfica del IGAC, 2013.

4.1.2. FASE II. RECOPIACIÓN DE DATOS FISICOQUÍMICOS CORRESPONDIENTES A LOS SEIS PUNTOS DE MUESTREO.

Definidos los puntos de muestreo, se programaron las salidas de campo los días 2 y 30 de septiembre del año 2012 en la cuenca alta del rio Bogotá, con el fin de recolectar las muestras ambientales y realizar las mediciones *In-situ* de los parámetros fisicoquímicos (pH, T° , OD, Conductividad, sólidos sedimentables).



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Para tales salidas, se tuvo en cuenta el respectivo plan de muestreo (**Ver anexo A**), en el que se especifica el área de muestreo, el objeto, tipo de muestreo, tipo de muestra, frecuencia de muestreo, parámetros a medir, tipos de envases y preservantes a utilizar, volumen de muestra según el parámetro a evaluar, tipo de equipo a utilizar y las medidas que se deben tener en cuenta a la hora de hacer el debido muestreo.

Posteriormente se ejecutó el análisis **Ex - situ** de los parámetros fisicoquímicos (*DQO, DBO, Alcalinidad, dureza, NH_3 , H_2S , Nitratos, Nitritos, Nitrógeno amoniacal, fosfatos, sulfatos*) en el laboratorio del programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad de la Salle (PIAS) por los analistas encargados del área, con el fin de obtener los reportes de los parámetros fisicoquímicos que pudiesen afectar las condiciones ambientales de la especie bioindicadora empleada para las pruebas de toxicidad (**Ver anexo H**). Igualmente en esta fase se recopilaron los resultados de los parámetros fisicoquímicos de los puntos de muestreo analizados por el laboratorio ambiental de la CAR.

A continuación se presentan las variables de control para el muestreo en campo (**Ver tabla N° 8**).

Tabla 8. Variables de control en Campo (In-situ).

TIPO DE VARIABLE	
Dependiente	Puntos de muestreo
	Preservación de las muestras
Independiente	Hora de muestreo
	Resultados obtenidos de los parámetros medidos IN-SITU (Registrados en la Cadena de custodia, anexo B).
Constantes	Tipo de muestra (Ver anexo A)
	Volumen de la muestra (3 Litros para análisis en laboratorio y 40 Litros para la realización de pruebas de toxicidad con la especie Bioindicadora (<i>Trucha Arcoíris</i>).
	Parámetros a medir <i>IN-SITU</i> (Ver anexo A)
	Numero de muestras por cada punto.

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación en el **Diagrama N° 2**, se presenta el desarrollo de las actividades en campo: Identificación del área de muestreo, tipo de muestreo y tipo de muestra, objeto del muestreo, frecuencia del muestreo, parámetros de medición, control y calidad para muestreo y análisis

Diagrama 2. Metodología Fase II.



Fuente: Las Autoras, 2013.

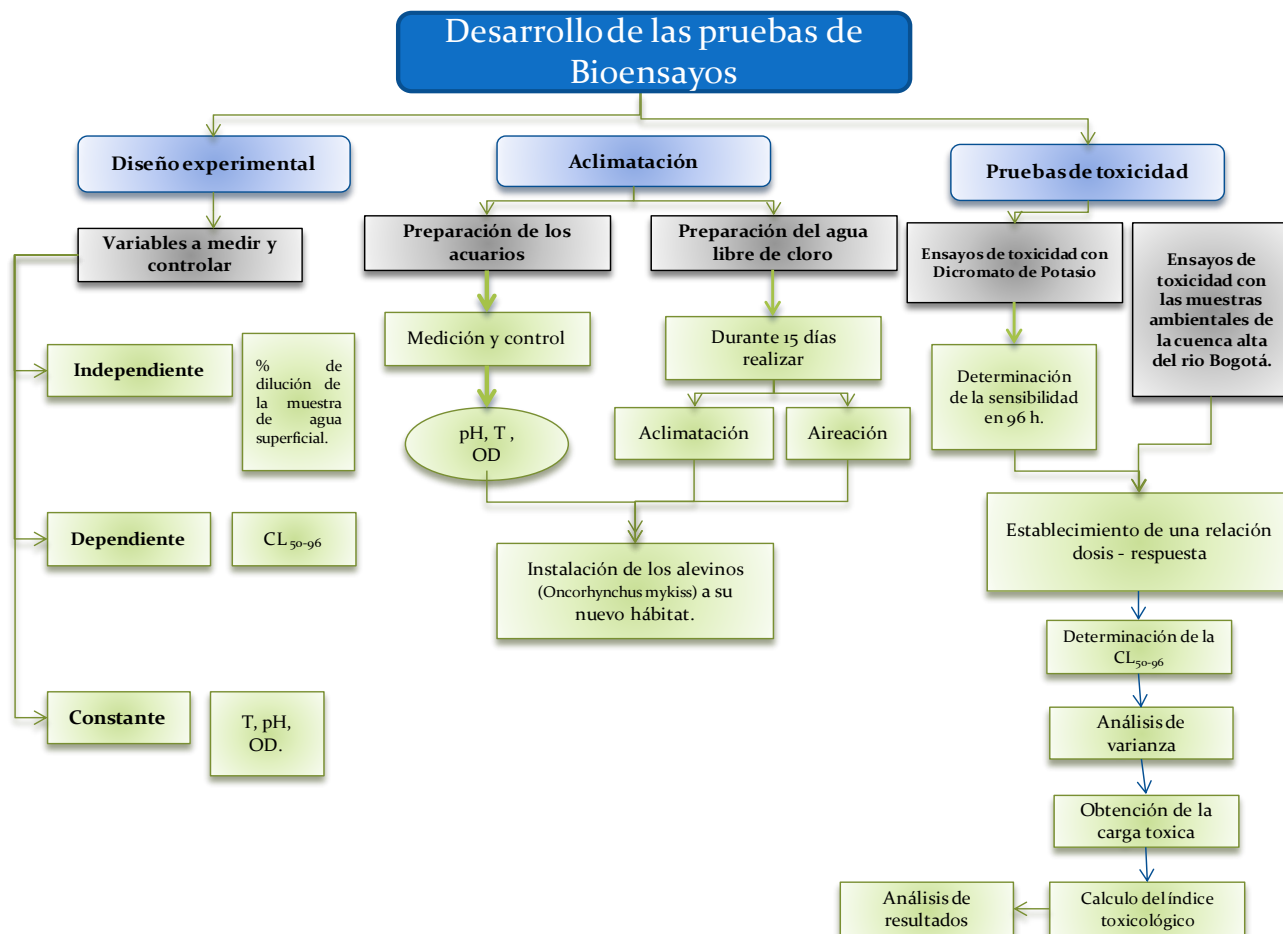
4.1.3. FASE III. REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE BIOENSAYOS

A continuación se presenta la ejecución de la **fase III** que permitió la realización de las actividades pre y posterior a los ensayos de toxicidad (**Ver Diagrama 3, fase III**).



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Diagrama 3. Metodología fase III.



Fuente: Las Autoras, 2013.

El principal objetivo en la realización de las pruebas de bioensayos fue exponer la especie bioindicadora (trucha arcoíris) a diferentes concentraciones de contaminante (cuenca Alta del río Bogotá). Para ello se realizó una serie de cinco concentraciones (20, 40, 60, 80 y 100 %) más una de control denominada blanco (agua potable decolorada). Para cada concentración se debió contar mínimo con cuatro replicas, cada una de las cuales constaba de cinco individuos en sus respectivas peceras de vidrio. La



lectura de las pruebas se realizó a las 3, 6, 24, 48, 72 y 96 horas (**Ver anexos C y D**), haciendo anotaciones sobre el número de especies afectadas (que se observaban muertas). Finalmente con los datos de mortalidad acumulada al término de la prueba se graficó la curva dosis – respuesta, para observar los efectos causados en el organismo expuesto al contaminante.

4.1.3.1. Aclimatación de peces y mantenimiento de acuarios

A continuación, se describe el procedimiento de las actividades realizadas en aclimatación de peces, mantenimiento de acuarios, compra y transporte de alevinos, para llevar a cabo las pruebas de bioensayos en la fase III del presente trabajo (**Ver Diagrama 5**).

4.1.3.1.1. Compra y transporte de alevinos (*Trucha Arcoíris*)

La compra de alevinos se adquirió en la empresa Acuagranja Ltda, encargada de la comercialización de productos piscícolas a nivel nacional; los criaderos de peces se encuentran ubicados en el municipio de Chocontá (Cundinamarca), desde allí son transportados en tanques acondicionados para ser ubicados en la sede principal Avenida Boyacá No. 99-28 y finalmente ser distribuidos .

La entrega de peces se hace en bolsas de polietileno de alto calibre las cuales contienen un total de 250 peces en óptimas condiciones de salubridad, oxígeno, tamaño requerido y calidad de agua. Inmediatamente, los alevinos fueron trasladados a las instalaciones de la universidad de la Salle, laboratorio de bioensayos para la siembra en los acuarios.



4.1.3.1.2. Aclimatación de peces

Al llegar al laboratorio de bioensayos, uno de los aspectos más críticos del procedimiento de transporte es la siembra de los peces en su nuevo hogar. Antes de la siembra de los peces se debe igualar las temperaturas del agua de transporte y del agua donde los peces van a ser sembrados. Por lo general, esto requiere de 15 a 30 minutos. Al llegar a su destino, los procedimientos especiales empleados para recambiar el agua durante el transporte deben ser seguidos para aclimatar a los peces al agua nueva. Esto permite que la temperatura del agua en el recipiente de transporte se iguale con la temperatura del agua nueva y también permite a los peces ajustarse a los cambios en la calidad iónica del agua nueva.

Durante el procedimiento de recambio del agua y aclimatación de los peces, las bolsas plásticas deben flotar sobre la superficie del agua donde estos van a ser soltados. Luego, se permite a los peces nadar fuera de las bolsas hacia su nuevo ambiente. A partir de la siembra, se dejan aclimatar los peces de 7 a 15 días, controlando los parámetros fisicoquímicos (T° , OD , pH), según los protocolos CETESB.

4.1.3.1.3. Alimentación de peces

La compra de alimento se adquirió en casas de acuario por indicación de la empresa Acuagranja; Los alevinos fueron alimentados dos veces al día (en la mañana y en la tarde) con truchina, línea de alimento de alta calidad nutritiva para satisfacer los requerimientos de los peces y que gocen de buena salud. La dosis diaria de alimentación oscilo entre el 5% y 7% respecto del peso corporal. Al dar inicio a los ensayos de toxicidad se debió suspender el patrón de alimentación 24 horas antes, para evitar que el proceso digestivo de los peces no alterara los resultados de los ensayos toxicológicos.

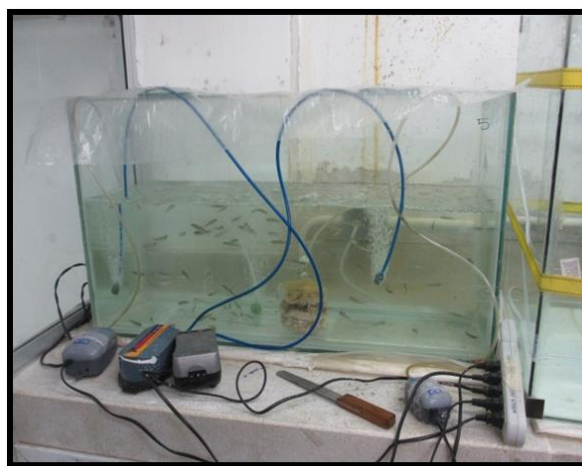


4.1.3.1.4. Mantenimiento de acuarios y peceras.

Para seguir los lineamientos mínimos básicos y garantizar la calidad de respuesta de los organismos prueba, evitando posibles alteraciones con probables residuos de compuestos tóxicos remantes o persistentes en el material (cristalería) se realizó el lavado y desinfección de materiales, debido a que anterior a nuestro ensayo se realizaron pruebas con otras sustancias tóxicas. El método de desinfección efectivo y menos agresivo consistió en enjuagar con abundante agua potable y agua desionizada el material de vidrio, garantizando procedimientos seguros y evitando alteraciones en la siembra de peces; para dicha siembra se emplearon acuarios de vidrio de 130 L de volumen, cada uno con sus respectivos difusores de aire que permitían la correcta oxigenación; Para el montaje de las pruebas se requirió de bomboneras de cristal con una capacidad de 2.5 litros de volumen previamente lavadas y desinfectadas. Igualmente al finalizar cada prueba se limpiaban los acuarios y las peceras para dar inicio a posteriores ensayos.

A continuación en la **imagen N° 1**, se observa el registro fotográfico del funcionamiento de acuarios, una vez se han aclimatado los peces.

Imagen 1. Aclimatación de peces en acuarios.



Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación en la **tabla N° 9**, se presentan los rangos de los parámetros de control para mantener el agua en condiciones óptimas para la especie.

Tabla 9. Parámetros de control del agua.

Método según el Standard métodos	Parámetros de Control	Rango
Electrodo de membrana	pH	6.5 y 7.5 unidades
Electrométrico	O.D	mayor a 6 mg /L
Laboratorio y de campo	T°C	menor a 18 °C

Fuente: APHA-AWWA-WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 20. 2005. Fecha de consulta: 22 de marzo de 2013.

A continuación en la **tabla 10**, se referencian las variables de control dependiente, independiente y constante para la fase III: Realización de las pruebas de bioensayos (**Ver tabla 10**).

Tabla 10. Variables de control en la fase III realización de las pruebas de bioensayos.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Dependiente	Porcentaje de dilución de agua declorada para completar el volumen con las muestras ambientales de la cuenca alta del Río Bogotá. Con estas muestras se realizarán los ensayos de toxicidad, para determinar la concentración letal sobre la especie bioindicadora “Trucha arcoíris”.
Independiente	La concentración letal media en un periodo de exposición de 96 horas ya que el resultado permite determinar la toxicidad sobre la especie en cada punto de muestreo.
Constante	Numero de individuos utilizados por cada concentración: 20 alevinos de trucha arcoíris. Tiempo de exposición: 96 horas. Parámetros fisicoquímicos monitoreados antes de las pruebas toxicológicas: Temperatura, OD, pH. Controlados para cumplir los protocolos establecidos a nivel nacional e internacional.

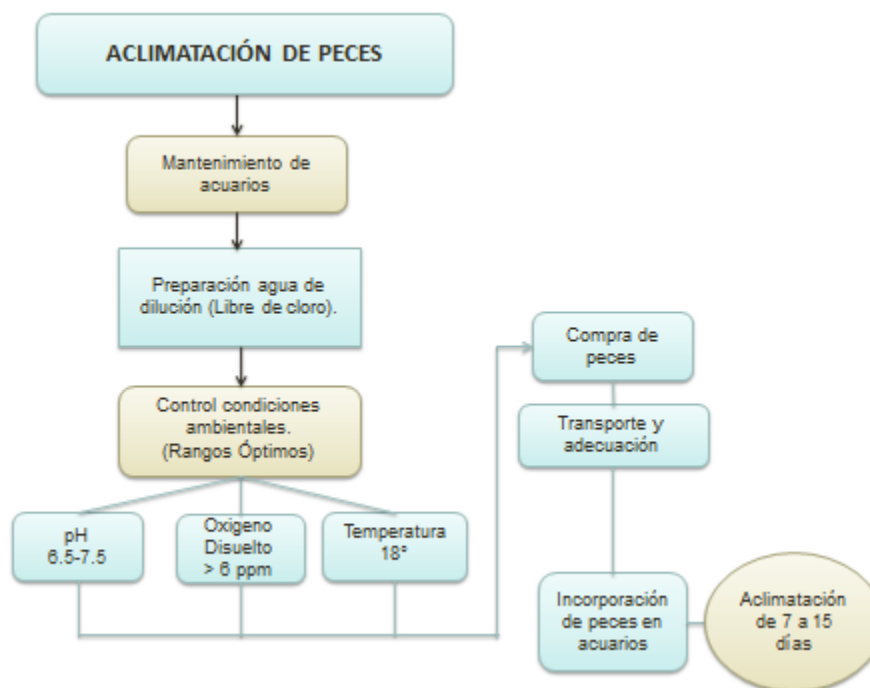
Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación se presenta el diagrama general de las actividades realizadas en aclimatación de peces.

Diagrama 4. Aclimatación de peces.



Fuente: Las Autoras, 2013.

4.1.3.2. Realización de las pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio en los alevinos de Trucha arcoíris.

Las pruebas de sensibilidad con estos organismos se hacen para constatar su utilidad en pruebas de toxicidad, dado que si no tienen sensibilidad a los tóxicos de referencia difícilmente tendrán sensibilidad a posibles tóxicos en el agua empleada para las pruebas de toxicidad con los individuos expuestos al contaminante.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Como se ha mencionado, se debe tener en cuenta previo a la aclimatación la suspensión del patrón alimenticio en los peces 24 horas antes del ensayo y durante el desarrollo de esta (hasta el término de las 96 horas).

4.1.3.2.1. Preparación del agua

Para el llenado de acuarios y ensayos de toxicidad con los alevinos, se acondiciono el agua potable en un tanque aproximadamente de 1 m³ (**Ver imagen 2**), se oxigeno por un periodo de tiempo de 8 a 10 días hasta alcanzar un porcentaje de saturación del 80% de oxígeno (empleando difusores de aire), para su previa utilización en las pruebas de sensibilidad con Dicromato de potasio. Transcurrido el periodo de tiempo, se verifico que el oxígeno disuelto tuviese valores de 6.0 a 7.5 mg/l, temperatura entre 17 y 19°C y pH de 6.5 a 7.5 unidades (**Ver tabla 9**), cumpliendo con los estándares establecidos en el protocolo **CETESB**.

A continuación en la **Imagen N° 2**, se observa el registro fotográfico del acondicionamiento del agua utilizada para los respectivos ensayos toxicológicos.

Imagen 2. Acondicionamiento del agua.



Fuente: Las Autoras, 2013.



4.1.3.2.2. Preparación de las soluciones con Dicromato de Potasio

Para realizar el ensayo toxicológico y hallar la curva dosis- respuesta se efectuó una serie de diluciones (5) con el toxico referencia (Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)); el procedimiento para preparar las soluciones, consistió en agregar 1 gramo de la sustancia a un balón aforado de 1000 ml disuelto en agua desionizada.

Con la solución estándar del toxico, se preparan diluciones para obtener las concentraciones (20, 40, 60,80 y 100 ppm) transfiriéndolas a las respectivas peceras (capacidad de 2 litros) (**Ver tabla 11**).

La ecuación empleada para preparar las soluciones es la siguiente:

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

(Química general de whitten) Ecuación de dilución

Dónde:

C₁ = Concentración de solución madre

V₁ = Incógnita (Volumen de solución madre que integrara cada pecera)

C₂ = Concentraciones de sensibilidad (20, 40, 60, 80, 100) ppm

V₂ = Volumen de la pecera

Con base en la anterior ecuación, los respectivos volúmenes empleados para la preparación de soluciones con Dicromato de potasio son:



Tabla 11. Volúmenes para preparar las soluciones con Dicromato de potasio.

CONCENTRACIÓN (ppm)	Volumen de solución madre con Dicromato de potasio (ml)	Volumen de agua Declorada (ml)
20	40	1960
40	80	1920
60	120	1880
80	160	1840
100	200	1800

Fuente: Las Autoras, 2013.

4.1.3.2.3. Realización del montaje para el ensayo toxicológico con Dicromato de potasio.

Preparadas las soluciones de la actividad anterior, simultáneamente se realizaron dos ensayos toxicológicos por cada punto de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.

La batería de ensayos consta de un estante de seis entrepaños, en cada entrepaño se contemplan cuatro replicas o peceras, respectivamente con cinco individuos de la especie trucha arcoíris (**Ver imagen 3**), en las que se transfieren las muestras de agua a diferentes concentraciones: muestra de control, 20 40, 60, 80, y 100 ppm (**Ver tabla 11**).

Terminado el montaje se cubre completamente el estante con un plástico de polietileno transparente que permite el paso de luz, mantiene el agua libre de partículas, vapores Orgánicos volátiles, evita la muerte involuntaria de los alevinos por su comportamiento natural de saltar e impide la evaporación del agua; el anterior procedimiento se hizo para no alterar las condiciones del ensayo.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Finalmente se registró la mortalidad a lo largo del tiempo de exposición en las respectivas cartas de control (**Ver anexo C**), con observaciones a las 3, 6, 24, 48, 76 y 96 horas.

A continuación se presenta el montaje de la prueba de sensibilidad realizada con Dicromato de potasio y la especie trucha arcoíris a diferentes concentraciones (**Ver imagen 3**).

Imagen 3. Montaje del ensayo toxicológico con Dicromato de potasio.



Fuente: Las Autoras, 2013.

4.1.3.3. Realización de las pruebas toxicológicas con las muestras ambientales de la cuenca alta del rio Bogotá.

Previo a la ejecución de los ensayos toxicológicos con el toxico de referencia (Dicromato de potasio), se realizaron dos ensayos toxicológicos con los individuos de



prueba (*trucha arcoíris*) mediante un bioensayo agudo con las muestras ambientales de los seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá (contaminante).

4.1.3.3.1. Preparación del agua

Igualmente, para la realización de la pruebas de toxicidad con los alevinos, se acondiciono el agua potable en un tanque de 1 m³, se oxígeno por un periodo de tiempo de 8 a 10 días aproximadamente, hasta alcanzar un nivel de saturación del 80% de oxígeno (empleando difusores de aire), para su previa utilización. Transcurrido el periodo de tiempo, se verifico que el oxígeno disuelto tuviese valores de oxígeno disuelto de 6.0 a 7.5 mg/l, temperatura entre 17 y 19°C y pH de 6.5 - 7.5 unidades (**Ver tabla 9**), cumpliendo con los estándares establecidos en el protocolo **CETESB**.

4.1.3.3.2. Realización del montaje para el ensayo toxicológico con las muestras ambientales.

Simultáneamente, se realizaron dos ensayos toxicológicos por cada punto de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.

La batería de ensayos consta de un estante de seis entrepaños, en cada entrepaño se contemplan cuatro replicas o peceras respectivamente con cinco especies *trucha arcoíris* (**Ver imagen 4**), a las que se transfieren las muestras ambientales de los seis puntos de muestreo de la cuenca alta a diferentes concentraciones: muestra de control, 20,40, 60, 80, y 100% (**Ver tabla 12**). Terminado el montaje se cubrió completamente el estante con un plástico de polietileno transparente que permitia el paso de luz, mantenía el agua libre de partículas, vapores orgánicos volátiles, evitara la muerte involuntaria de los alevinos por su comportamiento natural de saltar e impidiera la evaporación del agua; esto con el fin de no alterar eventualmente las condiciones del ensayo. Finalmente se registró la mortalidad a lo largo del tiempo de exposición en las respectivas cartas de control (**Ver anexo D**), con observaciones a las 3, 6, 24, 48, 76 y 96 horas.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

A continuación en la **tabla 12**, se presentan los volúmenes empleados para preparar las soluciones de los seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.

Tabla 12. Volúmenes para preparar las soluciones de la cuenca alta del río Bogotá.

CONCENTRACIÓN (%)	Volumen de agua de la cuenca alta. (ml)	Volumen de agua para la dilución. (ml)
20	400	1600
40	800	1200
60	1200	800
80	1600	400
100	2000	0

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación en la **imagen 4**, se presenta el montaje de las baterías de ensayo para realizar las pruebas toxicológicas con la especie trucha arcoíris en los seis puntos de muestreo, en las instalaciones del laboratorio de bioensayos del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (PIAS) de la universidad de la Salle.

Imagen 4. Batería de ensayos para pruebas de toxicidad con peces.



Fuente: Las Autoras, 2013.



4.1.4. FASE IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.4.1. Recopilación de la Información Fisicoquímica.

Para recopilar la información fisicoquímica del área de estudio, fue necesario caracterizar en los seis puntos de muestreo y solicitar la información de los parámetros fisicoquímicos monitoreados en los últimos cinco años (2008, 2009, 2010, 2011, 2012) ante el laboratorio ambiental de la Corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR).

Lo anterior, para comparar y evaluar el comportamiento de los parámetros como: *DBO*, *DQO*, *pH*, *Oxígeno Disuelto*, *Conductividad*, *Nitratos*, *Fosfatos*, *Sólidos Suspendidos*, *Dureza* y establecer los niveles críticos de toxicidad en los puntos de muestreo.

4.1.4.2. Determinación de la CL_{50-96}

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas de bioensayos con la especie bioindicadora trucha arcoíris, es decir el porcentaje de mortalidad, se efectuó el análisis estadístico con el método PROBIT (**Ver anexo E**) para hallar la CL_{50-96} y el análisis de varianza con el método ANOVA (**Ver anexo F**) en los puntos de monitoreo previamente mencionados.

De igual forma, se comparan los resultados obtenidos de las concentraciones letales de las especies *Daphnia magna*, *Daphnia pulex*¹⁹ y *Lactuca sativa*²⁰ de las pruebas toxicológicas realizadas en el laboratorio de bioensayo de la universidad de la Salle para los puntos de monitoreo del presente estudio. Lo anterior, con el fin de elaborar el

¹⁹ Cardenas, Oscar, Arias, Rafael. (2010). Determinación de la toxicidad aguda en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del rio Bogotá, mediante bioensayos con organismos *Daphnia magna* y *Daphnia pulex*. Tesis, Universidad de La Salle, Cundinamarca, Bogotá D.C

²⁰ Melo Vanegas, Diana, Soler Manrique, Cindy. (2012). Determinación de la concentración de inhibición media (CL_{50-120}) en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del rio Bogotá, mediante ensayos de toxicidad con semillas *Lactuca sativa* L. Tesis, Universidad de La Salle, Cundinamarca, Bogotá D.C.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

mapa toxicológico de la cuenca alta y establecer el nivel de toxicidad de acuerdo con el valor de la concentración letal media en unidades Probit y por ende determinar la influencia de este valor sobre el ecosistema acuático (**Ver tabla N° 13**).

Tabla 13. Criterios de clasificación de toxicidad en el agua según la concentración letal media CL₅₀₋₉₆.

NIVEL DE TOXICIDAD	TOXICIDAD ESPECIFICA	VALOR CL ₅₀₋₉₆ %	Influencia sobre el Ecosistema Acuático
Baja	Baja Baja	100-90	PERMITE EL DESARROLLO DE VIDA ACUÁTICA
	Baja Media	89-79	
	Baja Alta	78-68	
Media	Media Baja	67-57	LIMITA EL DESARROLLO DE VIDA ACUÁTICA
	Media Media	56-46	
	Media Alta	45-35	
Alta	Alta Baja	34-24	DIFICULTA EL DESARROLLO DE VIDA ACUÁTICA
	Alta Media	23-13	
	Alta Alta	<13	

Fuente: Escobar Malaver Pedro Miguel, 1998.

4.1.4.3. Elaboración del Concepto Técnico

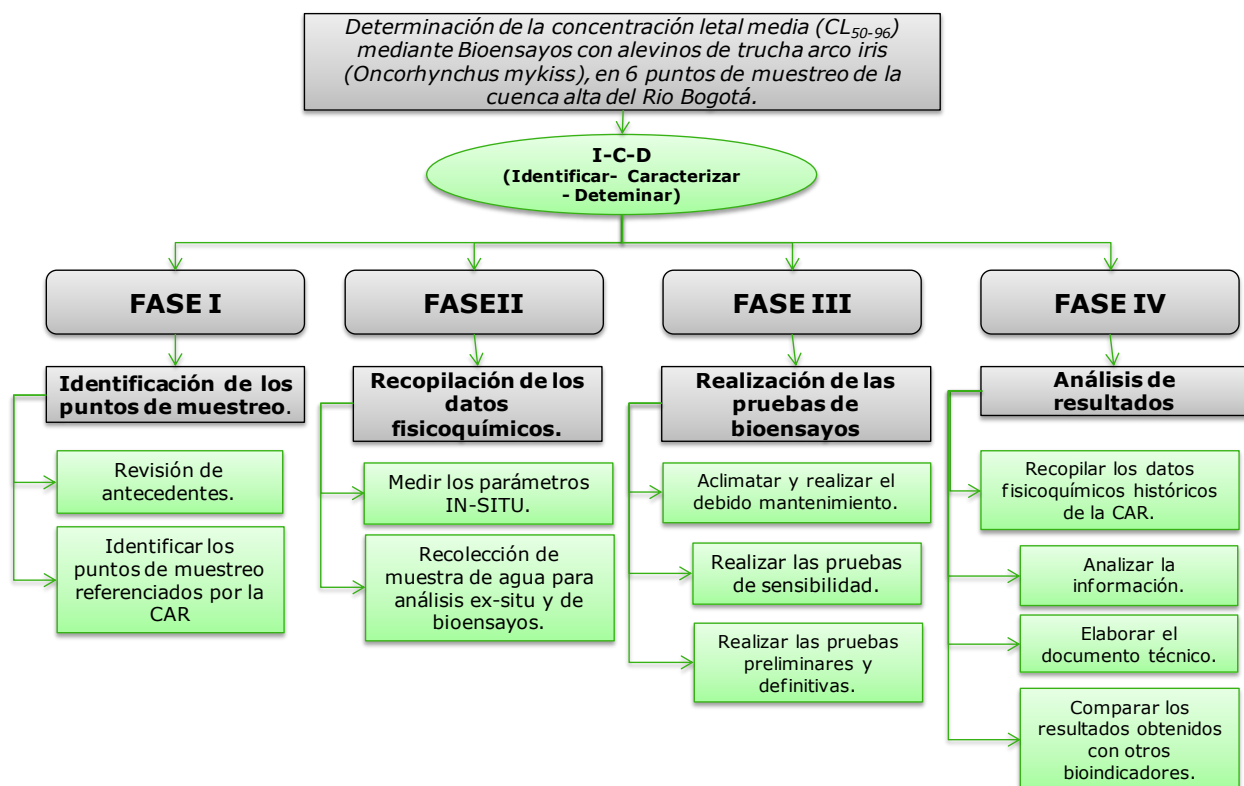
Con los resultados fisicoquímicos analizados en el laboratorio (PIAS), la caracterización de las aguas en los puntos seis de muestreo y el reporte de los parámetros fisicoquímicos en últimos cinco años emitidos por el laboratorio ambiental de la CAR, se analizó la información con los datos obtenidos en los ensayos de toxicidad aguda (CL₅₀) con las especies bioindicadoras *Trucha arcoíris*, *Daphnia magna*, *Daphnia pulex* y *Lactuca Sativa* con el fin de emitir el concepto *íntegro* del estado eco toxicológico de la cuenca alta del rio Bogotá.

A continuación se presenta el diagrama general de las actividades realizadas en las fases I- II- III y IV para el desarrollo de la metodología del presente trabajo.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Diagrama 5. Desarrollo de la Metodología para las fases I-II-III-IV.



Fuente: Las Autoras, 2013.

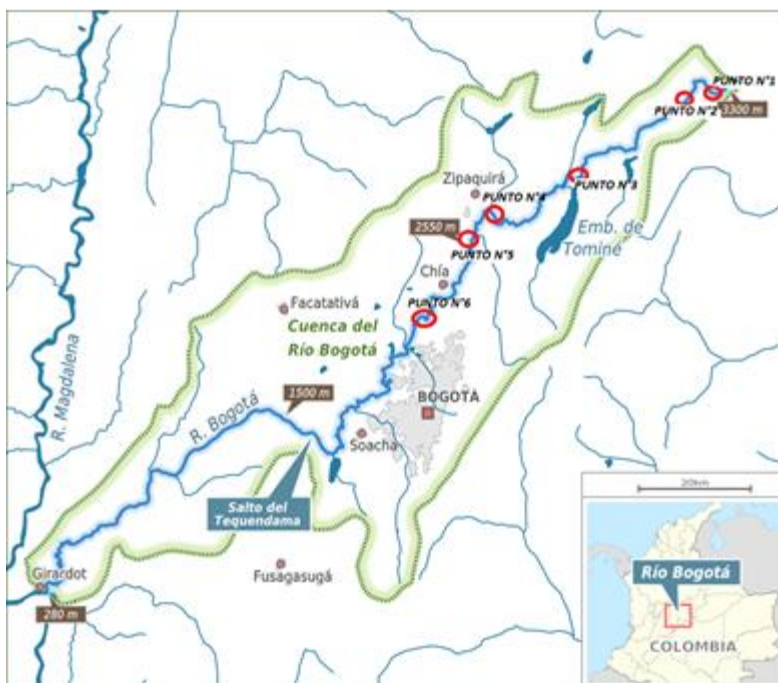


5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DE CAMPO

Delimitada y georeferenciada el área de estudio en la cuenca alta del río Bogotá (**Ver Ilustración 6 y tabla 14**), mencionada en la **Fase I**, se compilan los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados **In-situ** y se describe la zona de los respectivos puntos de muestreo, como se muestra a continuación:

Ilustración 6. Ubicación de los puntos de muestreo en la Cuenca Alta del Río Bogotá.



Fuente: Las Autoras, basadas en información Cartográfica del IGAC, 2013.

A continuación en la **tabla N° 14**, se presentan las coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo de la corporación autónoma regional de Cundinamarca, referenciadas para la ubicación en campo.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 14. Coordenadas geográficas de los puntos de Muestreo.

PUNTO	NOMBRE ESTACION	MUNICIPIO	COORDENADAS
1	Puente Villapinzón	Villapinzón	05° 13' 20" Norte 73° 35' 53" Oeste
2	Chingacio	Vereda Chingacio-Villapinzón	05° 11' 39" Norte 73° 37' 34" Oeste
3	Achury	Sesquile	05° 03' 31" Norte 73° 48' 28" Oeste
4	El Espino	Zipaquirá	04° 59' 44" Norte 73° 58' 28" Oeste
5	Puente Vargas	Cajicá	04° 50' 05" Norte 74° 06' 14" Oeste
6	Puente La Virgen	Cota	04° 48' 07" Norte 74° 05' 56" Oeste

Fuente: Corporación Autónoma regional de Cundinamarca, 2010.

5.1.1. PUNTO N° UNO: ESTACIÓN PUENTE VILLAPINZÓN

Descripción de la zona de muestreo: Basados en el plan de muestreo (**Ver anexo A**) y en la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM; se tomó una muestra de agua superficial aguas arriba del Municipio de Villapinzón, sobre el cauce del río Bogotá, específicamente en el punto georeferenciado por la CAR (**Ver tabla 14**).

La muestra fue extraída en una zona residencial con predominancia de vegetación Bosque Primario – Altoandino, Rastrojo – Matorral y vegetación de paramo (CAR, 2006). La muestra de agua fue tipo puntual según criterio de la CAR; en la toma de muestreo no se percibió olores ofensivos, ni iridiscencia en el cuerpo de agua.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación en la **tabla 15**, se presentan los resultados obtenidos de las mediciones de los parámetros ***In-situ***: *Temperatura del agua, pH, OD, conductividad, Sólidos Sedimentables y Turbidez*.

Tabla 15. Resultados en Campo, Estación Puente Villapinzón.

Punto N°1 Estación Puente Villapinzón		
Coordenadas	Latitud	05° 13' 20" Norte
	Longitud	73° 35' 53" Oeste
Municipio	Villapinzón	
Departamento	Cundinamarca	
Fecha	2/9/2012	
Hora	11:45 am	
Resultados en campo		
Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura	12.2	°C
pH	6.73	Und
OD	6.29	mg/L
Conductividad	20	µs/cm
Sólidos Sedimentables	0.01	mg/L.h
Turbidez	13.09	NTU

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación se muestra el registro fotográfico como evidencia de las actividades realizadas en campo: ***Estación N° Uno: Puente Villapinzón.***



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Imagen 5. Río Bogotá, aguas arriba del Municipio de Villapinzón



Fuente: Las Autoras, 2013.

Imagen 6. Toma de muestra para análisis de laboratorio, recolectada en botella de vidrio color ámbar.



Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 7. Medición de Oxígeno disuelto en de la muestra de agua mediante el Oxímetro.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 8. Medición de pH, Conductividad y Temperatura del agua con el Multiparametro

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.



Imagen 9. Purga del recipiente utilizado para la recolección de muestras de agua utilizadas en las pruebas toxicológicas.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 10. Toma de muestra para las pruebas toxicológicas

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 11. Aplicación del preservante (HCl para Grasas y aceites y H_2SO_4 para DQO) en muestras de agua.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 12. Toma de muestras del Rio Bogotá, en la estación Puente Villapinzón.

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.



Imagen 13. Datos de coordenadas geográficas, estación puente Villapinzón, con GPS.

Fuente: Las Autoras, 2013.

5.1.2. PUNTO N° DOS: ESTACIÓN CHINGACIO

Descripción de la zona de muestreo: Basados en el plan de muestreo (**Ver anexo A**) y en la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM; se tomó una muestra de agua superficial aguas abajo del Municipio de Villapinzón, sobre el cauce del río Bogotá, específicamente en el punto georeferenciado por la CAR (**Ver tabla 14**). La muestra fue extraída en una zona residencial con predominancia de vegetación Bosque Primario – Alto andino, Rastrojo – Matorral y vegetación de paramo (CAR, 2006).

La técnica de muestreo fue tipo manual; al recolectar la muestra ambiental se percibió olores ofensivos, debido a que en esta zona se encuentra la mayoría de curtiembres; se observó vertimientos de aguas residuales domésticas descargadas directamente al cuerpo de agua, debido a que este municipio no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

A continuación en la **tabla 16**, se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos de las mediciones realizadas en el agua superficial, entre ellas: *Temperatura del agua*, *pH*, *OD*, *Turbidez*, *Sólidos Sedimentables* y *conductividad*.

Tabla 16. Resultados en Campo, Estación Chingacio.

Punto N°2 Estación Chingacio		
Coordenadas	Latitud	05° 11' 39" Norte
	Longitud	73° 37' 34" Oeste
Municipio	Villapinzón- Vereda Chingacio	
Departamento	Cundinamarca	
Fecha	2/9/2012	
Hora	2:28 p.m.	
Resultados en Campo		
Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura	13	°C
pH	7.07	und
OD	5.05	mg/L
Conductividad	122	µS/cm
Sólidos Sedimentables	0.5	mg/L.h
Turbidez	15.81	NTU

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación se presenta el registro fotográfico como evidencia de las actividades realizadas en campo: **Estación N° Dos: Vereda Chingacio.**



Imagen 14. Identificación del lugar de muestreo, estación Chingacio.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 15. Medición de turbidez en la muestra de agua superficial y demás parámetros físicoquímicos

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 16. Adición de preservantes a las muestras de agua superficial, para el análisis de laboratorio

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 17. Muestras de agua superficial del Río Bogotá, estación Chingacio.

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.



Imagen 18. Medición de oxígeno disuelto en la muestra de agua superficial de la estación Chingacio.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 19. Toma de muestra para el análisis de grasas y aceites, en un recipiente de boca ancha y de vidrio.

Fuente: Las Autoras, 2013.

5.1.3. PUNTO N° TRES: ESTACIÓN ACHURY

Descripción de la zona de muestreo: Basados en el plan de muestreo (**Ver anexo A**) y en la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM; se tomó una muestra de agua superficial aguas abajo del municipio de Sesquile, sobre el cauce del río Bogotá, específicamente en el punto Georeferenciado por la CAR (**Ver tabla 14**). La muestra fue extraída en una zona residencial con predominancia de vegetación Bosque Primario – Altoandino, Rastrojo – Matorral, Vegetación de Páramo (CAR, 2006).

La técnica de muestreo fue tipo manual; al recolectar la muestra ambiental no se persibió olores ofensivos, se observó en los alrededores cultivos de flores y siembras de papa y la construcción de la industria manufacturera papeles y corrugados Andina S.A.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

En el recorrido por el tramo, se observaron vertimientos posiblemente de aguas residuales domésticas provenientes del municipio de Sesquile, descargadas directamente al río Bogotá por la ausencia de una PTAR.

A continuación en la **tabla 17**, se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos de las mediciones realizadas directamente en el cuerpo de agua, entre ellas: *Temperatura del agua, pH, OD, Turbidez, Sólidos Sedimentables y conductividad*.

Tabla 17. Resultados de Campo, Estación Achury.

Punto N°3 Estación Achury		
Coordenadas	Latitud	05° 03' 31" Norte
	Longitud	73° 48' 28" Oeste
Municipio	Sesquilé	
Departamento	Cundinamarca	
Fecha	2/9/2012	
Hora	4:38 p.m.	
Resultados en Campo		
Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura	13.8	°C
pH	6.57	und
OD	4.22	mg/L
Conductividad	70	µS/cm
Sólidos Sedimentables	0.3	mg/L.h
Turbidez	30.25	NTU

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación se presenta el registro fotográfico como evidencia de las actividades realizadas en campo: **Estación N° tres: Achury.**



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.



Imagen 20. Identificación del lugar de muestreo estación Achury.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 21. Equipos de campo para medición de parámetros. Multiparametro, Turbidímetro y Oxímetro

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 22. Agua desionizada para lavado de electrodos de los equipos antes de cada medición

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 23. Medición de parámetros *In-situ*.

Fuente: Las Autoras, 2013.



5.1.4. PUNTO N°CUATRO: ESTACIÓN EL ESPINO

Descripción de la zona de muestreo: Basados en el plan de muestreo (**ver anexo A**) y en la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM; se tomó una muestra de agua superficial sobre el cauce del río Bogotá a la altura del municipio de Zipaquirá Cundinamarca. La ubicación de esta estación sobre el río representa un lugar seguro para realizar las mediciones en condiciones apropiadas y de fácil acceso.

Teniendo en cuenta las observaciones detalladas por las autoras del presente trabajo respecto al sitio de muestreo, se evidencio que:

- No se percibió olores ofensivos
- Aguas arriba de la ubicación de la estación de monitoreo existen zonas de cultivo.
- Predomina la vegetación arbórea y matorral boscoso con amplias praderas dedicadas al pastoreo.
- Se encuentran viviendas rurales cercanas a las laderas del río.
- Las condiciones meteorológicas presentes durante el desarrollo de la salida de campo fue realizada en un periodo lluvioso precedente bastante largo por lo que el caudal del río Bogotá estaba alto.

A continuación en la **tabla 18**, se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos de la medición *In situ*, estación de monitoreo el espino (Zipaquirá).



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 18. Resultados Parámetros fisicoquímicos medición *In situ*, estación de monitoreo el espino.

Punto N°4 El Espino		
Coordenadas	Latitud	04° 59' 44" Norte
	Longitud	73° 58' 28" Oeste
Municipio	Zipaquirá	
Departamento	Cundinamarca	
Fecha	30/9/2012	
Hora	10:07 a.m.	
Resultados en campo		
Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura	25	°C
pH	6,78	und
OD	5	mg/L
Conductividad	103	µS/cm
Solidos Sedimentables	0,1	mg/L.h
Turbidez	28,7	NTU

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación se presenta el registro fotográfico del punto de muestreo y la realización de los parámetros *In situ*, estación el espino Zipaquirá.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.



Imagen 24. Rio Bogotá, aguas arriba del Municipio de Zipaquirá.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 25. Medición Oxígeno Disuelto, muestra de agua, estación el espino Zipaquirá.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 26. Recolección de muestras, estación el Espino.

Fuente: Las Autoras, 2013.



5.1.5. PUNTO N° CINCO: ESTACIÓN PUENTE VARGAS

Descripción del punto de muestreo: Basados en el plan de muestreo (**Ver anexo A**) y en la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM; se tomó una muestra de agua superficial sobre el cauce del río Bogotá a la altura del municipio de Cajicá Cundinamarca. Este lugar ofrece facilidad de acceso al cauce y facilidad en las actividades de muestreo. Las actividades de muestreo se realizaron aguas abajo del puente vehicular.

Aguas arriba de este sitio confluyen el río Negro y el río Teusacá. En el reconocimiento en campo, se observó que en este tramo ingresan las descargas industriales de Refisal y productos Familia, así como las descargas de varios invernaderos al Río.

A continuación en la **tabla 19**, se presentan los resultados de la caracterización *In situ*, estación de monitoreo puente Vargas (Cajicá).

Tabla 19. Resultados parámetros fisicoquímicos medición *In situ*, estación de monitoreo Puente Vargas.

Punto N°5 Puente Vargas		
Coordenadas	Latitud	04° 50' 05" Norte
	Longitud	74° 06' 14" Oeste
Municipio	Cajicá	
Departamento	Cundinamarca	
Fecha	30/9/2012	
Hora	3:17 p.m.	
Resultados en campo		
Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura	25	°C
pH	6,68	Unid
OD	2	mg/L
Conductividad	382	µS/cm
Solidos Sedimentables	0,1	mg/L.h
Turbidez	38.1	NTU

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación se presenta el registro fotográfico del punto de muestreo y medición de los parámetros *In situ*, estación Puente Vargas, Cajicá.



Imagen 27. Río Bogotá, aguas abajo del Municipio de Cajicá.

Fuente: Las Autoras, 2013



Imagen 28. Río Bogotá aguas abajo del Municipio de Cajicá.

Fuente: Las Autoras, 2013



Imagen 29. Recolección de muestras de agua, estación Puente Vargas, Cajicá.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 30. Medición de Sólidos sedimentables, estación Puente Vargas.

Fuente: Las Autoras, 2013.



5.1.6. PUNTO N°SEIS: ESTACIÓN PUENTE LA VIRGEN

Descripción del punto de muestreo: Basados en el plan de muestreo (**Ver anexo A**) y en la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM; se tomó una muestra de agua sobre el cauce del río Bogotá a la altura del municipio de Cota Cundinamarca, aguas arriba del puente vehicular. La ubicación de esta estación sobre el río representa un lugar en el que se puede realizar una medición en condiciones apropiadas y de fácil acceso.

Teniendo en cuenta las observaciones detalladas por las autoras del presente trabajo, alrededor de la zona se encuentra un gran número de condominios y viviendas residenciales cercanas a la cabecera municipal; se observó aguas arriba del puente vehicular descargas posiblemente de aguas residuales domésticas evidenciadas en la *imagen 33*. Predomina la vegetación arbórea en los costados del río.

Los resultados expresados en la **tabla 20**, hacen referencia a la medición *In situ* de los parámetros fisicoquímicos, estación de monitoreo puente la virgen (Cota).

Tabla 20. Resultados parámetros fisicoquímicos de la medición In situ, estación Puente la virgen.

Punto N°6 Puente La Virgen		
Coordenadas	Latitud	04° 48' 07" Norte
	Longitud	74° 05' 56" Oeste
Municipio	Cota	
Departamento	Cundinamarca	
Fecha	30/9/2012	
Hora	4:45 p.m.	
Resultados en campo		
Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura	25	°C
pH	6,67	Unid
OD	1	mg/L
Conductividad	241	μS/cm
Solidos Sedimentables	0,1	mg/L.h
Turbidez	44,1	NTU

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación se presenta el registro fotográfico del punto de muestreo y la medición de parámetros *In situ*, estación Puente la virgen, cota.



Imagen 31. Análisis de Oxígeno Disuelto estación de monitoreo Puente la virgen- Cota.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 32. Vista panorámica del punto de muestreo, estación Puente la virgen-Cota.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 33. Recolección de muestras estación Puente la virgen-Cota.

Fuente: Las Autoras, 2013.



Imagen 34. Ubicación del punto de monitoreo, debajo del puente vehicular.

Fuente: Las Autoras, 2013.



5.2. RESULTADOS ENSAYOS DE TOXICIDAD

5.2.1. ENSAYOS DE SENSIBILIDAD CON DICROMATO DE POTASIO

Para determinar el grado de sensibilidad de la trucha arcoíris, en términos de CL_{50-96} , se utilizó como toxico de referencia Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$), debido a:

- La alta toxicidad que presenta por el cromo hexavalente (es cancerígeno en los humanos, puede dañar el ADN e inducir a mutaciones genéticas).
- Se ha implementado por la **CETESB** (Brasil)²¹ para el análisis de pruebas de sensibilidad como patrón primario y realización de pruebas de toxicidad aguda.
- Se ha trabajado en grupos de investigación del laboratorio de Bioensayos del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle y los resultados obtenidos en el presente trabajo comparados con los resultados de los estudios se encontraron dentro de los rangos estipulados.

5.2.1.1. Relación Dosis - Respuesta para los ensayos de Sensibilidad con Dicromato de Potasio.

Una vez elegido como patrón primario el Dicromato de Potasio, se realizaron las pruebas de sensibilidad en las instalaciones del laboratorio de bioensayos del programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad de la Salle.

A partir de los resultados obtenidos al termino de los ensayos toxicológicos con la especie “*trucha arcoíris*”, se graficó la curva dosis - respuesta con los porcentajes de

²¹ Norma: CETESB/ L5.017. Analise estatística de resultados de testes de toxicidade de aguda: procedimento.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

mortalidad y las respectivas concentraciones (20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm y 100 ppm) (**Ver tabla 21 y tabla 22**).

Tabla 21. Resultados pruebas de sensibilidad ensayo N°1 para la especie Bioindicadora Trucha Arcoíris.

PRUEBAS DE SENSIBILIDAD N°1						
CONCENTRACIÓN (ppm)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	1	0	1	2	10
20	0	0	0	0	0	0
40	0	2	1	2	5	25
60	1	1	3	2	7	35
80	5	4	3	4	16	80
100	5	5	5	5	20	100

Fuente: Las Autoras ,2013.

Tabla 22. Resultados pruebas de sensibilidad ensayo N°2 sobre la especie Bioindicadora Trucha Arcoíris.

PRUEBAS DE SENSIBILIDAD N°2						
CONCENTRACIÓN (ppm)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	1	1	5
20	0	2	0	1	3	15
40	0	2	1	2	5	25
60	1	0	5	1	7	35
80	5	5	3	3	16	80
100	5	5	5	5	20	100

Fuente: Las Autoras, 2013.

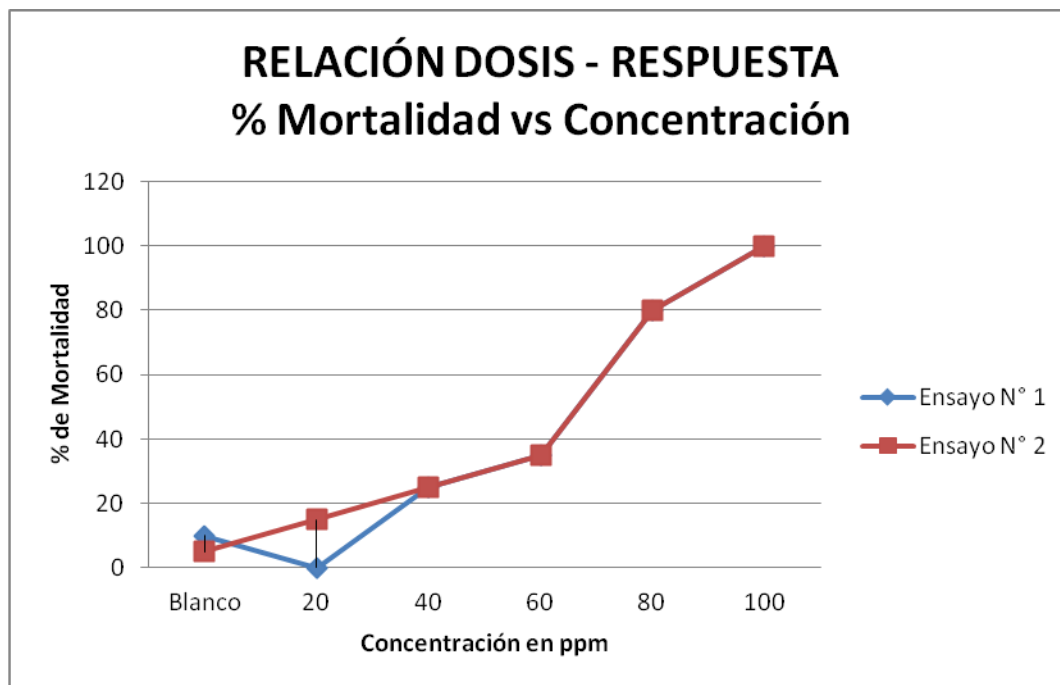
Con los porcentajes de mortalidad para cada una de las concentraciones, se observa una relación directamente proporcional ya que a medida que aumenta la concentración del toxico, aumenta la tasa de mortalidad de la especie bioindicadora; para ambos ensayos se evidenció que la concentración de 100 ppm generó la mortalidad total de los individuos *trucha arcoíris*, corroborando el efecto producido.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación en el **Grafico 1**, se observa el comportamiento *Dosis – Respuesta* de las pruebas de sensibilidad para la especie bioindicadora con el toxico referencia (*Dicromato de Potasio*).

Grafico 1. Relación Dosis – Respuesta de las pruebas de sensibilidad con Dicromato de potasio para el ensayo 1 y 2.



Fuente: Las Autoras, 2013.

5.2.1.2. Análisis PROBIT para las pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio.

Con los resultados obtenidos en las pruebas de sensibilidad (*Ver tabla 21 y 22*), se determinó la concentración letal media (CL_{50-96}) (*Ver tabla 23*), implementado en el programa estadístico Probit (*Ver anexo E*) y el análisis de varianza Anova (*Ver anexo F*).



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 23. Concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para las pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio.

	Análisis PROBIT			Análisis de varianza ANOVA	
Pruebas de Sensibilidad	CL_{50-96} (mg/L)	Límite Superior	Límite Inferior	F Calculado	F Teórico
N° 1	62.2513	70.0938	51.5622	33.60	2.77
N° 2	68.9500	75.5243	59.2875	10.42	
Promedio	65.600	72.809	55.424	22.01	

Fuente: Las Autoras, 2013.

Con el fin de verificar la veracidad del resultado obtenido en las pruebas de sensibilidad con la especie ensayada, se compararon los resultados de investigaciones desarrolladas en el laboratorio de bioensayos del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (PIAS) de la universidad de la Salle (**Ver tabla 24**).

Tabla 24. Resultados pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio de investigaciones realizadas en el laboratorio de bioensayos del programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad de La Salle.

AÑO	REFERENCIA	INVESTIGADORES	CL_{50-96}
2008	Determinación de CL_{50-96} de Cadmio y Aluminio mediante bioensayos con alevinos de Trucha Arcoíris.	Oscar Bernal Ángela Grijalba	56.43 mg/L
2008	Determinación de CL_{50-96} del Glifosato por medio de bioensayos utilizando alevinos de Trucha Arcoíris.	Patricia Barros Wilmar Gámez	54.07 mg/L
2008	Determinación de CL_{50-96} del Plomo y Níquel por medio de bioensayos sobre alevinos de Trucha Arcoíris.	Paula Ortiz Julián Agudelo	52.21 mg/L
2008	Determinación de CL_{50-96} de Mercurio y Cromo utilizando alevinos de Trucha Arcoíris.	Alejandra Duran Viviana Matías	55.98 mg/L
	Determinación de CL_{50-96} de Cobre y Zinc mediante pruebas	Juan Barreto	59.70 mg/L



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

2009	toxicológicas utilizando alevinos de Trucha Arcoíris.	Guillermo Peralta	
2009	Determinación de CL_{50-96} de Cianuro por medio de bioensayos sobre alevinos de Trucha Arcoíris.	Lenny Sánchez Aura Andrade	52.39 mg/L
2010	Determinación de CL_{50-96} de Plata mediante pruebas toxicológicas utilizando alevinos de Trucha Arcoíris.	Angélica Ramírez	48.83 mg/L
2010	Determinación de CL_{50-96} del Aluminio mediante pruebas toxicológicas utilizando alevinos de Trucha Arcoíris.	Ana Corpus	52.66 mg/L
2010	Determinación de CL_{50-96} de Hierro y Manganeseo mediante bioensayos utilizando alevinos de Trucha Arcoíris	Jenny Vásquez Daniel Calderón	49.21 mg/L
2010	Determinación de CL_{50-96} de Boro y Selenio sobre alevinos de Trucha Arcoíris mediante bioensayos.	Yulie Rivera Diana Molina	53.40 mg/L
2011	Determinación de la CL_{50-96} de Litio y Yodo sobre alevinos de Trucha Arcoíris mediante bioensayos de toxicidad aguda	Gina Garzón Jaime Hernández	54.39 mg/L
2013	Determinación de la CL_{50-96} , mediante bioensayos con alevinos de Trucha Arcoíris (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>), en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.	Sandra Flórez Carol Bejarano	65.600 mg/L

Fuente: Las Autoras, 2013.

Al comparar los resultados (**Ver tabla 23 y 24**), se observa que la concentraciones letales medias (CL_{50-96}) están en un rango de 50 ppm a 80 ppm.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Para la especie trucha arcoíris se determinó una **$CL_{50-96} = 65.6 \text{ mg/L}$** , verificando la confiabilidad de los datos e indicando la sensibilidad y capacidad de respuesta que tiene la especie bioindicadora frente al toxico referencia.

Tabla 25. Resultados de CL_{50-96} en ensayos de sensibilidad realizados en investigaciones internacionales.

AÑO	REFERENCIA	CL_{50-96}
2007	Programa de monitoreo ecotoxicológico de los efluente industriales en el rio cruces. Chile.	72.7 mg/L
2007	Niveles de toxicidad de químicos usados en operaciones de inmunizado. USA.	69.0 mg/L
2008	Estudio de adsorción para Cr (VI) utilizando chacay (ulexeuropaeus) como carbón activo cubierto con quitosan. Chile.	60.0 mg/L

Fuente: (Molina Trujillo & Rivera Hoyos, 2010)



5.2.1.3. Análisis de varianza ANOVA para las pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio.

A partir de los protocolos del análisis de varianza ANOVA (**Ver anexo F**), se definen las siguientes hipótesis:

Tabla 26. Hipótesis del análisis de varianza ANOVA.

Hipótesis nula (H_0)	Las diferentes concentraciones producen el mismo efecto en todos los organismos.
Hipótesis alternativa (H_1)	Las diferentes concentraciones producen un efecto diferente en todos los organismos.
Si	
Factor calculado (F_c) > Factor teórico (F_t)	Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.
Factor calculado (F_c) < Factor teórico (F_t)	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Fuente: Las autoras, 2013.

De acuerdo a la **tabla 26**, los resultados obtenidos (**Ver tabla 23**), se afirma que el factor calculado es *mayor* que el factor teórico ($F_c = 22.01 > F_t = 2.77$), es decir, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, mostrando que las diferentes concentraciones producen un efecto diferente en los organismos expuestos (**Ver Gráfico 1**).



5.2.2. PRUEBAS DE TOXICIDAD EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTA

Para llevar a cabo las pruebas de toxicidad, se seleccionaron seis estaciones de monitoreo de la cuenca alta del río Bogotá referenciadas por la CAR (**Ver tabla 14**), empleando como organismo de prueba trucha arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*).

Las pruebas realizadas para el presente estudio se desarrollaron con base en los protocolos establecidos por el laboratorio de bioensayos del programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad de La Salle, puestas en práctica en anteriores investigaciones. Los valores de las concentraciones (20%, 40%, 60%, 80% y 100% blanco) fueron establecidos según la CETESB (Brasil)²² y la EPA.

Para obtener resultados representativos, se realizaron simultáneamente dos ensayos toxicológicos con las muestras ambientales de cada punto de muestreo.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas toxicológicas y el análisis de los métodos estadísticos utilizados para determinar la concentración letal media (CL_{50-96}) en los seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.

PUNTO DE MUESTREO N° UNO: ESTACIÓN PUENTE VILLAPINZÓN (MUNICIPIO VILLAPINZÓN).

5.2.2.1.1. Relación Dosis- Respuesta para el punto de muestreo N° 1: Estación Puente Villapinzón.

De los resultados obtenidos en los ensayos de toxicidad para el punto de muestreo (Estación Puente Villapinzón), se observa que la tasa de mortalidad no fue significativa, debido a que el mayor número de muertes de la especie bioindicadora fue de dos

²² Norma: CETESB/ L5.017. Análisis estadística de resultados de testes de toxicidad de aguda: procedimiento.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

organismos a una concentración del 100% y un organismo a una concentración del 60% (**Ver tabla 27 y 28**), indicando que la especie presenta un sistema inmune tolerante, que permite desarrollarse en el ecosistema acuático del cuerpo de agua.

Tabla 27. Resultados pruebas de toxicidad para el ensayo N°1, del punto muestreo N° 1, estación Puente Villapinzón – Municipio de Villapinzón.

PUNTO N°1 (Primer Ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	1	0	0	0	1	5
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	2	0	2	10

Fuente: Las Autoras, 2013.

Tabla 28. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de muestreo N° 1, estación Puente Villapinzón – Municipio de Villapinzón.

PUNTO N°1 (Segundo Ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	1	0	1	5
80	1	0	0	0	1	5
100	0	0	2	0	2	10

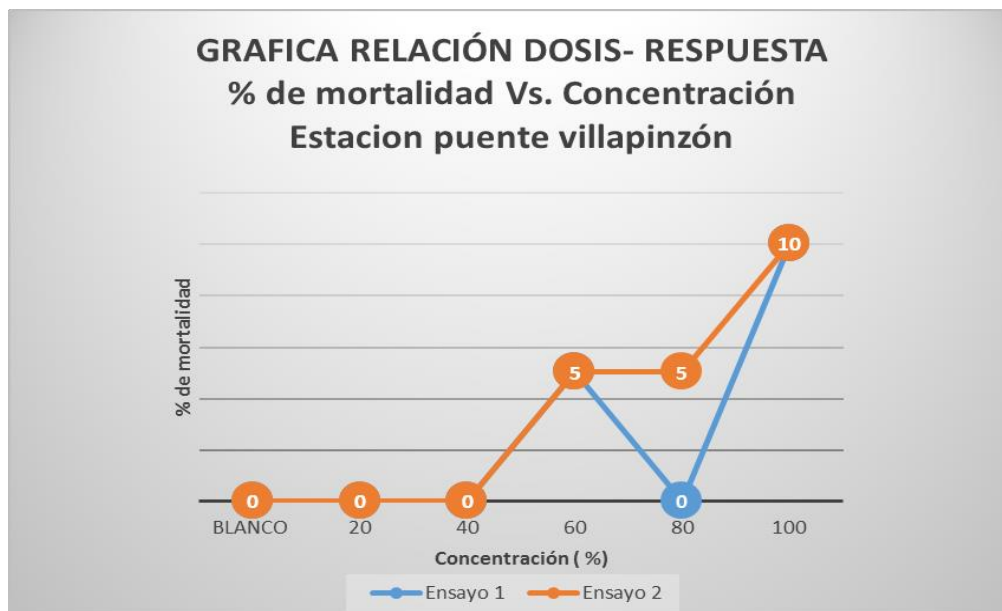
Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación en el **Gráfico 2**, se observa el comportamiento de la curva Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos realizados para la estación N°1: puente Villapinzón.

Grafico 2. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo N° 1, (estación puente Villapinzón).



Fuente: Las Autoras, 2013.

5.2.2.1.2. Análisis PROBIT para determinar la CL_{50-96} en el punto de muestreo N° 1: Estación puente Villapinzón.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de toxicidad para el punto de muestreo (**Ver tabla 27 y 28**), se determinó la concentración letal media CL_{50-96} (**Ver tabla 29**), implementado en el programa estadístico **PROBIT** (**Ver anexo E**) y el análisis de varianza **Anova** (**Ver anexo F**).



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

Tabla 29. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza ANOVA para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 1 (Estación Puente Villapinzón).

	Análisis PROBIT			Análisis de varianza ANOVA	
Pruebas de Toxicidad	CL_{50-96} (%)	Límite Superior	Límite Inferior	F Calculado	F Teórico
N° 1	415.9139	NON CALCOLABILE		0.84	2.77
N° 2	317.3549			0.67	
Promedio	366.63			0.75	

Fuente: Las Autoras, 2013.

De acuerdo a los resultados de la **tabla 29**, para este punto de muestreo se determinó una concentración letal media (CL_{50-96}) en unidades **PROBIT de 366.63%** con una confiabilidad del 95%(según método estadístico empleado), indicando una baja toxicidad en este punto de muestreo, permitiendo el desarrollo de vida acuática para la especie ensayada (**Ver tabla 13**).

5.2.2.1.3. Análisis de varianza ANOVA para el punto de muestreo N° 1: Estación puente Villapinzón.

Teniendo en cuenta la **tabla 26** y observando los resultados obtenidos (**Ver tabla 29**), se identificó que el factor calculado para nuestro caso es menor que el factor **teórico** ($F_c = 0.75 < F_t = 2.77$), esto se debe a que la tasa de mortalidad de la especie bioindicadora no fue representativa a la hora de hacer el análisis de varianza ANOVA, es decir el número de especies muertas no fue mayor a 3 individuos; lo que quiere decir que a menor tasa de mortalidad, menor va ser el factor calculado.

Lo anterior no significa que se acepte la hipótesis nula, puesto que al ver el **Gráfico 2** relación dosis – respuesta, se puede observar que a medida que aumenta la concentración el número de especies muertas aumenta, es decir que las diferentes concentraciones producen un efecto diferente en todos los organismos, por lo cual se acepta la hipótesis alternativa.



5.2.2.2. PUNTO DE MUESTREO N° 2 : ESTACIÓN CHINGACIO (VEREDA CHINGACIO- MUNICIPIO VILLAPINZÓN)

5.2.2.2.1. Relación Dosis- Respuesta para el punto de muestreo N° 2: Estación Puente Chingacio.

De los resultados obtenidos en los ensayos de toxicidad realizados para el punto de muestreo (*Estación Chingacio*), se observa que la tasa de mortalidad no fue significativa, debido que el mayor número de muertes de la especie bioindicadora fue de cinco organismos a una concentración del 100% (**Ver tabla 30 y tabla 31**), lo que indica que el organismo prueba tiene un sistema inmune tolerante, que le permite desarrollarse y sobrevivir en este cuerpo de agua.

Al comparar el porcentaje de mortalidad del punto número uno, con el porcentaje de mortalidad del punto número dos, se evidencia un aumento en la mortalidad de la especie bioindicadora debido a que este último presenta un mayor grado de contaminación generado por los vertimientos de las curtiembres y de las aguas residuales del municipio de Villapinzón.

Tabla 30. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de muestreo N° 2, estación Chingacio – Municipio de Villapinzón.

PUNTO N°2 (Primer Ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	1	0	0	0	1	5
60	0	1	1	0	2	10
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	2	2	4	20

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

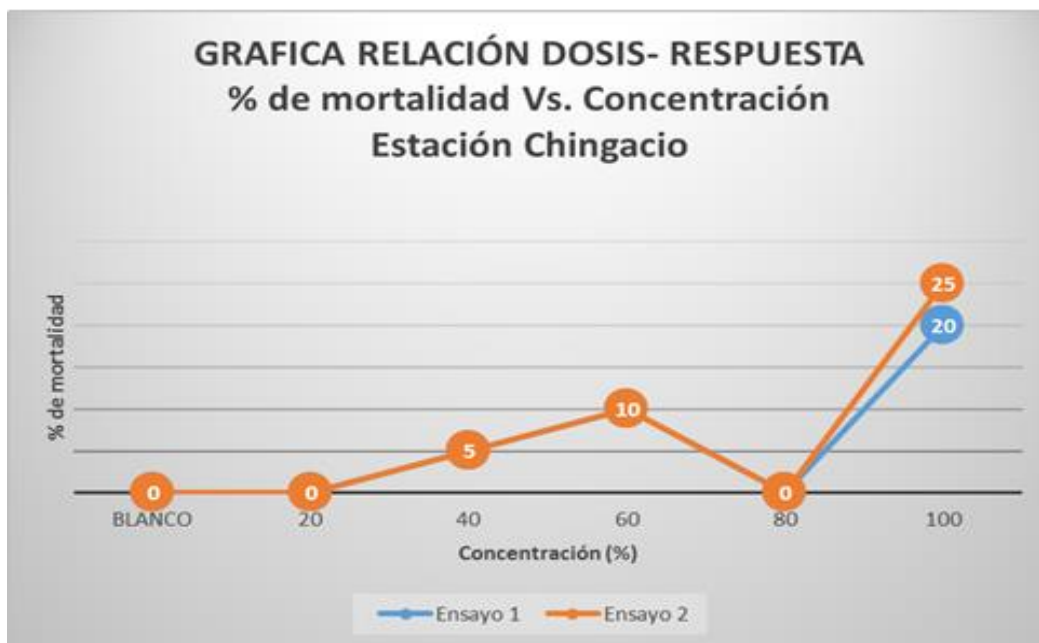
Tabla 31. Resultados de las pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto número dos, estación Chingacio – Municipio de Villapinzón.

PUNTO N°2 (Segundo Ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	1	0	1	5
60	0	1	1	0	2	10
80	0	0	0	0	0	0
100	1	2	1	1	5	25

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación en el **Gráfico 3**, se observa el comportamiento de la curva Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos realizados para la estación N° 2: Chingacio.

Grafico 3. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo N° 2 (estación Chingacio).



Fuente: Las Autoras, 2013.



5.2.2.2. Análisis PROBIT para determinar la CL_{50-96} en el punto de muestreo N° 2: Estación Chingacio.

Con los resultados obtenidos en los ensayos de toxicidad para el punto de muestreo (Ver *tabla 30 y 31*), se determinó la concentración letal media CL_{50-96} (Ver *tabla 32*), implementado en el programa estadístico Probit (Ver *anexo E*) y el análisis de varianza Anova (Ver *anexo F*).

Tabla 32. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 2 (Estación Chingacio).

	Análisis PROBIT			Análisis de varianza ANOVA	
Pruebas de Toxicidad	CL_{50-96} (%)	Límite Superior	Límite Inferior	F Calculado	F Teórico
N° 1	338.3493	*****	144.8825	2.01	2.77
N° 2	243.1407	*****	129.5454	6.96	
Promedio	290.74	*****	137.21	4.48	

Fuente: Las Autoras, 2013.

De acuerdo a los resultados de la *tabla 32*, para este punto de muestreo se determinó una concentración letal media (CL_{50-96}) en unidades **PROBIT de 290.74%** con una confiabilidad del 95% (según método estadístico empleado), indicando una baja toxicidad en el agua, que permite el desarrollo de vida acuática para la especie ensayada (Ver *tabla 13*).

5.2.2.2.3. Análisis de varianza ANOVA para el punto de muestreo N° 2: Estación Chingacio.

Teniendo en cuenta la *tabla 26* y observando los resultados obtenidos (Ver *tabla 32*), se afirma que el factor calculado es mayor que el factor teórico ($F_c = 4.48 > F_t = 2.77$), por ende se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que quiere decir que las diferentes concentraciones producen un efecto diferente en todos los organismos (Ver *Gráfico 3*).



5.2.2.3. PUNTO DE MUESTREO N° 3: ESTACIÓN ACHURY (MUNICIPIO SESQUILE).

5.2.2.3.1. Relación Dosis- Respuesta para el punto de muestreo N° 3 : Estación Achury.

De los resultados obtenidos en las pruebas de toxicidad realizadas para el punto de muestreo (Estación Achury), se observa que la tasa de mortalidad no fue significativa, debido a que el mayor número de muertes presentadas de la especie bioindicadora fue de tres organismos a una concentración del 100% (*Ver tabla 33 y tabla 34*), indicando que la especie ensayada tiene un sistema inmune tolerante, que le permite desarrollarse en este cuerpo de agua.

Tabla 33. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de monitoreo N° 3, estación Achury – Municipio de Sesquile.

PUNTO N°3 (Primer Ensayo) CONCENTRACIÓN (%)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	1	0	1	5
80	0	0	0	2	2	10
100	0	1	1	0	2	10

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

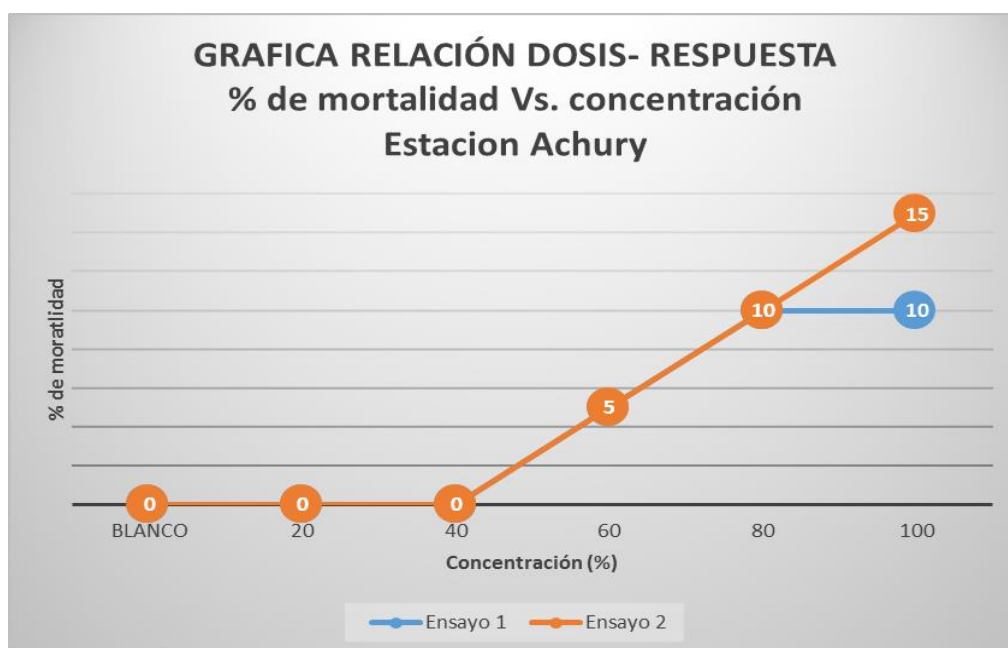
Tabla 34. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de monitoreo N° 3, estación Achury – Municipio de Sesquile.

PUNTO N°3 (Segundo Ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NÚMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	1	0	0	1	5
80	0	0	2	0	2	10
100	0	2	1	0	3	15

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación en el **Gráfico 4**, se observa el comportamiento de la curva Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos realizados para la estación N°3:Achury.

Grafico 4. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo número tres (estación Achury).



Fuente: Las Autoras, 2013.



5.2.2.3.2. Análisis PROBIT para determinar la CL_{50-96} en el punto de muestreo N° 3: Estación Achury.

Con los resultados obtenidos en los ensayos de toxicidad para el punto de muestreo (Ver **tabla 33 y 34**), se determinó la concentración letal media CL_{50-96} (Ver **tabla 35**), implementado en el programa estadístico Probit (Ver **anexo E**) y el análisis de varianza Anova (Ver **anexo F**).

Tabla 35. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 3 (Estación Achury).

	Análisis PROBIT			Análisis de varianza ANOVA	
Pruebas de Toxicidad	CL_{50-96} (%)	Límite Superior	Límite Inferior	F Calculado	F Teórico
N° 1	288.2139	*****	137.2925	0.915	2.77
N° 2	191.7331	*****	118.8534	1.107	
Promedio	239.97	*****	128.07	1.01	

Fuente: Las Autoras, 2013.

De acuerdo a los resultados citados en la **tabla 35**, para este punto de muestreo se determinó una concentración letal media (CL_{50-96}) en unidades **PROBIT de 239.97%** con una confiabilidad del 95%(según método estadístico empleado), indicando una baja toxicidad en el cuerpo de lo que permite el desarrollo de vida acuática para la especie ensayada (Ver **tabla 13**).

5.2.2.3.3. Análisis de varianza ANOVA para el punto de muestreo N° 3: Estación Achury.

Teniendo en cuenta la **tabla 26** y observando los resultados obtenidos (Ver **tabla 35**), se identificó que el factor calculado para nuestro caso es menor que el factor **teórico** ($F_c = 1.01 < F_t = 2.77$), esto se debe a que la tasa de mortalidad de la especie bioindicadora no fue representativa a la hora de hacer el análisis de varianza ANOVA,



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

es decir el número de especies muertas no supero a 3 individuos; lo que quiere decir que a menor tasa de mortalidad, menor va ser el factor calculado.

Lo anterior no significa que se acepte la hipótesis nula, ya que en el **Gráfico 4** relación dosis – respuesta, se observa una relación directamente proporcional, es decir a medida que aumenta la concentración el número especies muertas aumenta, produciendo un efecto diferente en todos los organismos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

5.2.2.4. PUNTO DE MUESTREO N° 4: ESTACIÓN EL ESPINO (MUNICIPIO ZIPAQUIRA)

5.2.2.4.1. Relación Dosis- Respuesta para el punto de muestreo N° 4: Estación el espino.

Como se observa en la **tabla 36 y 37**, se obtiene un 5% de mortalidad para la concentración del 80% y un 10% de mortalidad para la concentración del 100% en ambos ensayos, lo que indica que a medida que aumenta la concentración aumenta la tasa de mortalidad; igualmente se observa en la prueba 1 y 2 que solo al 15% de la especie bioindicadora el agente toxico le causo afectación.

Tabla 36. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de monitoreo N°4 estación el espino – Municipio de Zipaquirá.

Punto N° 4 (Primer ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	1	0	0	0	1	5
100	0	0	0	2	2	10

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 37. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de monitoreo N°4 estación el espino – Municipio de Zipaquirá.

Punto N°4 (Segundo ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	1	0	0	1	5
100	0	0	0	2	2	10

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación en el **Gráfico 5**, relación Dosis – respuesta de la prueba toxicológica 1 y 2 del punto de monitoreo N° 4 el espino- Zipaquirá, se observa el comportamiento de los valores de la variable *concentración de tóxico* que causan un grado de efecto, sobre los organismos expuestos “trucha arcoíris”.

Grafico 5. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo número cuatro (estación El espino).



Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Como se observa en la curva dosis- respuesta (**Ver Gráfico 5**), los valores son directamente proporcionales, lo que permite establecer que, a medida que aumenta la concentración del toxico “cuenca alta del rio Bogotá”, ésta efectivamente ha causado los efectos observados; sin embargo, puede encontrarse alta variabilidad de respuestas, siendo algunos individuos resistentes y otros sensibles al tóxico.

5.2.2.4.2. Análisis PROBIT para determinar la CL_{50-96} en el punto de muestreo N° 4: Estación el espino.

A partir de los resultados obtenidos en la prueba de toxicidad del punto de monitoreo N° 4 estación el espino- Zipaquirá con la especie bioindicadora (**Ver tabla 36 y 37**), y con base en la determinación de la concentración letal media CL_{50-96} (**Ver tabla 38**) en el análisis del programa estadístico Probit (**Ver anexo E**) y el análisis de varianza Anova (**Ver anexo F**), se presentan los datos de las pruebas 1 y 2 realizadas en el laboratorio de bioensayos del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (PIAS).

Tabla 38. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 4 (Estación El espino).

Pruebas de toxicidad	Análisis PROBIT			Análisis de varianza ANOVA	
	CL_{50-96} (%)	Límite Superior	Límite Inferior	F Calculado	F Teórico
N° 1	303.4980	NC	135.5911	0.84	2.77
N° 2	303.4980	75.5243	135.5911	0.84	
Promedio	303.498	75.5243	135.5911	0.84	

Fuente: Las Autoras, 2013.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la **tabla 38**, para este punto de muestreo se determinó una concentración letal media $CL_{(50-96)}$ en unidades **PROBIT** > de **100%**.

El valor del límite superior no fue calculado y el valor del **límite inferior** fue de **135.5911%**. Para los anteriores valores se garantiza un porcentaje de confiabilidad del 95% implícito en el método estadístico empleado (**Ver anexo E**). Según el criterio de clasificación de toxicidad (**Ver tabla 13**) para la $CL_{(50-96)}$, el punto de muestreo presenta



un nivel de toxicidad bajo, permitiendo el desarrollo de vida en el ecosistema acuático para la especie ensayada.

5.2.2.4.3. Análisis de varianza ANOVA para el punto de muestreo N° 4: Estación el espino.

Teniendo en cuenta la **tabla 26** y observando los resultados obtenidos (**Ver tabla 38**), se identificó que el Factor calculado para nuestro caso es menor que el Factor **teórico** ($F_c=0.84 < F_t = 2.77$), esto se debe a que la tasa de mortalidad de la especie bioindicadora no fue representativa a la hora de hacer el análisis de varianza ANOVA, es decir el número de especies muertas no fue mayor a 3 individuos; lo que quiere decir que a menor tasa de mortalidad, menor va ser el factor calculado.

Lo anterior no significa que se acepte la hipótesis nula, ya que al observar el **Gráfico 5**, se presenta un aumento en la concentración y por ende un aumento en el número de especies muertas; es decir, las diferentes concentraciones producen un efecto diferente en todos los organismos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

5.2.2.5. PUNTO DE MUESTREO N° 5: ESTACIÓN PUENTE VARGAS (MUNICIPIO CAJICA)

5.2.2.5.1. Relación Dosis- Respuesta para el punto de muestreo N° 5: Estación puente Vargas.

Como se observa en la **tabla 39 y 40**, se obtiene un 5% de mortalidad para la concentración del 100% en ambas pruebas de toxicidad, indicando que a medida que aumenta la concentración, aumenta la tasa de mortalidad; igualmente se evidencia que solo el 5 % de la especie bioindicadora el agente toxico le causo afectación.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 39. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de monitoreo N°5 estación puente Vargas – Municipio de Cajicá.

Punto N°5 (Primer ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NÚMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	1	0	1	5

Fuente: Las Autoras, 2013.

Tabla 40. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de monitoreo N°5 estación puente Vargas – Municipio de Cajicá.

Punto N°5 (Segundo ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	1	0	1	5

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación se presenta el **Gráfico 6**, relación Dosis – respuesta de la prueba toxicológica 1 y 2 del punto de monitoreo N° 5 puente Vargas- Cajicá. Es decir, se presenta el comportamiento de los valores de la variable *concentración de tóxico* que causan un grado de efecto, sobre los organismos expuestos “trucha arcoíris”.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Grafico 6. Relación Dosis – Respuesta de los ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo número cinco (estación Puente Vargas).



Fuente: Las Autoras, 2013.

Como se observa en la curva dosis- (**Ver gráfico 6**), los valores para ambos ensayos son directamente proporcionales, permitiendo establecer que, a medida que aumenta la concentración del toxico en el tiempo, ésta efectivamente ha causado los efectos observados; sin embargo, puede encontrarse alta variabilidad de respuestas, siendo algunos individuos resistentes y otros sensibles al tóxico.

5.2.2.5.2. Análisis PROBIT para determinar la CL_{50-96} en el punto de muestreo N° 5: Estación puente Vargas.

A partir de los resultados obtenidos en la prueba de toxicidad del punto de monitoreo N° 5 estación puente Vargas - Cajicá, con la especie bioindicadora (**Ver tabla 39 y 40**) y con base en la determinación de la concentración letal media CL_{50-96} (**Ver tabla 41**) en el análisis del programa estadístico Probit (**Ver anexo E**) y el análisis de varianza Anova (**Ver anexo F**), se presentan los datos de las pruebas 1 y 2 realizadas en el laboratorio PIAS.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 41. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 5 (Estación puente Vargas).

Pruebas de toxicidad	Análisis PROBIT			Análisis de varianza ANOVA	
	CL_{50-96} (%)	Límite Superior	Límite Inferior	F Calculado	F Teórico
N° 1	194.7878	NC	NC	1,00	2.77
N° 2	194.7878	NC	NC	1,00	
Promedio	194.7878	NC	NC	1	

Fuente: Las Autoras, 2013.

De acuerdo a el resultado obtenido en la **tabla 41**, se determinó una concentración letal media $CL_{(50-96)}$ en unidades **PROBIT** > de **100%**.

El valor del límite superior e inferior en ambas pruebas no fue calculado. Para los valores anteriores se garantiza un porcentaje de confiabilidad del 95% implícito en el método estadístico empleado (**Ver anexo E**). Según el criterio de clasificación de toxicidad (**Ver tabla 13**) para la $CL_{(50-96)}$, el punto de muestreo presenta un nivel de toxicidad bajo que permite el desarrollo de vida a la especie en el ecosistema acuático de dicho punto.

5.2.2.5.3. Análisis de varianza ANOVA para el punto de monitoreo N° 5 : Estación puente Vargas.

Teniendo en cuenta la **tabla 26** y observando los resultados obtenidos (**Ver tabla 41**), se identificó que el Factor calculado para nuestro caso es menor que el Factor **teórico** ($F_c=1 < F_t = 2.77$), esto se debe a que la tasa de mortalidad de la especie bioindicadora no fue representativa a la hora de hacer el análisis de varianza ANOVA, es decir el número de especies muertas no fue mayor de un individuo; lo que quiere decir que a menor tasa de mortalidad, menor va ser el factor calculado.

Lo anterior no significa que se acepte la hipótesis nula, puesto que al ver el **Gráfico 6** relación dosis – respuesta se puede observar que a medida aumenta la concentración



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

el número de especies muertas aumenta, es decir que las diferentes concentraciones producen un efecto diferente en todos los organismos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

**5.2.2.6. PUNTO DE MONITOREO N° 6: ESTACIÓN PUENTE LA VIRGEN
(MUNICIPIO DE COTA)**

**5.2.2.6.1. Relación Dosis- Respuesta para el punto de muestreo N°
6: Estación puente la virgen.**

Como se observa en la **tabla 42 y 43**, no se obtienen resultados en los porcentajes de mortalidad para las concentraciones utilizadas en ambos ensayos de toxicidad, lo que indica que no hubo variación en la tasa de mortalidad, por ende se observa que el agente toxico no causo ningún efecto en la especie bioindicadora.

Tabla 42. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°1, para el punto de monitoreo N°6 estación Puente la virgen – Municipio de Cota.

Punto N°6 (Primer ensayo) CONCENTRACIÓN (%)						
	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

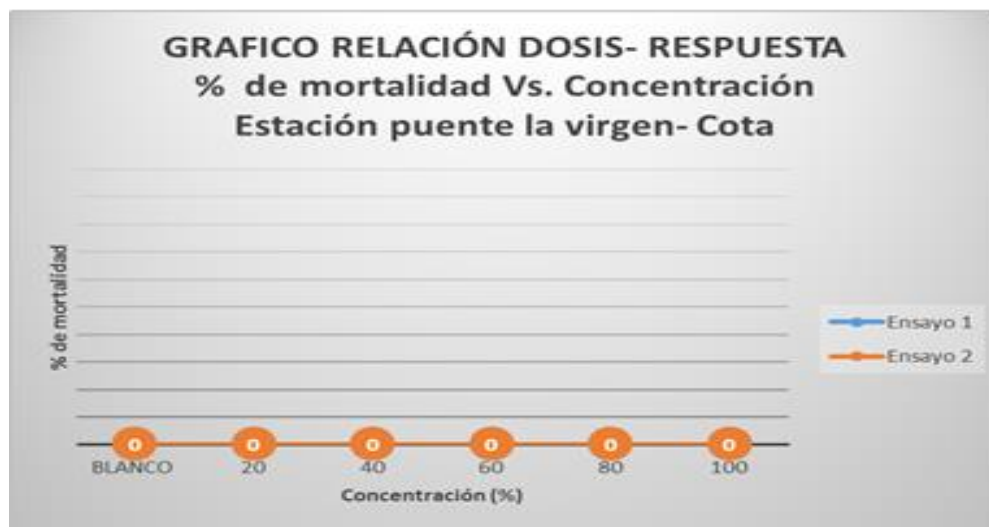
Tabla 43. Resultados pruebas de toxicidad del ensayo N°2, para el punto de monitoreo N°6 estación puente la virgen – Municipio de Cota.

Punto N°6 (Segundo ensayo)						
CONCENTRACIÓN (%)	NÚMERO DE REPLICAS				TOTAL	% de Mortalidad
	R1	R2	R3	R4		
Blanco	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación en el **Gráfico 7**, se presenta la relación Dosis – respuesta del ensayo toxicológico 1 y 2 del punto de monitoreo N° 6 puente la virgen- Cota, en el que se observa el comportamiento de los valores de la variable *concentración de tóxico* que causan un grado de efecto, en particular sobre los organismos expuestos “trucha arcoíris”.

Grafico 7. Relación Dosis – Respuesta de las ensayos toxicológicos 1 y 2 realizados para el punto de muestreo número seis (estación Puente la virgen).



Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

Como se muestra en la curva dosis- respuesta (**Ver gráfico 7**) no se observó ningún efecto medible debido a que en las pruebas de toxicidad el porcentaje de mortalidad fue cero; La razón de esto probablemente se debe a que la especie es muy resistente al agente toxico o el agente toxico no causo afectación sobre esta.

5.2.2.6.2. Análisis PROBIT para determinar la CL_{50-96} en el punto de muestreo N° 6: Estación puente la virgen.

A partir de los resultados obtenidos en la prueba de toxicidad del punto de monitoreo N° 6 estación Puente la virgen- Cajicá con la especie bioindicadora (**Ver tabla 42 y 43**), y con base en la determinación de la concentración letal media CL_{50-96} (**Ver tabla 44**) del análisis programa estadístico Probit (**Ver anexo E**) y el análisis de varianza Anova (**Ver anexo F**), se presentan los datos de las pruebas 1 y 2 realizadas en el laboratorio Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (PIAS).

Tabla 44. Resultados concentración letal media (CL_{50-96}) y análisis de varianza para los ensayos de toxicidad realizados en el punto de muestreo N° 6 (Estación puente la virgen).

	Análisis PROBIT			Análisis de varianza ANOVA	
Pruebas de toxicidad	CL_{50-96} (%)	Límite Superior	Límite Inferior	F Calculado	F Teórico
N° 1	NC	NC	NC	NC	2.77
N° 2	NC	NC	NC	NC	
Promedio	NC	NC	NC	NC	2.77

Fuente: Las Autoras, 2013.

De acuerdo a el resultado obtenido en la **tabla 44**, se determinó una concentración letal media $CL_{(50-96)}$ en unidades **PROBIT** > de **100%**.

Los resultados del límite superior e inferior no fueron calculados en ambas pruebas. Para los valores anteriores se garantiza un porcentaje de confiabilidad del 95% implícito en el método estadístico empleado (**Ver anexo E**). Según el criterio de clasificación de toxicidad (**Ver tabla 13**), para la $CL_{(50-96)}$, el punto de muestreo presenta un nivel de



toxicidad bajo, permitiendo el desarrollo de vida a la especie en el ecosistema acuático de dicho punto.

5.2.2.6.3. Análisis de varianza ANOVA para el punto de muestreo N° 6: Estación puente la virgen.

Teniendo en cuenta la **tabla 26** y observando los resultados obtenidos (**Ver tabla 44**), se identificó que el Factor calculado no se estableció por el programa ya que ($F_c = 0 < F_t = 2.77$), esto se debe a que la tasa de mortalidad de la especie bioindicadora no fue representativa a la hora de hacer el análisis de varianza ANOVA, es decir no hubo mortalidad de peces en ambas pruebas. Al ver el **Gráfico 7** relación dosis – respuesta no se puede observar ningún efecto en los organismos, por ende no se define ninguna hipótesis.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

5.3. CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) OBTENIDA EN LOS SEIS PUNTOS DE ESTUDIO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

A continuación en la **Tabla 45**, se presentan los resultados de las concentraciones letales (CL₅₀₋₉₆) para la especie bioindicadora Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), determinadas para los seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.

Tabla 45. Recopilación de resultados de la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) para la especie bioindicadora Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*) en los seis puntos de monitoreo de la Cuenca Alta del Río Bogotá.

N° de Punto	CL ₅₀₋₉₆	PROMEDIO	TOXICIDAD
1° Estación Puente Villapinzón	415.9139	>100	NO HAY TOXICIDAD
	317.3549		
2° Estación Chingacio	338.3493	>100	NO HAY TOXICIDAD
	243.1407		
3° Estación Achury	288.2139	>100	NO HAY TOXICIDAD
	191.7331		
4° Estación El Espino	303.4980	>100	NO HAY TOXICIDAD
	303.4980		
5° Estación Puente Vargas	194.7878	>100	NO HAY TOXICIDAD
	194.7878		
6° Estación Puente La Virgen	+++++	NON CALCOLAB ILE	NO HAY TOXICIDAD
	+++++		

Fuente: Las Autoras, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

5.3.1. MAPA TOXICOLÓGICO DE LOS SEIS PUNTOS DE MONITOREO UBICADOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ CON LA ESPECIE BIOINDICADORA TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*).

A continuación en la **Imagen 35**, se presenta el mapa toxicológico de las concentraciones letales (CL_{50-96}) a partir de los resultados de las pruebas toxicológicas realizadas para los seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá con la especie bioindicadora trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

Imagen 35. Mapa toxicológico (CL_{50-96}) de la Cuenca Alta del Río Bogotá, para la especie bioindicadora Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).



Fuente: Las Autoras, basadas en información cartográfica del Minambiente, 2013.



5.3.2. MAPA TOXICOLÓGICO DE LOS SEIS PUNTOS DE MONITOREO UBICADOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ, A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE LA CL_{50} CON LAS ESPECIES BIOINDICADORAS (*Trucha Arcoíris*, *Lactuca Sativa* L, *Daphnia Pulex* y *Daphnia Magna*).

A continuación, en la **Imagen 36**, se presenta el mapa toxicológico de las concentraciones letales de los seis puntos de muestreo ubicados en la Cuenca Alta del Río Bogotá, a partir de los resultados obtenidos de las pruebas toxicológicas realizadas en el laboratorio de bioensayos de la universidad de La Salle, con las especies bioindicadoras: *Trucha Arcoíris*, *Lactuca Sativa*, *Daphnia Magna* y *Daphnia Pulex*.

Imagen 36. Mapa toxicológico de los seis puntos de muestreo ubicados en la cuenca alta del río Bogotá, a partir de los resultados CL_{50} de las especies: *Trucha arcoíris*, *Lactuca sativa*, *Daphnia magna*, *Daphnia pulex*.



Fuente: Las Autoras, basadas en información cartográfica del Minambiente, 2013.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 46. Convenciones del mapa toxicológico de la cuenca alta del río Bogotá.

	ESPECIE BIOINDICADORA	NOMBRE DE LOS INVESTIGADORES	AÑO
CL_{50-96}	<i>Trucha Arco Iris</i> (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>)	Sandra Florez y Carol Bejarano.	2013
CL_{50-120}	<i>Lactuca Sativa L</i>	Alejandra Melo y Cindy Soler.	2012
CL_{50-48}	<i>Daphnia Púlex</i>	Leonardo Cárdenas y Rafael Arias.	2010
CL_{50-48}	<i>Daphnia Magna</i>	Leonardo Cárdenas y Rafael Arias.	2010

Fuente: Las Autoras, 2013.

A continuación, se compara y evalúa los resultados de las concentraciones letales de las especies bioindicadoras: ***Trucha arcoíris***, ***Daphnia Magna***, ***Daphnia Pulex*** y ***Lactuca Sativa*** de los seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá.

Según los resultados obtenidos en los ensayos de toxicidad, para el **punto de muestreo N°1: Estación Puente Villapinzón**, los valores en la CL_{50} para las especies bioindicadoras: *Daphnia Magna* (Cardenas & Arias, 2010), *Daphnia Pulex* (Cardenas & Arias, 2010) y *Lactuca Sativa* (Melo Vanegas & Soler Manrique, 2012) son (**Ver imagen 36**): para la especie *Daphnia Magna*, el valor en la CL_{50} , fue similar al valor de la CL_{50} de la especie *Trucha Arco iris*, es decir una concentración letal media > del 100%; para la especie *Daphnia Pulex*, el valor en la CL_{50} fue de = 82.3%, indicando un nivel de toxicidad bajo- medio. Para la especie *Lactuca Sativa*, el valor en la CL_{50} fue de 76.67%, indicando un nivel de toxicidad bajo - alto. De acuerdo a lo anterior, se afirma que en este tramo del río no hay toxicidad para estas especies. Para el **punto de muestreo N°2: Estación Chingacio**, se determinó una concentración letal media (CL_{50}) igual a 58.385% para *Lactuca Sativa* y 60.8% para *Daphnia Pulex*, indicando un nivel de toxicidad medio (**Ver tabla 13**). Es decir, en este punto de muestreo se limita el desarrollo de la vida acuática.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Para las especies bioindicadoras *Trucha Arcoiris* y *Daphnia Magna*, se obtuvo una concentración letal media $>$ del 100% (**Ver imagen 36**), este valor indica que no se genera toxicidad en este punto de muestreo (**Ver tabla 13**), debido a que las especies ensayadas (*Trucha Arcoiris* y *Daphnia Magna*) tienen un sistema inmune tolerante a los contaminantes, en comparación con las especies bioindicadoras *Daphnia Pulex* y *Lactuca Sativa*. Para el **punto de muestreo N°3: Estación Achury**, con la especie bioindicadora *Trucha Arcoiris* se determinó una concentración letal media $>$ del 100% (**Ver imagen 36**), este valor indica que no hay toxicidad en este punto de muestreo y se permite el desarrollo de la vida acuática para la especie ensayada *trucha arcoíris* (**Ver tabla 13**). Al determinar la concentración letal con las especies bioindicadoras: *Daphnia Magna*, *Daphnia Pulex* y *Lactuca Sativa L*, se obtuvo los siguientes resultados (**Ver imagen 36**): Para la especie *Daphnia Magna* el valor de la CL_{50} fue similar al de la *Trucha Arco iris*, es decir una concentración letal media $>$ del 100%, para la especie *Daphnia Pulex* se obtuvo una $CL_{50} = 92\%$, indicando un nivel de toxicidad bajo- bajo; para la especie *Lactuca Sativa* el valor en la CL_{50} fue de 51.16%, indicando un nivel de toxicidad medio. Lo anterior demuestra que la estación Achury, no presenta toxicidad para las especies bioindicadoras *Trucha arcoíris*, *Daphnia magna* y *Daphnia Pulex*, mientras que en la especie bioindicadora *Lactuca Sativa*, se presento toxicidad en este punto de muestreo, por un factor limitante que no permitió el desarrollo de esta especie; causa de ello se debe a bajas concentraciones de nutrientes en el cuerpo de agua o falta de manejo ambiental (vertimientos) en los procesos productivos de las industrias de químicos, abonos y fertilizantes, derivados lácteos, vidrio, cerámica, ladrillos, papel, flores, entre otros. Pag 78 (CAR, 2006). Para el **punto de muestreo N°4: Estación el Espino**, los valores en la concentración letal con las especies bioindicadoras: *Daphnia Magna*, *Daphnia Pulex* y *Lactuca Sativa* fueron los siguientes (**Ver imagen 36**): para la especie *Daphnia Magna* y *Daphnia pulex*, los resultados fueron similares al valor de la concentración letal media de la especie *Trucha Arcoiris*, es decir una concentración letal media >100 , indicando un nivel de toxicidad bajo - bajo en el cuerpo de agua, excepto para la especie *Lactuca Sativa* que presento un valor en la CL_{50} de 67,71%, indicando



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

un nivel de toxicidad medio. De acuerdo a lo anterior, los valores de toxicidad para este punto de muestreo con las especies bioindicadoras: *Trucha arcoíris*, *Daphnia magna* y *Daphnia pulex*, indican ser bajos en comparación con el valor en la CL₅₀ de la especie *Lactuca sativa*; la toxicidad con *Lactuca sativa* para la estación Achury, probablemente se debe a que antes de esta estación, se vierten sustancias tóxicas provenientes de efluentes industriales y agrícolas, impidiendo la elongación en la raíz de esta especie. En consecuencia, se considera que el río está medianamente contaminado y se comporta como un cuerpo hídrico aeróbico que no produce efectos letales y que permite el desarrollo de ecosistemas acuáticos en la especie ensayada ***Trucha arcoíris***. Finalmente, para el **punto de muestreo N°5: Estación Puente Vargas** y el **punto de muestreo N°6: Estación puente la Virgen**, los ensayos de toxicidad aguda, no registraron toxicidad (CL₅₀) con las especies bioindicadoras: *Lactuca Sativa*, *Daphnia Magna*, *Daphnia pulex* y *trucha arcoíris*, es decir los valores en la concentración letal fueron > de 100%, por lo tanto, en ambas estaciones no se producen efectos letales con la especie ensayada. En consecuencia, el río se puede considerar como medianamente contaminado, es decir, se comporta como un cuerpo hídrico aeróbico que permite el desarrollo de ecosistemas acuáticos (**Ver tabla 13**) especialmente para la especie ***trucha arcoíris***.



6. CONCEPTO TÉCNICO DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS RECOPIADOS POR EL LABORATORIO AMBIENTAL DE LA CAR, LABORATORIO PIAS Y DETERMINACIÓN DE LA CL_{50} CON LAS ESPECIES ENSAYADAS EN EL LABORATORIO DE BIOENSAYOS DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE.

A continuación en la **tabla 47**, se presenta la recopilación de los parámetros fisicoquímicos analizados por el laboratorio ambiental de la CAR en los últimos cinco años de las seis estaciones de muestreo y otras estaciones de monitoreo ubicadas en la cuenca alta del río Bogotá. Posteriormente en los **Gráficos 8 a 19**, se evalúa el comportamiento de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos: *OD, DQO, DBO, pH, Conductividad, Turbidez, Sólidos totales, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Sulfatos y metales pesados como el cromo y plomo* analizados por el laboratorio ambiental de la corporación autónoma regional y el laboratorio ambiental del programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad de la Salle.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Tabla 47. Registro de los parámetros fisicoquímicos analizados por el laboratorio ambiental de la CAR en los últimos cinco años.

Promedio de los Parámetros FÍSICOQUÍMICOS de los último cinco años suministrados por la CAR										
Parametro	Unidades	Estación Puente Villapinzón	Estación Chingacio	Estación LG Saucio	Estación Descarga Embalse SISGA	Estación Achury	Estación Descarga Termostiza	Estación El Espino	Estación Puente Vargas	Estación Puente La Virgen
pH	Unidades	7.16	8.06	6.98	7.18	7.08	6.36	6.90	7.1	7.23
Temperatura del agua	°C	12.9	14.65	16	16.88	18.3	17.45	20.83	15.15	19.35
Conductividad	µS / cm	42.42	292.44	386.4	27.32	73.80	177.8	107.10	355.75	375.50
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	6.68	4.08	3.26	6.18	6.23	3.9	4.06	1.15	0.78
DBO	mg O ₂ / L	9.40	38.85	5.56	2.65	2.20	2	3.52	4.75	9.48
DQO	mg O ₂ / L	20.40	65.62	45.14	27.68	16.00	17.2	27.22	33.65	38.53
SST	mg-SST / L	9.40	58.48	15.98	8.825	21.73	90	72.23	42.75	25.78
Sólidos Totales	mg ST / L	49.93	225.00	314.4	39.94	68.47	181.46	150.02	252.5	238.25
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	12.23	38.48	46.83	12.625	17.75	23.9	24.53	43.33	68.48
Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	13.76	26.41	40.25	11.82	13.83	37.56	28.79	38.56	51.92
N- Amoniacal	mg-NH ₃ / L	0.94	4.47	6.002	0.545	0.64	<VMD	1.22	2.39	5.07
N-Total	mg-Norg / L	1.40	8.83	9.27	<VMD	1.20	<VMD	1.60	2.6	4.67
Fosforo Total	mg-P / L	0.10	0.42	0.44	0.041	0.10	0.626	0.32	0.50	1.26
Hierro	mg Fe / L	1.13	1.52	3.27	1.478	1.41	0.77	2.28	1.84	2.26
Plomo	mg Pb / L	0.00	3.69	<VMD	<VMD	0.67	<VMD	3.63	<VMD	<VMD
Nitratos	mg-NO ₃ / L	0.38	0.64	0.675	0.225	0.50	0.72	0.54	0.55	0.23
Nitritos	mg-NO ₂ / L	0.01	0.01	0.036	<VMD	0.01	0.01275	0.03	0.057	0.03
Sulfatos	mg-SO ₄ / L	4.58	28.13	25.02	4.125	8.73	47.525	8.86	17.075	17.98
Sulfuros	mg-S ²⁻ / L	0.00	0.93	<VMD						
Cadmio	mg Cd / L	<VMD	2.85	<VMD	<VMD	0.27	<VMD	<VMD	<VMD	1.18
Calcio	mg Ca / L	3.98	11.85	12.82	3.5	3.78	11.024	7.88	12.33	16.85
Cromo +6	mg Cr ⁺⁶ / L	0.01	0.02	<VMD	<VMD	0.00	<VMD	0.01	<VMD	<VMD
Cloruros	mg Cl / L	6.18	47.54	84.6	3.2	9.90	11.24	12.82	80.23	57.53
Magnesio	mg Mg / L	1.00	1.19	2.002	0.748	1.07	2.44	2.20	1.88	2.39
Manganeso	mg Mn / L	0.01	0.04	0.33	<VMD	0.06	0.06	0.06	0.026	0.05
Sodio	mg Na / L	5.51	39.81	47.63	2.65	6.87	20.794	16.67	53.07	42.13

Fuente: Las Autoras, a partir de la información recopilada por el laboratorio ambiental de la CAR, 2013.

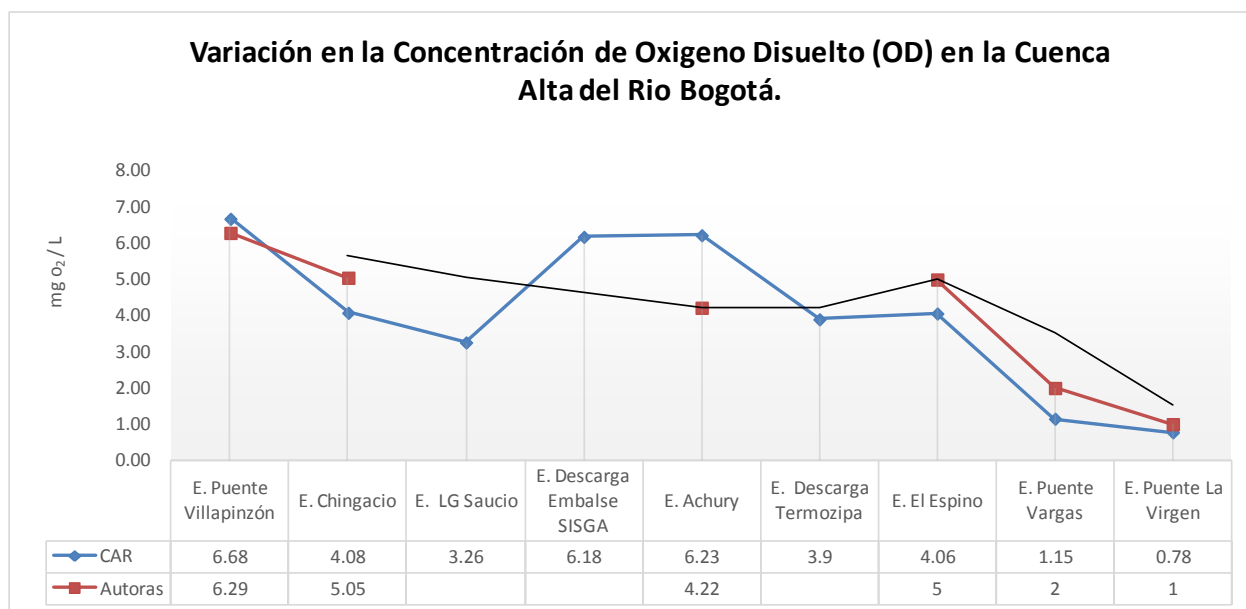


DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

- OXIGENO DISUELTO (OD)**

El Oxígeno Disuelto es uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes ya que es vital para que los organismos encargados de degradar la materia orgánica sobrevivan, adicionalmente permite que disminuya el impacto causado por los vertimientos de las industrias y los alcantarillados municipales.

Gráfico 8 Variación en la concentración de Oxígeno Disuelto (OD) en la Cuenca Alta del río Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Como se observa en el **Gráfico 8** en la estación Puente Villapinzón la concentración de Oxígeno Disuelto es alta registrando valores entre 6.29 y 6.68 mg de O_2/L , esto se debe a que la estación se encuentra ubicada aguas arriba del municipio de Villapinzón y muy cerca al nacimiento del río Bogotá, por ende no recibe vertimientos de tipo industrial y de alcantarillados municipales.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

En la estación Chingacio la concentración de Oxígeno Disuelto tiene una disminución muy significativa (ver **Gráfico 8**), ya que recibe los vertimientos incontrolados por parte del municipio de Villapinzón y las Industrias de Curtiembres situadas en la zona. Esto afecta considerablemente la concentración de OD, puesto que las concentraciones de DBO_5 y DQO aumentan, por ende el OD disminuye ya que este es necesario para que ocurra la degradación de la materia orgánica.

En la estación Achury el Oxígeno Disuelto vuelve a ascender (ver **Gráfico 8**). Debido a que recibe la descarga de los embalses de Sisga y Tomine (ver Estación descarga del embalse de Sisga, **Gráfico 8**).

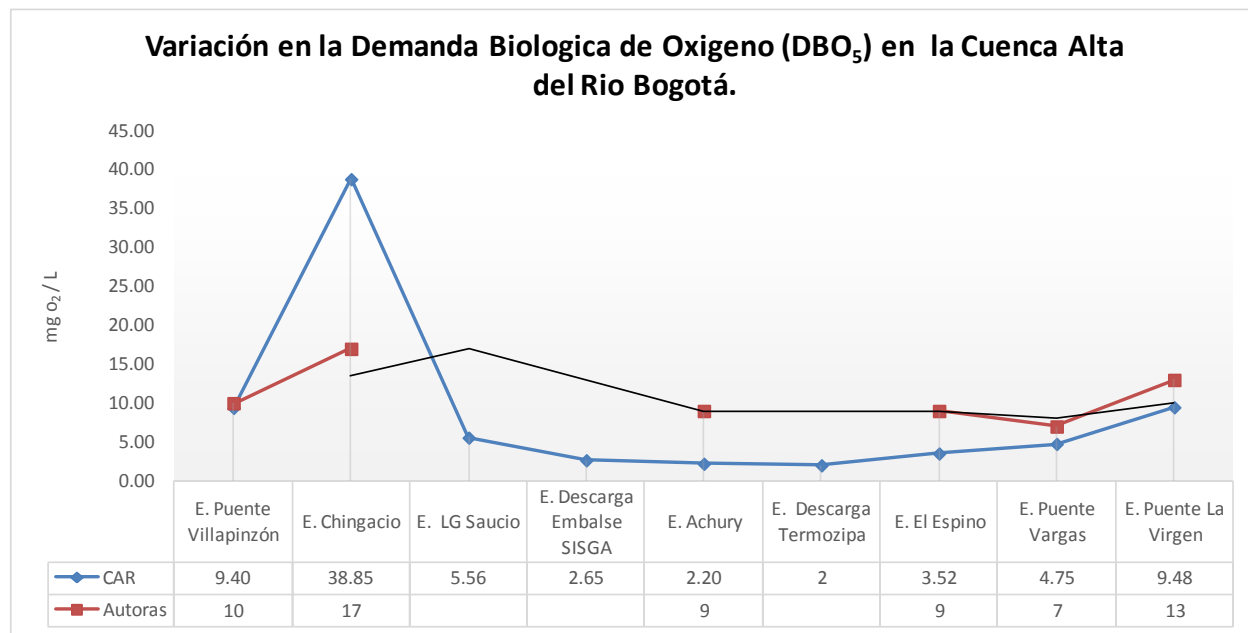
A partir de las estación Descarga de Termozipa hasta la estación Puente la Virgen, la concentración de Oxígeno Disuelto disminuye notablemente (ver **Gráfico 8**), esto se debe a que los muestreos fueron realizados en época de estiaje, por ende el caudal disminuye y el incremento de la temperatura hace mayor las velocidades de oxidación, aumentando la demanda de oxígeno. Y al no haber mayor grado de dilución, la concentración de los contaminantes aumenta.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

• **DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO_5)**

Gráfico 9. Variación en la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) en la Cuenca Alta del río Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Como se observa en el **Gráfico 9**, La estación de muestreo puente Villapinzón por ubicarse en cercanías al nacimiento del río Bogotá y al no recibir descargas de contaminantes de tipo agrícola, industrial y doméstico evidencia el pico más bajo en la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno, relacionada principalmente al aumento en la concentración de oxígeno disuelto presente en el agua (**Ver gráfico 9**) y al bajo contenido de materia orgánica; a partir de la estación Chingacio, la concentración de DBO aumenta significativamente por los vertimientos de las curtiembres del municipio de Villapinzón y algunas sustancias contaminantes entre ellas sulfuro de sodio, cromo, etc y el alto contenido de materia orgánica proveniente de los procesos en el curtido de pieles; de acuerdo a lo anterior, al proporcionar a las bacterias y otros microorganismos una alta fuente de alimentos, estas se reproducen en



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

cantidades mayores, consumiendo el oxígeno del agua, lo que lleva a un proceso más lento en la degradación de la materia orgánica. Es decir, en este punto de la cuenca alta la concentración de los contaminantes no se diluyen. Al observar las concentraciones de DBO en las estaciones de muestreo Saucio y descarga del embalse del Sisga (**Ver gráfico 9**), los valores descienden considerablemente hasta la estación Achury al recibir el aporte del embalse de Sisga que tiene por objeto aumentar el caudal y regular los contaminantes en la cuenca alta, generando un aumento en la concentración del oxígeno disuelto y por ende una disminución en la DBO; esto se debe al bajo contenido de materia orgánica y a las reacciones bioquímicas de las bacterias. Nuevamente, en la estación el espino se observa un aumento en la concentración de DBO, probablemente por la descarga de cenizas de carbón de la termoeléctrica “termozipa”, generando una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua e inhibiendo los procesos de descomposición de la materia orgánica por las bacterias. En su recorrido, para las estaciones puente Vargas y puente la virgen, continua un aumento significativo en la concentración de DBO ya que la cantidad de oxígeno es consumida por las bacterias para oxidar la materia orgánica; esto se debe, a que a lo largo de este tramo la calidad del agua se ve afectada al recibir los aportes de sustancias contaminantes de tipo industrial, agrícola y doméstico y de las descargas de áreas suburbanas que no disponen de red de alcantarillado.

Al comparar los valores obtenidos de las concentraciones de DBO_5 en la estación Chingacio con el acuerdo 8 de 2004 que establece las concentraciones máximas permisibles para el vertimiento de aguas de la industria de curtido de pieles del municipio de Villapinzón (**Ver tabla 4**), se identificó el cumplimiento con la normatividad.

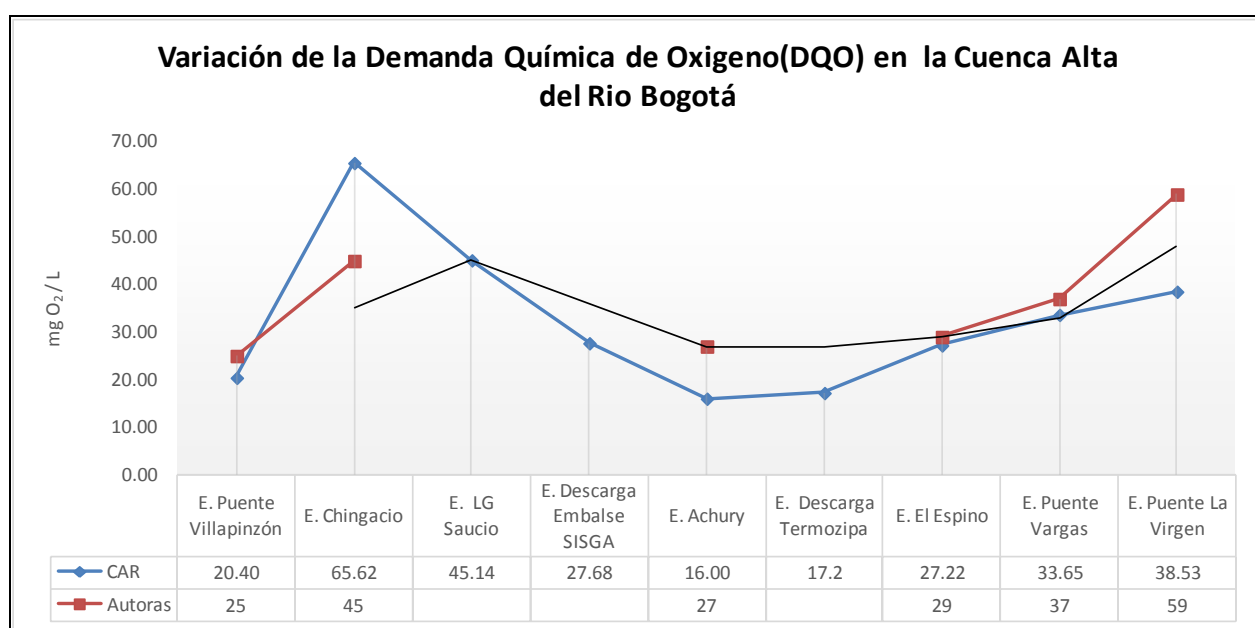


DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

- DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)**

La DQO cuantifica la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica y mide la concentración de materia orgánica que se oxida químicamente en los residuos domésticos e industriales.

Gráfico 10. Variación en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la cuenca alta del río Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Como se observa en el **Gráfico 10**, la estación Puente Villapinzón y la estación Achury presentan las menores concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO), esto se debe al bajo contenido de materia orgánica presente en este cuerpo de agua.

En primera instancia para la estación Puente Villapinzón este hecho se relaciona con la ubicación de la misma, ya que está muy cerca al nacimiento del río Bogotá por ende no recibe vertimientos de tipo industrial y alcantarillado.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

Para la estación Achury se evidencia un alto grado de dilución en la concentración de los contaminantes, gracias a las descargas hechas por parte de los embalses de Sisga y Tomine.

En la estación Chingacio, se observa la mayor concentración en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), en un rango de 45 y 66 mg de O_2/L (ver **Gráfico 10**), indicando que los vertimientos de tipo inorgánico son mayores que los de tipo orgánico. Lo anterior se debe a los vertimientos generados por los papicultores ya que vierten grandes cantidades de sustancias químicas empleadas para la fumigación y el control de plagas (Quintero & Martínez, 2010), al igual que vertimientos generados por el sistema de alcantarillado del municipio de Villapinzón ya que no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales – PTAR - (CAR, 2008) y en gran medida a los vertimientos de las tecnologías artesanales como el caso de las **Curtiembres**.

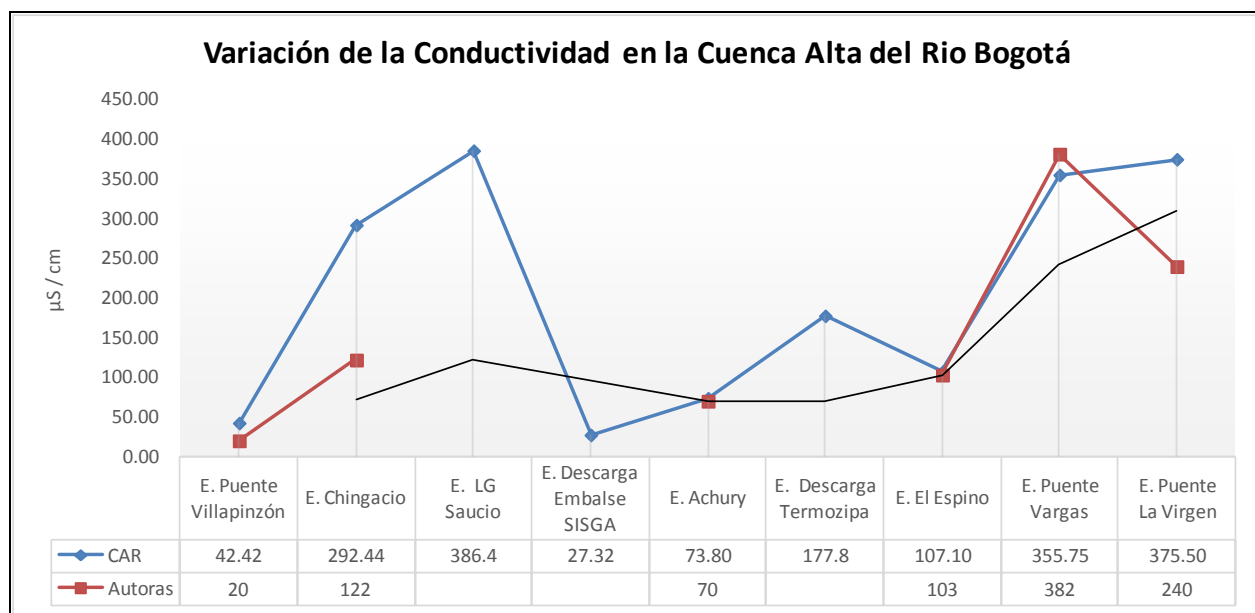
A partir de la estación Descarga de Termozipa hasta la estación Puente la Virgen, se observa que la Demanda Química de Oxígeno vuelve a incrementarse debido al bajo contenido de OD en el cuerpo de agua ya que para que ocurran las reacciones de oxidación de la materia orgánica se requiere presencia de oxígeno, por ende las concentraciones de los contaminantes son mayores.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

- **CONDUCTIVIDAD**

Gráfico 11. Variación en la Conductividad en la cuenca alta del rio Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Como se observa en el **Grafico 11**, la estación de muestreo puente Villapinzón por ubicarse en cercanías al nacimiento del río Bogotá, presenta una baja conductividad, debido a que las sales disueltas y la relación de sólidos disueltos en el agua son bajas; esto se debe a que aún no se encuentran compuestos contaminantes que alteren la calidad del agua. Aguas arriba de la estación de muestreo Chingacio (Villapinzón) se observa la mayor variación en la conductividad estrictamente relacionada con el aumento en las sales disueltas, la cantidad de sólidos disueltos y sedimentables presentes en el cuerpo de agua; la razón de ello, se debe a que existen algunos factores antrópicos entre ellos: los vertimientos de las curtiembres del sector urbano y rural del municipio de Villapinzón, aguas residuales domésticas de los efluentes de las plantas de tratamiento, alto contenido de materia orgánica y residuos, fertilizantes utilizados en el sector agrícola (cultivos de papa), cuyos compuestos forman sales que



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

finalmente son arrastradas y que no logran diluirse hasta este punto. En la estación Saucio, se mantiene un alto registro en la conductividad ya que durante el recorrido del río la concentración de contaminantes no se diluyen al no recibir aportes de ríos o cuerpos de aguas que generen un aumento en el caudal; adicionalmente, se observan bajas pendientes lo que hace que el río se mantenga estático y se sedimente la materia orgánica. A partir de la descarga del embalse de Sisga, se presenta una disminución significativa en el valor de la conductividad con relación a la anterior estación ya que dicho embalse aporta un alto caudal, generando arrastre en el contenido de sólidos y sales disueltas. Desde de la estación Terozipa hasta la estación Achury, se observa de nuevo, un aumento en la conductividad por el alto contenido de sales y sólidos disueltos como el caso del carbón que al ser utilizado como combustible genera partículas de cenizas. De ahí en adelante el río continúa su trayecto unos kilómetros aguas abajo hasta llegar a la estación puente Vargas en el municipio de Cajica, presentando la mayor variación en el valor de conductividad (**Ver gráfico 11**) en comparación con las demás estaciones, principalmente por los vertimientos de tipo agrícola, industrial y doméstico ya que en este sector tienen asentamiento 64 industrias, entre ellas: Alquería, El pomar, Refisal, Emcocables, Prodilacteos, etc. Igualmente, para la estación puente la virgen, se evidencia un aumento en la concentración de iones en el agua, es decir un aumento en el valor de conductividad en menor proporción que la estación puente Vargas ya que en este municipio se sitúan los mayores productores de flores, los cuales utilizan fertilizantes agrícolas para el control de plagas con un alto contenido de sustancias químicas y una composición de sales nitrogenadas que alteran el valor de la conductividad. Todo indica, que hasta este punto la concentración de los contaminantes no se diluyen y el deterioro del río cada vez es mayor.

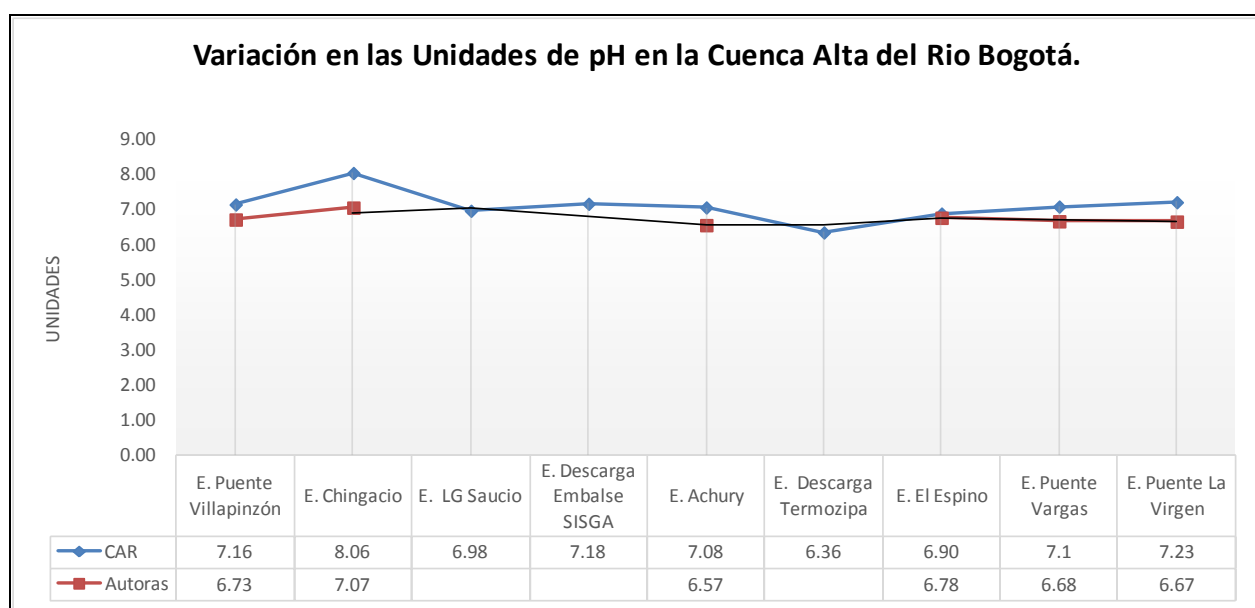


DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

- pH

El pH representa la concentración y actividad de los iones hidrogeno y sirve como medio para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad de una solución (Zambrano, Mora Pinzón, & Andrea, 2002). De 0 – 7 es un medio acido y de 7 -14 un medio alcalino.

Gráfico 12. Variación en las unidades del potencial de Hidrogeno en la cuenca alta del rio Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Al observar el **Gráfico 12**, se identifica que la cuenca alta del rio Bogotá en general tiene un comportamiento básico, esto puede generarse por los carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio y sodio (**Ver Tabla 44**). Otro factor influyente de la basicidad del agua son los vertimientos de sales de cromo, sulfuro de sodio y otras sustancias provenientes de los procesos productivos de la Curtiembres de villapinzón. Por tal razón en la estación Chingacio, se registraron los valores más altos de pH (**Ver Gráfico 12**).



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Otro aspecto es la presencia de organismos heterotrofos, que no tienen la capacidad de degradar la materia orgánica presente en el cuerpo de agua, por lo cual la producción de ácidos húmicos es baja, explicando el porque de encontrar un pH bajo, habiendo tanta materia orgánica.

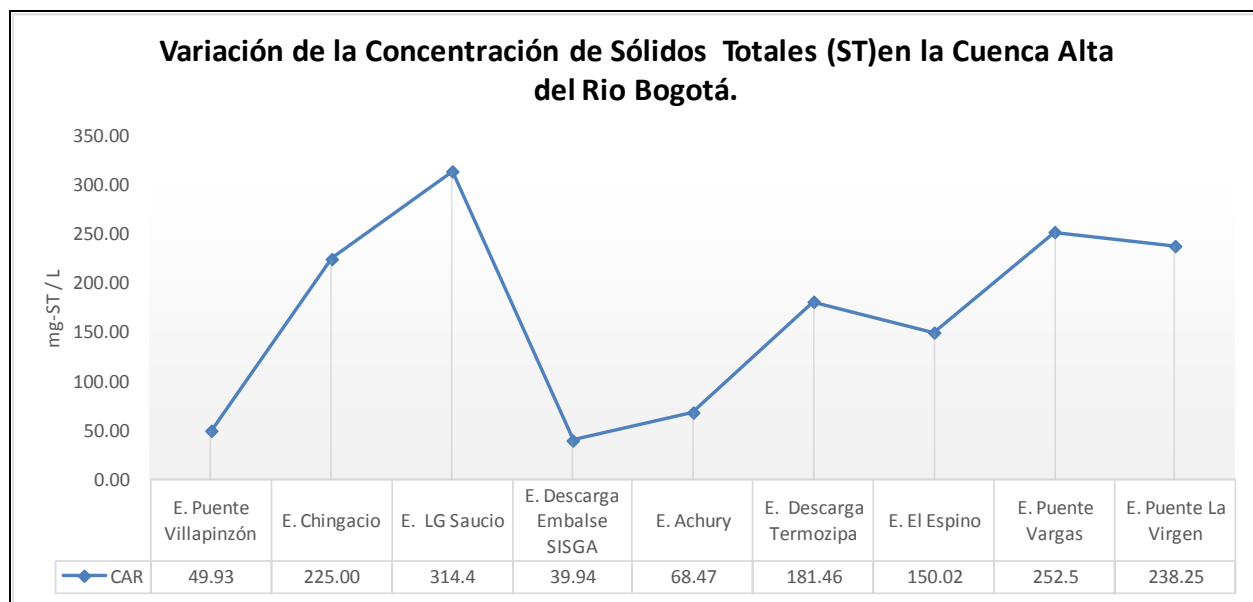
De acuerdo a los artículos 38, 39, 40 y 41 del Decreto 1594 del 1984 que establece el rango permisible de unidades de pH para consumo humano, doméstico, agrícola y pecuario y evaluando los usos del agua²³ de la cuenca alta del río Bogotá (consumo humano, doméstico, agrícola y pecuario) establecidos por la CAR; se determinó que las estaciones evaluadas cumplen con la normatividad, ya que los registros obtenidos se encuentran en un rango de 6 a 8 unidades (**Ver Gráfico 12**).

²³ CAR. (2008). Evaluación ambiental y plan de gestión ambiental, volumen I. Página 52. Cundinamarca, Bogotá D.C.



- SOLIDOS TOTALES**

Gráfico 13. Variación en la concentración de Sólidos Totales (ST) en la cuenca alta del rio Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Según reportes del laboratorio ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, se observa que la estación puente Villapinzón presenta un valor bajo en la concentración de sólidos totales (Ver **Grafico 13**) ya que esta se encuentra cercana al nacimiento de río Bogotá y aun no intervienen factores antrópicos de tipo industrial, agrícola y doméstico y la materia orgánica presente es muy baja. A partir de la estación Chingacio (Villapinzón) y en mayor proporción la estación el Saucio, la concentración de sólidos totales se incrementa considerablemente, esto se debe a la cantidad de residuos de cuero, pelos, pieles y residuos de las curtiembres que no alcanzan a ser removidas en el tratamiento de las aguas residuales industriales.

La estación descarga embalse, presenta el valor más bajo en la concentración de ST, significa que el aporte de caudal probablemente arrastra la materia orgánica y los residuos y por ello en la estación Achury se incrementa los ST, sumado a otros



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

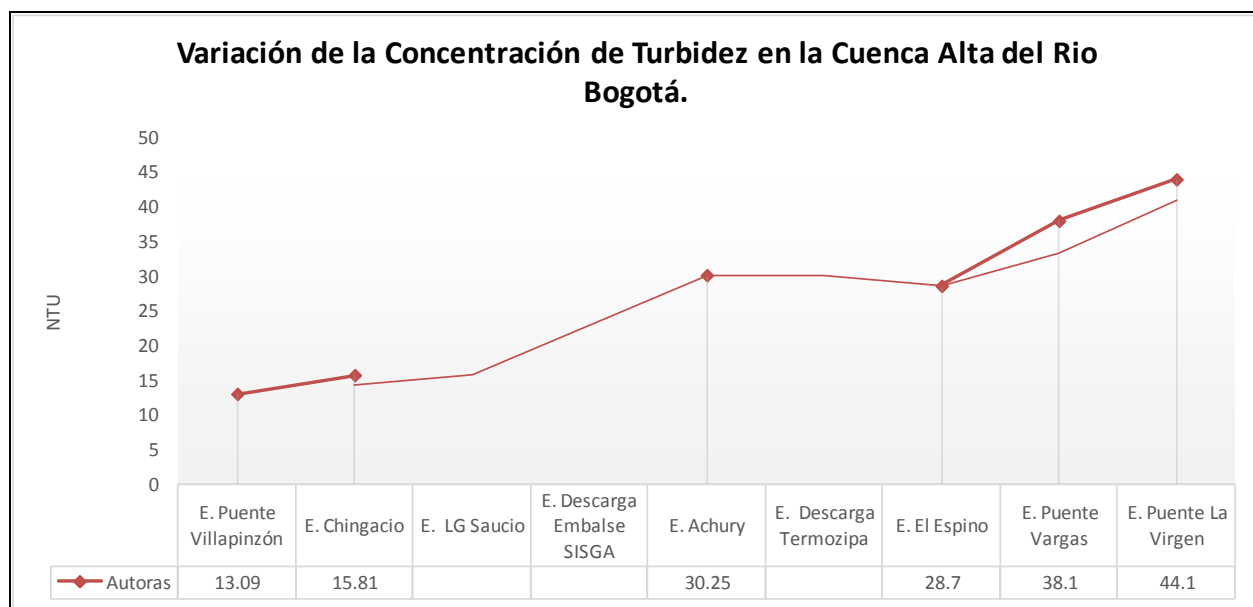
factores. En la estación descarga Termozipa, continua el aumento de ST, por las partículas de ceniza de carbón y residuos del vertimiento de la planta de tratamiento de la termoeléctrica que no alcanzan a ser removidos. A partir de ahí, continua el aumento de los sólidos disueltos en las estaciones: El Espino, Puente Vargas y Puente la Virgen ya que estos municipios se caracterizan por tener los sectores industriales y agrícolas de mayor producción en lácteos, cultivo de flores, cultivo de hortalizas, etc, ocasionando un aumento en la materia orgánica y por ende un aumento en los sólidos totales. Adicionalmente, se vierten una gran cantidad de aguas residuales domesticas al rio de los municipios que abarcan estos puntos de muestreo en la cuenca alta.



- **TURBIDEZ**

La turbidez es una medida del grado en el cual disminuye la transparencia de un líquido debida a la presencia de partículas en suspensión, cuantos más sólidos en suspensión hay en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.

Gráfico 14 Variación en la concentración de Turbidez en la cuenca alta del rio Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Al observar el **Gráfico 14**, la estación Puente Villapinzón registró los valores más bajos de turbidez, debido al bajo contenido de sólidos en el cuerpo de agua, lo cual no afecta el paso de los rayos solares, por ende se puede desarrollar vida acuática en este punto, como se evidencia en los resultados de los ensayos toxicológicos del presente trabajo.

Debido a los vertimientos de las curtiembres y los alcantarillados del municipio de Villapinzón, el registro de turbidez en la estación Chingacio aumento, ya que la cantidad de residuos sólidos se incremento notablemente (**Ver Gráfico 13**); al aumentarse el caudal en la estación Descarga embalse de Sisga, esto hace que la turbidez aumente



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

debido a la gran cantidad de sólidos que el cauce puede arrastrar, sobre todo en los meses de lluvia.

A partir de la estación El Espino, hasta la estación Puente la Virgen se registran los valores más altos de turbidez, esto se debe a que en esta zona el río recibe descargas de las aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas de los municipios aledaños, de plantas de tratamiento de aguas residuales (planta de Tocancipa y Gachancipa), de la termoeléctrica Termozipa, de ríos como el Neusa y el río negro, de industrias como papeles y molinos; esto hace que la cantidad de sólidos aumente por ende la turbidez presenta este comportamiento.

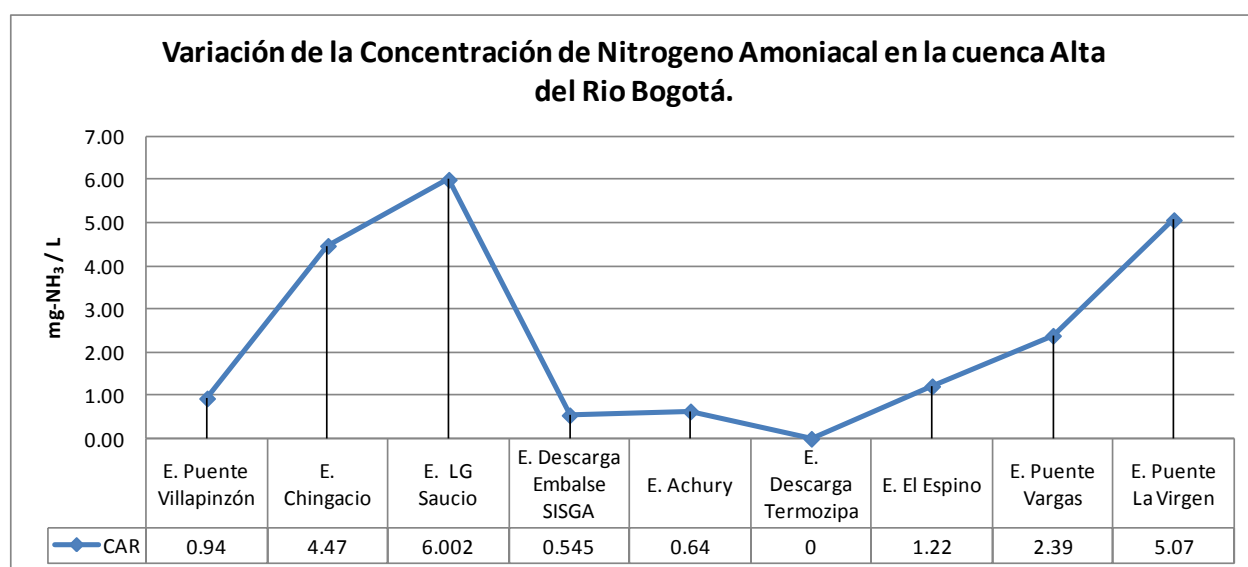


DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

- **NITRÓGENO AMONIAICAL**

Es uno de los componentes transitorios en el agua puesto que es parte del ciclo del nitrógeno. La forma predominante del nitrógeno en aguas residuales domésticas frescas es el nitrógeno orgánico; luego las bacterias rápidamente descomponen el nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal y si el medio es aerobio este se convierte en nitritos y nitratos (Romero Rojas, 1999, página 61).

Gráfico 15 Variación en la concentración de Nitrógeno Amoniacal en la cuenca alta del río Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Al observar el **Gráfico 15**, se identifica que las estaciones: Puente Villapinzón, Descarga Embalse de Sisga, Achury y Descarga de Termozipa, presentan las concentraciones más bajas de nitrógeno amoniacal; esto se debe a que la degradación parcial de la materia orgánica por las bacterias es baja ya que el contenido de la misma en el cuerpo de agua se encuentran en una menor concentración (**Ver Gráfico 9**).

Para las estaciones Chingacio y Saucio se registraron las concentraciones más altas, debido al aumento en la materia orgánica, esto se debe a los vertimientos incontrolados



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

del alcantarillado del municipio de Villapinzón y de las curtiembres aledañas al municipio de Villapinzón y Chocontá Este hecho hace mayor la actividad por parte de las bacterias encargadas de degradar la materia orgánica, lo que incrementa el nitrógeno amoniacal en el agua y disminuye las concentraciones de oxígeno disuelto **(Ver Gráfico 8).**

A partir de la estación El Espino, hasta la estación Puente la Virgen se identificó que las concentraciones de oxígeno disuelto disminuyeron hasta tal punto de tener un medio casi anóxico en la estación puente la virgen, lo que indica concentraciones altas de nitrógeno amoniacal, debido a la degradación de la materia orgánica.

Otra fuente de nitrógeno amoniacal en el agua es el uso de la Urea en los cultivos con el fin de incrementar las proteínas en el suelo y mejorar las condiciones de los mismos. Este hecho hace que las aguas residuales agrícolas con grandes contenidos de amonio lleguen al cuerpo de agua.

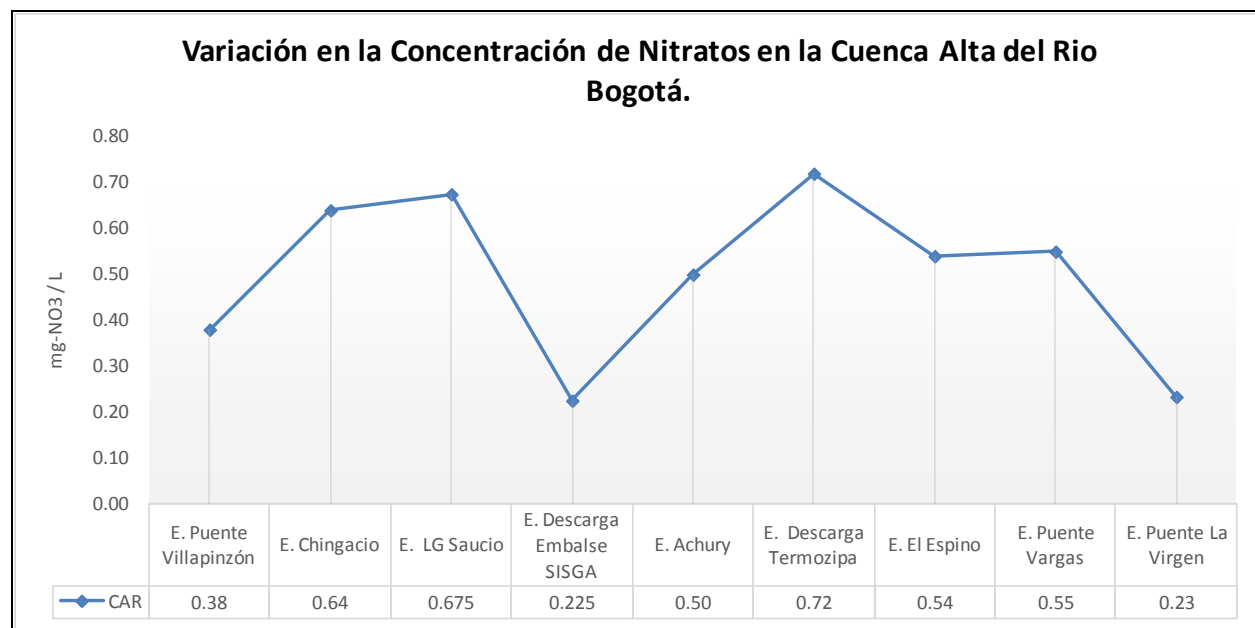
De acuerdo a los artículos 38 y 39 del Decreto 1594 del 1984 y el acuerdo 8 de 2004 de la CAR, el máximo permisible para el consumo humano y doméstico de nitrógeno amoniacal es de 1 mg/L, de las estaciones evaluadas, cinco de ellas no están cumpliendo con la normatividad.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

- **NITRATOS**

Gráfico 16 Variación en la concentración de Nitratos en la cuenca alta del rio Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Como se observa en el **Gráfico 16**, la estación de muestreo puente Villapinzón presenta una baja concentración de Nitratos según análisis del laboratorio Ambiental de la CAR, la razón de esto se debe a que en este punto no existe contaminación de origen industrial, agrícola y doméstico. En la estación Chingacio, se presentó un aumento en la concentración, por el uso de sustancias nitrogenadas, amoníaco y otras sustancias químicas utilizadas en los procesos de curtido de las curtiembres del municipio de Villapinzón y la descarga de los efluentes de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica que no logran remover la materia orgánica, como el caso de la PTAR del mismo municipio; igualmente, por los vertimientos industriales y agrícolas que contienen compuestos de nitrógeno. La variación de dicho valor, se hace evidente en la estación Saucio, debido a que presenta la mayor concentración de Nitratos y no se



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

presenta ningún aporte hídrico, que ayude a diluir la concentración de los contaminantes provenientes de las curtiembres, etc. A partir de la descarga del embalse de Sisga, el río disminuye considerablemente la concentración de nitratos hasta la estación de muestreo Achury ya que el aumento de caudal ayuda a diluir los contaminantes. De la estación descarga “termozipa” hasta la estación el Espino, vuelve a incrementar la concentración de nitratos debido a los desechos de sales, grasas, aceites e hidrocarburos en los diferentes procesos para generar energía; también por el vertimiento del efluente de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Zipaquirá y algunas de las industrias como: Refisal y productos familia.

De acuerdo a los artículos 38 y 39 del Decreto 1594 del 1984 el máximo permisible para el consumo humano y doméstico de Nitratos es de 10 mg/l, de las estaciones evaluadas, todas están cumpliendo con la normatividad.

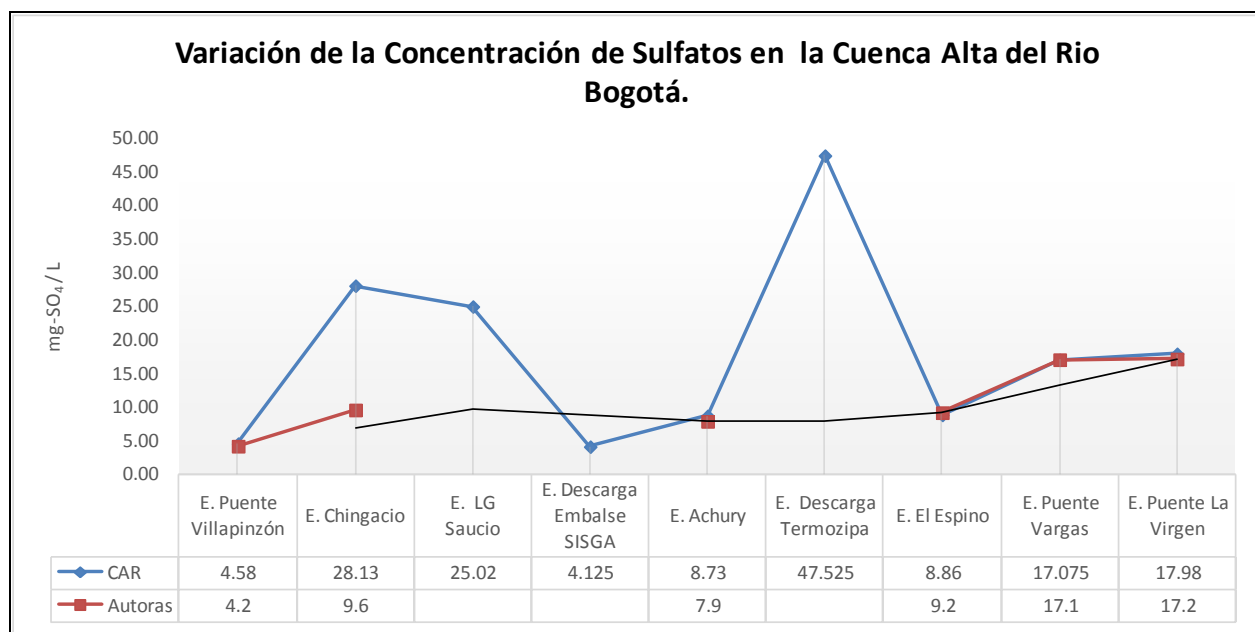


DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

- **SULFATOS**

El ión Sulfato es uno de los aniones más abundantes en aguas naturales y su presencia es necesaria para poder llevar a cabo la síntesis de proteínas (Zambrano, Mora Pinzón, & Andrea, 2002).

Gráfico 17 Variación en la concentración de Sulfatos en la cuenca alta del río Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Como se observa, en la estación Chingacio y Descarga de Termozipa (**Ver Gráfico 17**) se evidencia un incremento significativo en el contenido de sulfatos, este hecho se atribuye a las diferentes descargas que llegan al cauce, como es el caso de los vertimientos que realizan el sector de curtiembres aguas abajo del municipio de Villapinzón y Chocontá (Estación Chingacio y El Saucio), ya que el ácido sulfúrico y los sulfuros son utilizados en el proceso de curtido de pieles.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

Otro factor que interviene en el incremento del contenido de sulfatos es la descomposición de la materia fecal, debido a los vertimientos del sistema de alcantarillado urbano y rural del municipio de Villapinzón.

De acuerdo a los artículos 38 y 39 del Decreto 1594 del 1984 el máximo permisible para el consumo humano y doméstico de sulfatos es de 400 mg/l, de las estaciones evaluadas, todas están cumpliendo con la normatividad.

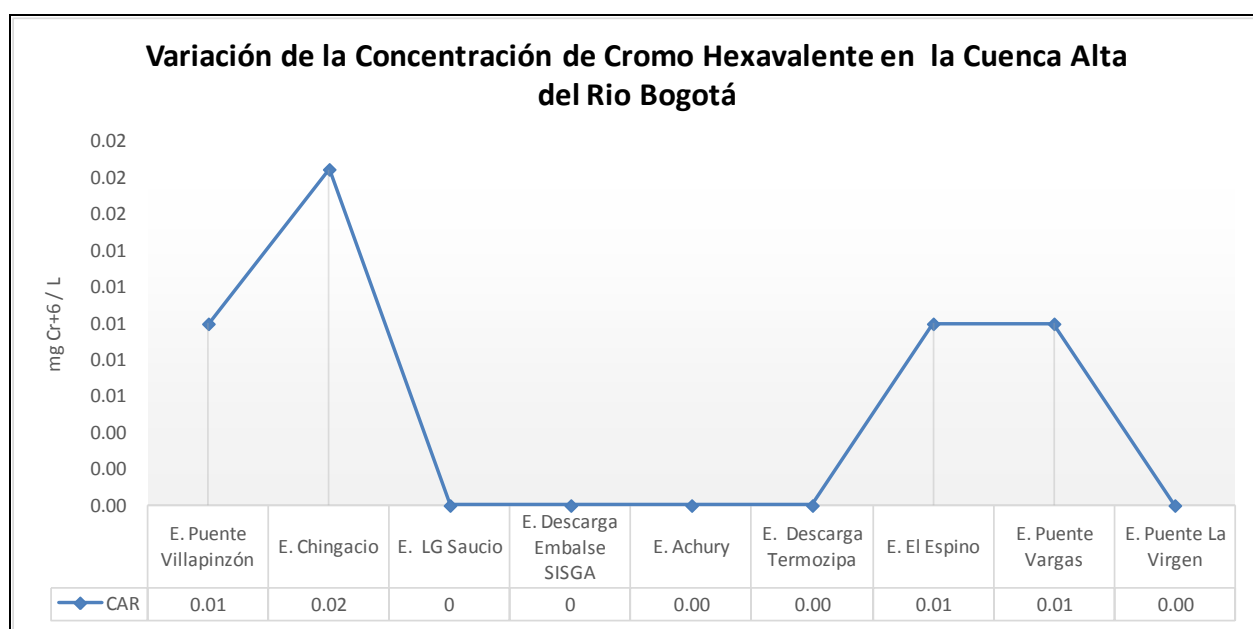


DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

- **CROMO HEXAVALENTE**

El cromo puede presentarse en diversas formas de acuerdo a su valencia, así como el cromo trivalente que es una forma útil nutricionalmente, mientras que el hexavalente puede producir de la piel, hepáticas y hasta puede ser cancerígeno²⁴.

Gráfico 18 Variación en la concentración de Cromo Hexavalente en la cuenca alta del río Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Al analizar el cromo hexavalente se identifica que este llega al cauce del río Bogotá por diversas causas al ser utilizado en la fabricación de fertilizantes, colorantes, detergentes

²⁴ ZAMBRANO, J., Mora Pinzón, J. A., & Abdrea, M. (2002). *Monitoreo de calidad del agua: Aspectos físico químicos Cuenca Alta del Río Bogotá. Fase I*. Tesis, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

y plaguicidas, por lo general diluidos en agua que después de ser empleados llegan al cauce del río por escorrentía o por la descarga de los alcantarillados²⁵.

Si se observa el **Gráfico 18**, se identifica que la principal fuente de contaminación por cromo hexavalente en este punto de muestreo son las curtiembres que utilizan este elemento en el proceso de curtido de pieles. Según el documento de evaluación ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca mencionan que: *“Entre Villapinzón y Chocontá tiene asiento 166 curtiembres, en tan solo 6 km. Esta industria produce en promedio 50.000 pieles por mes y utiliza 720 millones de litros de agua al año para su tratamiento. Esta situación implica que el río Bogotá recibe aguas residuales con alta concentración de sólidos, materia orgánica, nitrógeno, sulfuros y sales minerales, particularmente de sulfato de cromo y sulfuro de sodio²⁶, justificando, que en la estación Chingacio, se presentan las concentraciones más altas de cromo hexavalente.*

De acuerdo a los artículos 38 y 39 del Decreto 1594 del 1984 el máximo permisible para el consumo humano y doméstico de cromo hexavalente es de 0.05 mg/l. De las estaciones evaluadas, todas están cumpliendo con la normatividad. Pero, para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas en su artículo 45 del decreto 1594 de 1984, establece que el máximo permisible no debe ser mayor a 0.01 mg/L de Cr^{+6} . La estación chingacio no cumple con la normatividad, por ende no se aconseja emplear esta agua en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, ya que puede causar alteraciones en ellos²⁷.

²⁵ ZAMBRANO, J., Mora Pinzón, J. A., & Abdrea, M. (2002). *Monitoreo de calidad del agua: Aspectos físico químicos Cuenca Alta del Río Bogotá. Fase I*. Tesis, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C.

²⁶ CAR. (2008). Evaluación ambiental y plan de gestión ambiental, volumen I. Cundinamarca, Bogotá D.C.

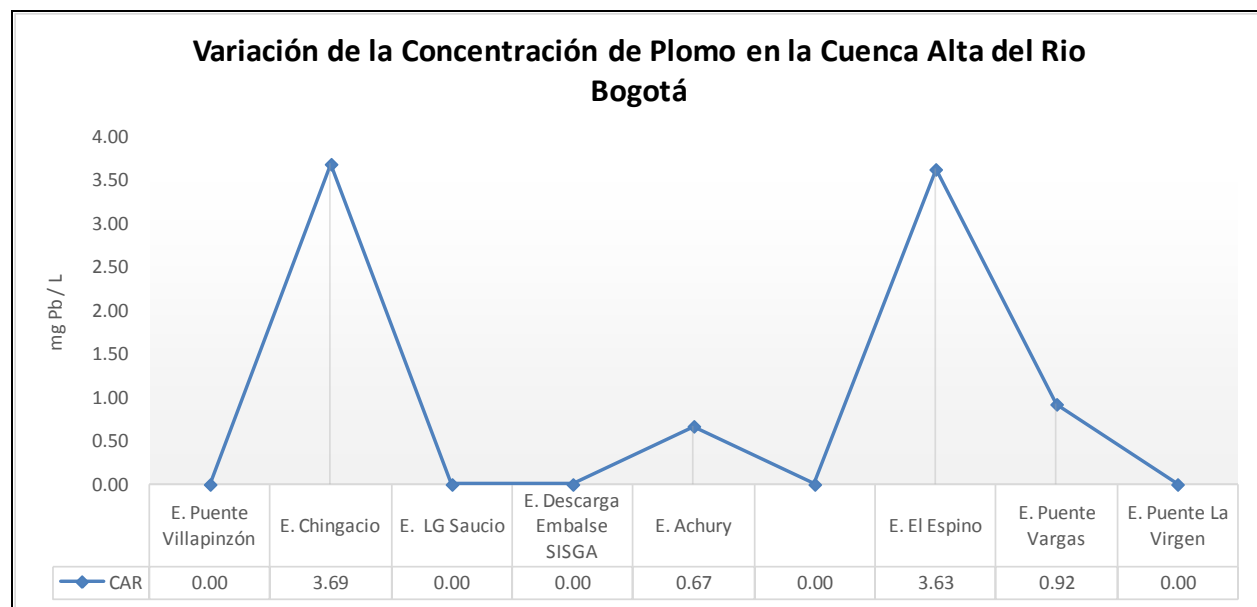
²⁷ Artículo 31 del Decreto 1594 de 1984.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

- **PLOMO**

Gráfico 19. Variación en la concentración de Plomo en la cuenca alta del rio Bogotá.



Fuente: Las Autoras, 2013.

Según los reporte del laboratorio ambiental de la corporación autónoma regional de Cundinamarca, la concentración de metales pesados como el plomo para la estación Chingacio, presenta un alto valor comparado con los valores máximos permisibles del decreto 1594/84, indicativo de los vertidos de tipo industrial de las curtiembres del municipio de Villapinzón. Dicha contaminación está asociada a sustancias químicas utilizadas en los procesos para el curtido de pieles. Para la estación el Espino, se evidencia un alto contenido en la concentración de plomo (**Ver gráfico 19**), por la descarga de Termozipa ya que emplea el carbón como principal combustible. Para las demás estaciones a pesar de contener pequeñas trazas del metal, los valores se encuentran dentro del rango estipulado por el decreto, es decir que en estos puntos no se presentan problemas de toxicidad en al agua para las especies acuáticas, el consumo humano, agrícola y los procesos de biodegradación de las bacterias.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

De acuerdo a los artículos 38 y 39 del Decreto 1594 del 1984 el máximo permisible para el consumo humano y doméstico de plomo es de 0.05 mg/l, y según el artículo 41 del mismo decreto el máximo permisible para uso pecuario es de 0.1 mg/L. De las estaciones evaluadas, la única estación que cumple con la normatividad es la estación Puente Villapinzón, por ende no se recomienda emplear esta agua para el consumo del ganado u otros animales.



CONCLUSIONES

- Al realizar las pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) sobre la especie bioindicadora trucha arcoíris, se obtuvo una concentración letal media (CL_{50-96}) de 65.6 mg/L; Este valor se comparó con los resultados de investigaciones realizadas en el laboratorio de bioensayos de la universidad de La Salle y en otros países, indicando que la concentración obtenida se sitúa en un rango de referencia entre 50 mg/L a 80 mg/L. Adicionalmente, se identificó la capacidad de respuesta que tiene la especie bioindicadora frente al toxico referencia, garantizando la viabilidad para la realización de los ensayos con otra sustancia toxica, en este caso, la cuenca alta del río Bogotá.
- Según los resultados del análisis de varianza (ANOVA) en las estaciones de estudio, se identificó que el factor calculado para nuestro caso fue menor que el factor teórico, exceptuando la estación Chingacio en la que ocurrió lo contrario, debido a que la tasa de mortalidad con la especie ensayada fue mayor; quiere decir que a mayor tasa de mortalidad mayor va ser el factor calculado. Al analizar las gráficas relación dosis – respuesta, se observa que a medida que aumenta la concentración el número de individuos muertos aumenta, es decir, las diferentes concentraciones producen un efecto diferente en todos los organismos, por lo cual se acepta la hipótesis alternativa.
- A partir de la literatura consultada y teniendo en cuenta las características de la especie bioindicadora Trucha Arcoíris (ver **tabla 1**), se evaluaron las siguientes condiciones ambientales para la cuenca alta del rio Bogotá como: *La temperatura, Oxígeno Disuelto, pH, DQO, DBO₅, Conductividad, Turbidez, Sólidos totales Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Sulfatos y metales pesados (cromo y plomo)*, ya que la mortalidad de la especie bioindicadora se pudo ver influenciada por estos factores, puesto que están involucrados con los mayores problemas de contaminación en la cuenca alta del Rio Bogotá.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

- Para el análisis del concepto técnico, se adoptó como criterio utilizar las estaciones de monitoreo: Saucio, descarga embalse Sisga y descarga termozipa para juzgar su influencia en la variación de la concentración de los contaminantes especialmente para las estaciones Achury y el Espino debido a que el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos para ambas estaciones es significativo.
- Con la recopilación de los parámetros fisicoquímicos correspondientes a: *OD, DQO, DBO₅, pH, Conductividad, Turbidez, Sólidos totales, Nitratos, Nitrógeno amoniacal, Sulfatos y metales pesados (cromo y plomo)* de los últimos cinco años (2008 -2012) emitidos por el laboratorio de ambiental de la CAR y los evaluados por las autoras en el laboratorio del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle, se identificó que:
 - La estación Puente Villapinzón por ubicarse cerca al nacimiento del Río Bogotá y por no recibir ningún tipo de descarga de tipo industrial y pocas descargas de tipo doméstico, presentó las menores concentraciones en los parámetros evaluados, en comparación con las demás estaciones; claro está que para el caso específico del oxígeno disuelto, este punto de muestreo presentó la mayor concentración permitiendo el óptimo desarrollo de vida acuática para los organismos ensayados.
 - La estación de monitoreo que presentó las mayores concentraciones en los parámetros evaluados según los artículos 38 y 39 del Decreto 1594 del 1984 y el acuerdo 08 de 2004 de la CAR, fue la *estación Chingacio*, categorizándola como una de las más contaminadas ya que recibe gran cantidad de vertimientos provenientes de las industrias de curtido de pieles, residuos agrícolas y los efluentes de las aguas residuales del municipio de Villapinzón.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

- La estación puente la Virgen ubicada en el municipio de Cota-Cundinamarca, presentó la menor concentración de oxígeno disuelto con un valor de 0.28 mg de O_2/L , demostrando el deterioro del río durante su recorrido.
- Teniendo en cuenta los usos del agua en la cuenca alta del río Bogotá, como: el humano, doméstico, agrícola y pecuario, establecidos por la CAR y comparando las concentraciones de los parámetros evaluados con los artículos 38, 39, 40 y 41 del decreto 1594 de 1984, se identificó que a partir de la estación Chingacio el agua de la cuenca alta no es apta para uso humano, doméstico, agrícola y pecuario; ya que las concentraciones de algunos contaminantes como el plomo, cadmio, cromo hexavalente y nitrógeno amoniacal superan los límites permisibles de la normatividad.
- Debido a las descargas de los embalses de Sisga y Tomine, se evidencia una dilución de los contaminantes en la estación Achury, lo que genera un impacto positivo en este trayecto de la cuenca alta del río Bogotá.
- Según los resultados obtenidos en las pruebas de toxicidad con la especie bioindicadora *Trucha Arcoíris* y la determinación de la concentración letal media (CL_{50-96}), la especie bioindicadora tiene un sistema inmune tolerante a los agentes contaminantes presentes en la cuenca alta del río Bogotá, debido a que el porcentaje de mortalidad de la especie en cada uno de los ensayos no superó el 25%, por ende la CL_{50-96} arrojó un valor $>100\%$ en las respectivas estaciones de estudio (Ver imagen 36), indicando el desarrollo de vida acuática.
- De acuerdo a los resultados de las concentraciones letales medias (CL_{50}) para las especies bioindicadoras *Trucha arcoíris*, *Daphnia magna*, *Daphnia pulex* y *Lactuca sativa*, se afirma que la especie bioindicadora *Lactuca Sativa* presentó mayor grado de sensibilidad a los agentes contaminantes de la cuenca alta del



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

río Bogotá, registrando una concentración letal media menor al 100% en las primeras cuatro estaciones de monitoreo y siendo el punto más crítico la estación achury, ya que la concentración letal media registro un valor de 51.16% lo que indica limitación en el desarrollo de la semilla.

- Teniendo en cuenta el mapa toxicológico de la cuenca alta del rio Bogotá (ver **Imagen 36**) y el análisis realizado en el concepto técnico de los parámetros fisicoquímicos, se concluye que el agua no es apta para el uso agrícola, ya que inhibe la elongación de la raíz de las semillas, esto se demostró con los ensayos realizados con la especie bioindicadora *Lactuca sativa*.



RECOMENDACIONES

- Realizar bioensayos *In situ* para evaluar cómo afecta los contaminantes a la especie bioindicadora Trucha Arcoíris en su morfología interna. ya que los resultados obtenidos en los ensayos de toxicidad demostraron que la concentración letal media es mayor a 100%, lo que indica el desarrollo de la vida acuática.
- Aunque las concentraciones de cromo hexavalente no sobrepasan el valor máximo permisible para descargas a aguas superficiales, en este caso para la cuenca alta del río Bogotá, es importante señalar que la acumulación de estas concentraciones pueden producir enfermedades en la piel, hepáticas, y cancerígenas. Para ello, se recomienda tener un mayor control en el vertimiento de esta sustancia ya que es utilizada en los procesos de curtido de pieles, especialmente de las curtiembres ubicadas en el sector de Villapinzón y Chocontá.
- Controlar las concentraciones de fosfatos y compuestos de nitrógeno pues aceleran el crecimiento de algas y cianobacterias; un aumento en el crecimiento de estas causa eutrofización, lo que conlleva a una falta de oxígeno en el cuerpo de agua causando la extinción de la vida acuática y por consiguiente la descomposición y producción de metano y sulfhídricos.
- Se debe tener en cuenta los principios de bioética al emplear las técnicas experimentales pues en este caso la mortalidad de la especie fue representativa en las pruebas de bioensayo; Para ello, se debe aplicar el uso de las tres R : reducir- refinar-remplazar.



BIBLIOGRAFÍA

- APHA, A.** (1998). *Standard Methods for the Examination of water and wastewater* (20 ed.). Washington, D.C.
- CAR.** (2008). *Evaluación ambiental y plan de gestión ambiental*. Cundinamarca, Bogotá D.C.
- CAR.** (2006). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá*.
- CARDENAS, O., & Arias, R.** (2010). *Determinación de la toxicidad aguda en seis puntos de muestreo de la cuenca alta del río Bogotá, mediante bioensayos con organismos *Daphnia magna* y *Daphnia pulex**. Tesis, Universidad de La Salle, Cundinamarca, Bogotá D.C.
- CASTILLO** Morales, G., Diaz Baez, M. C., Pica Granados, Y., Bulus Rossini, G., Roco, A., Sobrero, C., Sanchez Bain, A. (2004). *Ensayos Toxicológicos y Métodos de evaluación de Calidad de Aguas. Estandarización, Intercalibración, Resultados y Aplicaciones*. (G. Castillo Morales, Ed.) Mexico: Instituto Mexicano de tecnología del agua.
- CRUZ** Torrez Luís Eduardo; DIAZ BAEZ, María Consuelo; REYES, Carmen; Ensayos de toxicidad y su aplicación al control de la contaminación industrial; Universidad Nacional; Facultad de Ingeniería. 1996. Factores que afectan la toxicidad pág. 15.
- DIAZ** BÁEZ María Consuelo, BUSTOS LOPEZ Martha Cristina, ESPINOZA RAMIREZ Adriana Janeth. *Pruebas de Toxicidad Acuática: Fundamentos y Métodos*. Edit. Universidad Nacional de Colombia. 2004.
- EPA.** (2002). *Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms*. Washington.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

ESCOBAR Malaver, P. M., & Londoño Pérez, R. D. (2009). *Manual práctico de ensayos de toxicidad en medio acuático con organismos del género Daphnia*. Universidad de La Salle, Cundinamarca. Bogota D.C: Universidad de La Salle.

FUQUENE Yate, D. M. (2011). *Optimización del uso del agua en la etapa de pelambre en un proceso de curtido que permita la mejor calidad del cuero final y el menor impacto ambiental*. Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Cundinamarca, Bogota D.C.

MELO Vanegas, D., & Soler Manrique, C. (2012). *Determinación de la concentración de inhibición media (CL_{50-120}) en seis puntos de muestreo de la Cuenca Alta del Río Bogotá, mediante ensayos de toxicidad con semilla Lactuca Sativa L.* Tesis, Universidad de La Salle, Cundinamarca, Bogota D.C.

MINISTERIO de agricultura. DECRETO_1594_1984.pdf. Normatividad, Bogotá, D.C.

MINAMBIENTE. (2010). *Decreto 3930*. Normatividad, Bogotá D.C.

MOLINA Trujillo, D., & Rivera Hoyos, Y. (2010). *Determinación de CL_{50-96} de Boro y Selenio sobre alevinos de Trucha Arco Iris mediante bioensayos*. Tesis Pregrado, Universidad de La Salle, Cundinamarca, Bogotá D.C.

PLANEACIÓN, D. N. (2004). *Documento Conpes "Estrategia para el manejo ambiental del río Bogotá*. Bogota D.C.

QUINTERO, D., & Martinez, J. C. (2010). *Prediagnóstico toxicológico asociado al recurso agua de la Cuenca Alta del Río Bogotá*. Tesis, Universidad de La Salle, Cundinamarca, Bogota D.C.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL_{50-96}) MEDIANTE BIOENSAYOS CON ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*), EN 6 PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

ROMERO Rojas, J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. (L. E. Illera Dulce, Ed.) Bogotá D.C., Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

TERRITORIAL, M. d. (6 de 12 de 2009). *Cuencas Hidrograficas*. citado en línea en: http://www.areadigital.gov.co/estrategiapartambiental/Documents/Recurso%20H%C3%ADrico/Cuencas_Hidrograficas_Ecologito.pdf

VICTOR phillips. Manual basico para el cultivo de trucha arcoiris (*Oncorhynchus Mykiss*).

ZAMBRANO, J., Mora Pinzón, J. A., & Abdrea, M. (2002). *Monitoreo de calidad del agua: Aspectos fisico quimicos Cuenca Alta del Río Bogotá. Fase I*. Tesis, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C

ANEXOS

ANEXO A

Plan de muestreo para la toma de muestras en la cuenca alta del rio Bogotá

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE MUESTREO.

El área de estudio se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca, sobre la cuenca alta del rio Bogotá como se puede apreciar en la Imagen N° 1. El muestreo se realizó en seis estaciones georeferenciadas por la corporación autónoma regional de cundinamarca (CAR), ubicadas entre los municipios de Villapinzón, Sesquile, Zipaquirá, Cajicá y Cota.

OBJETO

Realizar el análisis Fisicoquímico de los seis puntos de muestreo, con el fin de elaborar un concepto técnico del estado ecotoxicológico de la cuenca alta del rio Bogotá, junto con la recopilación histórica de los datos fisicoquímicos obtenidos por la CAR en los últimos 5 años.

TIPO DE MUESTREO

La técnica de muestreo es de tipo manual, debido a que las estaciones de monitoreo se encuentran ubicadas bajo puentes vehiculares y por ende se facilita el acceso para la recolección de muestras en el cauce del rio.

TIPO DE MUESTRA

El tipo de muestra fue puntual; la muestra se recolecto en un lugar representativo durante un periodo corto, de minutos a segundos. Represento un instante en el tiempo y un punto en el espacio del área de muestreo.

FRECUENCIA DE MUESTREO

Un muestreo por cada punto o estación de monitoreo.

PARAMETROS A MEDIR

A continuación en la tabla N° 1, se ilustran los parámetros de medición en campo y en laboratorio, el tipo de preservante y el tipo de envase a utilizar.

Parámetro	Tipo de medición		Preservante	Recipiente	Volumen de muestra (ml)	Tiempo de almacenamiento
	IN- SITU	Laboratorio				
pH	X		-----	-----	-----	-----
Temperatura	X		-----	-----	-----	-----
OD	X		-----	-----	-----	-----
Conductividad	X		-----	-----	-----	-----
Turbidez	X		-----	-----	-----	-----
Sólidos Sedimentables	X		-----	-----	-----	-----
DBO		X	Refrigerar a 4 °C	Vidrio Ámbar	1000	6 h – 48 h
DQO		X	H ₂ SO ₄ pH<2 y Refrigerar a 4°C	Vidrio Ámbar	100	7 d – 28 d

Alcalinidad		X	Refrigerar a 4 °C	Vidrio Ámbar	100	
Dureza		X	HNO ₃ pH <2	Vidrio Ámbar	100	
NH₃ (amoníaco)		X		Vidrio Ámbar		
H₂S (ácido sulfhídrico)		X		Vidrio Ámbar		
Nitratos		X	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar	Vidrio Ámbar	100	28 d
Nitritos		X	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar	Vidrio Ámbar	100	28 d
Nitrógeno Amoniacal		X	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar	Vidrio Ámbar	500	28 d
Sulfatos		X	Refrigerar 4°C	Vidrio Ámbar	100	28 d
Fosfatos		X	Refrigerar 4°C	Vidrio Ámbar	100	28 d
Hierro		X	agregar	Vidrio Ámbar	500	6 meses

			HNO ₃ hasta pH<2			
Cobre		X	agregar HNO ₃ hasta pH<2	Vidrio Ámbar		
Plomo		X	agregar HNO ₃ hasta pH<2	Vidrio Ámbar		
Mercurio		X	Agregar K ₂ Cr ₂ O ₇ al 5% en HNO ₃ hasta pH<2, 4°C, refrigerar	Vidrio Ámbar	500	28 d
Grasas y Aceites		x	Agregar HCL hasta pH<2, refrigerar	Vidrio con boca ancha	1000	28 d

Fuente: IDEAM, 2013.

ALISTAMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES

Equipos de muestreo y Limpieza de recipientes

²⁸Para la limpieza exterior de los equipos de muestreo es recomendable lavarlos con suficiente agua, sin ir a causar daños internos que puedan alterar las características de los diferentes componentes. Es importante llevar a campo las herramientas necesarias y apropiadas para efectuar la limpieza de los equipos que lo requieran. Adicionalmente, se deberá limpiar el equipo inmediatamente después de su uso entre muestreo y muestreo para evitar posibles contaminaciones y deterioro.

Para el caso de los sensores se recomienda realizar el lavado (si aplica) y conservación adecuada, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes, ya que estos pueden ser muy delicados. Algunos sensores solo requieren enjuague y posterior secado.

La limpieza de los recipientes es realizada con el fin de dejar libre de iones los envases de toma de muestras. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Se debe realizar solución jabonosa con agua caliente.
- El segundo lavado se realiza con Ácido Nítrico HNO_3 al 65% para oxidar y eliminar la materia orgánica, entonces:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$V_1 = \frac{1000 \text{ ml} * 10\%}{65\%} = 153 \text{ ml}$$

$$V_2 = 153 \text{ ml } HNO_3$$

Es decir, $153 \text{ ml } HNO_3 + 847 \text{ ml } H_2O$

²⁸ Tomado de *GUÍA PARA EL MONITOREO DE VERTIMIENTOS, AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS*.

Las precauciones que se deben tener en cuenta son:

1. Realizar este procedimiento en la cámara de extracción.
2. Utilizar la máscara de vapores.
 - Después se procede a lavar con un hidrácido que puede ser el HCl. En una concentración de 10 %, teniendo en cuenta que el HCL viene con una concentración 35 %.
 - Por último se debe realizar un lavado con agua des ionizada de manera abundante, (varias veces).

TRANSPORTE DE ENVASES Y PRESERVANTES

Es importante tener ya definido el número de recipientes que se deben llevar a campo para el muestreo, que para nuestro caso son: 2 Botellas de vidrio color ámbar de 1000 ml y una de vidrio con boca ancha de 1000 ml.

Los envases y los preservantes deben ser transportados en una nevera de icopor con bastante hielo, para mantener una temperatura de 4°C. Estas neveras deben estar bajo sombra para permitir una mayor conservación de la temperatura.

REVISIÓN Y CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MUESTREO

²⁹Para calibrar los equipos en campo se debe tener a mano el manual de operación y calibración para cada uno de los equipos, el cual deberá ser revisado antes del desplazamiento a campo, con el fin de identificar las necesidades de reactivos y estándares de calibración.

Antes de salir a campo, es indispensable cerciorarse de que el equipo eléctrico y electrónico cuente con los cables adecuados y que se encuentre en buenas condiciones de operación. En caso de utilizar equipos que requieran pilas, verificar su buen funcionamiento y llevar unas de repuesto.

²⁹ Tomado de *GUÍA PARA EL MONITOREO DE VERTIMIENTOS, AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS*.

LLENADO DE BOTELLAS

³⁰Tan pronto se ejecuta el muestreo y la integración, se purgan dos o tres veces todas las botellas con la muestra; desechando tales enjuagues y se procede a llenar las botellas, se deja un espacio libre de aproximadamente dos centímetros; cuando sea necesario, se adiciona el reactivo de preservación, se agita para homogenizar y se tapan las botellas.

Las botellas deben llevar su respectivo rotulo que indica el lugar de muestreo, el tipo de preservante a utilizar, el nombre de la persona quien realizo el muestreo, la fecha y hora de muestreo y el código de recepción en el laboratorio.

Desde el momento de la toma de muestras y hasta su llegada al laboratorio, éstas se deben conservar en refrigeración a 4°C, evitando la congelación.

Los recipientes no deberán ser llenados completamente, excepto algunos casos específicos (DBO, sulfuros, entre otros), ya que se pueden generar rupturas o explosiones por cambios de temperatura y presión, por lo cual es aconsejable dejar un espacio libre entre el contenido y la tapa.

³⁰ Tomado de *GUÍA PARA EL MONITOREO DE VERTIMIENTOS, AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS*

LISTAS DE CHEQUEO³¹

Para la Medición de parámetros de Campo	
<input type="checkbox"/> Formato de captura de datos	<input type="checkbox"/> Baldes plásticos preferiblemente con tapa
<input type="checkbox"/> Geoposicionador	<input type="checkbox"/> Cono Imhoff de 1L, para la medición de sólidos sedimentables ²
<input type="checkbox"/> Altimetro	<input type="checkbox"/> Termómetros sin mercurio
<input type="checkbox"/> Equipo para medición in situ ³	<input type="checkbox"/> Copias de los manuales de fabricantes del equipo de campo
<input type="checkbox"/> Reactivos de calibración	<input type="checkbox"/> Calculadora
<input type="checkbox"/> Recipiente para calibración del equipo de medición	<input type="checkbox"/> Medidor de pH y buffers, cinta indicadora de pH
<input type="checkbox"/> Instructivos para la toma de muestras	

Para la Toma de Muestras	
<input type="checkbox"/> Recipientes de vidrio o plástico	<input type="checkbox"/> Reactivos para preservación de muestras
<input type="checkbox"/> Probeta plástica graduada de 1000 o 2000 mL	<input type="checkbox"/> Frasco lavador con agua destilada
<input type="checkbox"/> Recipiente con agua corriente	<input type="checkbox"/> Balde plástico de 10 L de capacidad con llave plástica
<input type="checkbox"/> Cuerda de Nylon	<input type="checkbox"/> Neveras de icopor o de plástico
<input type="checkbox"/> Bolsas de Hielo	<input type="checkbox"/> Papel indicador universal
<input type="checkbox"/> Frascos de 50 o 100 mL con gotero graduado	<input type="checkbox"/> Pera de caucho o pipeteador
<input type="checkbox"/> Papel absorbente	<input type="checkbox"/> Cinta pegante o de enmascarar
<input type="checkbox"/> Bolsa pequeña de basura	<input type="checkbox"/> Bolsas plásticas
<input type="checkbox"/> Fichas de Seguridad de los preservantes	

Para protección y seguridad de las personas que efectúan el muestreo	
<input type="checkbox"/> Overol o ropa de trabajo cómoda	<input type="checkbox"/> Guantes de Camaza
<input type="checkbox"/> Gafas de Seguridad	<input type="checkbox"/> Botas de Caucho
<input type="checkbox"/> Guantes de Caucho	<input type="checkbox"/> Impermeable para lluvia
<input type="checkbox"/> Guantes de latex	<input type="checkbox"/> Máscara respiradora con filtros para ácidos y vapores orgánicos

³¹ Tomado de *GUÍA PARA EL MONITOREO DE VERTIMIENTOS, AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS*

Para la Localización Física	
<input type="checkbox"/> Cámara fotográfica, rollo	<input type="checkbox"/> Fotografías áreas (opcional)
<input type="checkbox"/> Mapa topográfico	<input type="checkbox"/> Brújula
<input type="checkbox"/> Geoposicionador	<input type="checkbox"/> Altimetro

ANEXO B

Cadena de custodia para la toma de muestras en la cuenca alta del rio Bogotá

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

Nombre de las personas que hace el muestreo: Sandra Janeth Flórez C- Carol Andrea Bejarano

Lugar: Cuenca alta del rio Bogotá

PARAMETRO	UNIDAD	TECNICA ANALITICA	Muestreo N°					
			Punto N° 1	Punto N° 2	Punto N° 3	Punto N° 4	Punto N° 5	Punto N° 6
Fecha del Muestreo								
Hora								
T ambiente	°C							
T muestreo								
pH	Unidades							
Conductividad								
Sólidos disueltos								
Turbidez								
OD								
Sólidos sedimentables								

CLIMA	
DE DONDE PROVIENE LA MUESTRA DE AGUA	
PRESENTA COLOR	
PRESENTA OLOR	
OBSERVA IRIDISCENCIA	

FIRMA DEL RESPONSABLE:

ANEXO C

CARTAS DE CONTROL PARA LAS PRUEBAS DE SENSIBILIDAD CON DICROMATO DE POTASIO $K_2Cr_2O_7$

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N° 1 DE SENSIBILIDAD CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

Prueba de Sensibilidad N°1 sustancia de prueba: Dicromato de potasio

Inicio: Martes 2 de junio de 2012- 8:00 a.m.

Finalización: Sábado 16 de junio de 2012- 10:00 a.m.

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
80%	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
100%	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de Muertos	% de Mortalidad
1	2	3	4	1	2	3	4		
0	0	0	0	0	1	0	1	2	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	1	5	25
0	0	0	0	1	0	1	1	7	35
2	2	0	1	1	2	1	3	16	80
0	0	1	1	2	3	3	2	20	100

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.

Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver.

CARTAS DE CONTROL PARA LAS PRUEBAS DE TOXICIDAD CON DICROMATO DE POTASIO $K_2Cr_2O_7$

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N° 2 DE TOXICIDAD CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

Prueba de sensibilidad N° 2

sustancia de prueba: Dicromato de potasio

Inicio:

Finalización:

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
40%	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
80%	1	0	0	0	1	0	0	2	0	2	1	0	1	0	0	0
100%	1	0	2	1	1	0	1	3	1	0	1	0	1	1	0	1

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de	%
1	2	3	4	1	2	3	4	Muertos	de Mortalidad
0	0	0	0	0	0	0	1	1	5
0	1	0	0	0	0	0	0	3	15
0	1	0	0	0	1	0	1	5	25
0	0	0	0	1	0	1	1	7	35
2	1	0	1	1	3	0	0	16	80
0	0	1	1	2	1	0	1	20	100

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.
Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver.

ANEXO D

CARTAS DE CONTROL PARA LAS PRUEBAS DE TOXICIDAD AGUDA EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N 1 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 1

Sustancia de prueba: **Punto 1.** Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio: martes 4 de septiembre de 2012

Finalización: Sábado 8 de septiembre de 2012

Estación de monitoreo: Puente Villapinzón- Villapinzón

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de	%
1	2	3	4	1	2	3	4	Muertos	de Mortalidad
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	2	10

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.

Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N°1 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 1

Sustancia de prueba: *Punto 2.* Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio: martes 4 de septiembre de 2012

Finalización: Sábado 8 de septiembre de 2012

Estación de monitoreo: Chingacio- Villapinzón

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0

72 HORAS				96 HORAS				Numero de Muertos	% de Mortalidad
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera					
1	2	3	4	1	2	3	4		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	0	0	0	0	0	2	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	4	20

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.
Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N° 1 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 1

Sustancia de prueba: *Punto 3.* Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio: martes 4 de septiembre de 2012

Finalización: Sábado 8 de septiembre de 2012

Estación de monitoreo: Achury- Sesquile

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2		0	0	0	0
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de Muertos	% de Mortalidad
1	2	3	4	1	2	3	4		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	0	0	0	0	0	2	10
0	0	0	0	0	0	1	0	2	10

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.

Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N° 1 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 1

Sustancia de prueba: *Punto 4.* Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio: martes 4 de septiembre de 2012

Finalización: Sábado 8 de septiembre de 2012

Estación de monitoreo: El Espino- Zipaquirá

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de	%
1	2	3	4	1	2	3	4	Muertos	de Mortalidad
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	1	0	0	0	0	2	10

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.
Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N°1 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 1

Sustancia de prueba: *Punto 5*. Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio: martes 4 de septiembre de 2012

Finalización: Sábado 8 de septiembre de 2012

Estación de monitoreo: Puente Vargas- Cajicá

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de Muertos	% de Mortalidad
1	2	3	4	1	2	3	4		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	5

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.

Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N° 1 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 1

Sustancia de prueba: *Punto 6*. Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio: martes 4 de septiembre de 2012

Finalización: Sábado 8 de septiembre de 2012

Estación de monitoreo: Puente la Virgen – Cota (cundí)

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de Muertos	% de Mortalidad
1	2	3	4	1	2	3	4		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.
Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver



CARTAS DE CONTROL PARA LAS PRUEBAS DE TOXICIDAD AGUDA EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N° 2 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 2

Sustancia de prueba: **Punto 1.** Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio:

Finalización:

Estación de monitoreo: Puente Villapinzón- Villapinzón

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de	%
1	2	3	4	1	2	3	4	Muertos	de Mortalidad
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	0	0	0	0	0	2	10

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.
Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N° 2 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 2

Sustancia de prueba: *Punto 2.* Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio:

Finalización:

Estación de monitoreo: Chingacio- Villapinzón

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

72 HORAS				96 HORAS				Numero de Muertos	% de Mortalidad
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera					
1	2	3	4	1	2	3	4		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
0	1	0	0	0	0	0	0	2	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	5	25

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.
Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N 2 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 2

Sustancia de prueba: **Punto 3.** Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio:

Finalización:

Estación de monitoreo: Achury- Sesquile

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de	%
1	2	3	4	1	2	3	4	Muertos	de Mortalidad
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	0	0	0	0	0	2	10
0	0	0	0	0	0	0	0	3	15

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.

Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N 2 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 2

Sustancia de prueba: *Punto 4.* Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio:

Finalización:

Estación de monitoreo: El Espino- Zipaquirá

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de	%
1	2	3	4	1	2	3	4	Muertos	de Mortalidad
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	0	0	0	0	0	2	10

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.
Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N° 2 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 2

Sustancia de prueba: *Punto 5*. Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio:

Finalización:

Estación de monitoreo: Puente Vargas- Cajicá

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de	%
1	2	3	4	1	2	3	4	Muertos	de Mortalidad
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	5

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.
Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA N° 2 DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).

PRUEBA N° 2

Sustancia de prueba: *Punto 6*. Cuenca alta del rio Bogotá

Inicio:

Finalización:

Estación de monitoreo: Puente la Virgen – Cota (cundí)

Tiempo	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

72 HORAS				96 HORAS					
Mortalidad por pecera				Mortalidad por pecera				Numero de	%
1	2	3	4	1	2	3	4	Muertos	de Mortalidad
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Responsables: Carol Andrea Bejarano – Sandra Janeth Flórez C.
Revisado y aprobado por: Ing. Pedro Miguel Escobar Malaver



ANEXO E

REGISTRO DE DATOS

METÓDO ESTADISTICO PROBIT

E.1. PROTOCOLO METÓDO ESTADISTICO PROBIT

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

CONTENIDO

1. Objetivo
2. Definiciones
3. Principio del modelo matemático
4. Procedimiento
5. Bibliografía
6. Anexo 1: Relación entre el Probit empírico y el porcentaje de mortalidad
- Anexo 2: Representación grafica del cálculo de la CL50
- Anexo 3: Determinación del Chi-cuadrado (χ^2).
- Anexo 4: Factor (p) para el Probit calculado (Y).

1. OBJETIVO

Evaluar los resultados de los ensayos por medio de un modelo estadístico

2. DEFINICIONES

Concentración: Magnitud física que expresa la cantidad de un elemento o un compuesto por unidad de volumen.

Dosis: Contenido de principio activo, expresado en cantidad por unidad de toma, por unidad de volumen o de peso en función de la presentación, que se administrara de una vez.

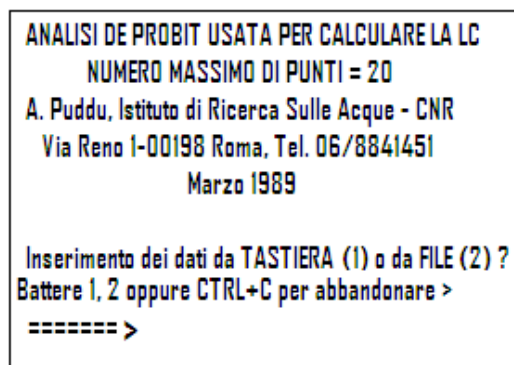
Efecto: Consecuencia positiva o negativa, de la ocurrencia de un evento.

Modelo: Conceptualización de un evento, un proyecto, una hipótesis, el estado de una cuestión, que se representa como un esquema con símbolos descriptivos de características y relaciones más importantes con un fin: ser sometido a modelización como un diseño flexible, que emerge y se desarrolla durante el inicio de la investigación como una evaluación de su relevancia.

Para el desarrollo de esta investigación se adquirió el Software de Probit, el cual determina la CL₅₀₋₉₆ y los límites de confianza más rápido, y su procedimiento es el siguiente:

Se instala el programa en un computador que cuente con un software de Windows 98 en adelante, creándose una carpeta de Probit en el escritorio.

Dentro de esta carpeta quedaran registrados varios archivos; se dirige al archivo con nombre PROBFIS 2 y se hace doble clic, abriéndose una ventana de la siguiente manera:



ANALISI DE PROBIT USATA PER CALCOLARE LA LC
NUMERO MASSIMO DI PUNTI = 20
A. Puddu, Istituto di Ricerca Sulle Acque - CNR
Via Reno 1-00198 Roma, Tel. 06/8841451
Marzo 1989

Inserimento dei dati da TASTIERA (1) o da FILE (2) ?
Battere 1, 2 oppure CTRL+C per abbandonare >
===== >

El cuadro presenta dos opciones para manejar el programa, la (1) es introducir los datos con el teclado, la (2) para introducirlos en fila. Es este paso se escribe (1), y resulta:

```

ANALISI DE PROBIT USATA PER CALCOLARE LA LC
NUMERO MASSIMO DI PUNTI = 20
A. Puddu, Istituto di Ricerca Sulle Acque - CNR
Via Reno 1-00198 Roma, Tel. 06/8841451
Marzo 1989

Inserimento dei dati da TASTIERA (1) o da FILE (2) ?
Battere 1, 2 oppure CTRL+C per abbandonare >
===== > 1

Risultati su SCHERMO (1), STAMPANTE (2), oppure FILE (3) ?
===== > 3

```

Se da un nombre al archivo que se crea con los resultados que determina el programa, de la siguiente manera:

```

ANALISI DE PROBIT USATA PER CALCOLARE LA LC
NUMERO MASSIMO DI PUNTI = 20
A. Puddu, Istituto di Ricerca Sulle Acque - CNR
Via Reno 1-00198 Roma, Tel. 06/8841451
Marzo 1989

Inserimento dei dati da TASTIERA (1) o da FILE (2) ?
Battere 1, 2 oppure CTRL+C per abbandonare >
===== > 1

Risultati su SCHERMO (1), STAMPANTE (2), oppure FILE (3) ?
===== > 3

Inserisci il nome (NAME2) del file per i risultati
===== > B

```

Luego, el programa solicita que se inserten el número de concentraciones, sin el control, número de muertes en el control, número de organismos en el control, de la siguiente manera:

```

Risultati su SCHERMO (1), STAMPANTE (2), oppure FILE (3) ?
===== > 3

Inserisci il nome (NAME2) del file per i risultati
===== > B

NUMERO DI CONCENTRAZIONI (escluso el controllo)=5
NUMERO MORTI NEL CONTROLLO=0
NUMERO ORGANISMI NEL CONTROLLO=20

```

Por último, se ingresan los datos de las concentraciones empezando de menor a mayor concentración, el número de muertes en cada concentración y el número de tratamientos o especies empleadas para cada concentración, en la siguiente forma:

```
Risultati su SCHERMO (1), STAMPANTE (2), oppure FILE (3) ?
===== > 3
Inserisci il nome (NAME2) del file per i risultati
===== > B
NUMERO DI CONCENTRAZIONI (escluso el controllo)=5
NUMERO MORTI NEL CONTROLLO=0
NUMERO ORGANISMI NEL CONTROLLO=20
== > INIZIA A INSERIRE I DATI DALLA CONC. IFERIORE
CONCENTRAZIONE= 0.1
NUMERO MORTI= 0
NUMERO TRATTATI=20
```

Así sucesivamente hasta completar los datos de las 5 concentraciones. Al terminar este paso pulsar enter y se cerrara la ventana; en la carpeta de probit aparecerá un archivo con el nombre que se le designo a la batería de ensayo y en la que se obtuvo los resultados de la CL₅₀ con los límites de confianza.

E.2. RESULTADOS MÉTODO ESTADÍSTICO PROBIT PRUEBAS DE TOXICIDAD CON DICROMATO DE POTASIO

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRÓ DE DATOS PROBIT PARA LAS PRUEBAS DE SENSIBILIDAD CON DICROMATO DE POTASIO

ENSAYO 1: sustancia de prueba: Dicromato de potasio

ENSAYO N° 1
Prueba de sensibilidad

REGRESSIONE NON SIGNIFICATIVA

CONCENTRAZIONE	LOG(CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	1.43
40.00	1.6021	20.	5.	2.71
60.00	1.7782	20.	7.	9.81
80.00	1.9031	20.	16.	16.29
100.00	2.0000	20.	20.	18.96
Controllo		20.	2.	1.43

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati; X- log(conc) ponderati)

Intercetta (a) -	-8.8798	
Pendenza (b) -	7.7361	aa - 1.8104
Media delle X -	1.8394	
Media delle Y -	5.3504	
CHI quadro -	6.7309	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert... -	3	
Mortalit... naturale -	0.0713	aa - 0.0396
Numero di cicli -	8	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	31.1489	15.2252	41.0957
LC50	62.2513	51.5622	70.0938

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate, il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi di un valore stimato per estrapolazione. La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza. Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto di statistica.

RESULTADOS MÉTODO ESTADÍSTICO PROBIT

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRÓ DE DATOS PROBIT PARA LAS PRUEBAS DE TOXICIDAD CON DICROMATO DE POTASIO

ENSAYO 2: sustancia de prueba: Dicromato de potasio

ENSAYO N°2
PRUEBAS DE SENSIBILIDAD

CONCENTRAZIONE	LOG(CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	3.	3.02
40.00	1.6021	20.	5.	3.04
60.00	1.7782	20.	7.	6.63
80.00	1.9031	20.	16.	16.68
100.00	2.0000	20.	20.	19.73
Controllo		20.	1.	3.02

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati; X- log (conc) ponderati)

Intercetta (a) -	-19.4510	
Pendenza (b) -	13.2992	aa - 3.5279
Media delle X -	1.8690	
Media delle Y -	5.4051	
CHI quadro -	3.5676	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert... -	3	
Mortalit... naturale -	0.1512	aa - 0.0464
Numero di cicli -	9	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	46.0907	26.8632	55.2633
LC50	68.9500	59.2875	75.5243

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate, il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto di statistica.

E.3. REGISTRO DE DATOS MÉTODO ESTADÍSTICO PROBIT PARA LAS PRUEBAS DE TOXICIDAD AGUDA EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRÓ DE DATOS PROBIT PARA LAS PRUEBAS DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHA ARCOIRIS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTA.

ENSAYO 1:

```

PUNTO N°1
ESTACIÓN PUENTE VILLAPINZÓN

REGRESSIONE NON SIGNIFICATIVA
-----
      CONCENTRAZIONE      LOG (CONC)      N. TRATTATI      N. MORTI
                                osservati      attesi
      20.00      1.3010      20.      0.      4.14
      40.00      1.6021      20.      0.      2.49
      60.00      1.7782      20.      2.      1.77
      80.00      1.9031      20.      0.      1.37
      100.00     2.0000      20.      1.      1.10
      Controllo      20.      0.      0.00
-----

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE  $Y=a+bX$  :
(Y- probita ponderati; X- log (conc) ponderati)

      Intercetta (a) -      3.7434
      Pendenza (b) -      -0.2261      aa - 0.6640
      Media delle X -      1.6509
      Media delle Y -      3.3701
      CHI quadro -      1.6552

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

      Numero di punti -      5
      Gradi di libert... -      3
      Mortalit... naturale -      0.0000      aa - 0.0001
      Numero di cicli -      1
-----

      END POINT      CONCENTRAZIONE      LIMITI FIDUCIALI (95%)
                                inferiore      superiore
      LC1      53793.9233      11.7202      109.9123
      LC50      0.0000      4.0790      *****
-----

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
di statistica.

```

PUNTO N°2
 ESTACION CHINGACIO
 REGRESSIONE NON SIGNIFICATIVA

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.23
40.00	1.6021	20.	1.	0.98
60.00	1.7782	20.	2.	1.95
80.00	1.9031	20.	0.	2.99
100.00	2.0000	20.	4.	4.01
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati, X- log (conc) ponderati)

Intercetta (a) -	0.0090	
Pendenza (b) -	1.9732	ss - 0.9891
Media delle X -	1.8329	
Media delle Y -	3.6257	
CHI quadro -	2.6033	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert. -	3	
Mortalit. naturale -	0.0000	ss - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	22.4092	0.0000	41.9741
LC50	338.3493	144.8825	*****

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
 il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
 di un valore stimato per estrapolazione.
 La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
 Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
 di statistica.

PUNTO N°3
ESTACIÓN ACHURY - SESQUILE

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.12
40.00	1.6021	20.	0.	0.50
60.00	1.7782	20.	1.	1.05
80.00	1.9031	20.	2.	1.63
100.00	2.0000	20.	2.	2.29
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati, X- log (conc) ponderati)

Intercetta (a) -	-1.2610	
Pendenza (b) -	2.5454	ss - 1.2270
Media delle X -	1.8447	
Media delle Y -	3.4344	
CHI quadro -	0.3683	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert. -	3	
Mortalit. naturale -	0.0000	ss - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	35.1392	0.0002	54.7698
LC50	288.2139	137.2925	*****

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate, il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto di statistica.

PUNTO N°4
ESTACIÓN EL ESPINO - ZIPAQUIRA

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.08
40.00	1.6021	20.	0.	0.40
60.00	1.7782	20.	0.	0.88
80.00	1.7782	20.	1.	0.88
100.00	2.0000	20.	2.	2.06
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati; X- log (conc) ponderati)

Inter-cetta (a) -	-1.7013	
Pendenza (b) -	2.6998	aa - 1.3537
Media della X -	1.8208	
Media della Y -	3.2143	
CHI quadro -	0.6438	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert. -	3	
Mortalit. naturale -	0.0000	aa - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	41.7345	0.0000	61.9915
LC50	303.4980	135.5911	*****

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
di statistica.

PUNTO N°5
ESTACIÓN PUENTE VARGAS- CAJICA

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.00
40.00	1.6021	20.	0.	0.01
60.00	1.7782	20.	0.	0.10
80.00	1.9031	20.	0.	0.39
100.00	2.0000	20.	1.	0.97
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati, X- log (conc) ponderati)

Inter-cetta (a) -	-8.5428	
Pendenza (b) -	5.9150	aa - 4.2578
Media delle X -	1.9398	
Media delle Y -	2.9312	
CHI quadro -	0.1415	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert... -	3	
Mortalit... naturale -	0.0000	aa - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT		CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
			inferiore	superiore
LC1	1.	78.7541	NON	CALCOLABILE
LC50	1.	194.7878	NON	CALCOLABILE

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
di statistica.

PUNTO N°6
ESTACION PUENTE LA VIRGEN - COTA

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.00
40.00	1.6021	20.	0.	0.00
60.00	1.7782	20.	0.	0.00
80.00	1.9031	20.	0.	0.00
100.00	2.0000	20.	0.	0.00
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	1.0279	
Pendenza (b) =	0.0000	es = *****
Media delle X =	1.7169	
Media delle Y =	1.0277	
CHI quadro =	0.0000	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti =	5	
Gradi di libert...	3	
Mortalit... naturale =	0.0000	es = 0.0001
Numero di cicli =	1	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	1.+++++	NON	CALCOLABILE
LC50	1.+++++	NON	CALCOLABILE

NOTA: Se LC \bar{S} al di fuori del range di conc. analizzate,
il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se \bar{S} necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
di statistica.



Registro de datos método estadístico PROBIT

UNIVERSITÀ DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRÒ DE DATOS PROBIT PARA LAS PRUEBAS DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHA
ARCOIRIS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÀ.

ENSAYO 2:

Punto 1
ESTACIÓN PUENTE VILLAPINZÓN

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.07
40.00	1.6021	20.	0.	0.36
60.00	1.7782	20.	1.	0.80
80.00	1.9031	20.	1.	1.32
100.00	2.0000	20.	2.	1.88
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati; X- log (conc) ponderati)

Intercetta (a) -	-1.4179	
Pendenza (b) -	2.5656	aa - 1.3873
Media delle X -	1.8542	
Media delle Y -	3.3393	
CHI quadro -	0.3237	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert... -	3	
Mortalit... naturale -	0.0000	aa - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT		CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
			inferiore	superiore
LC1	1.	39.3382	N O N	C A L C O L A B I L E
LC50	1.	317.3549	N O N	C A L C O L A B I L E

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
di statistica.

PUNTO N°2
 ESTACIÓN CHINGACIO - VILLA PINZON
 REGRESSIONE NON SIGNIFICATIVA

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.14
40.00	1.6021	20.	1.	0.90
60.00	1.7782	20.	2.	2.12
80.00	1.9031	20.	0.	3.51
100.00	2.0000	20.	5.	4.92
Cont-ollo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati, X- log (conc) ponderati)

Intercetta (a) -	-0.6523	
Pendenza (b) -	2.3691	ss - 1.0593
Media delle X -	1.8483	
Media delle Y -	3.7266	
CHI quadro -	3.0728	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert... -	3	
Mortalit... naturale -	0.0000	ss - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	25.3462	0.0168	43.5000
LC50	243.1407	129.5454	*****

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
 il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
 di un valore stimato per estrapolazione.
 La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
 Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
 di statistica.

PUNTO N°3
ESTACIÓN ACHURY- SESQUILE

CONCENTRAZIONE	LOG(CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.02
40.00	1.6021	20.	0.	0.29
60.00	1.7782	20.	1.	0.96
80.00	1.9031	20.	2.	1.93
100.00	2.0000	20.	3.	3.09
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati; X- log (conc) ponderati)

Interseetta (a) -	-2.9652	
Pendenza (b) -	3.4894	aa - 1.5754
Media delle X -	1.8835	
Media delle Y -	3.6072	
CHI quadro -	0.1700	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert... -	3	
Mortalit... naturale -	0.0000	aa - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	41.3066	0.3383	59.1124
LC50	191.7331	118.8534	*****

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
di statistica.

PUNTO N°4
ESTACIÓN EL ESPINO - ZIPAQUIRA

CONCENTRAZIONE	LOG(CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.08
40.00	1.6021	20.	0.	0.40
60.00	1.7782	20.	0.	0.88
60.00	1.7782	20.	1.	0.88
100.00	2.0000	20.	2.	2.06
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati, X- log(conc) ponderati)

Intercetta (a) -	-1.7013	
Pendenza (b) -	2.6998	aa - 1.3537
Media delle X -	1.8208	
Media delle Y -	3.2143	
CHI quadro -	0.6438	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert. -	3	
Mortalit. naturale -	0.0000	aa - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	41.7345	0.0000	61.9915
LC50	303.4980	135.5911	*****

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
di statistica.

PUNTO N°5
ESTACIÓN PUENTE VARGAS- CAJICA

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.00
40.00	1.6021	20.	0.	0.01
60.00	1.7782	20.	0.	0.10
80.00	1.9031	20.	0.	0.39
100.00	2.0000	20.	1.	0.97
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati, X- log (conc) ponderati)

Intercetta (a) -	-8.5428	
Pendenza (b) -	5.9150	ss - 4.2578
Media delle X -	1.9398	
Media delle Y -	2.9312	
CHI quadro -	0.1415	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert... -	3	
Mortalit... naturale -	0.0000	ss - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT		CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
			inferiore	superiore
LC1	1.	78.7541	NON	CALCOLABILE
LC50	1.	194.7878	NON	CALCOLABILE

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
di statistica.

PUNTO N°6
ESTACION PUENTE LA VIRGEN - COTA

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.00
40.00	1.6021	20.	0.	0.00
60.00	1.7782	20.	0.	0.00
80.00	1.9031	20.	0.	0.00
100.00	2.0000	20.	0.	0.00
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y- probita ponderati; X- log (conc) ponderati)

Intercetta (a) -	1.0279	
Pendenza (b) -	0.0000	aa - *****
Media delle X -	1.7169	
Media delle Y -	1.0277	
CHI quadro -	0.0000	

ALTRI PARAMETRI STATISTICI :

Numero di punti -	5	
Gradi di libert... -	3	
Mortalit... naturale -	0.0000	aa - 0.0001
Numero di cicli -	1	

END POINT	CONCENTRAZIONE	LIMITI FIDUCIALI (95%)	
		inferiore	superiore
LC1	1.+++++	NON	CALCOLABILE
LC50	1.+++++	NON	CALCOLABILE

NOTA: Se LC è al di fuori del range di conc. analizzate,
il valore deve essere preso con estrema cautela trattandosi
di un valore stimato per estrapolazione.
La stessa avvertenza vale per i limiti di confidenza.
Se è necessaria altra assistenza, rivolgersi ad un esperto
di statistica.



ANEXO F

RESULTADOS ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRÓ DE RESULTADOS ANOVA PARA LAS PRUEBAS
DE SENSIBILIDAD Y TOXICIDAD AGUDA CON LA ESPECIE
TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mykiss*).**

CONTENIDO

1. Objetivo
2. Definiciones
3. Principio del modelo
4. Procedimiento
5. Ejemplo
6. Bibliografía

1. OBJETIVO

Comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos.

3. DEFINICIONES

Variable: Conceptos que forman enunciados de un tipo particular denominado hipótesis. Las variables se refieren a propiedades de la realidad que varían.

Variable Dependiente: Características de la realidad que se ven determinadas o que dependen del valor que asuman otros fenómenos o variables independientes.

Variables independientes: Los cambios en los valores de este tipo de variables determinan cambios en los valores de otra (variable dependiente).

Grados de libertad: Numero efectivo de observaciones que contribuyen a la suma de cuadrados en un ANOVA, es decir, el número total de observaciones menos el número de datos que sean combinación lineal de otros.

Hipótesis: Propositiones provisionales y exploratorias sobre la veracidad o falsedad de un concepto, una teoría o un modelo con un alcance de trabajo de investigación por simulación y con métodos.

El análisis de varianza parte de algunos supuestos que han de cumplirse:

- La variable dependiente debe medirse al menos a nivel de intervalo.
- Independencia de las observaciones.
- La distribución de la variable dependiente debe ser normal.
- Homogeneidad de las varianzas

Los modelos de efectos aleatorios asumen que en un factor se ha considerado tan solo una muestra de los posibles valores que este puede tomar; estos modelos se usan para describir situaciones en que ocurren diferencias incomparables en el material o grupo experimental. El ejemplo más simple es el de estimar la media desconocida de una población compuesta de individuos diferentes y en el que esas diferencias se mezclan con los errores del instrumento de medición.

La técnica fundamental consiste en la separación de la suma de cuadrados (SS, 'sum of squares') en componentes relativos a los factores contemplados en el modelo. Como ejemplo, mostramos el modelo para un ANOVA simplificado con un tipo de factores en diferentes niveles. (Si los niveles son cuantitativos y los efectos son lineales, puede resultar apropiado un análisis de regresión lineal).

$$SS_{Total} = SS_{Error} + SS_{Factores}$$

El número de grados de libertad (gl) puede separarse de forma similar y se corresponde con la forma en que la distribución chi-cuadrado describe la suma de cuadrados asociada.

$$gl_{Total} = gl_{Error} + gl_{Factores}$$

4. Procedimiento

Al realizar una prueba de toxicidad se pasan los datos correspondientes a la tabla 1.

Tabla 1. Formato de datos de prueba de toxicidad

Tratamientos	Observaciones				Yi	Yi Promedio
	1	2	3	4		

Luego, se plantea la hipótesis nula y la hipótesis X





$$H_0 = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_n$$

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2, \text{ para algún par}$$

El tratamiento del análisis de varianza se hace a través de la siguiente tabla.

FV	SS	GL	Ms	Fc	Ft
Tratamiento	SS_{TTO}	$a - 1$	$\frac{SS_{TTO}}{a - 1}$	$\frac{SS_{TTO}/a - 1}{SS_E/N - a}$	$F\alpha (V_1 V_2)$
Error	SS_E	$N - a$	$\frac{SS_E}{N - a}$		
Total	SS_T	$N - 1$			

Dónde:

-  **N:** Número total de observaciones
-  **n:** Número total de observaciones en cada grupo
-  **a:** número de tratamientos
-  **FV :** fuente de varianza

- ✚ **SS:** suma de cuadrados
- ✚ **GL:** grados de libertad
- ✚ **Ms:** cuadrados medios
- ✚ **Fc:** factor calculado
- ✚ **Ft:** factor tabulado
- ✚ **V₁:** a – 1
- ✚ **V₂:** N – a

Para obtener el SS_{TTO} , se debe reemplazar la siguiente formula:

$$SS_{TTO} = \sum_{i=1}^{a-1} \frac{Y_i^2}{n} - \frac{\bar{Y}^2}{N}$$

Para obtener el SS_T , se debe reemplazar la siguiente formula:

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a-1} \times \sum_{j=1}^{n-1} = Y_{ij}^2 \times \frac{Y^2}{N}$$

Para obtener el SS_E :

$$SS_E = SS_T - SS_{TTO}$$

Al obtener el F_c lo comparamos con el F_t , para aceptar o rechazar la hipótesis como se muestra a continuación:

$$\begin{array}{l} F_c > F_t \text{ Se rechaza la } H_0 \\ F_c < F_t \text{ Se acepta la } H_0 \end{array}$$

Bibliografía

<http://www.estadistico.com/arts.html?201211327>

http://www.udc.es/dep/mate/estadistica2/sec3_7.html.

ANEXO F.1.

Registro de datos de la prueba de sensibilidad con Dicromato de potasio utilizando la especie trucha arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*).

ENSAYO 1:

PRUEBA DE SENSIBILIDAD N°1.						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	2	1	2	5	1,25
60	1	1	3	2	7	1,75
80	7	4	1	4	16	4
100	5	4	6	5	20	5
Blanco	0	1	0	1	2	0,5
				TOTAL	50	12,5

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	79,3333333	5	15,8666667	10,78	2,77
Dentro de Grupos	26,5	18	1,4722		
Total	105,833333	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

ENSAYO 2:

SENSIBILIDAD N°2						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	2	0	1	3	0,75
40	0	2	1	2	5	1,25
60	1	0	5	1	7	1,75
80	6	6	1	3	16	4
100	6	2	5	7	20	5
Blanco	0	0	0	1	1	0,25
				TOTAL	52	13

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	72,3333333	5	14,4666667	4,91	2,77
Dentro de Grupos	53	18	2,9444		
Total	125,333333	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

ANEXO F.2.

Registro de datos del análisis de varianza para las pruebas de toxicidad aguda con la especie trucha arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*).

ENSAYO 1.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del ensayo **N° 1** de los seis puntos de monitoreo de la cuenca alta del río Bogotá, con el método estadístico ANOVA (Análisis de varianza).

PUNTO DE MUESTREO N° 1. ESTACIÓN PUENTE VILLAPINZÓN.						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	1	0	0	0	1	0,25
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	2	0	2	0,5
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	3	0,75

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	0,88	5	0,18	0,84	2,77
Dentro de Grupos	3,75	18	0,21		
Total	4,63	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°2. ESTACIÓN CHINGACIO- VILLAPINZÓN						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	1	0	0	0	1	0,25
60	0	1	1	0	2	0,5
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	2	2	4	1
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	7	1,75

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	3,21	5	0,64	2,01	2,77
Dentro de Grupos	5,75	18	0,32		
Total	8,96	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°3. ESTACION ACHURY-SESQUILE						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	1	0	1	0,25
80	0	0	0	2	2	0,5
100	0	1	1	0	2	0,5
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	5	1,25

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	1,20833333	5	0,24166667	0,91578947	2,77
Dentro de Grupos	4,75	18	0,26		
Total	5,95833333	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°4. ESTACIÓN EL ESPINO- ZIPAQUIRA						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	1	0	0	0	1	0,25
100	0	0	0	2	2	0,5
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	3	0,75

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	0,875	5	0,175	0,84	2,77
Dentro de Grupos	3,75	18	0,21		
Total	4,625	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°5. ESTACIÓN PUENTE VARGAS - ZIPAQUIRA						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	1	0	1	0,25
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	1	0,25

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	0,21	5	0,04	1,00	2,77
Dentro de Grupos	0,75	18	0,04		
Total	0,96	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°6. ESTACIÓN PUENTE LA VIRGEN- COTA						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	0	0

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	0,00	5	0,00	NC	2,77
Dentro de Grupos	0	18	0,00		
Total	0,00	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

ANEXO F.3.

Registro de datos análisis de varianza ANOVA para las pruebas de toxicidad aguda con la especie trucha arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*).

ENSAYO 2.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del ensayo **N° 2** de los seis puntos de monitoreo de la cuenca alta del río Bogotá, con el método estadístico ANOVA (Análisis de varianza).

PUNTO DE MUESTREO N°1. PUENTE VILLAPINZON						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	1	0	1	0,25
80	1	0	0	0	1	0,25
100	0	0	2	0	2	0,5
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	4	1

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	0,83	5	0,17	0,67	2,77
Dentro de Grupos	4,50	18	0,25		
Total	5,33	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°2. ESTACIÓN CHINGACIO- VILLAPINZON						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	1	0	1	0,25
60	0	1	1	0	2	0,5
80	0	0	0	0	0	0
100	1	2	1	1	5	1,25
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	8	2

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	4,83	5	0,97	6,96	2,77
Dentro de Grupos	2,50	18	0,14		
Total	7,33	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°3. ESTACION ACHURY- SESQUILE						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	1	0	0	1	0,25
80	0	0	2	0	2	0,5
100	0	2	1	0	3	0,75
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	6	1,5

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	2	5	0,4	1,10769231	2,77
Dentro de Grupos	6,5	18	0,36		
Total	8,5	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°4. ESTACION EL ESPINO- ZIPAQUIRA						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	1	0	0	1	0,25
100	0	0	0	2	2	0,5
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	3	0,75

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	0,875	5	0,175	0,84	2,77
Dentro de Grupos	3,75	18	0,21		
Total	4,625	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°5. ESTACION PUENTE VARGAS- ZIPAQUIRA						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	1	0	1	0,25
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	1	0,25

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	0,21	5	0,04	1,00	2,77
Dentro de Grupos	0,75	18	0,04		
Total	0,96	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.

PUNTO DE MUESTREO N°6. ESTACIÓN PUENTE LA VIRGEN - COTA						
CONCENTRACIÓN	NUMERO DE REPLICAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
20	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0
Blanco	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	0	0

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio cuadrados	F Calculado	F Teórico
Entre grupos	0,00	5	0,00	NC	2,77
Dentro de Grupos	0	18	0,00		
Total	0,00	23			

Fuente: Las Autoras, 2013.



ANEXO G

REGISTRÓ DE DATOS PARAMETROS DE CONTROL AGUA DECLORADA

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRÓ DE CONTROL PARAMETROS FISICOQUIMICOS AGUA DECLORADA**

CONTROL AGUA DECLORADA (Oncorhynchus Mykiss)			
	pH	Oxigeno Disuelto	Temperatura (°C)
Control previo	7,2	6,54	18,2
Ensayo toxicológico N°1:	7,6	6,67	18,3
Control previo	7,5	6,71	18,2
Ensayo toxicológico N°2:	7,6	6,71	18,2
PARÁMETRO DE CONTROL	7,58	6,00	18,0 - 22

Fuente: Las Autoras, 2013.



ANEXO H

REPORTE DE RESULTADOS PARAMETROS FISICOQUÍMICOS ANALIZADOS POR EL LABORATORIO PIAS, DE LOS SEIS PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRÓ DE REPORTE ANALISIS FISICOQUIMICOS PIAS CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTA**



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
e- mail: lab-ambiental@lasalle.edu.co
Tel: 3535360 ext. 2537 - Fax 3 362840



Bogotá, 30 de Abril de 2013

Atención
Carol Bejarano
Sandra Flórez
Ciudad

RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO.

A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados a la muestra recibida en el laboratorio.

INFORMACIÓN DE CAMPO SUMINISTRADA CON LA MUESTRA:

Método de preservación	Refrigeración – preservación ácida según parámetro a analizar
Números de muestras	3
Volumen de muestra	3 litros
Propósito del muestreo	DQO, DBO ₅ , Fosfatos, Nitratos, Nitritos, pH, Conductividad, Dureza, Sólidos suspendidos totales.
Observaciones:	Ninguna



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
e- mail: lab-ambiental@lasalle.edu.co
Tel: 3535360 ext. 2537 - Fax 3 362840



UNIVERSIDAD DE LA SALLE LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA	
REPORTE DE RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	
Fecha Recepción	03 de Septiembre de 2012
Periodo de ejecución de análisis	03 al 10 de Septiembre de 2012
Identificación de la Muestra	Punto de muestreo 1: estación puente Villa pinzón – municipio Villa pinzón

ANÁLISIS	MÉTODO	MUESTRA	RESULTADO
DQO	Digestión ácida – Fotometría	1	25 mg/l
DBO ₅	Respirometría	1	10 mg/l
pH	Electrodo SM 4500 – H ⁺	1	2.67 a 11.3°C
Conductividad	SM 2510 – B	1	1.04 mS a 11.3°C
Nitritos	Fotometría	1	3 mg/l
Nitratos	Fotometría	1	5.5 mg/l
Fosfatos	Fotometría	1	0.22 mg/l
SST	Gravimetría	1	0.02 mg/l
Dureza	Volumetría	1	10 mg/l

Atentamente,

Ing. OSCAR FERNANDO CONTENTO R
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

e- mail: lab-ambiental@lasalle.edu.co

Tel: 3535360 ext. 2537 - Fax 3 362840



UNIVERSIDAD DE LA SALLE LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA	
REPORTE DE RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	
Fecha Recepción	03 de Septiembre de 2012
Periodo de ejecución de análisis	03 al 10 de Septiembre de 2012
Identificación de la Muestra	Punto de muestreo 2: estación Chingacio – municipio Villa pinzón – vereda Chingacio

ANÁLISIS	MÉTODO	MUESTRA	RESULTADO
DQO	Digestión ácida – Fotometría	2	45 mg/l
DBO ₅	Respirometría	2	17 mg/l
pH	Electrodo SM 4500 – H+	2	2.78 a 10.5°C
Conductividad	SM 2510 – B	2	0.82 mS a 10.5°C
Nitritos	Fotometría	2	5 mg/l
Nitratos	Fotometría	2	7.8 mg/l
Fosfatos	Fotometría	2	0.01 mg/l
SST	Gravimetría	2	0.024 mg/l
Dureza	Volumetría	2	12 mg/l

Atentamente,

Ing. OSCAR FERNANDO CONTENTO R
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

e- mail: lab-ambiental@lasalle.edu.co

Tel: 3535360 ext. 2537 - Fax 3 362840



UNIVERSIDAD DE LA SALLE LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA	
REPORTE DE RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	
Fecha Recepción	03 de Septiembre de 2012
Periodo de ejecución de análisis	03 al 10 de Septiembre de 2012
Identificación de la Muestra	Punto de muestreo 3: estación achury – municipio Sesquilé

ANÁLISIS	MÉTODO	MUESTRA	RESULTADO
DQO	Digestión ácida – Fotometría	3	27 mg/l
DBO ₅	Respirometría	3	9 mg/l
pH	Electrodo SM 4500 – H+	3	2.51 a 10.8°C
Conductividad	SM 2510 – B	3	1.57 mS a 10.8°C
Nitritos	Fotometría	3	4 mg/l
Nitratos	Fotometría	3	4.9 mg/l
Fosfatos	Fotometría	3	0.34 mg/l
SST	Gravimetría	3	0.54 mg/l
Dureza	Volumetría	3	19 mg/l

Atentamente,

Ing. OSCAR FERNANDO CONTENTO R
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
e- mail: lab-ambiental@lasalle.edu.co
Tel: 3535360 ext. 2537 - Fax 3 362840



UNIVERSIDAD DE LA SALLE LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA	
REPORTE DE RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	
Fecha Recepción	01 de Octubre de 2012
Periodo de ejecución de análisis	01 al 08 de Octubre de 2012
Identificación de la Muestra	Punto de muestreo 4: estación El espino – municipio Zipaquirá

ANÁLISIS	MÉTODO	MUESTRA	RESULTADO
DQO	Digestión ácida – Fotometría	4	29 mg/l
DBO ₅	Respirometría	4	9 mg/l
pH	Electrodo SM 4500 – H+	4	6.33 a 11.3°C
Conductividad	SM 2510 – B	4	125.3 μ S a 11.3°C
Nitritos	Fotometría	4	0.011 mg/l
Nitratos	Fotometría	4	5.9 mg/l
Fosfatos	Fotometría	4	2.88 mg/l
SST	Gravimetría	4	53 mg/l
Dureza	Volumetría	4	6.1 mg/l

Atentamente,

Ing. OSCAR FERNANDO CONTENTO R
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
e- mail: lab-ambiental@lasalle.edu.co
Tel: 3535360 ext. 2537 - Fax 3 362840



UNIVERSIDAD DE LA SALLE	
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA	
REPORTE DE RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	
Fecha Recepción	01 de Octubre de 2012
Periodo de ejecución de análisis	01 al 08 de Octubre de 2012
Identificación de la Muestra	Punto de muestreo 5: estación Puente Vargas – municipio Cajica

ANÁLISIS	MÉTODO	MUESTRA	RESULTADO
DQO	Digestión ácida – Fotometría	5	37 mg/l
DBO ₅	Respirometría	5	7 mg/l
pH	Electrodo SM 4500 – H+	5	7.16 a 13.6°C
Conductividad	SM 2510 – B	5	265 µS a 13.6°C
Nitritos	Fotometría	5	0.032 mg/l
Nitratos	Fotometría	5	2.3 mg/l
Fosfatos	Fotometría	5	1.52 mg/l
SST	Gravimetría	5	36 mg/l
Dureza	Volumetría	5	7.9 mg/l

Atentamente,

Ing. OSCAR FERNANDO CONTENTO R
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
e- mail: lab-ambiental@lasalle.edu.co
Tel: 3535360 ext. 2537 - Fax 3 362840



UNIVERSIDAD DE LA SALLE LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA	
REPORTE DE RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	
Fecha Recepción	01 de Octubre de 2012
Periodo de ejecución de análisis	01 al 08 de Octubre de 2012
Identificación de la Muestra	Punto de muestreo 6 : estación Puente la Virgen – municipio Cota

ANÁLISIS	MÉTODO	MUESTRA	RESULTADO
DQO	Digestión ácida – Fotometría	6	59 mg/l
DBO ₅	Respirometría	6	13 mg/l
pH	Electrodo SM 4500 – H ⁺	6	6.03 a 13.7°C
Conductividad	SM 2510 – B	6	259 µS a 13.7°C
Nitritos	Fotometría	6	0.004 mg/l
Nitratos	Fotometría	6	4.1 mg/l
Fosfatos	Fotometría	6	1.01 mg/l
SST	Gravimetría	6	70 mg/l
Dureza	Volumetría	6	6.8 mg/l

Atentamente,

Ing. OSCAR FERNANDO CONTENITO R
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE



ANEXO I

REGISTRÓ RESULTADOS HISTÓRICOS DE LOS PARAMÉTROS FISICOQUÍMICOS ANALIZADOS POR EL LABORATORIO AMBIENTAL DE LA CAR, DE LOS SEIS PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
REGISTRÓ ANALISIS FISICOQUIMICOS CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTA

REGISTRO HISTÓRICO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL PUNTO DE MUESTREO N° 1: ESTACIÓN PUENTE VILLAPINZÓN- VILLAPINZÓN

		AÑO 2008	AÑO 2009	AÑO 2010	AÑO 2011	AÑO 2012	Promedios
Parametro	Unidades	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
Cloruros	mg Cl ⁻ / L	5,1	4,1	2,7	13,5	5,5	6,18
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	0	11,4		16,2	9,1	12,23
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	8.2*10 ⁴	2.4*10 ³	3.6*10 ³	7.7*10 ⁵	1.7*10 ⁴	
Conductividad	μS / cm	31	23,9	40,9	76,2	40,1	42,42
DBO	mg O ₂ / L	3,1	< VMD	< VMD	15,7	<LCM	9,4
DQO	mg O ₂ / L	21,6	10,8	17,6	31,6	<LCM	20,4
Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	11,8	7,4		22,8	13,05	13,76
Fosforo Total	mg-P/ L	0,05	0,07	0,108	0,202	0,091	0,10
N- Amoniacal	mg-NH ₃ / L	0,36	< VMD	< VMD	1,51	<VMD	0,94
N-Total	mg-Norg / L	0	< VMD	1,1	1,7	<LCM	1,4
Nitratos	mg-NO ₃ / L	0,2	0,2	0,9	0,2	0,4	0,38
Nitritos	mg-NO ₂ / L	0,008	< VMD	< VMD	0,011	0,005	0,01
Oxigeno Disuelto	mg O ₂ / L	6,7	6	7,6	5,5	7,6	6,68
pH	Unidades	7,1	6,6	7,3	7,7	7,1	7,16
Solidos Suspendidos	mg-SST / L	4,5	7	6,5	16	13	9,4
Solidos Totales	mg-ST / L	30	42,7		86	41	49,93
Sulfatos	mg-SO ₄ / L	2,9	7,1	8,1	1,8	3	4,58
Sulfuros	mg-S ⁼ / L	0			<VMD		0
Cadmio	mg Cd / L	0	< VMD	< VMD	< VMD		<VMD

Calcio	mg Ca / L	2,36	2,25	4,92	6,55	3,83	3,98
Cromo +6	mg Cr ⁺⁶ / L	0,01	< VMD	< VMD	< VMD	<LCM	0,01
Cromo Total	mg Cr total / L		< VMD	< VMD			
Hierro	mg Fe / L	0,74	0,52	< VMD	1,53	1,74	1,13
Magnesio	mg Mg / L	1,44	0,44	0,73	1,56	0,85	1,00
Manganeso	mg Mn / L	0,01	< VMD	0,01	<VMD		0,01
Plomo	mg Pb / L	0	< VMD	< VMD	< VMD		0
Sodio	mg Na / L	11,71	< VMD	2,1	6,2	2,03	5,51
Caudal	lps	190	335	185		503	
Temperatura del agua	°C	12,5	13,6		14,5	11	12,9

Paraméto	Unidades	Metódo Analítico	AÑO 2008 Valor	AÑO 2009 Valor	AÑO 2010 Valor	AÑO 2011 Valor	AÑO 2012 Valor	Promedios
Cloruros	mg Cl / L	Nitrato de mercurio (4500 - CL - C)	5,1	4,1	2,7	13,5	5,5	6,18
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	Titulación potenciométrica (2310 B)	0	11,4		16,2	9,1	12,23
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	Sustrato definido (9223)	8.2*10 ⁴	2.4*10 ³	3.6*10 ³	7.7*10 ⁵	1.7*10 ⁴	
Conductividad	μS / cm	Electrométrico 2510 B	31	23,9	40,9	76,2	40,1	42,42
DBO	mg O ₂ / L	Prueba de 5 días (5210 B)	3,1	< VMD	< VMD	15,7	<LCM	9,4
DQO	mg O ₂ / L	Reflujo abierto (5220 B)	21,6	10,8	17,6	31,6	<LCM	20,4
Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	Cálculo (2340 B)	11,8	7,4		22,8	13,05	13,76
Fosforo Total	mg-P/ L	Ácido ascorbico (4500 -p- E)	0,05	0,07	0,108	0,202	0,091	0,10
N- Amoniacal	mg-NH ₃ / L	Nesslerización (417 b- Ed. 16)	0,36	< VMD	< VMD	1,51	<VMD	0,94
N-Total	mg-Norg / L	Macro Kjendahl (4500- Norg B)	0	< VMD	1,1	1,7	<LCM	1,4
Nitratos	mg-NO ₃ / L	Ácido cromotrópico (418 D - Ed 16)	0,2	0,2	0,9	0,2	0,4	0,38
Nitritos	mg-NO ₂ / L	Colorimétrico (4500 N O2 B)	0,008	< VMD	< VMD	0,011	0,005	0,01
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Modificacion Azida/electrodo de membrana	6,7	6	7,6	5,5	7,6	6,68
pH	Unidades	Electrométrico (4500 H +)	7,1	6,6	7,3	7,7	7,1	7,16
Solidos Suspendidos	mg-SST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)	4,5	7	6,5	16	13	9,4
Solidos Totales	mg-ST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)	30	42,7		86	41	49,93
Sulfatos	mg-SO ₄ / L	Turbidimétrico (4500 SO4- E)	2,9	7,1	8,1	1,8	3	4,58
Sulfuros	mg-S ²⁻ / L	Lodométrico (4500 S - F)	0			<VMD		0
Cadmio	mg Cd / L	Adsorción atómica 3110	0	< VMD	< VMD	< VMD		0
Calcio	mg Ca / L	Adsorción atómica 3110	2,36	2,25	4,92	6,55	3,83	3,98
Cromo +6	mg Cr ⁺⁶ / L	Colorimétrico	0,01	< VMD	< VMD	< VMD	<LCM	0,01
Cromo Total	mg Cr total / L	Adsorción atómica 3110		< VMD	< VMD			
Hierro	mg Fe / L	Adsorción atómica 3110	0,74	0,52	< VMD	1,53	1,74	1,13
Magnesio	mg Mg / L	Adsorción atómica 3110	1,44	0,44	0,73	1,56	0,85	1,00
Manganeso	mg Mn / L	Adsorción atómica 3110	0,01	< VMD	126	<VMD		63,01
Plomo	mg Pb / L	Adsorción atómica 3110	0	< VMD	< VMD	< VMD		0
Sodio	mg Na / L	Adsorción atómica 3110	11,71	< VMD	210	6,2	2,03	57,49
Caudal	lps		190	335	185		503	
Temperatura del agua	°C		12,5	13,6		14,5	11	12,9

Fuente: Las Autoras, a partir de información recopilada por el laboratorio ambiental de la CAR, 2013.

REGISTRO HISTÓRICO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PUNTO DE MUESTREO N° 2: ESTACIÓN CHINGACIO- VEREDA VILLAPINZÓN

Parámetro	Unidades	Método Analítico	AÑO 2008 Valor	AÑO 2009 Valor	AÑO 2010 Valor	AÑO 2011 Valor	AÑO 2012 Valor	Promedios
Cloruros	mg Cl ⁻ / L	Nitrato de mercurio (4500 - CL - C)	50,1	15,1	151	5,8	15,7	47,54
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	Titulación potenciométrica (2310 B)		37,1	67,8	14,1	34,9	38,48
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	Sustrato definido (9223)	2.4*10 ⁶	>2.4*10 ⁵	9.8*10 ⁵	3.6*10 ⁴	3.9*10 ⁵	
Conductividad	μS / cm	Electrométrico 2510 B	277	88,2	805	152	140	292,44
DBO	mg O ₂ / L	Prueba de 5 días (5210 B)	25	11,6	99,3	<VMD	19,5	38,85
DQO	mg O ₂ / L	Reflujo abierto (5220 B)	73,2	44	132	10,8	68,1	65,62
Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	Cálculo (2340 B)	35,7	19,9		14,22	35,8	26,41
Fosforo Total	mg-P / L	Ácido ascorbico (4500 -p- E)	0,38	0,234	1,027	0,191	0,289	0,42
N- Amoniacal	mg-NH ₃ / L	Nesslerización (417 b- Ed. 16)	3,08	1,23	15,66	0,72	1,66	4,47
N-Total	mg-Norg / L	Macro Kjendahl (4500- Norg B)		2,5	28,4	1,1	3,3	8,83
Nitratos	mg-NO ₃ / L	Ácido cromotrópico (418 D - Ed 16)	0,3	0,3	0,1	2,2	0,3	0,64
Nitritos	mg-NO ₂ / L	Colorimétrico (4500 N O2 B)	0,02	0,01	0,005	0,012	0,012	0,01
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Modificación Azida/electrodo de membrana	4	5,5	0,6	4,8	5,5	4,08
pH	Unidades	Electrométrico (4500 H +)	8	7,1	7,8	7,2	10,2	8,06
Sólidos Suspendidos	mg-SST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)	27	25	41,4	160	39	58,48
Sólidos Totales	mg-ST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)	210	106	465	197	147	225
Sulfatos	mg-SO ₄ / L	Turbidimétrico (4500 SO4- E)	25,2	10,7	66,8	<VMD	9,8	28,13
Sulfuros	mg-S ²⁻ / L	Lodométrico (4500 S - F)	0,93			<VMD		0,93
Cadmio	mg Cd / L	Adsorción atómica 3110	0	2,85	<VMD	<VMD		2,85
Calcio	mg Ca / L	Adsorción atómica 3110	11,47	6,88	23,65	4,53	12,73	11,85
Cromo +6	mg Cr ⁺⁶ / L	Colorimétrico	0,01	<VMD	<VMD	0,027	<LCM	0,02
Cromo Total	mg Cr total / L	Adsorción atómica 3110		101	211,77			156,39
Hierro	mg Fe / L	Adsorción atómica 3110	0,95	0,79	<VMD	2,95	1,4	1,52
Magnesio	mg Mg / L	Adsorción atómica 3110	1,71	0,65	1,77	0,87	0,97	1,19
Manganeso	mg Mn / L	Adsorción atómica 3110	0,06	<VMD	187,55	<VMD		93,81
Plomo	mg Pb / L	Adsorción atómica 3110	0	3,69	<VMD	<VMD		3,69
Sodio	mg Na / L	Adsorción atómica 3110	70,54	9,62	102	5,57	11,3	39,81
Caudal	lps		479	695	921		1298	
Temperatura del agua	°C		16,5	15		14,6	12,5	14,65

Fuente: Las Autoras, a partir de información recopilada por el laboratorio ambiental de la CAR, 2013.

REGISTRO HISTÓRICO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL PUNTO DE MUESTREO N° 3: ESTACIÓN ACHURY- SESQUILE CUNDINAMARCA

		AÑO 2008	AÑO 2009	AÑO 2010	AÑO 2011	AÑO 2012	Promedios
Parametro	Unidades	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
Cloruros	mg Cl ⁻ / L	5,1	4,1	2,7	13,5	5,5	6,18
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	0	11,4		16,2	9,1	12,23
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	8.2*10 ⁴	2.4*10 ³	3.6*10 ³	7.7*10 ⁵	1.7*10 ⁴	
Conductividad	μS / cm	31	23,9	40,9	76,2	40,1	42,42
DBO	mg O ₂ / L	3,1	< VMD	< VMD	15,7	<LCM	9,4
DQO	mg O ₂ / L	21,6	10,8	17,6	31,6	<LCM	20,4
Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	11,8	7,4		22,8	13,05	13,76
Fosforo Total	mg-P/ L	0,05	0,07	0,108	0,202	0,091	0,10
N- Amoniacal	mg-NH ₃ / L	0,36	< VMD	< VMD	1,51	<VMD	0,94
N-Total	mg-Norg / L	0	< VMD	1,1	1,7	<LCM	1,4
Nitratos	mg-NO ₃ / L	0,2	0,2	0,9	0,2	0,4	0,38
Nitritos	mg-NO ₂ / L	0,008	< VMD	< VMD	0,011	0,005	0,01
Oxigeno Disuelto	mg O ₂ / L	6,7	6	7,6	5,5	7,6	6,68
pH	Unidades	7,1	6,6	7,3	7,7	7,1	7,16
Solidos Suspendidos	mg-SST / L	4,5	7	6,5	16	13	9,4
Solidos Totales	mg-ST / L	30	42,7		86	41	49,93
Sulfatos	mg-SO ₄ / L	2,9	7,1	8,1	1,8	3	4,58
Sulfuros	mg-S ⁼ / L	0			<VMD		0
Cadmio	mg Cd / L	0	< VMD	< VMD	< VMD		<VMD
Calcio	mg Ca / L	2,36	2,25	4,92	6,55	3,83	3,98
Cromo +6	mg Cr ⁺⁶ / L	0,01	< VMD	< VMD	< VMD	<LCM	0,01
Cromo Total	mg Cr total /		< VMD	< VMD			

	L						
Hierro	mg Fe / L	0,74	0,52	< VMD	1,53	1,74	1,13
Magnesio	mg Mg / L	1,44	0,44	0,73	1,56	0,85	1,00
Manganeso	mg Mn / L	0,01	< VMD	0,01	<VMD		0,01
Plomo	mg Pb / L	0	< VMD	< VMD	< VMD		0
Sodio	mg Na / L	11,71	< VMD	2,1	6,2	2,03	5,51
Caudal	lps	190	335	185		503	
Temperatura del agua	°C	12,5	13,6		14,5	11	12,9

			AÑO 2008	AÑO 2009	AÑO 2010	AÑO 2011	AÑO 2012	Promedios
Parámetro	Unidades	Metódo Analítico	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
Cloruros	mg Cl ⁻ / L	Nitrato de mercurio (4500 - CL - C)	12,6	9,1		NO HAY REGISTROS	8	9,9
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	Titulación potenciométrica (2310 B)			20,7		14,8	17,75
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	Sustrato definido (9223)	1.3*10 ⁴	2.2*10 ⁴	1.8*10 ³		3.4*10 ⁴	
Conductividad	µS / cm	Electrométrico 2510 B	113	54,4	58		69,8	73,8
DBO	mg O ₂ / L	Prueba de 5 dias (5210 B)	<LC	2,2	<VMD		<LCM	2,2
DQO	mg O ₂ / L	Reflujo abierto (5220 B)	17,4	15	<VMD		15,6	16
Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	Cálculo (2340 B)	21,5	10,9	7,3		15,61	13,83
Fosforo Total	mg-P/ L	Ácido ascorbico (4500 -p- E)	0,05	0,079	<VMD		0,157	0,10
N- Amoniacal	mg-NH ₃ / L	Nesslerización (417 b- Ed. 16)	0,26	<VMD	<VMD		1,01	0,64
N-Total	mg-Norg / L	Macro Kjendahl (4500- Norg B)		<VMD	<VMD		1,2	1,2
Nitratos	mg-NO ₃ / L	Ácido cromotrópico (418 D - Ed 16)	0,6	0,4	0,3		0,7	0,5
Nitritos	mg-NO ₂ / L	Colorimétrico (4500 N O2 B)	0,011	0,008	0,006		<LCM	0,0083
Oxigeno Disuelto	mg O ₂ / L	Modificacion Azida/electrodo de membrana	6,2	6,2	6,9		5,6	6,23
pH	Unidades	Electrométrico (4500 H +)	7,4	6,5	7,3		7,1	7,075
Solidos Suspendidos	mg-SST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)	7,6	40	8		31,3	21,73
Solidos Totales	mg-ST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)	66,7	82,7			56	68,47
Sulfatos	mg-SO ₄ / L	Turbidimétrico (4500 SO4- E)	6,4	7	12,9		8,6	8,725
Sulfuros	mg-S ⁻ / L	Lodométrico (4500 S - F)						
Cadmio	mg Cd / L	Adsorcion atómica 3110	0	0,27	<VMD			0,27
Calcio	mg Ca / L	Adsorcion atómica 3110	5,76	2,85	2,3		4,21	3,78
Cromo +6	mg Cr ⁺⁶ / L	Colorimétrico	0	<VMD	<VMD		<LCM	0
Cromo Total	mg Cr total / L	Adsorcion atómica 3110						
Hierro	mg Fe / L	Adsorcion atómica 3110	0,77	0,79	<VMD		2,68	1,41
Magnesio	mg Mg / L	Adsorcion atómica 3110	1,74	0,93	0,37		1,24	1,07
Manganeso	mg Mn / L	Adsorcion atómica 3110	0,07	<VMD	43,84			21,96
Plomo	mg Pb / L	Adsorcion atómica 3110		0,67	<VMD			0,67
Sodio	mg Na / L	Adsorcion atómica 3110	13,8	3,25	3,42		5,21	6,42
Caudal	lps		9735	9876				
Temperatura del agua	°C		17,9	18	19			18,3

Fuente: Las Autoras, a partir de información recopilada por el laboratorio ambiental de la CAR, 2013.

REGISTRO HISTÓRICO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL PUNTO DE MUESTREO N° 4: ESTACIÓN EL ESPINO-ZIPAQUIRA CUNDINAMARCA

			AÑO 2008	AÑO 2009	AÑO 2010	AÑO 2011	AÑO 2012	Promedios
Parámetro	Unidades	Metódo Analítico	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
Cloruros	mg Cl ⁻ / L	Nitrato de mercurio (4500 - CL - C)	12,2	10,3	13,1	16,9	11,6	12,82
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	Titulación potenciométrica (2310 B)		27	26,4	22,5	22,2	24,53
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	Sustrato definido (9223)	2.1*10 ⁵	7.03*10 ³	7.3*10 ⁴	2.9*10 ⁴	>2.4*10 ⁵	
Conductividad	μS / cm	Electrométrico 2510 B	111	94,5	104	122	104	107,1
DBO	mg O ₂ / L	Prueba de 5 días (5210 B)	4,9	3,4	2,1	2,9	4,3	3,52
DQO	mg O ₂ / L	Reflujo abierto (5220 B)	33,2	23,2	28,9	20,7	30,1	27,22
Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	Cálculo (2340 B)	29,4	16	23,1	49,61	25,85	28,79
Fosforo Total	mg-P/ L	Ácido ascorbico (4500 -p- E)	0,44	0,251	0,315	0,28	0,293	0,32
N- Amoniacal	mg-NH ₃ / L	Nesslerización (417 b- Ed. 16)	0,96	<VMD	0,94	<VMD	1,75	1,22
N-Total	mg-Norg / L	Macro Kjendahl (4500- Norg B)		1,2	2	<VMD	NR	1,6
Nitratos	mg-NO ₃ / L	Ácido cromotrópico (418 D - Ed 16)	0,5	0,9	0,3	0,6	0,4	0,54
Nitritos	mg-NO ₂ / L	Colorimétrico (4500 N O2 B)	0,04	0,032	0,014	0,03	0,035	0,03
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Modificación Azida/electrodo de membrana	3,7	3,3	4,4	4,5	4,4	4,06
pH	Unidades	Electrométrico (4500 H +)	6,8	7	7,2	6,8	6,7	6,9
Sólidos Suspendidos	mg-SST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)	156	36,7	<VMD	30	66,2	72,23
Sólidos Totales	mg-ST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)	253		80,07	138	129	150,02
Sulfatos	mg-SO ₄ / L	Turbidimétrico (4500 SO4- E)	8,4	10,5	7,8	8	9,6	8,86
Sulfuros	mg-S ²⁻ / L	Lodométrico (4500 S - F)						
Cadmio	mg Cd / L	Adsorción atómica 3110	0	<VMD	<VMD	<VMD		0
Calcio	mg Ca / L	Adsorción atómica 3110	7,43	4,18	6,93	13,73	7,15	7,88
Cromo +6	mg Cr ⁺⁶ / L	Colorimétrico	0,01	<VMD	<VMD	<VMD	<LCM	0,01
Cromo Total	mg Cr total / L	Adsorción atómica 3110						
Hierro	mg Fe / L	Adsorción atómica 3110	3,99	1,25	1,02	2,34	2,82	2,28
Magnesio	mg Mg / L	Adsorción atómica 3110	2,63	1,34	1,4	3,71	1,94	2,20
Manganeso	mg Mn / L	Adsorción atómica 3110	0,08	<VMD	187	79,26		88,78
Plomo	mg Pb / L	Adsorción atómica 3110	0	1,05	<VMD	6,21		3,63
Sodio	mg Na / L	Adsorción atómica 3110	20,42	15,9	12,57	27,81	6,66	16,67
Caudal	lps		1300		1241			
Temperatura del agua	°C		20	18,8	23,7			20,83

Fuente: Las Autoras, a partir de información recopilada por el laboratorio ambiental de la CAR, 2013.

REGISTRO HISTÓRICO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL PUNTO DE MUESTREO N° 5: ESTACIÓN PUENTE VARGAS- CAJICÁ CUNDINAMARCA.

Parámetro	Unidades	Metódo Analítico	AÑO 2008	AÑO 2009	AÑO 2010	AÑO 2011	AÑO 2012	Promedios
			Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
Cloruros	mg Cl ⁻ / L	Nitrato de mercurio (4500 - CL - C)	NO HAY REGISTROS	43,7	157	90,9	NO HAY REGISTROS	97,2
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	Titulación potenciométrica (2310 B)		42,9	49,5	43,6		45,33
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	Sustrato definido (9223)		>2.4*10 ⁵	8.2*10 ⁵	3.3*10 ⁵		0
Conductividad	µS / cm	Electrométrico 2510 B		220	575	423		406
DBO	mg O ₂ / L	Prueba de 5 días (5210 B)		4,5	3,6	7,6		5,23
DQO	mg O ₂ / L	Reflujo abierto (5220 B)		27	32,5	42,5		34
Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	Cálculo (2340 B)		22	57	43,78		40,93
Fosforo Total	mg-P / L	Ácido ascorbico (4500 -p- E)		0,422	0,552	0,651		0,54
N- Amoniacal	mg-NH ₃ / L	Nesslerización (417 b- Ed. 16)		1,61	3,15	2,84		2,53
N-Total	mg-Norg / L	Macro Kjendahl (4500- Norg B)		1,6	4,2	2,7		2,83
Nitratos	mg-NO ₃ / L	Ácido cromotrópico (418 D - Ed 16)		0,7	0,4	0,4		0,5
Nitritos	mg-NO ₂ / L	Colorimétrico (4500 N O2 B)		0,071	0,028	0,058		0,05
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Modificación Azida/electrodo de membrana		1,2	1	0,6		0,93
pH	Unidades	Electrométrico (4500 H +)		7,5	7,1	6,8		7,13
Solidos Suspendidos	mg-SST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)		47	22	42		37
Solidos Totales	mg-ST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)		172	342	284		266
Sulfatos	mg-SO ₄ / L	Turbidimétrico (4500 SO4- E)		18,2	22,8	14,6		18,53
Sulfuros	mg-S ²⁻ / L	Lodométrico (4500 S - F)						0
Cadmio	mg Cd / L	Adsorción atómica 3110		<VMD	<VMD	<VMD		0
Calcio	mg Ca / L	Adsorción atómica 3110		6,83	19,73	13,01		13,19
Cromo +6	mg Cr ⁺⁶ / L	Colorimétrico		<VMD	<VMD	<VMD		0
Cromo Total	mg Cr total / L	Adsorción atómica 3110						0
Hierro	mg Fe / L	Adsorción atómica 3110		1,12	1,01	2,36		1,50
Magnesio	mg Mg / L	Adsorción atómica 3110		1,2	1,89	2,73		1,94
Manganeso	mg Mn / L	Adsorción atómica 3110		<VMD	394	133		175,67
Plomo	mg Pb / L	Adsorción atómica 3110		<VMD	<VMD	2,77		0,92
Sodio	mg Na / L	Adsorción atómica 3110		34	94,76	60,99		63,25
Caudal	lps				8925			
Temperatura del agua	°C			18,5	22,2	19,9		20,2

Fuente: Las Autoras, a partir de información recopilada por el laboratorio ambiental de la CAR, 2013.

REGISTRO HISTÓRICO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL PUNTO DE MUESTREO N° 6: ESTACIÓN PUENTE LA VIRGEN- COTA CUNDINAMARCA.

Parámetro	Unidades	Metádo Analítico	AÑO 2008	AÑO 2009	AÑO 2010	AÑO 2011	AÑO 2012	Promedios
			Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
Cloruros	mg Cl / L	Nitrato de mercurio (4500 - CL - C)	NO HAY REGISTROS	55,3	51,1	97,1	26,6	57,53
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ / L	Titulación potenciométrica (2310 B)		62,1	83,5	79	49,3	68,48
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	Sustrato definido (9223)		>2.4*10 ⁵	6.1*10 ⁵	2.4*10 ⁶	2.4*10 ⁵	
Conductividad	μS / cm	Electrométrico 2510 B		384	350	536	232	375,5
DBO	mg O ₂ / L	Prueba de 5 días (5210 B)		6,6	12,9	14,4	4	9,48
DQO	mg O ₂ / L	Reflujo abierto (5220 B)		30,3	50	45,2	28,6	38,53
Dureza Total	mg CaCO ₃ / L	Cálculo (2340 B)		41,2	50,2	70,54	45,75	51,92
Fosforo Total	mg-P / L	Ácido ascorbico (4500 - p- E)		0,574	2,771	1,196	0,509	1,26
N- Amoniacal	mg-NH ₃ / L	Nesslerización (417 b- Ed. 16)		3,58	7,826	5,22	3,64	5,07
N-Total	mg-Norg / L	Macro Kjendahl (4500- Norg B)		4,5		5,8	3,7	4,67
Nitratos	mg-NO ₃ / L	Ácido cromotrópico (418 D - Ed 16)		0,3	0,2	<VMD	0,2	0,23
Nitritos	mg-NO ₂ / L	Colorimétrico (4500 N O2 B)		0,015	<VMD	0,004	0,071	0,03
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Modificación Azida/electrodo de membrana		1,4	0,7	0,3	0,7	0,78
pH	Unidades	Electrométrico (4500 H +)		7,1	7,1	7,5	7,2	7,23
Sólidos Suspendidos	mg-SST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)		13	21,1	40	29	25,78
Sólidos Totales	mg-ST / L	Secado a 103 - 105°C (2540 D)		225	211	335	182	238,25
Sulfatos	mg-SO ₄ / L	Turbidimétrico (4500 SO4- E)		18,1	15,7	20,1	18	17,98
Sulfuros	mg-S ⁻ / L	Lodométrico (4500 S - F)						
Cadmio	mg Cd / L	Adsorción atómica 3110		<VMD	<VMD	1,18		1,18
Calcio	mg Ca / L	Adsorción atómica 3110		13,52	18,04	21,52	14,33	16,85
Cromo +6	mg Cr ⁺⁶ / L	Colorimétrico		<VMD	<VMD	<VMD	<LCM	
Cromo Total	mg Cr total / L	Adsorción atómica 3110						
Hierro	mg Fe / L	Adsorción atómica 3110		0,96	<VMD	3,16	2,66	2,26
Magnesio	mg Mg / L	Adsorción atómica 3110		1,8	1,26	4,08	2,41	2,39
Manganeso	mg Mn / L	Adsorción atómica 3110		<VMD	81,72	243		162,36
Plomo	mg Pb / L	Adsorción atómica 3110		<VMD	<VMD	2,66		2,66
Sodio	mg Na / L	Adsorción atómica 3110		48,72	25,69	72,81	21,29	42,13
Caudal	lps							
Temperatura del agua	°C			19,5	19,2			19,35
VMD	Valor Mínimo Detectable							
NR	No Representativo							
LCM	Límite Cuantificación							

Fuente: Las Autoras, a partir de información recopilada por el laboratorio ambiental de la CAR, 2013.



ANEXO J

REGISTRO FOTOGRÁFICO, PRUEBAS DE SENSIBILIDAD Y PRUEBAS DE TOXICIDAD EN LAS SEIS ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ.

(FUENTE: LAS AUTORAS, 2013)

Pruebas de Sensibilidad con Dicromato de Potasio



Imagen a. Montaje de las pruebas de sensibilidad con la sustancia toxica Dicromato de potasio y con la especie bioindicadora Trucha Arco Iris.



Imagen b. Batería de ensayos, con sus respectivas peceras. Cuatro replicas por cada concentración. (de arriba hacia abajo) Primera fila: Blanco, segunda fila: Concentración de 20 ppm, tercera fila: Concentración de 40 ppm. Cuarta fila: Concentración de 60 ppm, quinta fila: Concentración de 80 ppm y sexta fila: Concentración de 100 ppm.



Imagen c. Muerte de un individuo. (Trucha arco iris)

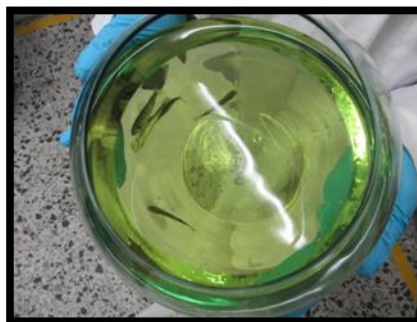


Imagen d. Especie bioindicadora en su nuevo hábitat.



Imagen e. Evidencia de la muerte de la especie bioindicadora sometida a las pruebas de sensibilidad.

**PRUEBAS DE TOXICIDAD EN EL PUNTO NUMERO UNO (ESTACIÓN
PUENTE VILAPINZÓN), PUNTO NUMERO DOS (ESTACIÓN CHINGACIO) Y
PUNTO NUMERO TRES (ESTACIÓN ACHURY).**



Imagen f. Montaje de las pruebas de toxicidad con agua proveniente del punto número uno: estación Puente Villapinzón.



Imagen g. Montaje de las pruebas de toxicidad con agua proveniente del punto numero dos: estación Chingacio y punto numero tres: estación Achury.

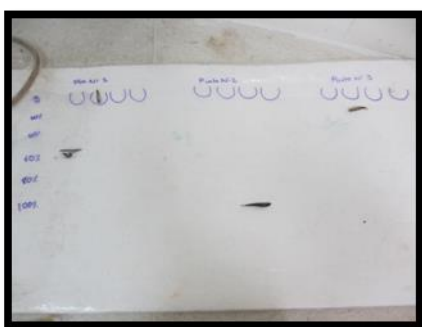


Imagen h. Registro de la tasa de mortalidad de la especie bioindicadora, en cada punto y por cada concentración.

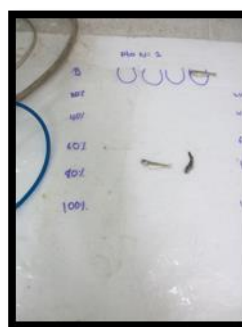


Imagen i. Registro muerte de la especie bioindicadora en el punto número uno: Estación puente Villapinzón.

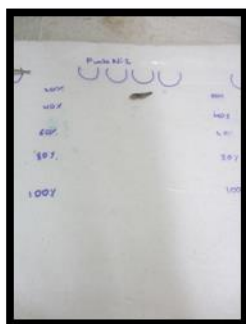


Imagen j. Registro muerte de la especie bioindicadora en el punto número dos: Estación Chingacio.



Imagen k. Registro muerte de la especie bioindicadora en el punto número tres: Estación Achury.

PRUEBAS DE TOXICIDAD EN EL PUNTO NUMERO CUATRO (ESTACIÓN EL ESPINO), PUNTO NUMERO CINCO (ESTACIÓN PUNTE VARGAS) Y PUNTO NUMERO SEIS (ESTACIÓN PUENTE LA VIRGEN)



Imagen l. Montaje de las pruebas de toxicidad con agua proveniente del punto número cuatro: Estación el Espino.



Imagen m. Montaje de las pruebas de toxicidad con agua proveniente del punto número cinco: Estación Puente Vargas y punto número seis: Estación Puente la Virgen.

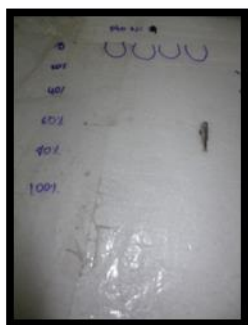


Imagen n. Registro muerte de la especie bioindicadora en el punto número cuatro: Estación el Espino.



Imagen ñ. Registro muerte de la especie bioindicadora en el punto número cuatro: Estación el Espino.



Imagen o. Registro muerte de la especie bioindicadora en el punto número cinco: Estación Puente Vargas.