

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL
ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS UTILIZANDO ALEVINOS
DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)**

ANA MELISSA CORPUS SJOGREEN

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C
2010**

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL
ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS UTILIZANDO ALEVINOS
DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)**

ANA MELISSA CORPUS SJOGREEN

Tesis para optar al grado de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director
PEDRO MIGUEL ESCOBAR MALAVER
Químico Industrial
Licenciado en Química y Biología

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C
2010**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 2010

DEDICATORIA

Esta tesis es una parte de mi vida y comienzo de otras etapas, por eso y más, la dedico en especial a Dios, por permitirme alcanzar un logro más en mi vida, a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional, el sacrificio y esfuerzo que me brindan constantemente, para la culminación del presente trabajo, y de mi estudio.

Y para aquellas personas que me dieron su mano amiga, me brindaron su apoyo absoluto, que me ayudaron a ver la luz cuando me sentía en la oscuridad.

AGRADECIMIENTOS

Antes que todo, quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas necesarias para alcanzar esta meta y permitirme construir nuevos caminos junto a él.

También a mis padres por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de la carrera.

A todas las directivas de la Universidad de la Salle, por su apoyo y colaboración para la realización de esta investigación.

Al director de esta investigación, Pedro Miguel Escobar, por su asesoría y dirección en el trabajo de investigación.

Quiero agradecer a todos los profesores que compartieron su conocimiento para hacer de mi una buena persona y una buena ingeniera.

No puedo dejar de agradecer al personal del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad (coordinador y monitores) por su especial colaboración y amistad.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	21
1. OBJETIVOS.....	22
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 ECOSISTEMAS ACUÁTICOS.....	23
2.1.1 Tipo de ecosistemas Acuáticos.....	23
2.1.1.1 Ecosistemas marinos.....	23
2.1.1.2 Ecosistemas de agua dulce.....	24
2.1.2 Organismos Acuáticos.....	25
2.2 ONCORHYNCHUS MYKISS (TRUCHA ARCO IRIS).....	26
2.2.1 Clasificación taxonómica de la Trucha Arco Iris.....	26
2.2.2 Hábitat.....	27
2.2.3 Alimento.....	27
2.2.4 Parámetros del medio.....	28
2.2.4.1 Oxígeno.....	28
2.2.4.2 Temperatura.....	28
2.2.4.3 Potencial de Hidrógeno (pH).....	29
2.3 BIOENSAYOS.....	29
2.3.1 Tipo de bioensayos.....	30
2.4 METALES PESADOS.....	33
2.4.1. Toxicidad.....	33
2.4.2. Aluminio.....	34

2.4.2.1 Características Físicas.....	35
2.4.2.2 Características Mecánicas.....	36
2.4.2.3 Características Químicas.....	36
2.4.2.4 Efectos del Aluminio a la Salud Humana.....	37
2.4.2.5 Efectos Ambientales del Aluminio.....	38
2.4.2.6 Toxicidad del aluminio en plantas.....	40
2.4.2.7 Efecto sobre Organismos acuáticos.....	41
2.4.2.8 Fuente de exposición ambiental con Aluminio.....	43
2.5 ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA METALES PESADOS.....	46
2.5.1 Tratamiento Químico.....	46
2.5.2 Procesamientos de borras.....	47
2.5.3 Tratamiento mediante Microorganismos.....	48
2.6 MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA ANÁLISIS DE PRUEBAS DE TOXICIDAD.....	50
2.6.1 Método Probit (Paramétrico).....	51
2.6.2 Método de Litchfield-Wilcoxon (Gráfico).....	52
2.6.3 Método de Spearman-Kärber (no Paramétrico).....	53
2.6.4 Método Gráfico.....	53
2.6.5 Análisis de Varianza (ANOVA).....	54
2.7 INDUSTRIA CORINTER S.A.....	55
2.7.1 Productos de CORINTER S.A.....	55
2.7.1.1 Suspensiones Concentradas.....	56
2.7.1.2 Geles en Polvo.....	58
2.7.2 Procedimiento de fabricación de Hidróxido de Aluminio.....	58
2.8 NORMATIVIDAD AMBIENTAL COLOMBIANA.....	60
2.8.1 Decreto 1594 de 1984.....	60
2.8.2 Resolución 1074 de 1997.....	61
3. METODOLOGÍA.....	63
3.1 DISEÑO CUASI-EXPERIMENTAL.....	65
3.2 FASE I: ACLIMATACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	66

3.2.1 Preparación de los acuarios.....	67
3.2.2 Aclimatación de los alevinos de Trucha Arco Iris.....	67
3.2.3 Alimentación.....	69
3.2.4 Preparación del agua de dilución.....	69
3.3 FASE II: PRUEBAS DE TOXICIDAD.....	70
3.3.1 Montaje de la prueba.....	70
3.3.2 Pruebas de toxicidad de sensibilidad con Dicromato de Potasio (K ₂ Cr ₂ O ₇)	72
3.3.3 Pruebas preliminares de toxicidad con Aluminio (Al ₂ (SO ₄) ₃).....	73
3.3.4 Pruebas definitivas de toxicidad con Aluminio (Al ₂ (SO ₄) ₃).....	73
3.3.5 Análisis físico-químico del vertimiento.....	74
3.3.6 Pruebas de toxicidad aguda con vertimiento industrial.....	74
3.4 FASE III: OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	75
3.4.1 Obtención de la Carga tóxica e Índice toxicológico.....	75
3.4.1.1 Carga Tóxica.....	75
3.4.1.2 Índice Toxicológico.....	76
3.4.2 Comparación de resultados.....	77
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
4.1 ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA.....	78
4.2 PRUEBAS DE SENSIBILIDAD.....	79
4.2.1 Comparación de resultados de sensibilidad.....	83
4.2.2 Análisis de varianza de las pruebas agudas de sensibilidad.....	84
4.3 TOXICIDAD AGUDA CON ALUMINIO.....	85
4.3.1 Sulfato de Aluminio.....	85
4.3.2 Prueba con Aluminio.....	85
4.3.3 Análisis de varianza de las pruebas de toxicidad agudas de aluminio...	89
4.3.4 Datos obtenidos de investigaciones internacionales sobre concentración letal media del aluminio.....	89
4.4 VERTIMIENTO DE LA EMPRESA CORINTER S.A.....	91
4.4.1 Análisis fisicoquímico del vertimiento con Aluminio.....	91
4.4.2 Determinación del porcentaje letal del vertimiento.....	92

4.4.2.1 Resultados de las pruebas toxicológicas definitivas del vertimiento puro.....	92
4.4.2.2 Análisis de varianza de las pruebas definitivas del vertimiento puro...	93
4.4.2.3 Resultados de las pruebas toxicológicas definitivas del vertimiento filtrado.....	94
4.4.2.4 Análisis de varianza de las pruebas definitivas del vertimiento filtrado.	95
4.4.2.5 Comparación de las concentraciones letales del vertimiento con Aluminio.....	95
4.4.3 Obtención de la Carga Tóxica e Índice Toxicológico.....	96
4.4.3.1 Vertimiento Puro.....	97
4.4.3.2 Vertimiento Filtrado.....	97
5. ALTERNATIVA TÉCNICO-AMBIENTAL PARA EL ADECUADO MANEJO DEL ALUMINIO.....	99
5.1. EFECTOS DEL ALUMINIO SOBRE EL MEDIO ACUÁTICO.....	99
5.2 REGULACIONES INTERNACIONALES DEL ALUMINIO EN VERTIMIENTOS.....	99
5.3 ALTERNATIVAS DE MANEJO TÉCNICO AMBIENTAL.....	100
6. CONCLUSIONES.....	102
RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXO.....	110

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Clasificación taxonómica de la Trucha Arco iris.....	7
Tabla 2: Tipo de bioensayos.....	10
Tabla 3: Adaptabilidad de los organismos como especies para bioensayos.....	12
Tabla 4: Clasificación toxicológica de las sustancias en organismos acuáticos.	14
Tabla 5: Toxicidad del aluminio en organismos terrestres.....	19
Tabla 6: Toxicidad del aluminio en organismos acuáticos.....	22
Tabla 7: Productos de CORINTER S.A.....	36
Tabla 8: Criterios de calidad admisibles.....	40
Tabla 9: Norma de vertimiento a cuerpos de agua.....	41
Tabla 10: Estándares para vertimiento de residuos líquidos a la red de alcantarillado público.....	42
Tabla 11: Composición del alimento de los alevinos.....	47
Tabla 12: Rango de Índice Toxicológico.....	54
Tabla 13: Control de parámetros en agua de acuarios.....	58
Tabla 14: Carta de control de pruebas de sensibilidad.....	60
Tabla 15: Comparación de resultados de pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio, con investigaciones anteriores.....	63
Tabla 16: Resultados de ANOVA de las pruebas de sensibilidad.....	63
Tabla 17: Carta de control de pruebas de toxicidad aguda con Aluminio.....	66
Tabla 18: Resultados de ANOVA de las pruebas con Aluminio.....	68

Tabla 19: Toxicidad del aluminio en diferentes especies de acuerdo a investigaciones internacionales.....	69
Tabla 20: Análisis fisicoquímico del vertimiento de CORINTER S.A.....	70
Tabla 21: Prueba preliminar del vertimiento de CORINTER.....	71
Tabla 22: Porcentaje letal del vertimiento de CORINTER S.A.....	72
Tabla 23: Resultados de ANOVA de las pruebas con Vertimiento puro.....	72
Tabla 24: Porcentaje letal del vertimiento filtrado de CORINTER S.A.....	73
Tabla 25: Resultados de ANOVA de las pruebas con vertimiento filtrado.....	74
Tabla 26: Comparación de normatividad internacional referente al vertimiento de aluminio.....	78
Tabla 27: Resinas para intercambio iónico.....	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Clasificación de los organismos de agua dulce.....	6
Figura 2: Selección del método estadístico para análisis de prueba de Toxicidad.....	30
Figura 3: Industria CORINTER S.A.....	35
Figura 4: Proceso de producción de Hidróxido de aluminio en CORINTER.....	39
Figura 5: Acondicionamiento de los acuarios.....	45
Figura 6: Aclimatación de los alevinos antes de introducirlos a los acuarios...	46
Figura 7: Introducción de los alevinos a los acuarios.....	46
Figura 8: Tanque de preparación del agua de dilución.....	48
Figura 9: Montaje de prueba de toxicidad.....	49
Figura 10: Montaje doble de pruebas de toxicidad con Aluminio.....	51
Figura 11: Metodología para la determinación letal media del aluminio mediante bioensayos.....	56
Figura 12: Montaje de Prueba de Sensibilidad.....	59
Figura 13: Montaje de Prueba con Aluminio.....	65
Figura 14: Muerte de alevinos por exposición a vertimiento.....	73

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfico 1: Concentración letal media de pruebas de sensibilidad.....	61
Gráfico 2: Concentración letal media de pruebas de toxicidad aguda con Aluminio.....	67
Gráfico 3: Comparación de los efectos de vertimientos de CORINTER S.A...	75
Gráfico 4: Comparación del Índice de toxicológico del vertimiento.....	77
Gráfico 5: Solubilidad del aluminio.....	80

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Protocolo LB01. Aclimatación de la Trucha arco Iris.

Anexo B. Protocolo LB02. Pruebas de toxicidad.

Anexo C. Protocolo LB03. Análisis de resultados mediante el Método Probit.

Anexo D. Protocolo LB04. Análisis de varianza (ANOVA).

Anexo E-1. Registro de datos de pruebas de sensibilidad con Dicromato de Potasio.

Anexo E-2. Registro de datos de pruebas de toxicidad aguda con Aluminio en Trucha Arco Iris.

Anexo E-3. Registro de datos de pruebas de toxicidad del vertimiento de la empresa CORINTER S.A, en Trucha Arco Iris.

Anexo F-1. Registro de datos de análisis Probit para pruebas de sensibilidad con Dicromato de potasio

Anexo F-2. Registro de datos de análisis Probit para pruebas de toxicidad aguda con Aluminio

Anexo F.3. Registro de datos de análisis Probit para pruebas de toxicidad del vertimiento de la empresa CORINTER S.A.

Anexo G-1. Análisis de varianza ANOVA para pruebas de sensibilidad con Dicromato de potasio.

Anexo G-2. Análisis de varianza ANOVA para pruebas de toxicidad aguda con Aluminio

Anexo G-3. Análisis de varianza ANOVA para pruebas de toxicidad del vertimiento de la empresa CORINTER S.A.

GLOSARIO

ACLIMATACIÓN: Adaptación de un organismo de prueba a diversas condiciones ambientales, tales como temperatura luz o diferentes cantidades de agua.

AGUDO: Efecto que ocurre dentro de un periodo corto de tiempo (minutos, horas o algunos días) en relación con el período de vida del organismo de prueba.

ALUMNIO: Es un elemento químico metálico, de símbolo Al, número atómico 13, peso atómico 26.9815, que pertenece al grupo IIIA del sistema periódico. En estado puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades. El aluminio se conoce por su alta conductividad eléctrica y térmica, lo mismo que por su gran reflectividad.

BATERÍA DE ENSAYO: Combinación de diversas pruebas de toxicidad con organismos representativos de cada uno de los niveles tróficos.

BIOENSAYO: Ensayo de toxicidad en el cual se evalúan los efectos de los contaminantes sobre la biota, por medio de la exposición de grupos de organismos, a determinadas concentraciones del tóxico por un tiempo determinado.

CARTA DE CONTROL: Gráfico utilizado para seguir cambios en el tiempo del punto final medio para un compuesto tóxico de referencia en un organismo en particular.

CONCENTRACIÓN: Cantidad de sustancia contenida en un determinado medio o solvente.

CONCENTRACIÓN LETAL (CL): Concentración del material que produce la muerte de una proporción específica de los organismos de prueba. Se define como la concentración letal media (CL₅₀), que corresponde a la concentración que causa la muerte del 50% de los organismos expuestos en un determinado periodo de tiempo.

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL: Presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público.

CONTAMINANTE: Sustancia introducida en el ambiente por actividades humanas, que produce efectos adversos sobre organismos individuales vivos y en el ecosistema.

DILUCIÓN: Es el bajar la concentración de una solución, mediante la adición de más solvente. El factor de dilución, es la relación volumétrica entre solvente y soluto.

DOSIS: cantidad de sustancia administrada, expresada en términos de: unidad/peso corporal.

ECOSISTEMA: Unidad natural de partes vivas e inertes que interactúan para producir un sistema estable en el cual el intercambio entre materia viva y no viva sigue una vía circular.

ECOSISTEMA ACUÁTICO: Es la unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de estos con el ambiente acuático en un espacio y tiempo determinado.

METALES PESADOS: Son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano.

PRUEBA DE TOXICIDAD: Procedimiento que determina el efecto de un material o mezcla sobre un grupo de organismos seleccionado bajo condiciones definidas. Mide las proporciones de organismos afectados o el grado e efecto luego de la exposición a la muestra o material problema.

TIEMPO DE EXPOSICIÓN: Tiempo de contacto de los organismos de prueba con la sustancia estudiada.

TOXICIDAD: Capacidad potencial de un material de causar efectos letales o subletales en un organismo.

TOXICIDAD AGUDA: Efecto adverso (letal o subletal) inducido sobre los organismos en prueba durante un periodo de exposición al material en ensayo, usualmente de pocos días.

TÓXICO: Agente capaz de producir un efecto adverso, dañando la estructura y el funcionamiento del ecosistema.

TRUCHA ARCOIRIS: Pez salmónido que se caracteriza por presentar cuerpo alargado, fusiforme y cabeza relativamente pequeña que termina en una boca grande, puntiaguda, hendida hacia el nivel de los ojos y con una fila de dientes fuertes en cada una de las mandíbulas, que les permite aprisionar las presas capturadas.

VERTIMIENTOS: Disposición controlada o no de un residuo líquido doméstico, industrial, urbano, agropecuario, minero.

RESUMEN

Una de las problemáticas que presentan los cuerpos de aguas naturales es la acidificación por metales provenientes de vertimientos industriales con altos contenidos de productos químicos. Por ello, en esta investigación se determina la concentración de aluminio que provoca la muerte del 50% de los organismos acuático, en este caso *Oncorhynchus mykiss* (Trucha Arco iris), expuestos a un periodo de 96 horas, basándose en procedimientos establecidos por CETESB (Compañía de Tecnología y Saneamiento ambiental de Sao Paulo, Brasil).

La concentración letal del aluminio en los alevinos fue de 2,018 mg/l con unos límites de confianza inferior y superior de 1,8787 y 2,1442 mg/l, comprobándose primero la sensibilidad de los organismos a agentes contaminantes, utilizando dicromato de potasio como tóxico de referencia. Se emplearon, el programa estadístico Probit y la metodología de análisis de varianza, que son utilizados en pruebas de toxicidad para los ensayos agudos estáticos.

Al vertimiento de la empresa CORINTER S.A. se le determinó el porcentaje que causa la muerte del 50% de la población de alevinos dando un resultado de 0,16218% y con el pretratamiento que consta de una neutralización de pH y filtración para reducir los sólidos totales y disueltos se obtuvo un resultado de 2,08014%. Con este pretratamiento se logra reducir la concentración de aluminio y el riesgo de toxicidad del vertimiento, pero se alcanzaría mayor eficiencia con algún tratamiento adicional como la precipitación química o aplicando un proceso de intercambio iónico antes de su descarga al alcantarillado público.

No obstante, es preciso incluir en la normatividad Colombiana límites permisibles de concentración de aluminio vertidos al alcantarillado público, con el fin que las empresas productoras tomen conciencia del daño que implica este contaminante a los cuerpos de agua y ecosistemas acuáticos.

ABSTRACT

One of the problems that natural waters bodies present is the acidification by metals from industrial wastewater with high levels of chemicals. Therefore, this research determined the aluminum concentration that kills the 50% of aquatic organisms, in this case *Oncorhynchus mykiss* (Rainbow Trout) exposed to a period of 96 hours, based on procedures established by CETESB.

The lethal concentration of aluminum in rainbow trout fingerlings was 2,018 mg/l with a confidence limit of 1.8787 and 2.1442 mg/l. checking first the sensitivity of organisms to pollutants, using potassium dichromate as reference toxicant. Statistical software was used as Probit and analysis of variance, which are used in toxicity tests for acute static tests.

CORINTER S.A. company wastewater were determined by the percentage that causes death in 50% of the fingerlings population giving a result of 0.16218% and with pretreatment consisting of a pH neutralization and filtration to reduce total and dissolved solids obtained a result of 2.08014%. This pretreatment reduce the aluminum concentration and toxicity risk of the wastewater, but would be reached more efficiently with some additional treatment such as chemical precipitation or using an ion exchange process before discharge to public sewers.

However, is necessary to be included in Colombian normativity permissible limits of aluminum concentration discharges to public sewers, so that producers are aware of the damage that involves this pollutant to water bodies and aquatic ecosystems.

INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental que causan los metales pesados, que son indispensables para los procesos productivos de muchas industrias, ha llevado a incrementar el interés en los manejos ambientales de los vertimientos.

Para regular las descargas de aguas residuales tóxicas hay que utilizar datos de ensayos de toxicidad hechos con organismos vivos y confiar en estos datos, además de efectuar estudios detallados de las características físicas y químicas de los contaminantes y de los cambios que ocurren después de su descarga en el medio. Cuando se puedan describir con precisión en términos químicos y físicos los componentes tóxicos de un contaminante y se disponga de técnicas analíticas pertinentes y de suficiente información acerca de la toxicidad de esos componentes para los organismos acuáticos, se podrán establecer normas en valores numéricos para los componentes tóxicos.

La resolución 1074 de 1997, establece límites permisibles para metales pesados y contaminantes del medio ambiente, pero no establece límites para la concentración del aluminio en vertimientos, metal que le causa graves consecuencias al medio acuático.

Se determinó la concentración letal media del aluminio en la Trucha Arco Iris (alevinos de *Oncorhynchus Mykiss*), mediante pruebas de toxicidad aguda realizada en bioensayos a 96 horas (CL₅₀₋₉₆), con ello, se establecen bases para incorporar la concentración límite del metal en la normatividad Colombiana, y los posibles tratamiento a realizar para disminuir los altos contenidos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) del Aluminio mediante pruebas toxicológicas (Bioensayos), utilizando alevinos de *Oncorhynchus mykiss* (Trucha Arco Iris).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la sensibilidad de los Alevinos de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) expuestos al Dicromato de Potasio (K₂Cr₂O₇).
- Determinar la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) del Aluminio, por medio de bioensayos, exponiendo a Alevinos de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*).
- Determinar la concentración letal media del vertimiento con concentraciones de Aluminio de la industria CORINTER S.A, antes y después del pretratamiento, a nivel de laboratorio.
- Plantear alternativas para el manejo técnico ambiental del Aluminio en los vertimientos de la industria CORINTER S.A.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

Los ecosistemas acuáticos son todos aquellos ecosistemas que tienen por biotopo algún cuerpo de agua. Estos ecosistemas están constituidos por el conjunto de relaciones entre los organismos que viven en este medio y su ambiente. También reciben el nombre de biomas acuáticos

2.1.1 Tipo de ecosistemas acuáticos

La mayor proporción de la biosfera consiste en los ambientes acuáticos y en sus habitantes. Los ecosistemas acuáticos están constituidos por el conjunto de relaciones entre los organismos que viven en este medio y su ambiente, circunscritas a zonas más o menos limitadas y con características propias. También reciben el nombre de biomas acuáticos. La mayor proporción de agua libre en la Tierra se encuentra en el océano y constituye el 97%. El 2% se encuentra en forma de hielo y sólo el 1% forma parte de los biomas o ecosistemas de agua dulce.

2.1.1.1 Ecosistemas marinos

Según las profundidades del agua, se acuerda una división de estos ecosistemas de la siguiente manera:

- Intermareal: Esta zona es la que queda sometida al ritmo diario de las mareas. En ella se pueden distinguir dos tipos de sustrato: el rocoso y el arenoso o blando. No se percibe la abundante diversidad y densa población de especies a

simple vista, pero ocurre en las rocas. En la bajamar se puede observar la variedad de especies de animales y plantas, en su mayoría fijadas al suelo.¹

- Costero o nerítico: Es la zona que va desde la línea media entre la marea baja y la marea alta, hasta el borde de la plataforma continental.
- Pelágico: Corresponde a las aguas libres, al cuerpo de aguas abiertas. También se conoce como área oceánica o altamar. En estas áreas predominan animales de gran tamaño como los tiburones, los delfines y las ballenas, al igual que cardúmenes de jureles y atunes, estos últimos de interés comercial. En la zona pelágica la fuente principal de alimento es el plancton, organismos microscópicos que constituyen la base de la cadena alimenticia en el mar.²

2.1.1.2 Ecosistemas de agua dulce

Según el movimiento del agua, se acuerda una división de los ecosistemas de agua dulce de la siguiente forma:

- Léntico: Es de agua quieta o de escaso caudal como en los lagos, estanques, pantanos y embalses.
- Lótico: Es un sistema de agua corriente como en los ríos, arroyos, estanques, estuarios y manantiales. Las especies que viven en arroyos de corriente rápida muestran adaptaciones que les permiten mantener su posición en el agua. Algunas, como la trucha común y ciertas ninfas de efímeras, tienen formas hidrodinámicas, lo que reduce su resistencia a la corriente.

¹ http://centros5.pntic.mec.es/~virge133/deptos/cienat/trabajos/zona_intermareal.htm

² <http://www.utadeo.edu.co/dependencias/museo/ninos/final/ecosistemas4.htm>

- De humedal: Son áreas donde el suelo está saturado de agua o inundado por una parte del año.

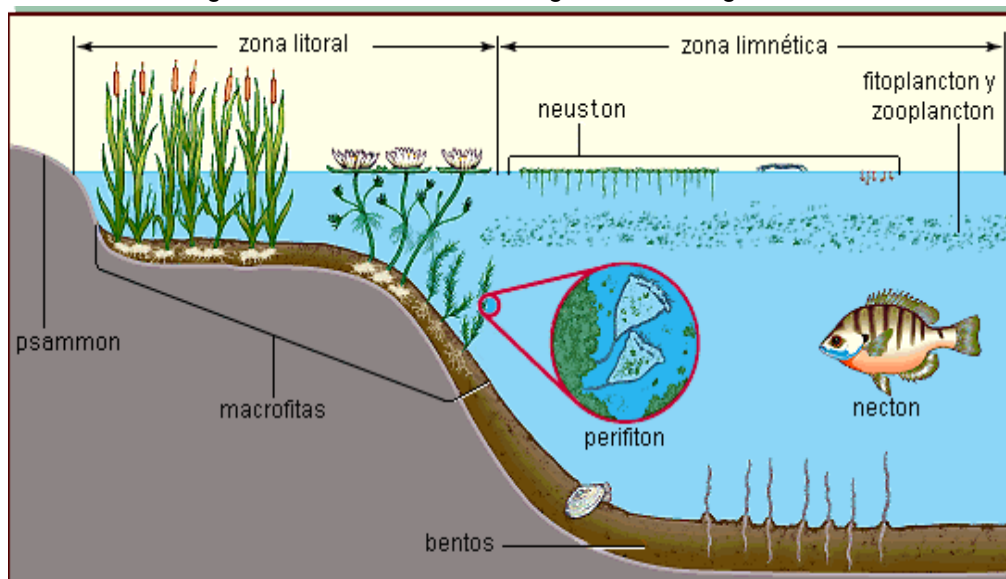
2.1.2 Organismos Acuáticos

Las condiciones físicas y químicas dominantes en los medios acuáticos determinan el tipo de organismos que viven en él. La clasificación ecológica de los organismos acuáticos más aceptada es la presentada a continuación:

- Plancton: Comprende los organismos que viven suspendidos en las aguas y que, por carecer de medios de locomoción o ser estos muy débiles, se mueven o se trasladan a merced de los movimientos de las masas de agua o de las corrientes. Generalmente son organismos pequeños, la mayoría microscópicos.
- Necton: Son organismos capaces de nadar libremente y, por tanto, de trasladarse de un lugar a otro recorriendo a veces grandes distancias (migraciones). En las aguas dulces, los peces son los principales representantes de esta clase, aunque también encontramos algunas especies de anfibios y otros grupos.
- Bentos: Comprende los organismos que viven en el fondo o fijos a él y por tanto dependen de éste para su existencia. La mayoría de los organismos que forman el bentos son invertebrados.
- Neuston: A este grupo pertenecen los organismos que nadan o "caminan" sobre la superficie del agua. La mayoría son insectos.
- Seston: Es un término adoptado recientemente y se aplica a la mezcla heterogénea de organismos vivos y no vivos que flotan sobre las aguas.

- Perifiton: Organismos vegetales y animales que se adhieren a los tallos y hojas de plantas con raíces fijas en los fondos. Ver figura 1.

Figura1: Clasificación de los organismos de agua dulce



Fuente: www.jmarcano.com/nociones/fresh2.html

2.2 *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

El pez trucha Arco iris, cuyo nombre científico es *Oncorhynchus mykiss*, pertenece al grupo de los salmónidos originarios de América del Norte, su distribución natural abarca las corrientes de aguas frías y cristalinas de zonas montañosas.

Su nombre deriva de la peculiar coloración que posee, misma que varía en función del medio, de la talla, del sexo, del tipo de alimentación, y del grado de maduración sexual. La talla alcanza hasta 70 cm y un peso de 7 Kg.

2.2.1 Clasificación taxonómica de la Trucha Arco Iris

En la tabla 1 se presenta la clasificación taxonómica de la especie estudiada en esta investigación, *Oncorhynchus mykiss*:

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la Trucha Arco iris.

REINO	Animal
PHYLUM	Chordata
SUBPHYLUM	Vertebrata
SUPERCLASE	Pisces
CLASE	Osteichthyes
SUBCLASE	Actinopterygii
ORDEN	Salmoniformes
FAMILIA	Salmonidae
GÉNERO	Oncorhynchus
ESPECIE	mykiss

Fuente: www.uwsp.edu/cnr/gem/MANUALBASICOPARAELCULTIVODETRUCHAARCOIRIR-1.pdf

2.2.2 Hábitat

La Trucha Arco iris en su ambiente natural, es un pez que habita espacios acuáticos con aguas puras y cristalinas, con cauces de topografía irregular que originan rápidos, saltos y cascadas que son muy comunes en los ríos de alta montaña, son estos rápidos con una pronunciada velocidad de corriente y suelo pedregoso los más frecuentados por las truchas. De manera que las truchas son peces nativos de regiones elevadas y montañosas donde existen aguas frías y claras³.

2.2.3 Alimento

La trucha es un pez carnívoro que en la naturaleza se alimenta de las presas que captura vivas, siendo la mayoría de ellas organismos acuáticos y algunos terrestres, como son los insectos que en primavera y verano revolotean sobre el agua. Los moluscos como los caracoles también son presas habituales, así como los crustáceos (cangrejos, etc.), gusanos, renacuajos y peces pequeños de la misma u otras especies.

³ AQUINO MARTINEZ, Guillermo. Manual Básico para el cultivo de Trucha Arco Iris. GEM.

2.2.4 Parámetros del medio

La calidad del agua en el cual se encuentran los organismos es fundamental para su desarrollo. Por ello es necesario mantener los parámetros como: oxígeno, temperatura, potencial de hidrógeno, dentro de los rangos vitales.

2.2.4.1 Oxígeno

Se estima que los peces en crecimiento deben de tener continuamente tasas mínimas de oxígeno de 5 a 5.5 mg/l, mientras que los huevos y alevines son más exigentes, demandando de 6 a 7 mg/l; con cifras muy inferiores a las mencionadas, las truchas presentan dificultades para extraer el oxígeno del agua y transportarlo a través de sus branquias.

Existen diversos factores físicos, químicos y biológicos que determinan la cantidad de oxígeno presente en el agua, uno de los factores es la temperatura, puesto que cuanto más alta sea, menor será la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y mayor las exigencias de oxígeno de las truchas.

2.2.4.2 Temperatura

La Trucha Arco Iris como todos los peces, no posee capacidad para regular su temperatura corporal, y depende del medio acuático en que vive. La temperatura del agua está directamente relacionada con los aspectos reproductivos de las truchas, el ritmo de crecimiento de los alevines y adultos, y especialmente sobre el grado de actividad metabólica. Indirectamente influye en la concentración de oxígeno, la concentración de productos metabólicos (amoníaco), así como el tiempo y grado de descomposición de los materiales excretados.

La Trucha en condiciones naturales puede vivir en aguas con temperaturas entre 0° y 25° C; no obstante, en términos de cría artificial de trucha, son necesarias para su crecimiento y desarrollo temperaturas entre los 9° y 17°C, y para alevinos entre 10° y 12°C.

2.2.4.3 Potencial de Hidrógeno (pH)

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.

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. Con valores inferiores a 6.5 o mayores a 9.5 la reproducción disminuye. Con un pH por debajo de 4 se presenta la muerte ácida de los peces, y por arriba de 11 la muerte alcalina.

Teniendo en cuenta que la escala de pH va de 0 a 14; un valor de 7 indica que el agua es neutra, un valor inferior a 7 indica que el agua es ácida y superior a 7 el agua se considera alcalino.

2.3 BIOENSAYOS

Los bioensayos de toxicidad permiten evaluar el grado de afectación que una sustancia química tiene en organismos vivos y éstos pueden ser agudos o crónicos. Las pruebas agudas cuantifican las concentraciones letales de un xenobiótico a una especie en particular. El valor calculado se denomina concentración letal media (CL₅₀) 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. En contraste, las pruebas crónicas estiman la concentración – efecto media (CE₅₀) de la sustancia de prueba

que causa un efecto al 50 % de la población experimental, al cabo de un tiempo determinado.⁴

2.3.1 Tipo de bioensayos

Los bioensayos se pueden clasificar de acuerdo al objetivo que se desea, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2: Tipo de bioensayos

De respuesta directa	Bioensayos Agudos	Cuantifican las concentraciones letales de un xenobiótico a una especie en particular. El <u>valor</u> calculado se denomina concentración letal media, y representa la concentración que causa la <u>muerte</u> al 50 % de la población experimental, en un tiempo determinado.	<p><u>De tipo estático:</u> Se efectúa sin la renovación continua del flujo constante de las diluciones sometidas al ensayo.</p> <p><u>De flujo continuo:</u> Circula continuamente una corriente de sustancia de prueba nueva en contacto con los individuos experimentales. Se realizan con la renovación continua de las diluciones con el fin de mantener casi constantes las concentraciones del tóxico.</p>
	Bioensayos Crónicos	Estiman la concentración efecto media (CE ₅₀), la cual es la concentración de la sustancia de prueba que causa un efecto al 50% de la población experimental, al cabo de un tiempo determinado; depende del estadio de vida considerado o del ciclo de vida del organismo empleado.	
	Bioestimulación	Se mide la facultad de las aguas residuales o de las sustancias químicas de estimular la multiplicación y el desarrollo de algas, efecto este de eutroficación que frecuentemente se traduce en una superabundancia o proliferación de algas.	

⁴ Bioensayos de toxicidad aguda en neonatos de *Moina macrocopa* (Straus, 1820) (Crustácea: branchiopoda) expuestos a soluciones de hidróxido de sodio (NaOH)

	Bioacumulación	Son necesarios para las sustancias que se acumulan en las plantas y animales acuáticos; las grandes concentraciones de sustancias tóxicas en los tejidos pueden causar la muerte, pero el organismo es capaz de acumular durante algún tiempo cantidades menores sin sufrir daño. Los depredadores pueden acumular las sustancias en grado tal que resulte nociva para ellos o para los del nivel trófico siguiente.
	Bioensayos de Repelencia	Trata de medir en el laboratorio las reacciones de escapes de los animales acuáticos frente a un contaminante. Al organismo utilizado (generalmente pez o crustáceo) se le ofrece la oportunidad de elegir entre aguas “contaminadas” y aguas “limpias” en un tubo o tanque pequeño; el gradiente de interfaz puede ser brusco.
De respuesta indirecta	Ensayos Organolépticos	Algunos contaminantes pueden producir olores o sabores desagradables en los organismos acuáticos. El contaminante puede no ser nocivo para el organismo acuático, pero puede ocurrir que el organismo pierda valor económico. El mejor <u>procedimiento</u> consiste en la evaluación por parte de expertos en bromatología y emplear gran número de catadores diestros.
	Ensayos de Bioestimulación	Los efectos de los nutrientes adicionales pueden ser indirectos, como por ejemplo, la <u>producción</u> de sustancias tóxicas o la desoxigenación del agua debida a la proliferación de algas

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/clado/clado.shtml>

Los organismos acuáticos frecuentemente tienen ciclos de vida y requerimientos de cultivo y de manejo complejos. El desarrollo de esta información es una tarea larga que frecuentemente requiere años de investigación. Es recomendable que se consideren solo aquellos organismos de los que se tiene suficiente información en cada una de estas.

Para pruebas toxicológicas, es importante seleccionar adecuadamente el organismo con el cual se trabajará, por ello, la tabla 3 muestra la adaptabilidad de los organismos para ser utilizadas en bioensayos.

Tabla 3: Adaptabilidad de los organismos como especies para bioensayos

ORGANISMOS PARA BIOENSAYOS	ADAPTABILIDAD DEL ORGANISMO		COMÚNMENTE UTILIZADO COMO UN ORGANISMO PARA BIOENSAYOS
	CULTIVO DE LABORATORIO	RECOLECCIÓN DE CAMPO	
ALGAS	Excelente	Muy difícil de recolectar cultivo puro	Si
PROTOZOOS	Excelente	Muy difícil de recolectar cultivo puro	Muy limitado
INVERTEBRADOS			
A. Planctónicos			
1. Rotíferos	Bueno	Difícil de recolectar cultivo puro	Limitado
2. Cladóceros	Excelente	Alta tasa de mortandad después de la recolección de campo	Si
3. Copépodos	Mediano	Alta tasa de mortandad después de la recolección de campo	Limitado
4. Camarones	Bueno	Bueno	Si
B. Bénticos			
1. Anélidos	Mediano	Mediano	Limitado
2. Insectos	Bajo	Mediano	Si
3. Moluscos	Bueno	Mediano	Si
4. Crustáceos	Bajo	Mediano	
PECES	Excelente	Alta tasa de mortandad después de la recolección de campo	Si

Fuente: <http://www.cepis.org.pe/bvsaca/fulltext/manual/parte2.pdf>

El diseño de los bioensayos tiene que ser cuidadosamente considerado en el contexto del ciclo de vida del organismo. La mayoría de los protocolos de bioensayos agudos y crónicos requieren organismos jóvenes o neonatos. Sin embargo, algunos protocolos tales como la prueba de crecimiento de ostras, se aplican a organismos adultos. Así mismo, para pruebas crónicas que involucren reproducción, el tiempo requerido para la reproducción del organismo es un factor clave.

2.4 METALES PESADOS

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para los seres Humanos.

Los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, el plomo, el cadmio y el talio. También se suele incluir un semimetal como es el arsénico y, en raras ocasiones, algún no metal como el selenio. A veces también se habla de contaminación por metales pesados incluyendo otros elementos tóxicos más ligeros, como el berilio o el aluminio. Los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, el plomo, el cadmio y el talio. También se suele incluir un semimetal como es el arsénico y, en raras ocasiones, algún no metal como el selenio. A veces también se habla de contaminación por metales pesados incluyendo otros elementos tóxicos más ligeros, como el berilio o el aluminio.

2.4.1. Toxicidad

Se ha demostrado científicamente que, los metales pesados, además de causar algunos de los problemas ambientales más graves, la exposición en determinadas circunstancias es la causa de la degradación y muerte de vegetación, ríos, animales e, incluso, de daños directos en el hombre.

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental debido a que no son biodegradables, no son termo-degradables, generalmente no percola a las capas inferiores de los suelos y pueden acumularse sutilmente a concentraciones tóxicas para las plantas y animales⁵.

La toxicidad de los metales pesados es muy alta. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos -

⁵ www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/riorimac/cap1.pdf

SH (sulfhídricos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos. Para que los metales pesados puedan ejercer su toxicidad sobre un ser vivo, éstos deben encontrarse disponibles para ser captados por éste, es decir que el metal debe estar biodisponible. El concepto de biodisponibilidad se encuentra íntimamente relacionado con las condiciones físico-químicas del ambiente, que determinan la especiación y por lo tanto la concentración del metal libre y lábil⁶.

La información del nivel de toxicidad de los metales es obtenido a nivel de laboratorio. Para ello, es necesario realizar pruebas con especies de organismos terrestres y acuáticos. En la tabla 4, se muestra los parámetros y rangos ecotoxicológicos que puede presentar un contaminante.

Tabla 4: Clasificación toxicológica de las sustancias en organismos acuáticos

CATEGORÍA	CL ₅₀ (ppm)
Extremadamente Tóxico	Igual o menor de 0.1
Altamente Tóxico	0.1 - 1
Moderadamente Tóxico	1 -10
Ligeramente Tóxico	10 - 100
Prácticamente No Tóxico	Mayor a 100

Fuente: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvstox/tallerplagui/Argentina.pdf>

2.4.2. Aluminio

El aluminio es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre tras el oxígeno y el silicio. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza

⁶ www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales.htm

de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales.

El aluminio puro es un metal suave, blanco, de peso ligero, dúctil y maleable. No se altera en contacto con el aire ni se descompone en presencia de agua, debido a que su superficie queda recubierta por una fina capa de óxido que lo protege del medio. Sin embargo, su reactividad con otros elementos es elevada: al entrar en contacto con oxígeno produce una reacción de combustión que origina una gran cantidad de calor.

El aluminio se extrae de la bauxita, mineral de color rojo que se encuentra fundamentalmente en zonas tropicales, Australia, África y Sud América. Con cuatro toneladas de bauxita se obtienen dos de alúmina y de ésta, una de aluminio.

2.4.2.1 Características Físicas

Entre las características físicas del aluminio, destacan las siguientes:

- Es un metal ligero, cuya densidad es de 2700 kg/m^3
- Tiene un punto de fusión bajo: 660°C (933 K) y ebullición de 2467°C .
- El peso atómico del aluminio es de $26,9815 \text{ u}$.
- Es de color blanco brillante, con buenas propiedades ópticas y un alto poder de reflexión de radiaciones luminosas y térmicas.
- Tiene una elevada conductividad eléctrica comprendida entre 34 y $38 \text{ m}/(\Omega \text{ mm}^2)$ y una elevada conductividad térmica (80 a $230 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).
- Resistente a la corrosión, a los productos químicos, a la intemperie y al agua de mar, gracias a la capa de Al_2O_3 formada.
- Su producción metalúrgica a partir de minerales es muy costosa y requiere gran cantidad de energía eléctrica.
- Material fácil y barato de reciclar.

2.4.2.2 Características Mecánicas

Entre las características mecánicas del aluminio se tienen las siguientes:

- De fácil mecanizado.
- Muy maleable, permite la producción de láminas muy delgadas.
- Bastante dúctil, permite la fabricación de cables eléctricos.
- Material blando (Escala de Mohs: 2-3). Límite de resistencia en tracción: 160-200 N/mm² [160-200 MPa] en estado puro, en estado aleado el rango es de 1400-6000 N/mm². El duraluminio es una aleación particularmente resistente.
- Para su uso como material estructural se necesita alearlo con otros metales para mejorar las propiedades mecánicas.
- Permite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión.
- Material soldable.
- Con CO₂ absorbe el doble del impacto.

2.4.2.3 Características Químicas

Estructura atómica del aluminio:

- Debido a su elevado estado de oxidación se forma rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido de aluminio (Alúmina Al₂O₃) impermeable y adherente que detiene el proceso de oxidación, lo que le proporciona resistencia a la corrosión y durabilidad. Esta capa protectora, de color gris mate, puede ser ampliada por electrólisis en presencia de oxalatos.
- El aluminio tiene características anfóteras. Esto significa que se disuelve tanto en ácidos (formando sales de aluminio) como en bases fuertes (formando aluminatos con el anión [Al (OH)₄]⁻) liberando hidrógeno.
- La capa de óxido formada sobre el aluminio se puede disolver en ácido cítrico formando citrato de aluminio.
- El principal y casi único estado de oxidación del aluminio es +III como es de esperarse por sus tres electrones en la capa de valencia.

- El aluminio reacciona con facilidad con HCl, NaOH, ácido perclórico, pero en general resiste la corrosión debido al óxido. Sin embargo cuando hay iones Cu^{2+} y Cl^- su pasivación desaparece y es muy reactivo.

2.4.2.4 Efectos del Aluminio a la Salud Humana

Cuando el cuerpo humano es expuesto a altas concentraciones, este puede causar problemas de salud. La forma soluble en agua del Aluminio causa efectos perjudiciales, estas partículas son llamadas iones. Son usualmente encontradas en soluciones de Aluminio combinadas con otros iones, por ejemplo cloruro de Aluminio.

El ingerir Aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La introducción de concentraciones significantes de Aluminio al organismo puede causar un efecto serio en la salud como:

- Daño al sistema nervioso central
- Demencia
- Pérdida de la memoria
- Apatía
- Temblores severos

El Aluminio es un riesgo para ciertos ambientes de trabajo, como son las minas, donde se puede encontrar en el agua. La gente que trabaja en fábricas donde el Aluminio es aplicado durante el proceso de producción puede aumentar los problemas de pulmón cuando ellos respiran el polvo de Aluminio. El Aluminio puede causar problemas en los riñones de los pacientes, cuando entra en el cuerpo durante el proceso de diálisis.

2.4.2.5 Efectos Ambientales del Aluminio

La toxicidad del aluminio no daña directamente a las personas, pero sí es un problema para los cultivos que se arruinan por ello. Aunque el aluminio es el tercer elemento más abundante de la corteza terrestre, crea serios problemas en las cosechas, especialmente cuando el suelo es ácido. Cuando el aluminio en el suelo es alto, el metal se convierte en complejos iónicos que dañan las raíces de las plantas, lo que disminuye grandemente la productividad agrícola.

Los efectos del Aluminio han atraído nuestra atención, mayormente debido a los problemas de acidificación. El Aluminio puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas. Las concentraciones de Aluminio parecen ser muy altas en lagos acidificados. En estos lagos un número de peces y anfibios están disminuyendo debido a las reacciones de los iones de Aluminio con las proteínas de las agallas de los peces y los embriones de las ranas.

El aluminio que se encuentran en la naturaleza formando parte de suelos y rocas, es disuelto y acarreados a arroyos y lagos. Elevadas concentraciones de Aluminio no sólo causan efectos sobre los peces, pero también sobre los pájaros y otros animales que consumen peces contaminados e insectos y sobre animales que respiran el Aluminio a través del aire. El aluminio irrita las branquias de las truchas causando secreción mucosa y terminalmente muerte por asfixia. Pero no solo los peces son afectados por la precipitación ácida ya que se encontró que las aves canoras que viven cerca de los lagos ácidos ponen huevos más delgados y supone que el aluminio que provoca tal efecto se debe a la ingesta de insectos acuáticos que viven en aguas ácidas. El aluminio interfiere en la deposición normal de calcio por eso el efecto en los cascarones y es de esperarse también una fragilidad en los huesos de los seres vivos que lo absorben. Se ha observado que los patos que crecen cerca de ambientes ácidos crecen 60% más despacio que

los que viven en ambientes no ácidos. Un estudio del Dr. Harvey sobre los huevos de salamandra mostró que en pH 5 el crecimiento era anormal encontrándose una disminución en el grosor, resultando en la muerte del 60% de los embriones en comparación con la muerte de 1% que ocurre a pH 6. Algunos insectos pueden vivir hasta pH 3.5, pero la mariposa no sobrevive a pH menor de 5.5 lo mismo pasa con el Salmón.

Las consecuencias para los pájaros que consumen peces contaminados es que la cáscara de los huevos es más fina y los pollitos nacen con bajo peso. Las consecuencias para los animales que respiran el Aluminio a través del aire son problemas de pulmones, pérdida de peso y declinación de la actividad. Otro efecto negativo en el ambiente del Aluminio es que estos iones pueden reaccionar con los fosfatos, los cuales causan la poca disposición para los organismos acuáticos.

La tabla 5 muestra datos de la toxicidad del aluminio en diferentes especies.

Tabla 5: Toxicidad del aluminio en organismos terrestres

ORGANISMO	TOXICIDAD	CONCENTRACIÓN	REFERENCIA
Rata	DL50 (oral)	5000 mg/kg	Fosetyl aluminum Ministry agriculture, food and fisheries. British Columbia.
Conejo	DL50 (cutaneo)	> 8000 mg/kg	
Abeja	DL50	0.2 mg/abeja	
Codorniz	DL50	> 8000 mg/kg	
Insecto Enallagma	CL50 (96h)	1,000 µg/l	Pesticideinfo Toxicology studies from the primary scientific literature on aquatic organisms

2.4.2.6 Toxicidad del aluminio en plantas

La toxicidad del aluminio es uno de los principales factores que limitan el crecimiento de plantas y el desarrollo en muchos suelos ácidos. Las células de la membrana plasmática de raíz, en particular de la ápice de la raíz, parece ser un objetivo importante de la toxicidad de Al. Sin embargo, la interacción fuerte de Al^{3+} , la forma principal del Al tóxicos, con ligandos de oxígeno (proteínas, ácidos nucleicos, polisacáridos) da lugar a la inhibición de la división celular, la extensión de la célula, y el transporte. Aunque la identificación de genes de tolerancia al aluminio está en marcha.

La inhibición de la raíz y crecimiento de los brotes es un síntoma visible de la toxicidad del aluminio. Un retraso en el crecimiento de raíz es una consecuencia del Al-inducido por la inhibición de la elongación de las raíces. Las raíces son las raíces por lo general rechoncho y quebradizo y puntas de las raíces laterales y se engrosen y se puede dar vuelta a marrón. Esas raíces son ineficientes en la absorción de nutrientes y agua del suelo. Las plantas jóvenes son más susceptibles que las plantas más viejas. El Aluminio aparentemente no interfiere con la germinación de las semillas, pero perjudica el crecimiento de nuevas raíces y el establecimiento de plantón.

Cuando la biodisponibilidad del aluminio aumenta, la acumulación del mismo en los tejidos de la planta también aumenta. A diferencia de otros metales como el cadmio, el Al no parece acumularse en concentraciones altas en el tejido de la planta. Las concentraciones de Al en el tejido de la planta son relativamente bajas, con raíces que tienden a contener más Al que el tallo, hojas, semillas o frutas.

En un estudio hecho en plantaciones de té en China, las concentraciones de Al variaban de 850 a 3,500 ppm (mg Al por kg de tejido de planta). Se descubrió que

la cantidad de Al en las hojas de té dependía del pH del suelo, y aumentaba a medida que las hojas envejecían (Dong et al., 1999, Comm Soil Sci & Pi Anal 30). Cuando se hizo una muestra de vegetación nativa en suelos ácidos con alta presencia de aluminio en Brasil, el contenido de Al de las hojas variaba de 60 a 16,400 ppm (Geoghegan y Sprent, 1996, Comm Soil Sci & Pi Anal 27). En otro estudio, una presencia de apenas 13 ppm en raíces de maíz fue suficiente para resultar en una reducción de la longitud de la raíz (Lindon y Barriero, 1998).

2.4.2.7 Efecto sobre Organismos acuáticos

Las concentraciones de aluminio del agua de superficies han aumentado sobre niveles naturales. El agua acidificada de los lagos y de las secuencias también disuelve el aluminio de los sedimentos inferiores. Las altas concentraciones de aluminio (normal de hasta diez veces), junto con la alta acidez, han causado muertes masivas de peces. Todos los lagos en muchas regiones son desprovistos de vida de peces, y de la variedad de microorganismos. Una vez que pasa esto, es prácticamente imposible de restablecer poblaciones de peces, debido a la química del agua y la ausencia cambiantes de las fuentes del alimento.

Naturalmente el aluminio se encuentra en las aguas en concentraciones muy bajas. Las concentraciones más altas provienen de residuos de la minería que puede afectar negativamente la biocenosis acuática. El aluminio es tóxico para los peces en ácido, las aguas sin buffer a partir de una concentración de 0,1 mg / L. Simultánea la escasez de electrolitos influencia en la permeabilidad de las agallas, y daña la superficie de las células de las agallas. El aluminio es tóxico para los peces, principalmente en valores de pH 5.0 - 5.5. Los iones de aluminio se acumulan en las agallas de los peces y obstruyen éstos con una capa viscosa, lo que limita la respiración. Cuando disminuye los valores de pH, los iones de aluminio influyen en la regulación de la permeabilidad de las agallas por el calcio. Esto aumenta las pérdidas de sodio. El calcio y el aluminio son antagónicos, pero

agregando el calcio no se puede limitar la pérdida de electrolitos. Esto afecta principalmente a animales jóvenes. El elemento también influye en el crecimiento de peces óseos de agua dulce.

En la tabla 6 se muestran algunos datos de investigaciones que obtienen las concentraciones letales del aluminio en diferentes organismos acuáticos víctimas de este metal.

Tabla 6: Toxicidad del aluminio en organismos acuáticos

ORGANISMO	TOXICIDAD	CONCENTRACIÓN	REFERENCIA
Selenastrum capricornutum (alga)	EC ₅₀ (72h)	>100 mg/l	Ficha de Datos de seguridad del Producto. CHEVRO PHILLIPS CHEMICAL COMPANY
Daphnia magna (pulga)	EC ₅₀ (48h)	>100 mg/l	
Desmodesmus subspicatus (alga)	CL ₅₀ (72h)	> 16 mg/l	Material Safety Data Sheet CHIPCO SIGNATURE SYSTEMIC FUNGICIDE
Daphnia magna (pulga)	CL ₅₀ (48h)	>100 mg/l	
Scenedesmus quadricauda (alga)	CL ₅₀ (72h)	200 mg/l	Safety Data Sheet ALUMINIUM SULPHATE TECHNICAL PURE
Daphnia magna (pulga)	EC ₅₀ (48h)	1.5 mg/l	Material safety data sheet, FMC LITHIUM
Piscardo (Pez)	CL ₅₀ (24-96h)	43-32 mg/l	
Goldfish (Pez)	CL ₅₀ (48h)	4 mg/l	
Goldfish (Pez)	CL ₅₀ (24h)	4 mg/l	
Gambusia affinis (mosquito fish)	CL ₅₀ (24-96h)	49-24 mg/l	
Cangrejo violinista	CL ₅₀ (96h)	145 mg/l	
Amnicola limosa (molusco)	CL ₅₀ (96h)	1,000 µg/l	Pesticideinfo Toxicology studies from the primary scientific literature on aquatic organisms
Myriophyllum spicatum (planta)	EC ₅₀ (32d)	2,500 µg/l	

2.4.2.8 Fuente de exposición ambiental con Aluminio

- Exposición ambiental

El Al natural se encuentra en el suelo formando parte de la estructura química de los aluminosilicatos presentes en muchos minerales y rocas. Estos compuestos son muy estables y, por lo tanto, insolubles en el medio ambiente natural. La acción combinada de factores atmosféricos promueve cambios físicos y químicos que suscitan la ruptura de las rocas superficiales. Así se originan minerales arcillosos que luego se transforman en óxidos e hidróxidos de aluminio, más solubles. Por otra parte, debe considerarse que, debido a la acción del hombre, el Al puede existir en altas concentraciones en los alrededores de los sitios donde se desechan residuos de ciertas industrias, refinerías, fundiciones, canteras y minas. Se ha calculado que un 70% de las tierras cultivables tienen suficiente acidez como para ocasionar problemas de toxicidad originada por la solubilización de Al. El polvo desprendido de los minerales y materiales rocosos es la fuente más grande de partículas portadoras de Al en la atmósfera. Por el contrario, las concentraciones en el agua natural no presentan variaciones importantes, con excepción de aquellas zonas en las que las lluvias ácidas modifican el pH de lagos y aguas subterráneas, provocando aumento en la concentración de Al.

La lluvia ácida constituye un aporte significativo de Aluminio al medio ambiente, principalmente, en vastas zonas de América del Norte, Alemania y países escandinavos. En nuestro país, este efecto está atenuado por varios factores: a) la circulación de los vientos en el hemisferio norte, de oeste a este, impide que la densa contaminación de esa zona se desplace hacia el sur, b) el petróleo utilizado tiene bajo contenido de azufre lo que disminuye la formación de especies ácidas contaminantes y c) la naturaleza calcárea del suelo tiene efecto neutralizante. En términos de contaminación ambiental, es importante resaltar que, desechar una lata, significa generar un residuo por 500 años. En cambio, el proceso de

reciclado del metal reduce en un 95% la contaminación ambiental generada durante su fabricación y requiere menos del 10% del consumo eléctrico necesario para obtener la misma cantidad de Al a partir de bauxita.

- Exposición por la dieta

Muchos vegetales incorporan aluminio del suelo en el que son cultivados. Cuando el pH del suelo es menor que 5, este metal es solubilizado en el agua y absorbido por las raíces de las plantas.

El contenido de aluminio en los comestibles es altamente variable debido a su empleo generalizado no sólo en la manufactura sino también durante el almacenamiento en latas y envoltorios. Los alimentos que contribuyen en mayor proporción al aluminio dietario son cereales, quesos procesados y sal, ya que contienen compuestos de aluminio agregados como aditivos. Durante el procesamiento industrial de conservas de frutas y cerveza se agregan ciertas sales de aluminio, las que también son componentes habituales de polvos de hornear, conservantes, aditivos y agentes emulsionantes. Las hojas de té tienen, en general, un elevado contenido de aluminio. La incorporación al organismo es mayor en los individuos acostumbrados a beber infusiones con limón, ya que el anión citrato favorece la absorción intestinal de aluminio.

Las latas de bebida y los utensilios de cocina constituyen fuentes adicionales de aluminio en la dieta. Afortunadamente, la mayoría de los alimentos no disuelve cantidades importantes del catión pero tanto el calor suministrado durante la cocción como la adición de soluciones ácidas y salinas, aumentan considerablemente su disolución.

Los estudios dietarios muestran gran variabilidad con respecto a las cantidades de aluminio que pueden ser incorporadas a través de comidas y bebidas: entre 3 y 100 mg Al/día. La presencia de aluminio en el agua de bebida deriva de su

fuentes naturales y de los métodos empleados para la potabilización que incluyen una etapa de clarificación química con aluminato de sodio, aluminato de amonio o sulfato de aluminio. La cantidad del metal que permanece en solución en el agua de la red urbana depende no sólo de la concentración residual sino también de otras variables regionales como el pH y la coexistencia de otras sustancias. A pesar de que, en comparación con otras, esta fuente de exposición representa una pequeña proporción de la ingesta diaria de aluminio, la presencia de un porcentaje elevado de especies solubles del metal, de bajo peso molecular, químicamente reactivas y, posiblemente, más fácilmente absorbibles, sería responsable de la mayor disponibilidad del catión en ese medio.

- Exposición ocupacional

La exposición a aluminio es inevitable debido al incremento de su uso en la vida diaria y en las industrias. El riesgo es potencialmente mayor entre ciertos grupos ocupacionales como, por ejemplo, trabajadores de refinerías, fundiciones, canteras, minas, imprentas, concesionarias de automotores, estaciones de servicio y personal involucrado en la fabricación de productos metálicos. La exposición se produce en estos casos por el ingreso del metal a través de la piel o por inhalación de polvos, vapores y humos.

Productos de consumo: El aluminio se encuentra en los siguientes productos de consumo: antiácidos, astringentes, aspirina con cubierta entérica, aditivos para alimentos, desodorantes, cosméticos.

Además, entre las agrupaciones que utilizan el aluminio están los siguientes: la construcción, transportadores, envasadores, industrias eléctricas e industria farmacéutica⁷.

⁷ www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs22.html

2.5 ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA METALES PESADOS

Diversos son los procedimientos que pueden aplicarse para el tratamiento de metales pesados, pero es necesario anteriormente analizar el comportamiento del metal en el medio en el cual se encuentra para seleccionar el tratamiento más adecuado. A continuación se presentan algunas de las alternativas utilizadas para la reducción o eliminación de estos contaminantes ambientales.

2.5.1 Tratamiento Químico⁸

Entre los tratamientos químicos que se realizan para la eliminación o reducción del contenido de metales pesados en las aguas, se encuentran:

- **Oxidación:** Como ejemplo de oxidación química se puede mencionar el caso del Cianuro el cual es un residuo venenoso que se puede presentar en soluciones líquidas o en forma sólida. Debido a que los residuos con cianuro se pueden transformar fácilmente en productos no tóxicos, existe poca necesidad de verterlos en depósitos o vertederos. Los residuos acuosos de cianuros que se producen en tratamiento de metales, incluyendo borras, se pueden tratar por oxidación química con una solución alcalina con cloro o hipoclorito.
- **Precipitación de metales pesados:** Los efluentes del tratamiento de metales, a menudo contienen soluciones con distintos metales pesados tales como cobre, níquel o zinc. Estos pueden ser removidos con un exceso de una solución de cal o hidróxido de sodio para precipitarlos como compuestos insolubles en agua. Precipitantes alternativos para metales pesados incluyen sulfuro de sodio, tiourea y ditiocarbonatos todos los cuales producen precipitados insolubles de sulfuro. Usualmente la precipitación con sulfuros se usa como proceso final después de una precipitación inicial con cal o soda cáustica.

⁸ www.elergonomista.com/residuos3se01.htm

- Reducción química: El ácido crómico es un material corrosivo y altamente tóxico usado profusamente en el tratamiento de superficies de metales y en el cromado de metales. Se puede reducir químicamente a un estado relativamente no tóxico de cromo (III). Diferentes productos químicos pueden servir como agentes reductores, incluyendo; dióxido de sulfuro (SO₂), sales de sulfito (SO₃⁻²), sales de bisulfito (HSO₃⁻) y sales ferrosas (Fe⁺²).
- Neutralización: Las soluciones acuosas de ácidos minerales se producen en grandes cantidades a partir de industrias químicas. Muchas provienen del tratamiento de metales y contienen metales tales como fierro, zinc, cobre, bario, níquel, cromo, cadmio, estaño y plomo. Estos ácidos son extremadamente corrosivos pero pueden ser neutralizados, y usualmente se utiliza cal como el álcali menos costoso en operaciones a gran escala. Las soluciones alcalinas también se producen en la industria química, pero su composición varía más que en el caso de los ácidos y esto hace su recuperación más difícil. Los residuos alcalinos también vienen de la refinación del petróleo, fabricación de pinturas y limpieza especiales. Aparte de sólidos como arcillas, catalizadores, hidróxidos metálicos, también pueden estar presentes fenolatos, naftenatos, sulfonatos, cianuros, metales pesados, grasas, aceites, resinas naturales y sintéticas, etc. De estos residuos actualmente solo se pueden recuperar los metales. Como soluciones ácidas se pueden usar ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. El ácido sulfúrico forma precipitados más insolubles y genera más residuos que el ácido clorhídrico.

2.5.2 Procesamientos de Borrás

Una gran cantidad de residuos industriales contienen importantes cantidades de agua. Por lo tanto la masa de residuo que requiere una disposición última puede reducirse sustancialmente eliminando agua en forma eficiente. A menudo esto se puede lograr en lagunas, lechos de secado, filtros al vacío o filtros prensa,

centrifugas, etc. También se puede proceder previo a la extracción del agua a un proceso de espesamiento, que se logra en forma gravitacional o también a través de procesos biológicos o por medio del uso de productos químicos como cal.

2.5.3 Tratamiento mediante Microorganismos⁹

Dentro de la amplia diversidad microbiana, existen microorganismos resistentes y microorganismos tolerantes a metales. Los resistentes se caracterizan por poseer mecanismos de toxificación codificados genéticamente, inducidos por la presencia del metal. En cambio, los tolerantes son indiferentes a la presencia o ausencia de metal. Tanto los microorganismos resistentes como tolerantes son de particular interés como captadores de metales en sitios contaminados, debido a que ambos pueden extraer los contaminantes. La resistencia o tolerancia experimentada por microorganismos es posible gracias a la acción de diferentes mecanismos. Estos fenómenos son: biosorción, bioacumulación, biomineralización, biotransformación y quimiosorción mediada por microorganismos.

- Biosorción: Los fenómenos de biosorción se caracterizan por la retención del metal mediante una interacción físico-química del metal con ligandos pertenecientes a la superficie celular. Esta interacción se produce con grupos funcionales expuestos hacia el exterior celular pertenecientes a partes de moléculas componentes de las paredes celulares. Es un mecanismo de cinética rápida que no presenta una alta dependencia con la temperatura.
- Bioacumulación: Este mecanismo celular involucra un sistema de transporte de membrana que internaliza al metal pesado presente en el entorno celular con gasto de energía. Este consumo energético se genera a través del sistema H⁺-ATPasa. Una vez incorporado el metal pesado al citoplasma, éste es

⁹ www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales.htm

secuestrado por la presencia de proteínas ricas en grupos sulfhidrilos llamadas metalotioneínas o también puede ser compartimentalizado dentro de una vacuola, como ocurre en hongos.

- **Biomineralización:** Los microorganismos son capaces de precipitar metales y radionuclidos como carbonatos e hidróxidos, mediante un mecanismo de resistencia codificado en plásmidos. Este mecanismo aparece por el funcionamiento de una bomba que expulsa el metal tóxico presente en el citoplasma hacia el exterior celular en contracorriente a un flujo de H⁺ hacia el interior celular. Esto produce una alcalinización localizada sobre la superficie celular externa y por lo tanto la precipitación del metal pesado. Otra forma de precipitar los metales es a través de la formación de sulfuros o fosfatos, como resultado de alguna actividad enzimática celular.
- **Biotransformación:** Este es un proceso que involucra un cambio químico sobre el metal pesado. Esta transformación biológica de los metales pesados que resultan tóxicos mediada por enzimas microbianas puede dar como resultado compuestos poco solubles en agua o bien compuestos volátiles.
- **Quimiosorción mediada por microorganismos:** Es aquella clase de reacciones donde los microorganismos biomineralizan un metal, formando un depósito primario. Este depósito primario funciona como núcleo de cristalización, con la subsecuente deposición del metal de interés, promoviendo y acelerando así el mecanismo de mineralización.¹⁰

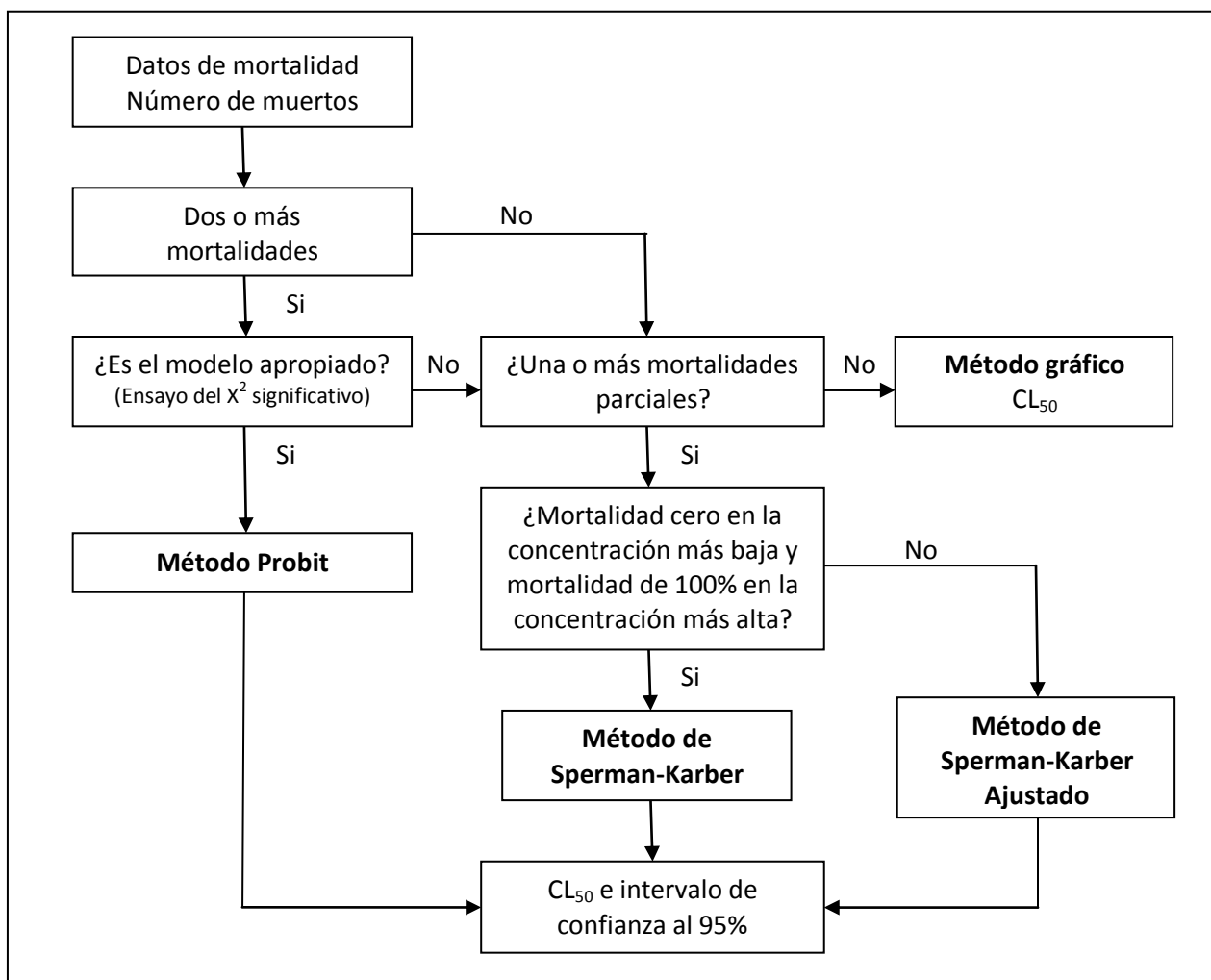
¹⁰ <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales.htm>

2.6 MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA ANÁLISIS DE PRUEBAS DE TOXICIDAD

Para poder dar cumplimiento a los requerimientos de validez y precisión de las pruebas es 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 válidos.

La figura 2 muestra el proceso básico de selección del método estadístico adecuado para el análisis de datos obtenidos en pruebas toxicológicas.

Figura 2: Selección del método estadístico para análisis de prueba de toxicidad



Fuente: http://www.idrc.ca/en/ev-84468-201-1-DO_TOPIC.html. Sept, 2009

2.6.1 Método Probit (Paramétrico)

Para el cálculo de los CL50/CE50/CI50 generalmente se usa el análisis Probit (con o sin ajuste). En un experimento típico de pruebas de toxicidad aguda se tiene la siguiente situación:

- Concentración de la sustancia o dosis (d).
- Número de individuos (n).
- Número de organismos muertos o afectados (r).
- Porcentaje de efecto (p).

$$p = \left(\frac{r}{n}\right) \times 100$$

La representación gráfica de p vs. d , o 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 normal, como se muestra en la figura 5.1); de esta manera la distribución de p vs. X será de tipo normal.

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:

$$y = a + bx$$

Donde:

$$y \text{ (Expresado en unidades Probit)} = z + 5$$

$$z = \text{Variable normal estándar} = z_0 \text{ tal que la Prob } (z \leq z_0) = p$$

a y b Son los estimadores de los parámetros de la recta de regresión

Así, cuando $p = 50\%$ entonces $y = 5$, por lo tanto:

$$X = \log_{10} CL_{50}, \text{ entonces } CL_{50} = 10^{x5}$$

Para facilitar los cálculos, simplemente se puede usar un *software* como el suministrado por la *US Environmental Protection Agency* (US EPA): *Probit Analysis Program*, versión 1.5. 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. Adicionalmente, hacen dos pruebas de bondad de ajuste: Pearson y Log-Likelihood Ratio. Estas pruebas son importantes, porque si los datos no se ajustan a la línea recta generada, es necesario llevar a cabo un análisis Probit ponderado o aplicar métodos no paramétricos o gráficos para poder determinar la CL50/CE50/CI50.

2.6.2 Método de Litchfield-Wilcoxon (Gráfico)

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.

2.6.3 Método de Spearman-Kärber (no Paramétrico)

El método de Spearman-Kärber es un método aproximado, no paramétrico, que proporciona una buena estimación de la media y la desviación estándar. Si la distribución es simétrica, se obtiene una estimación de la concentración total mediana (CL₅₀/CE₅₀/CI₅₀). Bajo las condiciones mencionadas, y si además la distribución considerada es más normal que logarítmica, se cumple que:

$$CL_{50} = m = X_k - d(S_1 - 1/2)$$

Donde:

X_k = Dosis mínima a partir de la cual todas las reacciones son del 100%.

d = Distancia entre cada dos dosis.

S₁ = Suma de las fracciones de individuos que presentaron reacción.

La desviación estándar SCL₅₀, o más fácil Sm, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$S_n = \sqrt{2S_2 - S_1 - S_1^2 - 1/12}$$

Donde:

S₂ = Suma de la fracción acumulada de los individuos que presentaron reacción.

2.6.4 Método Gráfico

Se puede utilizar el método gráfico para estimar la CL₅₀/CE₅₀/CI₅₀. 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 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 $CL_{50}/CE_{50}/CI_{50}$ del estímulo o agente estudiado. Cuando no se logra hacer un ajuste adecuado de los datos, se pueden utilizar otros métodos para hacer las estimaciones de $CL_{50}/CE_{50}/CI_{50}$.

2.6.5 Análisis de Varianza (ANOVA)

El análisis de varianza sirve para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos. El procedimiento para comparar estos valores está basado en la varianza global observada en los grupos de datos numéricos a comparar. Típicamente, el análisis de varianza se utiliza para asociar una probabilidad a la conclusión de que la media de un grupo de puntuaciones es distinta de la media de otro grupo de puntuaciones.

ANOVA mide la fuente de variación entre los datos y compara sus tamaños relativos:

- Variación entre grupos: para cada valor se evalúa la diferencia entre la media de un grupo y la media global.
- Variación dentro de los grupos: para cada valor se evalúa la diferencia entre ese valor y la media de su grupo.
- Grados de libertad: Por grados de libertad se entiende el número 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.

2.7 INDUSTRIA CORINTER S.A.

La industria evaluada para las pruebas de vertimiento de aluminio fue CORINTER S.A., localizada en la ciudad de Bogotá, Cundinamarca, en la Carrera 68B con calle 11- 9, zona industrial.

Figura 3: Industria CORINTER S.A.



Fuente: <http://www.corinter.com.co/empresa>.

CORINTER pone a disposición de la industria farmacéutica una línea de Hidróxido de Aluminio USP y de Hidróxido de Magnesio USP, que cumplen con las especificaciones de calidad de las farmacopeas internacionales y con las más exigentes de los Laboratorios que consumen estas materias primas para la fabricación de antiácidos gástricos comerciales.

2.7.1 Productos de CORINTER S.A.

Entre los productos que ofrecen al mercado farmacéutico se encuentran los hidróxidos en forma de Suspensiones concentradas y Geles en polvo, como se explican a continuación.

Tabla 7: Productos de CORINTER S.A.

PRODUCTO	ESPECIFICACIÓN	EMPAQUE
SUSPENSIONES CONCENTRADAS	Se emplean normalmente como agentes activos en la producción de suspensiones comerciales, donde se desea una mayor actividad antiácida y velocidad de respuesta que la obtenida con productos en polvo.	
GELES EN POLVO	CORINTER ofrece al formulador productos en polvo con tamaños de partícula y densidades adecuados para la fabricación de tabletas antiácidas.	

Fuente: www.corinter.com.co/productos/index.htm

2.7.1.1 Suspensiones Concentradas

- Hidróxido de aluminio:

Los Hidróxidos de aluminio se precipitan de las sales de Aluminio en forma de Hidrogeles homogéneos formados por complejos poli-hidroxílicos de Aluminio, con agua y gas carbónico fuertemente ligados a la estructura coloidal tridimensional. Por composición corresponden, más exactamente, a Hidroxi-carbonatos de Aluminio altamente reactivos.

Los tipos normales de alta viscosidad, cuando se diluyen a 4% de Al_2O_3 contienen aproximadamente 1.7% de CO_2 unido químicamente a la estructura.

La presencia de los Hidroxi-carbonatos influye decisivamente en las propiedades más determinantes de los Hidróxidos de Aluminio como son su viscosidad,

capacidad antiácida y estabilidad al envejecimiento. El mecanismo por el cual los Hidroxi-carbonatos estabilizan el gel, que impide reacciones de polimerización secundaria, que podrían ocurrir durante el almacenamiento, se controla exactamente durante el proceso de manufactura garantizando máxima actividad y estabilidad.

- Hidróxidos de magnesio:

Los Hidróxidos de Magnesio precipitan de las sales de Magnesio en forma de hidrogeles homogéneos fuertemente básicos, con valores de pH entre 10 y 11.

Las bases alcalinas de Magnesio son, junto con las de Aluminio, las más importantes sustancias antiácidas gástricas existentes. Poseen alta capacidad para ligar ácido, pero su acción es de corta duración y además muestran efecto laxante.

La mayoría de las formulaciones comerciales contienen mezclas de Hidróxidos de Aluminio y Magnesio; las bases de Magnesio sirven para el doble propósito de elevar rápidamente el pH del jugo gástrico y contrarrestar el efecto típico del Hidróxido de Aluminio que puede ocasiona estreñimiento en algunos pacientes.

- Hidróxido de aluminio e hidróxido de magnesio comezclados:

Suspensiones antiácidas concentradas, de consistencia fluida, que se emplean como sustitutos totales del Gel de Hidróxido de Aluminio y de la pasta de Hidróxido de Magnesio que se suministran en forma separada y se mezclan en el momento de la fabricación del antiácido comercial.

Este incluye dos referencias de suspensiones compuestas de Hidróxido de Aluminio y Magnesio, de tipo fluido, que se pueden trasegar con los equipos de bombeo normalmente usados en los laboratorios farmacéuticos o simplemente

volteando el envase, lo que simplifica al consumidor el proceso de manufactura comparado con el manejo de los hidróxidos prensados.

2.7.1.2 Geles en Polvo

Se suministran como polvos amorfos, inodoros, de color blanco, que conforman las especificaciones de farmacopea y las propias de los laboratorios especializados en esta variedad de antiácidos como son su elevada pureza química, inalterabilidad de sus propiedades durante conservación y sobre todo aptitud de neutralización del ácido y protección del sistema digestivo.

Estas propiedades se logran inicialmente en las Suspensiones Concentradas, que son el punto de partida de los Hidróxidos en polvo.

2.7.2 Procedimiento de Fabricación de Hidróxido de Aluminio

- Materias Primas:

Sal de Aluminio:	Sulfato de Aluminio
Solución alcalina fuerte:	Soda Cáustica
Solución alcalina débil:	Bicarbonato de Sodio
Agentes de Precipitación:	Carbón Activado
Agentes de Filtración:	Tierra de Infusión
Ajustadores de pH:	Ácido Nítrico

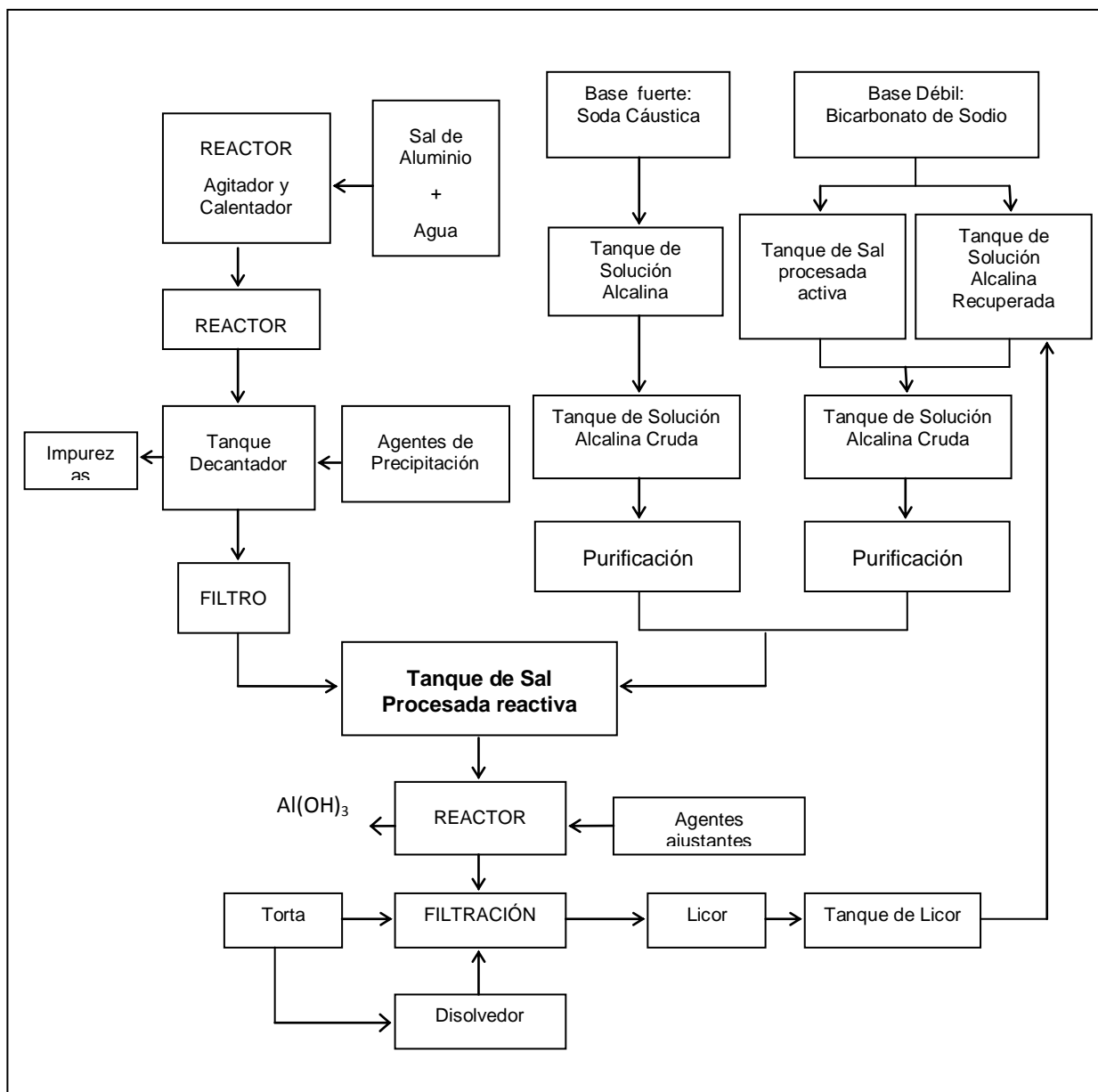
- Cantidades Aproximadas:

Soda cáustica (Hidróxido de Sodio):	100 Kg
Bicarbonato de Sodio:	200 Kg
Sulfato de Aluminio:	400 Kg
Agua de proceso:	10000 lts

- Proceso de producción de Hidróxido de Aluminio

La figura 4, muestra un resumido esquema del proceso de producción de hidróxido de aluminio en la empresa CORINTER, basado en sales y bases.

Figura 4: Proceso de producción de Hidróxido de aluminio en CORINTER



Fuente: Melissa Corpus

Una vez descargado el producto se muestrea para análisis físico-químicos en el laboratorio de control de calidad. El producto aprobado se empaca y se somete a cuarentena para su aprobación de análisis biológico y proceder para su almacenamiento para despacho.

2.8 NORMATIVIDAD AMBIENTAL COLOMBIANA

La normatividad ambiental es un conjunto de objetivos, principios, criterios y orientaciones generales para la protección del medio ambiente de nuestra sociedad. A continuación se presenta los criterios de mayor interés para la realización de este proyecto.

2.8.1 Decreto 1594 de 1984

Decreto por el cual se reglamentan los usos del agua y los residuos líquidos por medio del Ministerio de Salud.

Este decreto denomina como vertimiento líquido a cualquier descarga hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado, y determina los contaminantes de interés sanitario y los criterios de calidad admisible en el ambiente.

Artículo 40 y 41: Los criterios admisibles para la destinación del recurso para diversos usos:

Tabla 8: Criterios de calidad admisibles

CONTAMINANTE	VALOR ADMISIBLE	USO
Aluminio (Al)	5.0 mg/l	Agrícola
	5.0 mg/l	Pecuario

Fuente: Artículo 40 y 41, Decreto 1594 de 1984

Artículo 72: Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Tabla 9: Norma de vertimiento a cuerpos de agua

REFERENCIA	NORMA
pH	5 – 9 unidades
Temperatura	< 40°C
Material Flotante	Ausente
Grasas y Aceites	Remoción > 80% en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga
DBO para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga
DBO para desechos industriales	Remoción > 20% en carga

Fuente: Artículo 72, Decreto 1594 de 1984

2.8.2 Resolución 1074 de 1997

Esta resolución establece estándares ambientales en materia de vertimientos dirigido a todas las personas naturales y jurídicas que recolecten, transporten y dispongan residuos líquidos, con el fin de prevenir, controlar y mitigar los impactos ambientales y preservar, administrar y conservar el medio ambiente y los recursos naturales en el Distrito Capital.

Artículo 3:¹¹ Todo vertimiento de residuos líquidos a la red de alcantarillado público y/o a un cuerpo de agua, deberá cumplir con los siguientes estándares establecidos:

¹¹ Este artículo es modificado por la Resolución 1596 del 2001 en materia de vertimiento de tensoactivos (SAAM), a cuerpos de agua y a la red de alcantarillado público.

Tabla 10: Estándares para vertimiento de residuos líquidos a la red de alcantarillado público

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	NORMA
DQO	mg/l	2000
Grasas y Aceites	mg/l	100
pH	Unidades	5 – 9
Sólidos Suspendidos Totales	SST (mg/l)	800
Temperatura	Grados centígrados (°C)	< 30
Aluminio	Al (mg/l)	No establecido

Fuente: Artículo 3, resolución 1074 de 1997

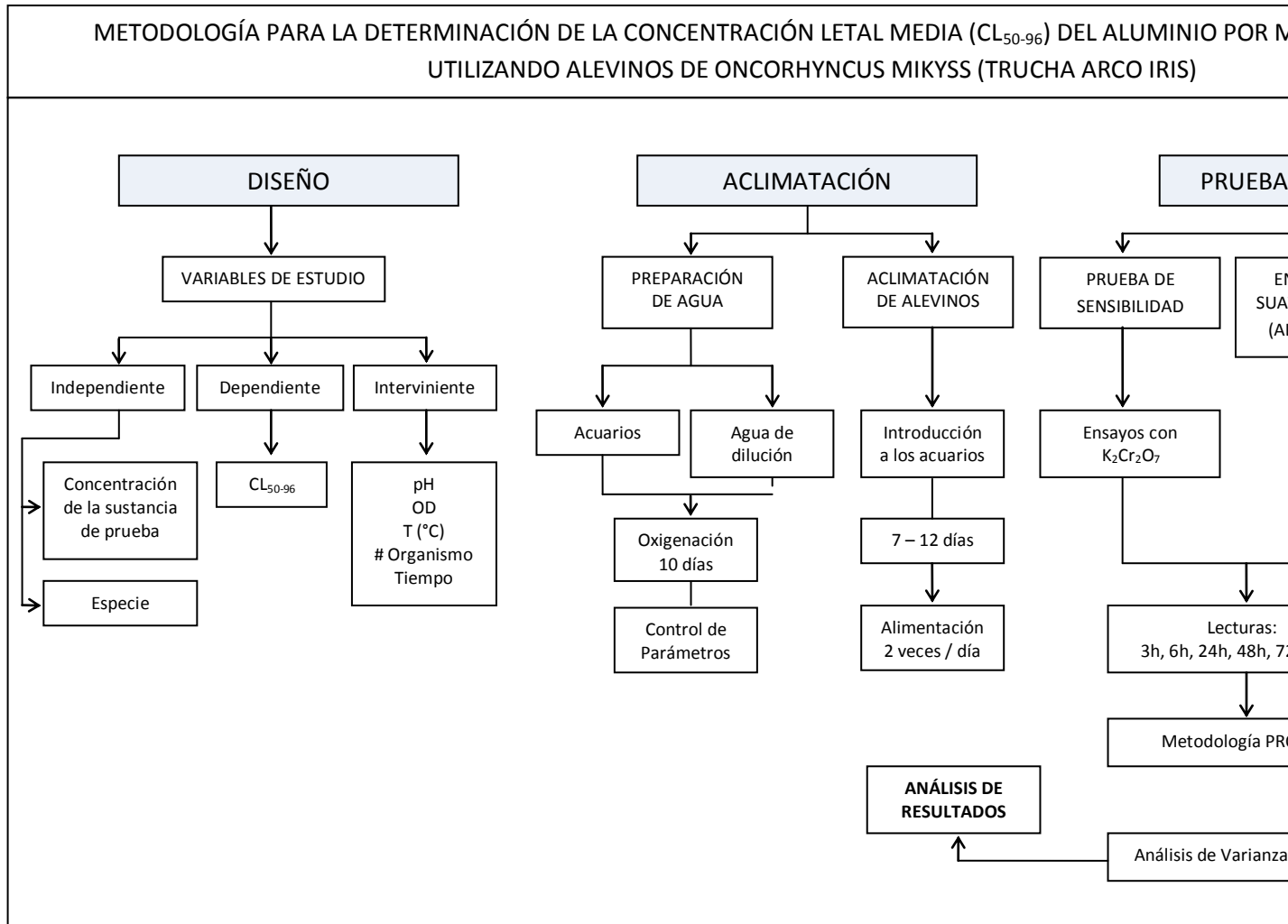
3. METODOLOGÍA

En esta investigación se lleva a cabo una metodología tipo diseño experimental que se basa en la recolección de información cuantitativa para dar respuestas del efecto y los cambios producidos por una problemática ambiental como es la contaminación de los cuerpos de agua por el metal aluminio.

Esta metodología específicamente es de tipo cuasi-experimental pues es necesario el control de determinados factores para el acondicionamiento del ambiente de los organismos en estudio, pero en este caso, se dificulta alcanzar el control estricto de todos los factores.

A continuación se presenta la figura 11, con el resumen de la metodología desarrollada para determinar la concentración letal del aluminio por medio de bioensayos con Trucha Arco Iris, seguida de la explicación detallada de la misma.

Figura 5: Metodología para la determinación letal media del aluminio mediante bioensayos



Fuente: Melissa Corpus

3.1 DISEÑO CUASI-EXPERIMENTAL

En esta metodología cuasi-experimental se manejan ciertas variables y procesos al azar que intervienen para obtener finalmente el análisis de los resultados.

Se tuvieron en cuenta las siguientes variables para su manejo y control:

- Variables Independientes

Las variables independientes que se manejan en esta investigación son, la concentración de la sustancia para pruebas de sensibilidad (Dicromato de Potasio), la concentración de la sustancia de estudio (Aluminio), y el porcentaje de dilución del vertimiento de estudio.

- Variable Dependiente

Como variable dependiente se encuentra la concentración letal del Aluminio en un tiempo de 96 horas de exposición, ya que ésta depende de la reacción que manifiesten los organismos al tóxico expuesto.

- Variables Constantes o Intervinientes

Dentro de las variables constantes o intervinientes tenemos el número de organismos utilizados para cada concentración (20 organismos), exponiendo cinco organismos en cada una de las cuatro peceras. El tiempo de exposición de los peces al contaminantes (96 horas), y los parámetros físico-químicos (Temperatura, Oxígeno Disuelto, pH y Dureza).

La metodología de esta investigación se desarrolla por medio de tres fases:

- La primera fase, Aclimatación y mantenimiento, explica las condiciones necesarias para el bienestar de los peces en el proceso de su transporte al lugar de las pruebas, introducción a los acuarios, alimentación y preparación del agua de dilución para las pruebas toxicológicas.
- Seguida de la fase de Pruebas Toxicológicas, la cual comprende del proceso de desarrollo de las pruebas de sensibilidad, del aluminio y del vertimiento.
- Finalmente la tercera fase, la obtención de resultados, consta de los métodos estadísticos utilizados para obtener el valor de concentración letal de las sustancias analizadas, además de los cálculos para establecer la carga toxicológica e índice toxicológico del vertimiento con contenido de aluminio.

A continuación se explican las tres fases anunciadas con especificaciones:

3.2 FASE I: ACLIMATACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los alevinos de Trucha Arco iris se obtuvieron de la empresa ACUAGRANJA LTDA en la ciudad de Bogotá. Se transportaron en doble bolsa de polietileno calibre tres de 100 x 40 cm a las que se le agregan un promedio de 250 alevinos de 10 días de nacidos por bolsa, adicionando oxígeno suficiente para 8 horas para transportarlos en adecuado estado de salud. Los alevinos se aclimatan en 1 acuario de 100 litros y 3 de 60 litros, éstos se llenaron con ocho días de anticipación con el fin de bajar las concentraciones de cloro residual presente en el agua, además, se emplearon aireadores para lograr la cantidad necesaria de oxígeno disuelto y se llevó un control de la temperatura, oxígeno disuelto y pH del agua.

3.2.1 Preparación de los Acuarios

Para preparar el agua donde se mantendrán los alevinos de Trucha Arcoíris es preciso airear con 8 días de anticipación con ayuda de aireadores mecánicos, con el fin de bajar las concentraciones de cloro residual presente en el agua, y obtener la cantidad necesaria de oxígeno disuelto. Además, se llevó un control de la temperatura, oxígeno disuelto y pH del agua.

Los acuarios se permanecieron tapados con plástico para prevenir la intrusión de suciedad o la absorción de sustancias volátiles, que se encuentre en el laboratorio, por el agua. Ver figura 5.

Figura 5: Acondicionamiento de los acuarios



Fuente: Melissa Corpus

3.2.2 Aclimatación de los alevinos de Trucha Arco Iris

Los alevinos de Trucha Arco iris son transportados a los acuarios en su respectiva bolsa de polietileno sellada al vacío, se sumerge en uno de los acuarios para estabilizar las temperaturas entre la bolsa y los acuarios por un tiempo aproximado de 1 hora (mínimo 30 minutos), evitando la muerte de éstos.

Figura 6: Aclimatación de los alevinos antes de introducirlos a los acuarios



Fuente: Melissa Corpus

Los organismos son introducidos a los acuarios cuidadosamente con una malla y en pequeños grupos.

El conteo de los peces se realiza para saber qué porcentaje de ellos mueren antes de empezar las pruebas de toxicidad, pues si este porcentaje supera el 10%, la prueba puede arrojar resultados erróneos, ya que la muerte de los alevinos puede estar influenciado por otros factores además del contaminante de estudio.

Figura 7: Introducción de los alevinos a los acuarios



Fuente: Melissa Corpus

Luego de introducirlas, es recomendable que los acuarios además de ser tapados con plásticos en su parte superior, también que su parte frontal se tapa con bolsas

o tela negra para evitar que los alevinos se estresen por el continuo tráfico de personal o por la luz artificial del laboratorio.

3.2.3 Alimentación

La cantidad recomendada para los peces juveniles es del 5% al 7% de alimento diario respecto del peso corporal. Los alevinos fueron alimentados dos veces al día; es importante resaltar que la alimentación se debe suspender 24 horas antes de realizar las pruebas de toxicidad.

El alimento puede obtenerse en casas de acuario en forma de pellets, teniendo en cuenta la proporción de sus componentes principales.

Tabla 11: Composición del alimento de los alevinos

NUTRIPEZ EN HOJUELA	
COMPOSICIÓN	PORCENTAJE
Proteína mínima	38
Grasa mínima	8
Fibra máxima	2.5
Ceniza máxima	9.8
Humedad máxima	5

Fuente: Empaque de alimento para peces, Nutripez

3.2.4 Preparación del agua de dilución

Agua utilizada para la dilución del contaminante para las pruebas de toxicidad, se declorina por un tiempo de 48 horas y se deja airear hasta alcanzar un 80 % de saturación, el tiempo recomendado para volúmenes de 50 a 100 litros es de 4 días en promedio. Se verifica el oxígeno disuelto con valores entre 5.5 y 7.5 mg/l de O₂, temperatura oscilando entre 16°C y 18°C, y pH entre 6.0 a 8.0 unidades cumpliendo con los parámetros establecidos por los protocolos de CETESB.

Figura 8: Tanque de preparación del agua de dilución



Fuente: Melissa Corpus

3.3 FASE II: PRUEBAS DE TOXICIDAD

Se realizaron pruebas preliminares, utilizando cinco (5) concentraciones de aluminio entre el rango de 0.01 y 100 ppm. Consecuentemente, con los datos obtenidos en las pruebas preliminares, se realizaron diez (10) pruebas definitivas.

Basándose en los protocolos establecidos por el CETESB, se utilizaron baterías de peceras, de cinco (5) concentraciones además del blanco, cada concentración con cuatro (4) réplicas de ensayo (peceras), para un total de veinticuatro (24) peceras para cada prueba toxicológica. En cada pecera se introdujeron cinco organismos. El total de organismos utilizados son de veinte (20) por cada concentración y ciento veinte (120) por prueba toxicológica.

3.3.1 Montaje de la prueba

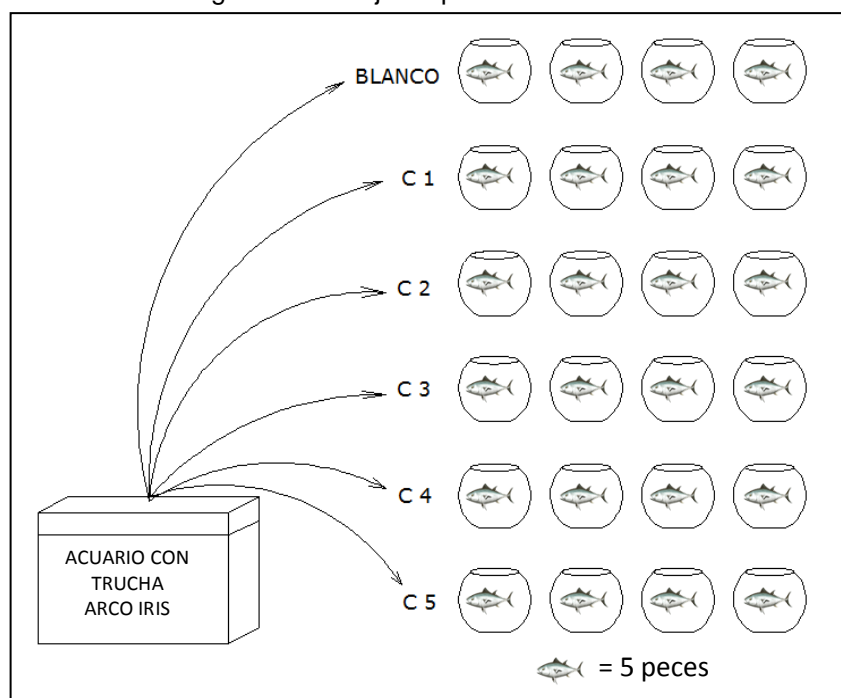
Para el montaje se utilizan veinticuatro (24) peceras de dos litros y medio cada una (2.5L), ubicándolas en un stand acondicionado para las pruebas, distribuyéndolas en una batería de cinco (5) concentraciones de prueba más el blanco. Cada concentración reproducida con cuatro (4) peceras.

La primera batería de 4 peceras se utiliza para el blanco y las otras 5 restantes (cada una con 4 peceras) se utilizan para las diferentes concentraciones del tóxico (de menor a mayor) para obtener la concentración letal (CL₅₀).

Para la preparación de las concentraciones preliminares del tóxico se tienen en cuenta los rangos conocidos de anteriores investigaciones del agente tóxico, mientras que las concentraciones definitivas fueron preparadas teniendo en cuenta los resultados obtenidos de las pruebas preliminares y llevadas a las peceras a un volumen de 2 litros con agua de dilución preparada anteriormente. Todas las pruebas inician en el momento de introducir el último alevino de Trucha Arco iris en la última pecera.

La lectura de las pruebas se realiza a las 3, 6, 24, 48, 72 y 96 horas de haber comenzado la prueba, registrando cada resultado, en una tabla de datos (Ver anexo B).

Figura 9: Montaje de prueba de toxicidad



Fuente: Ing. Melissa Corpus

3.3.2 Pruebas de toxicidad de sensibilidad con Dicromato de Potasio (K₂Cr₂O₇)

Al implementar los test de toxicidad, se hace necesario efectuar su estandarización que consiste en establecer la sensibilidad de la especie y la reproducibilidad del experimento frente a un tóxico de referencia, en este caso Dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇).

Las pruebas se llevaron a cabo en dos etapas: pruebas preliminares, en las que se empleo un amplio rango de concentraciones con el fin de establecer el 0 y el 100% de mortalidad de los organismos utilizados, frente al tóxico; y pruebas definitivas utilizando los rangos selectivos de acuerdo a los resultados de los ensayos preliminares y que permitieron la obtención de las respectivas CL₅₀₋₉₆.

Una vez conocido el rango de concentraciones, se expusieron alevinos de *Oncorhynchus mykiss*, a diferentes concentraciones de Dicromato de potasio y se determinó la CL₅₀₋₉₆, que generó la muerte al 50% de la población expuesta, en un lapso de tiempo de 96 horas, se considera éste tiempo, teniendo en cuenta el ciclo de vida de la especie, establecido por protocolos internacionales. CETESB 1990.

Se preparan cinco concentraciones (20, 40, 60, 80, 100) ppm y un blanco o control (agua de clorinada), cada uno de ellos por cuadruplicado, se tomaron éstas concentraciones basándose en investigaciones realizadas anteriormente (Universidad Nacional de Colombia Laboratorio de la CAR), con el fin de corroborar dichos estudios y comprobar si la sensibilidad de los organismos de prueba es la misma.

El fin de ésta prueba es determinar la sensibilidad de los organismos y garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos de las pruebas con otras sustancias tóxicas, en relación con la capacidad de respuesta de los organismos de prueba.

3.3.3 Pruebas preliminares de toxicidad con aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

La solución madre, que es la base para preparar las concentraciones de los ensayos, fue preparada a partir del sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), a una concentración de 1000 ppm.

Se preparan cinco concentraciones iniciales, realizadas por cuadruplicado. Posteriormente se observan los resultados de mortalidad de los organismos y de acuerdo a éstos se procede a aumentar o disminuir las concentraciones establecidas de de acuerdo a los resultados que se obtengan luego de las 96 horas. Las concentraciones iniciales para las pruebas preliminares fueron de 0.01, 0.1, 1.0, 10, y 100 ppm.

3.3.4 Pruebas definitivas de toxicidad con aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

Las pruebas definitivas se realizan teniendo en cuenta la metodología empleada para la elaboración de las pruebas preliminares, utilizando los valores de los rangos de dichas pruebas, los valores establecidos fueron 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 mg/l, los cuales permitieron determinar la concentración letal media del aluminio, reproduciendo estas pruebas 10 veces, para que los datos fueran confiables.

Figura 10: Montaje doble de pruebas de toxicidad con Aluminio



Fuente: Melissa Corpus

3.3.5 Análisis físico químico del vertimiento

- DQO: El análisis se realizó en el laboratorio del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle. La muestra se preserva con ácido sulfúrico (H₂SO₄), obteniendo un pH de 2. Se emplea el método de reciclo cerrado, la lectura fue realizada en el espectrofotómetro (HACH), Standard Methods Edición 19, 1995, 5220D-2B.
- Conductividad: Se realiza en el laboratorio del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, con base al Standard Methods Edición 19, 1995, SM 2510-B.
- pH: Se realiza en el laboratorio del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, utilizando el Standard Methods Edición 19, 1995, SM 4500H.
- Aluminio: La muestra fue analizada por medio del método de absorción atómica y utilizando el Standard Methods Edición 19, 1995.
- Sólidos suspendidos totales: Obteniendo los datos a partir del método de secado a 103 °C.

3.3.6 Pruebas de toxicidad aguda con vertimiento industrial

Para la elaboración de las pruebas con los vertimientos de aluminio, se manejaron diferentes porcentajes de volumen de muestra diluidos con agua declorinada. Los porcentajes inicialmente utilizados fueron 1, 5, 10, 15 y 20%. Estas diluciones por poseer porcentajes tan altos del vertimiento (por su alto contenido de aluminio), en las primeras 6 horas de la prueba presentaron una mortalidad del 100%, se precedió a reducir las concentraciones por medio de diluciones hasta obtener un

rango efectivo, en este caso para el vertimiento con aluminio de 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 y 1%. Obteniendo con este nuevo rango, el porcentaje letal del vertimiento para los organismos acuáticos.

3.4 FASE III: OBTENCIÓN DE RESULTADOS

El resultado de la prueba se obtiene por medio del Método Probit, con una confiabilidad del 95%, siguiendo un modelo matemático que asume una relación entre la dosis y la respuesta. Este calcula la CL₅₀₋₉₆ con sus respectivos límites de confianza, para ello se elaboró el protocolo LB03 sobre “Análisis de regresión y Análisis Probit”. Luego de adquirir este resultado, se realiza el análisis de varianza, según el protocolo LB04 “Análisis de varianza - ANOVA” (véase en anexo G). Se trata de una técnica para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos (entre las concentraciones de aluminio). El procedimiento para comparar estos valores está basado en la varianza global observada en los grupos de datos numéricos a comparar.

3.4.1 Obtención de la Carga tóxica e Índice toxicológico¹²

La carga e índice toxicológico se realiza con el fin de evaluar y clasificar el vertimiento con contenido de metales.

3.4.1.1 Carga Tóxica

Para el cálculo del índice toxicológico se contó con la información del nivel trófico afectado (*Oncorhynchus mykiss*), caudal del vertimiento industrial, concentración letal media del vertimiento y carga tóxica del efluente.

¹² ESCOBAR, MALAVER; Pedro Miguel. Implementación de un sistema de alerta de riesgo toxicológico utilizando *Daphnia Pulex* para la evaluación de muestras ambientales. 1997

Para el cálculo de la carga tóxica se utilizó la siguiente ecuación, expresada en unidades tóxicas (UT):

$$Carga\ Tóxica\ (UT) = \frac{100}{CL_{50}} \times \bar{Q}$$

En donde:

- CL_{50} : Concentración letal media (Concentración del efluente que produjo la mortalidad del 50% de los organismos expuestos en un período de 96 horas).
- Q : Caudal promedio del efluente, el cual varía según la producción de la empresa evaluada.

3.4.1.2 Índice Toxicológico

El índice de toxicidad es el parámetro toxicológico que se utiliza en la evaluación de riesgos y se obtiene de estudios de dosis-respuesta.

Los valores de este parámetro son los que se comparan con las dosis suministradas que se estiman en los estudios de exposición a tóxicos ambientales. La mayoría de los valores de los índices de toxicidad se calculan en base a efectos observados experimentalmente en exposiciones controladas de animales de laboratorio.

Con el cálculo y transformación logarítmica en base 10 de la carga tóxica se obtuvo el índice toxicológico de la siguiente manera:

$$IT = \text{Log} (1 + UT)$$

El vertimiento se clasifica de acuerdo al rango establecido, por Pedro Miguel Escobar Malaver en la tesis “Implementación de un sistema de alerta de riesgo toxicológico utilizando *Daphnia Pulex* para la evaluación de muestras ambientales”, el cual se encuentran consignado en el tabla 12:

Tabla 12: Rango de Índice Toxicológico

RANGO	CARGA TÓXICA
1 – 1.99	Despreciable
2 – 2.99	Reducida
3 – 3.99	Moderado
4 – 4.99	Considerable
> 5	Elevada

Fuente: ESCOBAR MALAVER; Pedro Miguel. Implementación de un sistema de alerta de riesgo toxicológico utilizando *Daphnia Pulex* para la evaluación de muestras ambientales. 1997

3.4.2 Comparación de resultados

Las concentraciones letales medias, obtenida en esta investigación, se compara con otros resultados encontrados sobre pruebas de toxicidad realizados en investigaciones nacionales e internacionales, para confrontar los resultados obtenidos.

Los resultados de las pruebas de sensibilidad con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), se confrontan con resultados obtenidos en otras investigaciones con el mismo organismo de estudio, para así verificar que los resultados adquiridos son confiables y se encuentran dentro de un rango común.

Los valores de concentración letal media del aluminio y del vertimiento con contenido de aluminio son confrontados con normas internacionales sobre límites permisibles de vertimiento de aluminio a cuerpos de agua y alcantarillado público, para justificar la necesidad de introducir estos límites a la normatividad colombiana. Además, se compara con investigaciones sobre concentraciones letales del aluminio en diversas especies.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el desarrollo de las pruebas de toxicidad se siguieron los pasos que presenta la Guía CETESB (Brasil), la cual se ha venido trabajando por los grupos de investigación de Bioensayos del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle, dirigido por el ingeniero químico Pedro Miguel Escobar Malaver.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en esta investigación en las pruebas realizadas.

4.1 ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA

Además de mantener los acuarios con una aireación precisa con la ayuda de aireadores mecánicos, fue necesario tomar muestras para determinar el estado de los demás parámetros que establecen el buen estado del medio para la sanidad de los alevinos de Trucha Arco Iris.

Los parámetros controlados fueron el pH, la temperatura del agua y el oxígeno disuelto en el agua de los acuarios en los cuales se aclimataron los organismos. Este control fue realizado con el fin de verificar que los organismos no murieran por causas ajenas al contaminante de interés.

En cuanto al agua de dilución, se mantuvieron condiciones constantes para todas las pruebas. Esta agua fue recolectada del acueducto municipal, manteniendo una aireación constante para aumentar el oxígeno disuelto y para decolorarla. Los valores de pH encontrados fueron siempre neutrales, y la temperatura oscilaba entre los 18 y 19.5°C.

A continuación se presentan los datos promedios obtenidos en los controles de parámetros de los acuarios de aclimatación de los organismos de prueba:

Tabla 13: Control de parámetros en agua de acuarios

Acuarios para pruebas de:	PARÁMETROS CONTROLADOS (promedios)		
	pH Unidades)	T(°C)	OD (mg/l)
Sensibilidad	7.6	18	6.3
Contaminantes Puro (Sulfato de aluminio)	6.9	18.5	6.1
Vertimiento CORINTER	7.2	19.7	6.0

Fuente: Melissa Corpus

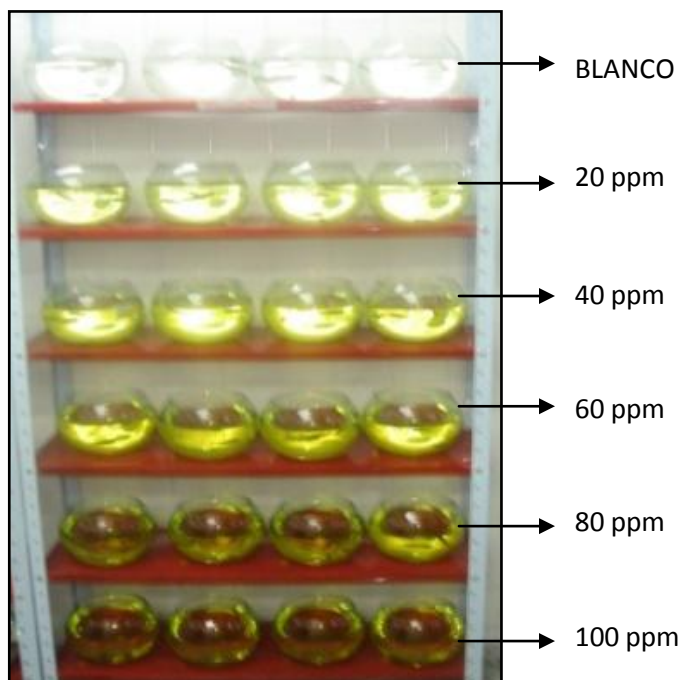
4.2 PRUEBAS DE SENSIBILIDAD

Para comprobar la sensibilidad de las Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) a los contaminantes, fue determinada la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆), del dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇), como tóxico de referencia. El valor de CL₅₀₋₉₆ se calculó con el programa estadístico Probit, en el cual se introducen los datos de los ensayos, obteniendo además del valor de interés, los respectivos límites de confianza del 95%; con ellos fue construida la carta de control con el valor promedio, la desviación estándar, donde se presentan los resultados obtenidos de la evaluación.

El dicromato de potasio es utilizado en esta investigación como contaminante de referencia para las pruebas de sensibilidad, por ser un contaminante de control positivo utilizado para comprobar la sensibilidad de organismos hacia agentes contaminantes, además, es una de las sales tóxicas que produce leves descensos del pH del agua.

Las concentraciones de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) utilizadas para estos ensayos de sensibilidad, están dentro de un rango de 0 ppm a 100 ppm, con intervalos de 20. La concentración 0 ppm está representada en el Blanco de la batería de ensayo, como se ilustra en la figura 12.

Figura 12: Montaje de Prueba de Sensibilidad



Fuente: Melissa Corpus

A continuación se presenta la carta de control de los ensayos de sensibilidad realizados para dejar establecida la sensibilidad de los organismos de prueba a un tóxico de referencia, en este caso el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), ya que los bioensayos con esta especie son la base fundamental en la evaluación ecotoxicológica de los vertimientos.

Como resultado de la letalidad de los organismos frente al tóxico de referencia en los ensayos de sensibilidad, los límites de confianza son:

- Límite inferior: 45,4315 mg/l
- CL₅₀₋₉₆: 52,6626 mg/l
- Límite superior: 59,5878 mg/l

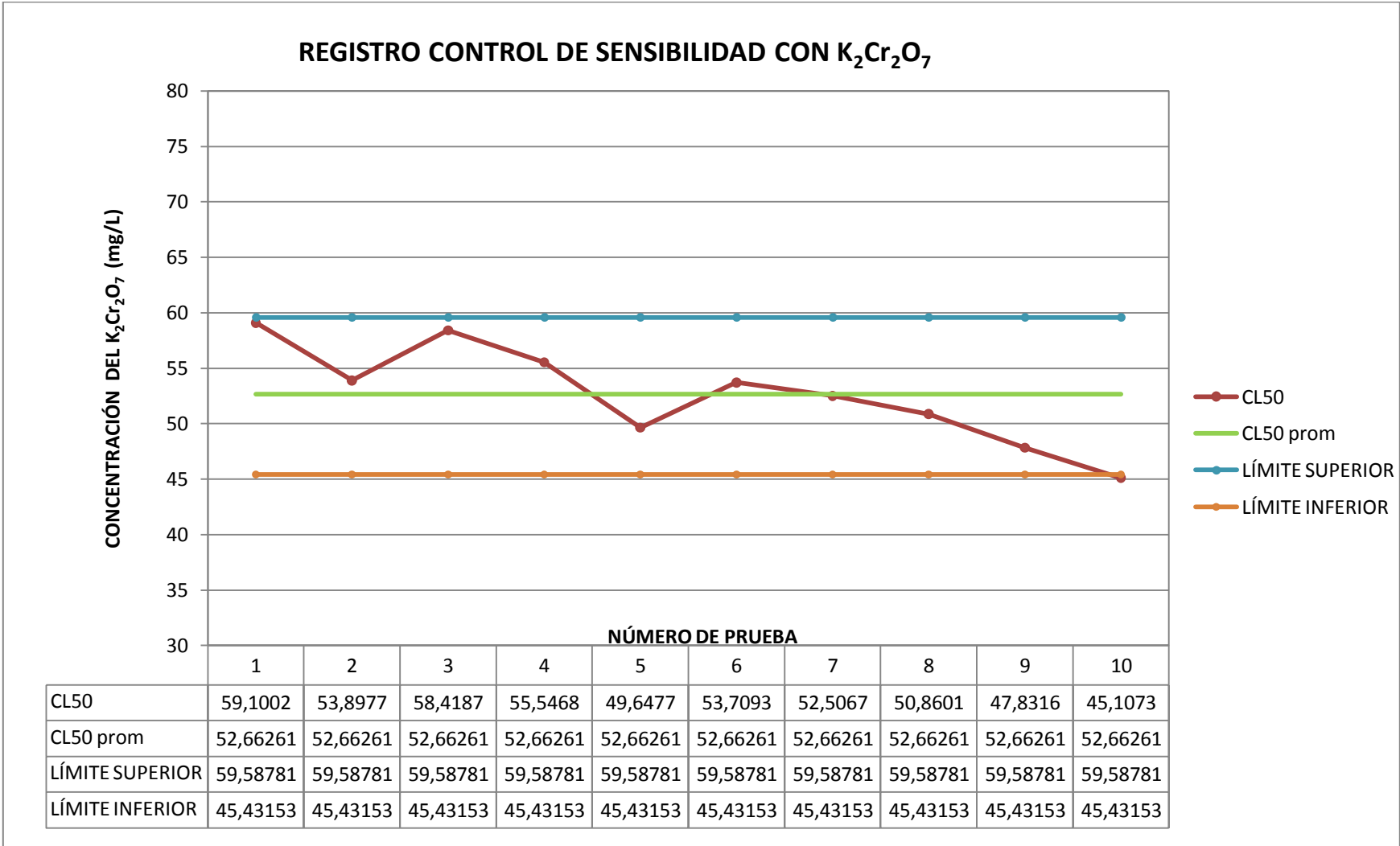
Tabla 14: Carta de control de pruebas de sensibilidad

Nº DE PRUEBA	CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (mg/l)	LÍMITE INFERIOR (mg/l)	LÍMITE SUPERIOR (mg/l)
1	59,1002	52,3256	65,5251
2	53,8977	46,5692	60,7265
3	58,4187	50,7421	65,8798
4	55,5468	48,6349	62,1702
5	49,6477	42,6669	56,2535
6	53,7093	46,8855	60,1547
7	52,5067	45,3242	59,4713
8	50,8601	43,5403	58,0970
9	47,8316	40,2108	55,2045
10	45,1073	37,4158	52,3955
PROMEDIO	52,6626	45,4315	59,5878

Fuente: Melissa Corpus

El gráfico 1 muestra la distribución de las diez concentraciones letales medias de las pruebas de sensibilidad, así mismo, su promedio y los límite máximo y mínimo.

Gráfico 1: Concentración letal media de pruebas de sensibilidad



Fuente: Melissa Corpus

4.2.1 Comparación de resultados de sensibilidad

La Tabla 15 revela los resultados de pruebas de sensibilidad de los organismos al dicromato de potasio en diferentes investigaciones.

Tabla 15: Comparación de resultados de pruebas de sensibilidad con dicromato de potasio, con investigaciones anteriores.

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	INVESTIGADORES	CL ₅₀₋₉₆ DE SENSIBILIDAD (K ₂ Cr ₂ O ₇)
Determinación de la CL ₅₀₋₉₆ del mercurio y el cromo utilizando alevinos de trucha (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>). Universidad de la Salle.	Alejandra Durán Páez Carolina Matías Parrado	55,98 mg/l
Determinación de la concentración letal media (CL ₅₀₋₉₆) del Cadmio y Aluminio mediante bioensayos con trucha arco iris “alevinos de <i>Oncorhynchus Mykiss</i> ”. Universidad de la Salle.	Ángela Grijalva Castro Javier Bernal López	56,43 mg/l
Determinación de la concentración letal media (CL ₅₀₋₉₆) del Níquel y Plomo mediante bioensayos utilizando trucha arco iris “alevinos de <i>Oncorhynchus Mykiss</i> ”. Universidad de la Salle.	Julián Agudelo Paula Ortiz	51,43 mg/l
Determinación de la concentración letal media (CL ₅₀₋₉₆) del glifosato, por medio de bioensayos utilizando alevinos de trucha (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>). Universidad de la Salle.	Enrique Gómez Rojas Carmen Barros Santiago	54,07 mg/l
Determinación de la concentración letal media (CL ₅₀₋₉₆) del Cromo y Cinc mediante pruebas toxicológicas (bioensayos) utilizando alevinos de <i>Oncorhynchus Mykiss</i> (Trucha Arco Iris). Universidad de la Salle.	Juan Barreto Solano Guillermo Peralta Pérez	59,6774 mg/l
Corporación Autónoma Regional, CAR. Laboratorio de toxicidad acuática.1999.		56,86 mg/l
Determinación de la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) del aluminio mediante pruebas toxicológicas utilizando alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Trucha Arco iris)	Ana Melissa Corpus	52,66 mg/l

Los resultados obtenidos de sensibilidad de la Trucha Arco iris a sustancias tóxicas en las diferentes investigaciones son similares, manteniéndose en un rango entre 50 y 60 ppm, teniendo la presente investigación un valor de sensibilidad promedio de 52,66 mg/l

4.2.2 Análisis de varianza de las pruebas agudas de sensibilidad

La coherencia de los respuestas de los organismos ante el toxico de referencia para la sensibilidad se comprueba con el método estadístico Análisis de Varianza “ANOVA”.

Tabla 16: Resultados de ANOVA de las pruebas de sensibilidad

PRUEBA	F CALCULADO	F TEÓRICO
1	17,611	2,77
2	40,018	
3	25,826	
4	39,436	
5	38,533	
6	52,824	
7	70,642	
8	48,792	
9	36,382	
10	32,778	

Fuente: Melissa Corpus, 2009

Se rechaza la Hipótesis nula (Ho) cuando $F_c > F_t$

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Estos resultados demuestran que el F calculado es mayor al F teórico, lo cual expresa, que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna; por lo tanto, concluimos, que las diferentes concentraciones producen efectos diferentes en los organismos de prueba.

4.3 TOXICIDAD AGUDA CON ALUMINIO

4.3.1 Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio es un compuesto cristalino, blanco o incoloro, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, se conoce como compuesto anhidro que se descompone a 770°C y como hidrato $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (pierde agua a 86.5°C). La sal anhidra es soluble en agua y ligeramente soluble en etanol; el hidrato es muy soluble en agua e insoluble en etanol.

El sulfato de aluminio es uno de los compuestos de aluminio con mayor importancia comercial; se emplea en el tratamiento de aguas de desecho como agentes floculantes, y en la purificación de agua potable, e la industria del papel y en la preparación de mordientes. También es un agente ignífugo. En estas industrias normalmente se le denomina alumbre de manera errónea.

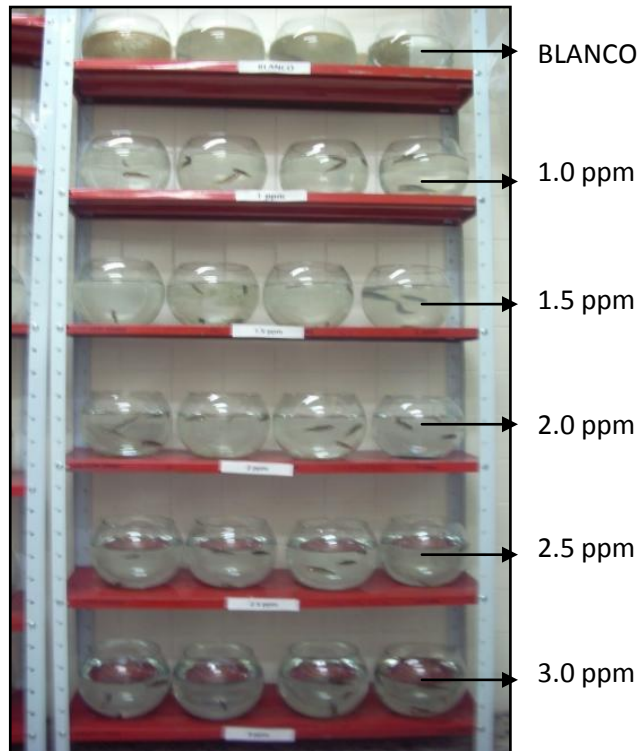
4.3.2 Prueba con aluminio

Para el desarrollo de las pruebas de toxicidad con aluminio durante un periodo de exposición de 96 horas, se determinó la concentración letal media, comenzando con varias pruebas preliminares, hasta fijar un rango específico.

Se realizaron 10 pruebas definitivas con el metal de interés, con el fin de garantizar los resultados de la investigación. De igual manera se cumplió con los

protocolos internacionales, que exigen un mínimo de 10 pruebas con la sustancia pura.

Figura 13: Montaje de Prueba con Aluminio



Fuente: Melissa Corpus

Las concentraciones utilizadas para las pruebas definitivas de aluminio fueron entre 1 ppm y 3 ppm con intervalos de 0,5. Con base en la reacción de los alevinos, se obtuvo la CL₅₀₋₉₆ con sus límites de confianza inferior y superior, utilizando el método estadística Probit y promediando los resultados se obtuvo un valor definitivo.

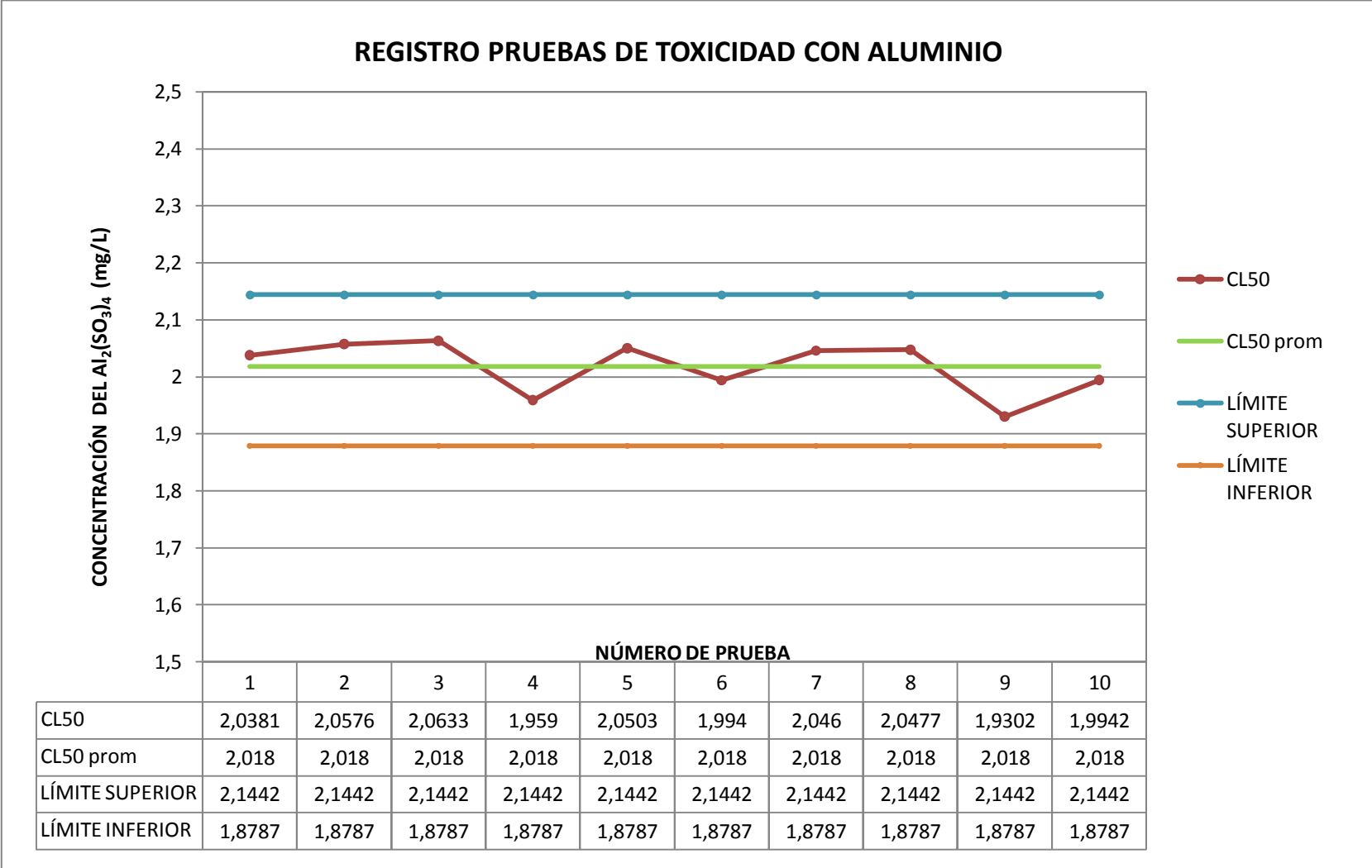
Tabla 17: Carta de control de pruebas de toxicidad aguda con Aluminio

N° DE PRUEBA	CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (mg/l)	LIMITE INFERIOR (mg/l)	LIMITE SUPERIOR (mg/l)
1	2.0381	1.8626	2.1821
2	2.0576	1.9313	2.1808
3	2.0633	1.9149	2.2035
4	1.9590	1.8137	2.0957
5	2.0503	1.9093	2.1741
6	1.9940	1.8550	2.1248
7	2.0460	1.9353	2.1448
8	2.0477	1.8754	2.1967
9	1.9302	1.8043	2.0449
10	1.9942	1.8852	2.0941
PROMEDIO	2,0180	1,8787	2,1442

Fuente: Melissa Corpus

A continuación, en la gráfica 2 se ilustra la distribución de los diez resultados obtenidos de CL₅₀₋₉₆ del Aluminio y los promedios (los límites superior e inferior).

Gráfico 2: Concentración letal media de pruebas de toxicidad aguda con Aluminio



Fuente: Melissa Corpus

4.3.3 Análisis de varianza de las pruebas de toxicidad aguda de aluminio

Tabla 18: Resultados de ANOVA de las pruebas con Aluminio

PRUEBA	F CALCULADO	F TEÓRICO
1	119,83	2.77
2	104,84	
3	65,673	
4	59,446	
5	119,83	
6	93,776	
7	108,00	
8	36,00	
9	282,80	
10	435,00	

Fuente: Melissa Corpus

Como lo muestra la tabla 18, el F calculado es mayor que el F teórico, esto quiere decir, que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna; por lo tanto, concluimos, que las diferentes concentraciones producen efectos diferentes en los organismos de prueba.

4.3.4 Datos obtenidos de investigaciones internacionales sobre concentración letal media del aluminio

La tabla 19 muestra resultados de concentración letal media del aluminio en otras investigaciones, enfrentándolos con el resultado de la presente investigación.

Tabla 19: Toxicidad del aluminio de acuerdo a investigaciones internacionales

REFERENCIA	ESPECIE DE PEZ	CL ₅₀₋₉₆
Ficha de Datos de seguridad del Producto. CHEVRO PHILLIPS CHEMICAL COMPANY	Salmo Salar	>100 mg/l
Material Safety Data Sheet CHIPCO SIGNATURE SYSTEMIC FUNGICIDE	Trucha Arco Iris	> 122 mg/l
Effects of Aluminium and Nickel on Survival and Reproduction in Polychaetous Annelids CALIFORNIA STATE UNIVERSITY	nitocra spinipes	10 mg/l
Material Safety Data Sheet	Oncorhynchus Mykiss	0.12 mg/l
Safety Data Sheet SILBERLINE LTD. EUROPA	Oncorhynchus Mykiss	310 µg/l
Safety Data Sheet, 2009 ALUMINIUM SULPHATE TECHNICAL PURE	Pimephales Promelas	4,4 mg/l
	Gambusia Affinis	69 mg/l
	Carassius Auratus	100 mg/
	Cyprinus Carpio	36 mg/l
Hoja de datos de seguridad ALFA LAVAL TUMBA AB, SUECIA	Danio Rerio	> 1000 mg/l
Hoja de datos de seguridad, 2009 BAYER CROPSCIENCE S.A.	Oncorhynchus Mykiss	2,4 mg/l
Toxicidad y respuesta histopatológica en Cichlasoma dimerus (Pisces, Cichlidae) expuestos a sulfato de aluminio en ensayos de toxicidad aguda y subletales HIRT, LOURDES M. - DOMITROVIC, HUGO	Cichlasoma Dimerus	6 mg/l
Determinación de la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) del aluminio mediante pruebas toxicológicas utilizando alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Trucha Arco iris). Melissa Corpus	Oncorhynchus mykiss	2,018 mg/l

El resultado de esta investigación (CL₅₀₋₉₆= 2.018 mg/l), se asemeja a la obtenida por la empresa de BAYER (CL₅₀₋₉₆ = 2,4 mg/l).

4.4 VERTIMIENTO DE LA EMPRESA CORINTER S.A.

La muestra del vertimiento con aluminio de la empresa CORINTER se obtuvo a la salida del proceso (lavado) de la producción de Hidróxido de aluminio.

4.4.1 Análisis fisicoquímico del vertimiento con aluminio

Los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados y los métodos utilizados para adquirirlos, se presenta en la tabla 20.

Tabla 20: Análisis fisicoquímico del vertimiento de CORINTER S.A.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	MÉTODO UTILIZADO
Sólidos suspendidos	581.66	mg/l	2540B. Sólidos totales secados a 103 – 105°C
Conductividad	1.80	mS	2510-B Conductímetro
pH	5.3	Unidades	SM 2510-B pHmetro
Aluminio	55	mg/l	HATCH
Temperatura	20	°C	Termómetro Digital de campo
DQO	157	mg/l	5220D-2B HACH

Fuente: Melissa Corpus

El vertimiento de la empresa CORINTER S.A. presenta alto contenido de sólidos suspendidos. Estas partículas en suspensión causan daños mecánicos sobre las branquias de los peces, tapizan las paredes de los huevos, con lo cual impiden el intercambio gaseoso y se convierten en sustrato de hongos.

El aluminio acidifica el agua disminuyendo el pH. Las aguas ácidas irritan las branquias de los peces, los cuales tienden a cubrirse de moco llegando en algunos casos a la destrucción histológica del epitelio, así mismo, la presencia de CO₂ acidifica la sangre.

4.4.2 Determinación del porcentaje letal del vertimiento

Se realizaron pruebas preliminares con el vertimiento, pero esta prueba fue descartada ya que en todos los rangos se presentó la mortalidad del 100% de los organismos expuestos como manifiesta la tabla 21.

Tabla 21: Prueba preliminar del vertimiento de CORINTER

PORCENTAJE DE DILUCIÓN PRELIMINAR	MORTALIDAD DE LOS ORGANISMOS				PORCENTAJE DE MORTANDAD
Blanco	0	0	0	0	0
1%	5	5	5	5	100
5%	5	5	5	5	100
10%	5	5	5	5	100
15%	5	5	5	5	100
20%	5	5	5	5	100

Fuente: Melissa Corpus

Al obtener este resultado se procedió a disminuir los porcentajes de concentraciones, alcanzando a un rango deseado (0.01%, 0.05%, 0.01%, 0.5% y 1%). Consecutivamente, se realizaron 5 repeticiones de pruebas para la obtención de la CL₅₀₋₉₆, los cuales deberían presentar las mismas características de mortalidad, pH, dureza y OD, para garantizar que los organismos no murieran por causas ajenas al metal y se pudiera garantizar la confiabilidad de las pruebas.

4.4.2.1 Resultados de las pruebas toxicológicas definitivas del vertimiento puro

Los datos derivados de las cinco pruebas con el vertimiento con aluminio se presentan en la tabla 22, y con mayor detalle en el anexo C. El porcentaje letal media promedio de 0.16218 del vertimiento, y sus límites de confiabilidad de 0.11256% y 0.23478%.

Tabla 22: Porcentaje letal del vertimiento de CORINTER S.A.

N° DE PRUEBA	PORCENTAJE LETAL MEDIA (%)	LIMITE INFERIOR (%)	LIMITE SUPERIOR (%)
1	0.1169	0.0853	0.1643
2	0.0957	0.0660	0.1341
3	0.1494	0.1032	0.2171
4	0.1029	0.0661	0.1522
5	0.3460	0.2422	0.5062
PROMEDIO	0.16218	0.11256	0.23478

Fuente: Melissa Corpus

4.4.2.2 Análisis de varianza de las pruebas definitivas del vertimiento puro

A continuación se presenta la tabla de los resultados del F calculado y el F teórico para las 5 pruebas definitivas realizadas con el vertimiento con aluminio.

Tabla 23: Resultados de ANOVA de las pruebas con vertimiento puro

PRUEBA	F CALCULADO	F TEÓRICO
1	21.4	2.77
2	99.08	
3	46.53	
4	60.86	
5	22.74	

Fuente: Melissa Corpus

Como se muestra en la tabla anterior, $F_c > F_t$, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H_0), y se acepta la alternativa (H_i), la cual concluye que las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Figura 14: Muerte de alevinos por exposición a vertimiento



Fuente: Melissa Corpus

4.4.2.3 Resultados de las pruebas toxicológicas definitivas del vertimiento filtrado

Es necesario realizar las pruebas toxicológicas del vertimiento filtrado para comprobar la efectividad del tratamiento en la reducción de contaminantes que perjudican las condiciones y la vida acuática. Los resultados de estas pruebas se presentan a continuación, en las cuales se obtuvo como promedio 2.08014% letalidad media y sus límites de confiabilidad 1.38526% y 3.31478%.

Tabla 24: Porcentaje letal del vertimiento filtrado de CORINTER S.A.

N° DE PRUEBA	PORCENTAJE LETAL MEDIA (%)	LIMITE INFERIOR (%)	LIMITE SUPERIOR (%)
1	2.0122	1.4378	3.1826
2	1.6670	1.0772	2.7465
3	1.9935	1.3618	3.0184
4	1.7153	1.0119	3.2773
5	3.0127	2.0376	4.3491
PROMEDIO	2.08014	1.38526	3.31478

Fuente: Melissa Corpus

4.4.2.4 Análisis de varianza de las pruebas definitivas del vertimiento filtrado

A continuación, en la tabla 25 se presentan los resultados del F calculado y el F teórico, obtenidos en el análisis de varianza realizado para las 5 pruebas definitivas con el vertimiento filtrado.

Tabla 25: Resultados de ANOVA de las pruebas con vertimiento filtrado

PRUEBA	F CALCULADO	F TEÓRICO
1	385	2.77
2	40.98	
3	92.20	
4	47.80	
5	393	

Fuente: Melissa Corpus

H₀: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H₁: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

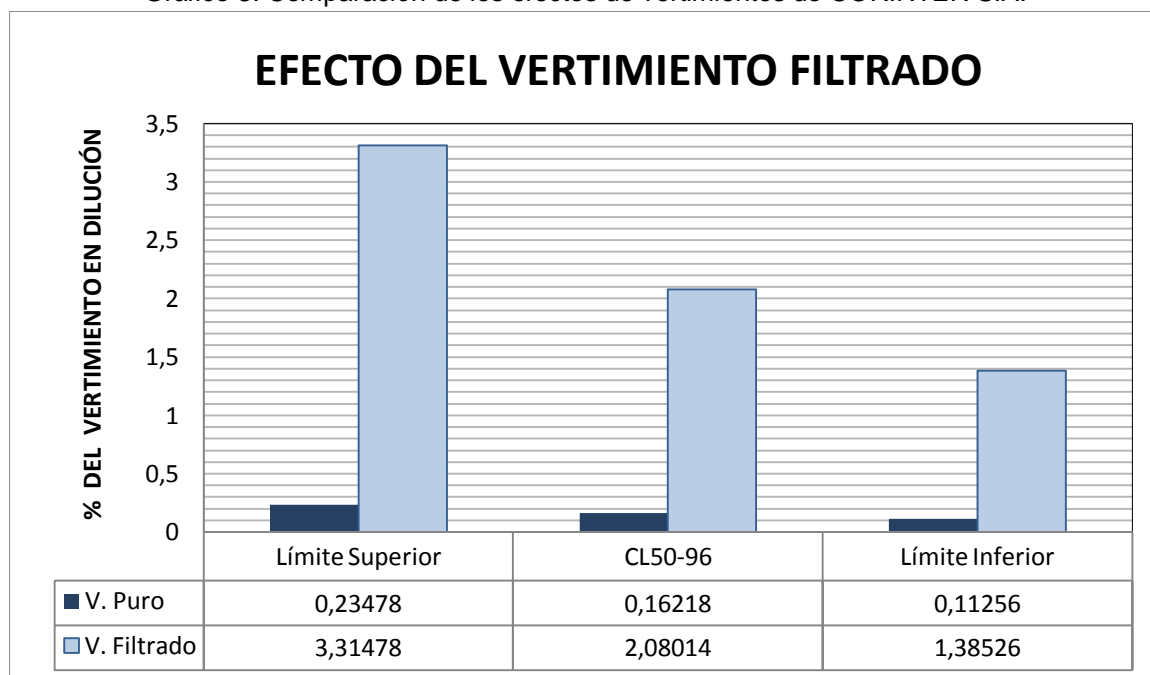
Como se muestra en la tabla anterior, $F_c > F_t$, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H₀), y se acepta la hipótesis alternativa (H₁).

4.4.2.5 Comparación de las concentraciones letales del vertimiento con aluminio

El objetivo de realizar un tratamiento al vertimiento por más simple que parezca, es de mejorar las condiciones ambientales que presenta. Para verificar la eficiencia de estos procesos, es preciso evaluar el impacto que produce al medio ambiente y a la salud.

El gráfico 3 ilustra claramente la disminución del efecto del vertimiento en los organismos acuáticos después de filtrarse, reducir el contenido de sólidos y la concentración del metal aluminio. Se obtuvo una letalidad del 50% de los organismos expuestos a una dilución con el 0,16218% del vertimiento puro, mientras que con el 2.08014% del vertimiento filtrado.

Gráfico 3: Comparación de los efectos de vertimientos de CORINTER S.A.



Fuente: Melissa Corpus

4.4.3 Obtención de la Carga tóxica e Índice de toxicológico

La carga tóxica e índice toxicológico se realiza con el fin de evaluar y clasificar el vertimiento con contenido de metales, en este caso, el vertimiento de la empresa CORINTER con contenido de aluminio.

El caudal manejado por la empresa es en promedio 10m³/mes.

4.4.3.1 Vertimiento Puro

- Carga Tóxica:

$$Carga\ Tóxica\ (UT) = \frac{100}{CL_{50}} \times \bar{Q}$$

$$Carga\ Tóxica\ (UT) = \frac{100}{0.16218} \times 10 = 6165.98$$

- Índice de Toxicidad:

$$IT = \text{Log} (1 + UT)$$

$$IT = \text{Log} (1 + 6165.98) = 3.79$$

4.4.3.2 Vertimiento Filtrado

- Carga Tóxica:

$$Carga\ Tóxica\ (UT) = \frac{100}{CL_{50}} \times \bar{Q}$$

$$Carga\ Tóxica\ (UT) = \frac{100}{2.08} \times 10 = 480.77$$

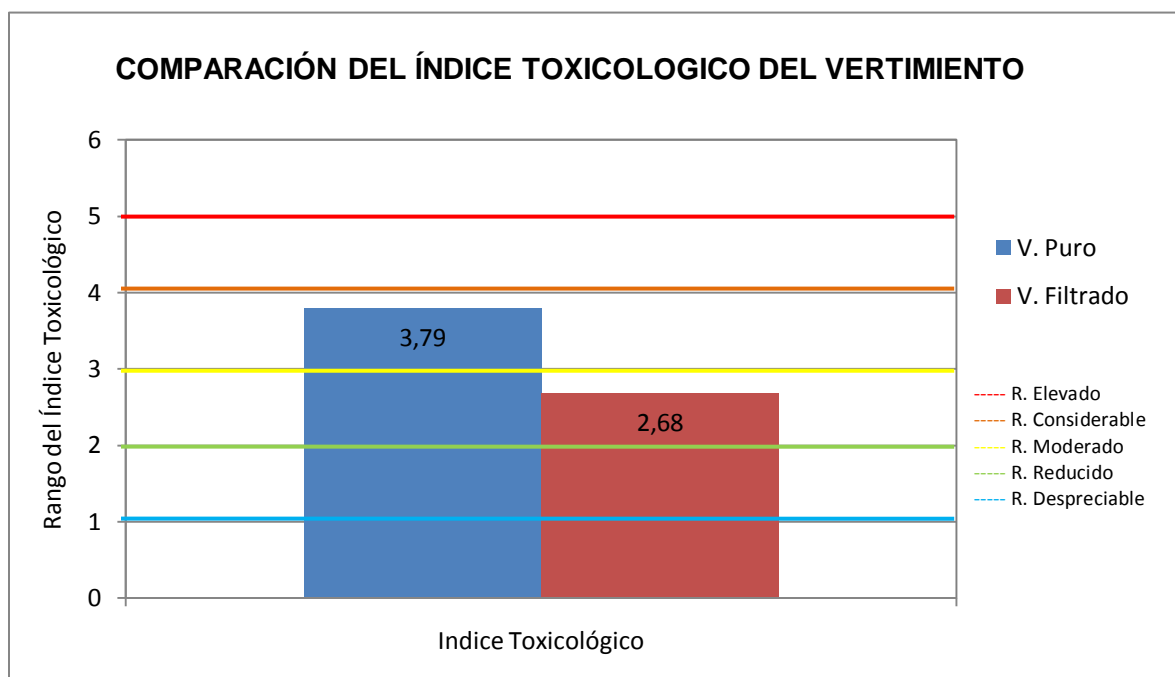
- Índice de Toxicidad:

$$IT = \text{Log} (1 + UT)$$

$$IT = \text{Log} (1 + 480.77) = 2.683$$

Comparando estos resultados con el rango del índice toxicológico que se presenta en la tabla 9 (Rango de índices toxicológicos), se clasifica como riesgo moderado el vertimiento de la empresa productora de hidróxidos de aluminio, CORINTER. Sin embargo, este vertimiento al pasar por el tratamiento de filtración, disminuye su carga tóxica a un riesgo reducido como lo demuestran los datos el gráfico 4.

Gráfico 4: Comparación del Índice de toxicológico del vertimiento



Fuente: Melissa Corpus, 2009

Estos resultados demuestran la efectividad del pretratamiento realizado al vertimiento con contenido de aluminio, como es la neutralización con ácido nítrico (ya que en CORINTER se utilizan diversas bases en el proceso de producción de hidróxido de aluminio), y la filtración.

Sin embargo, es posible realizar tratamiento adicional para disminuir aún más el riesgo toxicológico del vertimiento a ecosistemas acuáticos y al medio ambiente.

5. ALTERNATIVA TÉCNICO-AMBIENTAL PARA EL ADECUADO MANEJO DEL ALUMINIO

5.1. EFECTOS DEL ALUMINIO SOBRE EL MEDIO ACUÁTICO

El aluminio puede afectar negativamente la vida terrestre y acuática de diferentes maneras. Regularmente, las concentraciones de aluminio en las aguas subterráneas son alrededor de 0,4 ppm, porque está presente en los suelos como hidróxido insoluble en agua. A valores de pH por debajo de 4,5 la solubilidad aumenta rápidamente, haciendo que las concentraciones de aluminio se eleven por encima de 5 ppm. Esto también puede ocurrir a valores de pH muy alto. Al³⁺ iones disueltos son tóxicos para las plantas, los cuales afectan a las raíces y disminuir la ingestión de fosfato. Cuando los valores de pH de aluminio aumento se disuelve.

5.2 REGULACIONES INTERNACIONALES DEL ALUMINIO EN VERTIMIENTOS

A diferencia de Colombia, varios países tienen un control del aluminio contenido en vertimientos descargados al alcantarillado público o cuerpos de agua, por medio de la normatividad ambiental nacional. Ver tabla 26.

Tabla 26: Comparación de normatividad internacional referente al vertimiento de aluminio

PAÍS	NORMATIVIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DEL AI	UNIDAD
ARGENTINA	Decreto 831 de 1993	5.0	mg/l
VENEZUELA	Decreto 883 de 1995	5.0	mg/l
CHILE	Norma 609/ Descargas de RILES al alcantarillado	10	mg/l
COSTA RICA	*Decreto 26042 S-MINAE	5.0	mg/l
CUBA	Norma Cubana 27 de 1999	< 10	mg/l

*Para vertimiento de aguas residuales en cuerpos de agua

El valor de la concentración letal media del aluminio en estado puro fue de 2.018 mg/l, y el resultado de las pruebas de toxicidad del vertimiento de la empresa CORINTER, fue de 0.16218%, valores que se encuentran muy por debajo de las normatividades internacionales ilustradas en la tabla 26.

Las normas internacionales para vertimiento de aluminio al alcantarillado público, aunque se encuentre por encima del resultado obtenido sobre la letalidad para los organismos acuáticos en esta investigación, no es tan irracional, ya que estos vertimientos al arrojarse al alcantarillado pueden alcanzar una mayor dilución (superior en alcantarillados combinados), reduciendo la concentración del aluminio del vertimiento puro. Por otro lado, es inconcebible que la norma colombiana no haya establecido límites para este parámetro de interés sanitario para las industrias que vierten sus residuos líquidos al sistema de alcantarillado público de las ciudades.

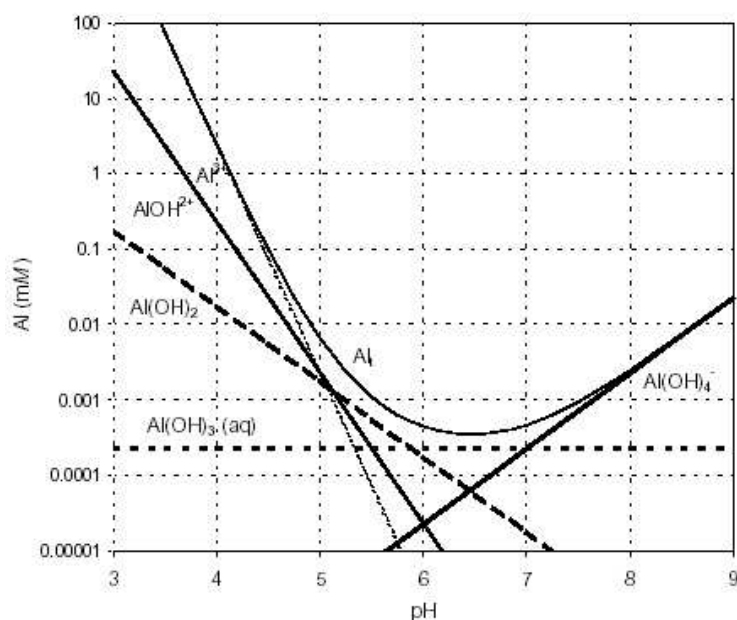
5.3 ALTERNATIVAS DE MANEJO TÉCNICO AMBIENTAL

Las pruebas realizadas han demostrado una disminución significativa de la concentración del aluminio en el vertimiento de la empresa CORINTER con el tratamiento que se desarrolla, como es la neutralización del pH (alcanzando pH de 7.4 unidades aproximadamente), y posteriormente, el proceso de filtración.

Sin embargo, es posible reducir aún más la concentración del metal de interés, con ayuda de la precipitación química. Para ello es preciso que el vertimiento se encuentre con unidades de pH próximo a condiciones neutrales, para que su solubilidad en el agua sea menor y el efecto de la precipitación sea efectivo.

El gráfico 5 demuestra la relación de la solubilidad del aluminio con respecto al pH del medio acuoso.

Gráfico 5: Solubilidad del aluminio



Fuente: www.sustain.ubc.ca/seedslibrary/files/SEEDSAluminum2Removal2From2PhotographicWaste.pdf

- PRECIPITACIÓN QUÍMICA

El Aluminio comienza a ser altamente soluble a pH extremos, y forma un precipitado insoluble cuando el pH del medio se encuentra entre 6 y 8, pero el precipitado se redisuelve sobre pH 8.5, haciendo imposible su remoción por métodos físicos.

La precipitación química es una alternativa eficiente para el tratamiento de aluminio en medios acuosos, además de ser un procedimiento favorable financieramente para las industrias.

Para el tratamiento del aluminio es recomendable utilizar como agente precipitante el Carbonato de Sodio, ya que, según estudios éste desarrolla una mayor

eficiencia en la sedimentación del metal con pH entre 6.5 y 8.5, obteniendo poca concentración de aluminio residual en el agua tratada.

- INTERCAMBIO IÓNICO

El aluminio es eliminado con éxito de un poco de agua ácida basada en secuencia con una resina de intercambio catiónico de ácido fuerte como la resina DOWEX[™] G-26 (H). Si la corriente acuosa tiene un pH de 3 a 8, una resina catiónica de ácido débil como DOWEX MAC-3, debe ser considerado debido a la mayor capacidad de intercambio iónico y la regeneración económica. El aluminio se puede quitar de forma selectiva de las corrientes de salmuera con una resina selectiva como la resina de ácido aminofosfónico. En la tabla 27 se presentan detalles de las resinas utilizadas para el intercambio iónico.

Tabla 27: Resinas para intercambio iónico

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	TIPO	CAPACIDAD TOTAL DE INTERCAMBIO eq/l (Kg/ft ³)
DOWEX G-26 (H)	Tamaño uniforme de partícula de ácido fuerte de resina de intercambio catiónico para la desmineralización y las aplicaciones de catalizador	Ácido fuerte catiónico	2.0
<u>DOWEX</u> <u>MAC-3</u>	Un macrosporoso resina de ácido débil de intercambio catiónico utilizado para suavizar el agua, y aplicaciones de desmineralización.	Ácido débil catiónico	3.8 (83.0)

Fuente: http://www.dow.com/liquidseps/prod/pt_al.htm

6. CONCLUSIONES

- La concentración letal para el 50% de la población de Trucha Arco Iris del Aluminio en 96 horas es de 2.018 mg/l con unos límites de vigilancia superior e inferior de 2.1442 y 1.8787 mg/l. Al comparar este dato con la normatividad Colombiana, se encuentra que no hay reglamentación que limite las descargas de residuos líquidos con contenido de aluminio al alcantarillado público o cuerpos de agua superficiales.
- Las pruebas de sensibilidad con dicromato de potasio sobre alevinos de Trucha Arco Iris arrojaron un valor de concentración letal media de 52.6626 mg/l, el cual dio garantía de la sensibilidad de los organismos hacia agentes contaminantes que alteran su medio. Comparado con otras investigaciones realizadas, los valores de sensibilidad muestran similitudes entre ellas, oscilando en rangos entre 50 y 60 mg/l, como lo ilustra la tabla 15 en el cuarto capítulo de esta investigación.
- La caracterización realizada al vertimiento de la empresa CORINTER S.A. con su producción de óxidos de aluminio, revela su alto contenido de aluminio con un valor de 55 mg/l. Comparando con el resultado obtenido de la concentración letal del aluminio al medio acuático, se requeriría un tratamiento previo a la descarga del vertimiento al alcantarillado público o cuerpos de agua municipales para evitar riesgos a ecosistemas acuático, aunque la normatividad Colombiana no lo establezca.
- Como primera medida de tratamiento, se presenta la neutralización del pH del vertimiento y un proceso de filtración. Éste ayuda a reducir las concentraciones del contaminante y, así mismo, el índice toxicológico pasando de un riesgo moderado con un valor de 3.86 a un riesgo reducido con valor de 2.76.

- Para mejorar el manejo ambiental del vertimiento con alto contenido de aluminio para la empresa CORINTER S.A. como segunda alternativa se plantea la precipitación química del vertimiento con carbonato de sodio, manteniendo el pH entre valores de 6.5 y 8.5 unidades. El pH es un factor determinante en los procesos de eliminación o reducción del aluminio en soluciones acuosas, ya que designa su capacidad de solubilidad en este medio, en condiciones más próximas a pH neutrales, menor será la solubilidad del aluminio.
- Relacionando los resultados de concentración letal media con las normas internacionales, encontramos que obtuvimos concentraciones inferior a las establecidas para el vertimiento a alcantarillado público o cuerpos de agua (5.0 mg/l). Sin embargo, no son irracionales los límites establecidos ya que estos vertimientos pueden ser diluidos dentro de los alcantarillados por la presencia de aguas lluvias u otros.

RECOMENDACIONES

- Verificar y llevar un control estricto de los parámetros de calidad como son el oxígeno disuelto, la temperatura del agua y el pH tenido en cuenta durante la ejecución del proyecto, para poder validar los resultados obtenidos durante las pruebas toxicológicas.
- Restringir el acceso al laboratorio de Bioensayos, verificando que las personas no dispongan de compuestos volátiles (cremas, perfumes, maquillaje, etc.), debido a la capacidad de absorción del agua de estos compuestos, alterando las óptimas condiciones para las pruebas de toxicidad.
- Es conveniente tapar los acuarios en los cuales se introducen los alevinos antes de la prueba, con plásticos para evitar que el agua absorba factores externos.
- Se recomienda colocar en la parte frontal de los acuarios un accesorio oscuro (tela o plástico negro grueso) para evitar que los peces se alteren o se estresen con el paso de personas en el laboratorio de bioensayos.
- Para garantizar la confiabilidad del efecto de los contaminantes de interés hacia los organismos, es necesario mantener uniforme los días de vida de los organismos (el tamaño) que se utilicen para las pruebas de toxicidad, ya que el efecto de los contaminantes depende de la resistencia de los peces; y entre más días de vida posean o mayor sea su tamaño, tendrán mayor resistencia a sustancias contaminantes.
- Determinar la concentración letal que produce el aluminio en plantas o semillas para evaluar el efecto de éste en cultivos y en zonas agrícolas, pues su exceso es una de las fuentes de acidificación de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDEL-LATIF, Hassan A. The Influence of Calcium and Sodium on Aluminum Toxicity in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Department of Zoology, Faculty of Science, Alexandria University, Egypt. 2008
- NEGREA, Adina; LUPA, Lavinia; DINU, Adriana; BURTICĂ Georgeta. Studies Concerning the Aluminium Ions Removal from Waste Water. University “Politehnica” of Timișoara, Faculty of Industrial Chemistry and Environmental Engineering. 2005
- ESCOBAR, MALAVER; Pedro Miguel. Implementación de un sistema de alerta de riesgo toxicológico utilizando *Daphnia Pulex* para la evaluación de muestras ambientales. Santafé de Bogotá. 1997.
- AQUINO MARTÍNEZ, Guillermo. Manual básico para el cultivo de Trucha Arco Iris. <<http://www.uwsp.edu/CNR/GEM>.> citado en agosto de 2009
- DÍAZ BAEZ, María Consuelo. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. <http://www.idrc.ca/en/ev-84468-201-1-DO_TOPIC.html> citado en septiembre de 2009.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. Usos del agua y residuos líquidos. Colombia 1984 (Decreto 1594).
- DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, DAMA. Estándares ambientales en materia de vertimientos. Bogotá, 1997. (Resolución 1074).


- MARCANO, José E. Educación Ambiental; Elemento de ecología; Ecología de las aguas dulces 2° parte; clasificación ecológica de los organismos de agua dulce y comunidades del medio acuático. (libro en línea), consultado septiembre 2009. Disponible en Internet <<http://www.jmarcano.com/nociones/fresh2.html>> Párrafo 4, 5
- SENASA; Evaluación toxicológica para el registro de Productos fitosanitarios en la Republica Argentina. Consultado septiembre 2009. Disponible en internet <<http://www.cepis.ops-oms.org/bvstox/tallerplagui/Argentina.pdf>> pág. 46
- VULLO, Diana L; Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. Consultado septiembre 2009. Disponible en <<http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales.htm>>.
- Water & Process solution; DOWEX Resins for Separation of Aluminum from Liquid Media. Disponible <http://www.dow.com/liquidseps/prod/pt_al.htm>. Citado en noviembre 2009.
- Bioensayos de toxicidad aguda en neonatos de *Moina macrocopa* (Straus, 1820) (Crustácea: branchiopoda) expuestos a soluciones de hidróxido de sodio NaOH). Disponible en <<http://www.utadeo.edu.co/dependencias/museo/ninos/final/ecosistemas4.htm>> Citado en noviembre de 2009.
- Introducción a la bioquímica ambiental, Índices toxicológicos. Disponible <http://www2.uah.es/tejedor_bio/bioquimica_ambiental/resumen_T1.htm> Citado en diciembre 2009.
- CORPUS, Ana Melissa. Proceso de producción de hidróxido de aluminio en CORINTER S.A. cuadro, 2009.


- CORPUS, Ana Melissa. Esquema de Montaje de prueba de toxicidad, 2009.
- <http://www.bayernopests.com/resources/products/msds/Chipco%20Signature%200507.pdf>
- http://www.cpchem.com/enu/msds_unsecured/Import_3525_MSDS_O_ENGLISH_A_PORT_A_N.pdf
- <http://www.sikkensdecoracion.com.es/NR/rdonlyres/47EF3347-E579-4A33-A1F6-A828D5B536CD/0/AlphaMetallic.pdf>
- <http://www.alfalaval.com/service-and-support/safety-data-sheets/water-treatment-agents/1796302-alpacon-302/Documents/1796302-SPA-01-Alpacon-302.pdf>
- <http://www.monografias.com/trabajos11/clado/clado.shtml>
- www.cepis.org.pe/bvsaca/fulltext/manual/parte2.pdf
- www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/riorimac/cap1.pdf
- www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/metales/metales.htm
- www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs22.html
- www.elergonomista.com/residuos3se01.htm
- http://www.idrc.ca/en/ev-84468-201-1-DO_TOPIC.html. Sept, 2009


- www.sustain.ubc.ca/seedslibrary/files/SEEDSAluminum2Removal2From2PhotographicWaste.pdf
- http://centros5.pntic.mec.es/~virge133/deptos/cienat/trabajos/zona_intermareal.htm
- What are the environmental effects of aluminum in water?
<http://www.lenntech.com/periodic/water/aluminium/aluminum-and-water.htm#ixzz0UdSHPdTL>.

ANEXOS

ANEXO A. PROTOCOLO LB01. ACLIMATACIÓN DE LA TRUCHA ARCO IRIS.

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB01
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ACLIMATACIÓN DE TRUCHA ARCO IRIS (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>)	Página 1 de 5 Versión 0
<p>CONTENIDO</p> <p>Objetivo</p> <p>Materiales</p> <p>Definiciones</p> <p>Principio del modelo</p> <p>Procedimiento</p> <p>Bibliografía</p> <p>Anexo D1 Aclimatación de peces.</p> <p>OBJETIVO</p> <p>Realizar la aclimatación de los organismos de prueba Trucha arco iris (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>), a nivel de laboratorio, para posteriores pruebas de ensayo.</p> <p>MATERIALES</p> <p>Acuario</p> <p>Aireadores</p> <p>Filtros</p> <p>Difusores</p> <p>Oxímetro</p> <p>Alimento para peces</p> <p>Agua dechlorhinada</p> <p>DEFINICIONES</p> <p><u><i>Oncorhynchus Mykiss</i></u>: Salmónido que se caracteriza por presentar cuerpo alargado, fusiforme y cabeza relativamente pequeña que termina en una boca grande, puntiaguda, hendida hacia el nivel de los ojos y con una fila de dientes fuertes en cada una de las mandíbulas, que les permite aprisionar las presas capturadas. Son característicos de agua dulce.</p>		

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB01
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ACLIMATACIÓN DE TRUCHA ARCO IRIS (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>)	Página 2 de 5 Versión 0
<p><u>Acuario:</u> Recipiente de vidrio donde se mantienen peces vivos y vegetación acuática.</p> <p><u>Aireadores:</u> Equipo empleado para oxigenar el agua de los acuarios.</p> <p><u>Oxímetro:</u> Monitores empleados para medir la cantidad de oxígeno presente en el agua.</p> <p><u>Agua desclorhinada:</u> Es aquella que por aireación, es removido el cloro residual presente en la misma.</p> <p>Aclimatación: es el proceso por el cual un organismo se adapta fisiológicamente a los cambios en su medio ambiente, que en general tienen relación directa con el clima. Se suele usar este término para referirse a procesos que ocurren durante un período de tiempo corto, como la vida de un organismo individual o grupo.</p> <p>Alevinos: Cría de ciertos peces de agua dulce que se emplea para repoblamiento de ríos y lagos.</p> <p>4. PRINCIPIO DEL MÉTODO</p> <p>La aclimatación de los alevinos de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>), se realiza según la metodología CETESB, con el fin de adaptar los mismos a un nuevo ambiente para la posterior realización de las pruebas de toxicidad a nivel de laboratorio.</p> <p>5. PROCEDIMIENTO</p> <p>5.1. ACLIMATACIÓN</p> <p>5.1.1. Los alevinos de trucha arco iris se aclimatan en acuarios de 100 L y 50 L, esto dependiendo de la cantidad de organismos.</p> <p>5.1.2. El agua de los acuarios debe estar preparada (aireada) 8 días antes de la llegada de los alevinos, con el fin de remover el cloro residual presente en el agua y evitar así la muerte de los mismos.</p>		


FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB01
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ACLIMATACIÓN DE TRUCHA ARCO IRIS (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>)	Página 3 de 5 Versión 0
<p>5.1.3. Se deben tener en cuantos algunos parámetros según lo establecido en los protocolos de la CETESB, para evitar la muerte de los alevinos.</p> <ul style="list-style-type: none"> · Oxígeno: 6 – 8 mg/l · Temperatura: 15-18 °C · pH: <p>5.1.4 En el momento de la llegada de los alevinos de trucha arco iris, se debe introducir la bolsa donde vienen en el acuario, con el fin de contrarrestar las diferencias de temperaturas, esto se debe hacer por un lapso de tiempo de 2 horas.</p> <p>5.1.5 Después de las dos horas se empiezan a sacar los peces de la bolsa cuidadosamente y se distribuyen uniformemente en el acuario, para evitar el estresamiento y la muerte de los alevinos.</p> <p>5.1.6 Los alevinos son aclimatados por un lapso de tiempo de 15 días aproximadamente según lo establecido por la CETESB, para un mejor desempeño de los mismos en las pruebas de toxicidad.</p> <p>5.1.7 Durante el proceso de aclimatación, los acuarios deben ser limpiados por medio de una aspiradora, para remover las eses de los peces y el exceso de comida presente en el agua, esto para evitar que el amonio generado en las eses produzca la muerte de los alevinos de trucha arco iris, es importante anotar que en el caso de que los peces presenten hongos en su cuerpo, se debe aplicar unas gotas de azul de metileno, para prolongar la vida de los organismos.</p>		

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB01
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ACLIMATACIÓN DE TRUCHA ARCO IRIS (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>)	Página 4 de 5 Versión 0
<div>  <p>Figura 1. Acondicionamiento de los acuarios</p> </div> <div>  <p>Figura 2. Aclimatación de los alevinos de trucha arco iris</p> </div>		
<p>6. BIBLIOGRAFIA</p> <p>EPA., 1994</p> <p>BERNAL Y ROJAS, Determinación de la concentración letal media del mercurio por medio de bioensayos de toxicidad acuática. Bogotá, D.C., 2007.</p> <p>ESCOBAR MALAVER, Pedro Miguel. Implementación de un sistema de alerta de riesgo toxicológico utilizando <i>Daphnia Pulex</i> para la evaluación de muestras ambientales. Santafé de Bogotá, D.C., 1997.</p> <p>COMPAÑÍA DE TECNOLOGÍA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DE SAO PAULO, BRASIL - CETESB. Pruebas de Toxicidad aguda. Protocolos L5.017/ 92.</p> <p>PROYECTO CAR – BID – CONTRATO 298–94. Estudio de evaluación de toxicidad relativa de sustancias tóxicas en vertimientos y cuerpos receptores. Bogotá, D.C.1994.</p>		
<p>Elaboro: Pedro Miguel Escobar Malaver Carolina Matías Parrado Alejandra Durán Páez</p>		


FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB01
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ACLIMATACIÓN DE TRUCHA ARCO IRIS (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>)	Página 5 de 5 Versión 0


Formato FLB004

REGISTRO DE LA TEMPERATURA Y OXIGENO DISUELTO EN EL ÁREA DE
ACLIMATACIÓN DE LOS ALEVINOS.

 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia		FLB004
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA LABORATORIO AREA DE BIOENSAYOS REGISTRO DE LA TEMPERATURA EN EL ÁREA DE ACLIMATACION DE ALEVINOS.		
FECHA	OXIGENO DISUELTO	TEMPERATURA
PROMEDIO		

ANEXO B. PROTOCOLO LB02. PRUEBAS DE TOXICIDAD.

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB02
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	<i>PRUEBA DE TOXICIDAD</i>	Página 1 de 6 Versión 0
<p>CONTENIDO</p> <ol style="list-style-type: none"> Objetivos Definiciones Materiales Principio del método Procedimiento Bibliografía Anexos <p>1. OBJETIVO</p> <p>Determinar la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) de una sustancia pura o de un vertimiento mediante pruebas estáticas sin renovación de la sustancia pura o efluente, que produce la muerte al 50% de los organismos expuestos en un tiempo de 96 horas.</p> <p>2. DEFINICIONES</p> <p><u>Prueba Estática:</u> Ensayo toxicológico en el cual no existe renovación de las soluciones test a lo largo de toda la prueba (corto tiempo de duración no más de 96 horas).</p> <p><u>Condiciones de la Prueba:</u> Medición de parámetros de control después de cada una de las pruebas, con el fin de demostrar que la manifestación de los organismos expuestos se debe al efecto de las sustancias puras o vertimientos y no a alteraciones de las características fisicoquímicas de las mismas. Para ello se verifica el pH, el oxígeno disuelto y la dureza.</p> <p><u>Concentración Letal (CL₅₀₋₉₆):</u> Concentración del compuesto tóxico que afecta al 50 % de la población de la especie modelo, causando su muerte, bajo condiciones de prueba en un tiempo de 96 horas.</p> <p><u>Pruebas de Sensibilidad:</u> Estandarización de pruebas de toxicidad, cuyo propósito es establecer la sensibilidad de las especies y su secuencia de efecto frente a un tóxico de referencia, según las repeticiones de las mismas; con esto se garantiza y certifica la confiabilidad de los datos en relación con la capacidad de respuesta de los organismos.</p>		

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB02
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	PRUEBA DE TOXICIDAD	Página 2 de 6 Versión 0

Con las pruebas se determina el rango de sensibilidad frente al tiempo de exposición y, de igual manera, se comprueba que la manifestación de los organismos expuestos se debe al efecto del tóxico de referencia y no a fallas operacionales en la aplicación del método, elaborando así cartas de control, teniendo en cuenta la precisión y exactitud que se deben y pueden obtenerse en los resultados generados por un determinado bioensayo. Los tóxicos de referencia a utilizar en estas pruebas pueden ser: NaCl, KCl, CdCL, CuSO4, SDS o K2CR2O7.

Pruebas Preliminares (Screening Test): Pruebas de toxicidad donde se establece el rango de concentraciones de sustancias problema o vertimientos, en las cuales hay efectos observables en los organismos de prueba sin que se presente alta mortalidad.

Pruebas Definitivas: Pruebas de toxicidad que se realizan a partir de los resultados de las pruebas preliminares. En ellas se determinan si se pueden mantener las mismas concentraciones, o si es necesario cambiar el factor de dilución en algún intervalo u otro aspecto que resulte relevante.


Pruebas de Toxicidad Aguda: El principio de estas pruebas es determinar bajo condiciones específicas de una sustancia pura, o efluente, su letalidad al 50% de la población expuesta después de un período de exposición de 24, 48, 72 o 96 horas. Esta determinación se designa como la concentración letal media en el tiempo de exposición.

3. MATERIALES

1. 24 peceras de 2 L	5. Estante de 6 entrepaños
2. Balones aforados de 1000 ml	6. Pipeteador
3. Pipeta aforada de 25 ml y 10 ml	7. Mallas de recolección
4. probeta de 1000 ml	

4. PRINCIPIO DEL MÉTODO

Las pruebas de toxicidad se realizan según la metodología CETESB (1992), con el fin de exponer individuos de 15 días de nacidos a diferentes porcentajes de dilución de una sustancia de interés sanitario o de un vertimiento, determinándose la concentración que afecta al 50 % de la población del organismo de prueba *Trucha arco iris (Oncorhynchus Mykiss)*, causando su muerte, en un tiempo determinado.

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB02
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	<i>PRUEBA DE TOXICIDAD</i>	Página 3 de 6 Versión 0
<p>5. PROCEDIMIENTO</p> <p>5.1 Preparación de sustancias puras para pruebas de toxicidad Agua.</p> <p>5.1.1 Preparar la cantidad de tóxico requerido, según los datos obtenidos estequiométricamente en 1L de agua destilada en un balón aforado de 1000 ml, a partir de esto realizar 5 diluciones siguiendo un factor de 10. (0.001, 0.01, 0.1, 1, 10).</p> <p>5.2 Vertimientos</p> <p>5.2.1 Determinar el sitio de muestreo en la industria</p> <p>5.2.2 Realizar la caracterización fisicoquímica del agua residual, siguiendo los lineamientos de la EPA (2005), (DQO, O.D, pH, conductividad, sólidos suspendidos).</p> <p>2.3 Establecer si es necesario efectuar un tratamiento a la muestra (filtración, precipitación, centrifugación) para facilitar el montaje de las pruebas de toxicidad.</p> <p>5.2.4 Mantener refrigerada la muestra por un tiempo no mayor a 12 horas.</p> <p>5.2.5 Preparar diluciones partiendo del 100% del efluente y a partir de ella preparar soluciones de 20, 40, 60, 80 y 100% del efluente, diluyendo con agua dechlorinada a un volumen final de 2000 ml.</p> <p>5.2.6 Realizar las pruebas toxicológicas en un tiempo no mayor a 24 horas.</p> <p>5.2. Montaje de la pruebas toxicológicas</p> <p>5.2.1. Colocar en un estante 24 peceras, los cuales, deben estar distribuidos en cinco (5) concentraciones de las respectivas soluciones (pruebas de sensibilidad, sustancia pura y muestra analítica) y en un control de agua dechlorinada. (Figura 1)</p> <p>5.2.2. Adicionar la cantidad indicada al realizar los cálculos de los diferentes porcentajes de concentración con ayuda de una pipeta graduada en las peceras mencionadas anteriormente, siendo preparadas cuatro (4) replicas por concentración, cada una con su respectivo control (agua dechlorinada).</p> <p>5.2.3. Transferir a cada pecera 5 alevinos de trucha arco iris de 15 días de nacidos con ayuda de una malla, aclimatados 15 días previos a la prueba. Cada concentración necesita 20 organismos y en cada batería de ensayo se utilizan 120 organismos. (Figuras 3 ,4 y 5)</p>		

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB02
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	<i>PRUEBA DE TOXICIDAD</i>	Página 4 de 6 Versión 0

5.2.4. Observar y tomar la lectura durante las 3, 24, 48,72 y 96 horas de los peces muertos en cada pecera, reportando los datos en el formato FLB001 “Registro de resultados por muestra analizada”.

5.2.5. Realizar la medición de parámetros de control el pH y OD después de cada prueba, tomando de manera aleatoria cualquier concentración, con el fin de demostrar que la manifestación de los organismos expuestos se debe al efecto de las sustancias puras o vertimientos y no a alteraciones de las características fisicoquímicas de las mismas, reportando estos datos en el Formato FLB001.

5.2.6. Registrar y reportar los datos en la siguiente tabla:

Concentración	Replicas				Total Muertos	% de Mortalidad	pH	OD	Dureza
	1	2	3	N					

Tabla 1. Formato FLB 001. Reporte de datos de bioensayos


Fuente: Guía para la realización de ensayos de toxicidad (Bioensayos) en organismos acuáticos




Figura 1. Aclimatación




Figura 2. Batería de ensayo

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB02
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	<i>PRUEBA DE TOXICIDAD</i>	Página 5 de 6 Versión 0
<p>5.2.7. Este procedimiento se realiza hasta encontrar los rangos de concentraciones que produce la muerte al 50% de los organismos, tanto para la realización de las pruebas definitivas de sensibilidad como para sustancias puras y vertimientos.</p> <p>5.3. Pruebas de Sensibilidad</p> <p>5.3.1. Realizar las pruebas definitivas de sensibilidad con un patrón primario como es el Dicromato de potasio, siguiendo la metodología descrita en los pasos 5.2.1. hasta 5.2.6. utilizando los rangos establecidos según los resultados en las pruebas preliminares.</p> <p>5.3.2. Los rangos de dicromato de potasio que producen la muerte al 50% de los organismos están entre 20 y 100 mg/L de dicromato de potasio.</p> <p>5.3.3. Con los resultados obtenidos entre este rango determinar la concentración letal media CL₅₀₋₄₈ de cada prueba de sensibilidad por medio del “Método Probit” (Protocolo LB 06): “Análisis de Regresión y análisis Probit”.</p> <p>5.3.4. Realizar una carta de control con los resultados obtenidos en las pruebas de sensibilidad y determinar la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) promedio para el dicromato de potasio, así como la desviación estándar (σ) de la CL₅₀₋₄₈, sus límites superior (promedio +2(σ)), e inferior (promedio - 2(σ)).</p> <p>5.3.5. Estos resultados corresponden al intervalo de la concentración en el cual varía la respuesta de los organismos al tóxico de referencia, con una confiabilidad del 95%.</p> <p>5.3.6. La carta de control se debe realizar como mínimo con 20 pruebas de sensibilidad con el dicromato de potasio. Cada mes se genera una nueva carta de control.</p> <p>5.4. Pruebas Definitivas</p> <p>5.4.1. Realizar las pruebas definitivas siguiendo la metodología descrita en los pasos 5.2.1. hasta 5.2.6. utilizando los rangos establecidos según los resultados en las pruebas preliminares.</p> <p>5.4.3. Obtener la concentración letal media (CL₅₀₋₉₆) con su respectivo límite superior e inferior con una confiabilidad del 95% por medio del “Método Probit” (Protocolo LB06): “Análisis de Regresión y Análisis Probit”.</p> <p>5.4.4. Realizar el análisis de varianza (ANOVA) del resultado, con el procedimiento descrito en el Protocolo LB07: “Análisis de Varianza”.</p>		

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB02
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	PRUEBA DE TOXICIDAD	Página 6 de 6
		Versión 0
<p>5.4.5. Notas:</p> <p>1. La mortalidad en los controles no debe ser mayor que el 10% y, preferiblemente, no más que el 5%.</p> <p>2. Si la mortalidad en el control sobrepasa el 10%, esta prueba se considera no representativa y se requiere la repetición de la misma.</p> <p>3. La concentración de oxígeno medida en el bioensayo después de 96 horas debe ser mayor de 2 mg/l.</p> <p>4. Se debe realizar semanalmente una prueba de sensibilidad con los rangos establecidos del dicromato de potasio; el resultado de la concentración letal media (CL50-96) del tóxico de referencia debe estar dentro de los límites superiores e inferiores establecidos en la carta de control.</p> <p>6. BIBLIOGRAFIA</p> <ul style="list-style-type: none">• BERNAL, Y & ROJAS, A. 2007.• ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 20. 2005.• ESCOBAR MALAVER, Pedro Miguel. Implementación de un sistema de alerta de riesgo toxicológico utilizando <i>Daphnia Pulex</i> para la evaluación de muestras ambientales. Santafé de Bogotá; 1997.• Fuente: Guía para la realización de ensayos de toxicidad (Bioensayos) en organismos acuáticos• CETESB. Pruebas de Toxicidad aguda. Protocolos L5.017 y L5.022 1992• Proyecto CAR – BID – Contrato 298–94. Estudio de evaluación de toxicidad relativa de sustancias tóxicas en vertimientos y cuerpos receptores.		
Elaboro: Pedro Miguel Escobar Malaver Carolina Matías Parrado Alejandra Durán Páez		

ANEXO C. PROTOCOLO LB03. ANÁLISIS DE RESULTADOS MEDIANTE EL
MÉTODO PROBIT.


FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 1 de 22 Versión 0
<p>CONTENIDO</p> <p>8. Objetivo</p> <p>9. Definiciones</p> <p>10. Principio del modelo matemático</p> <p>11. Procedimiento</p> <p>12. Bibliografía</p> <p>13. Anexo A Relación entre el Probit empírico y el porcentaje de mortalidad</p> <p> Anexo B Representación gráfica del cálculo de la CL50</p> <p> Anexo C Determinación del Chi-cuadrado (χ^2).</p> <p> Anexo D Factor (p) para el Probit calculado (Y).</p> <p>4. OBJETIVO</p> <p>Evaluar los resultados de los ensayos por medio de un modelo estadístico</p> <p>5. DEFINICIONES</p> <p><u>Concentración:</u> La concentración es la magnitud física que expresa la cantidad de un</p>		

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 administrará 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.

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANTARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 2 de 22 Versión 0
<p><u>Toxicidad aguda:</u> La toxicidad aguda tiene por objeto determinar los efectos de una dosis única y muy elevada de una sustancia. Usualmente, el punto final del estudio es la muerte del animal y la toxicidad aguda se expresa por la dosis letal 50, que viene a representar más o menos la dosis de la sustancia que produce la muerte en el 50% de los animales.</p> <p><u>Probit:</u> Modelo estadístico que analiza las pruebas de toxicidad. El método consiste en la aplicación de correlaciones estadísticas para estimar las consecuencias desfavorables sobre una población a los fenómenos físicos peligrosos; nos da una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición.</p> <p>6. PRINCIPIO DEL MODELO MATEMATICO</p> <p>En un experimento típico de pruebas de toxicidad se tiene la siguiente situación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concentración de la sustancia o dosis (d). • Número de individuos (n). • Número de organismos muertos o afectados (r). 		

- Porcentaje de efecto (p).

$$p = \left(\frac{r}{n} \right) \times 100$$

La representación gráfica de p vs. d , o 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 normal, como se muestra en la figura 1; de esta manera la distribución de p vs. X será de tipo normal

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 3 de 22 Versión 0

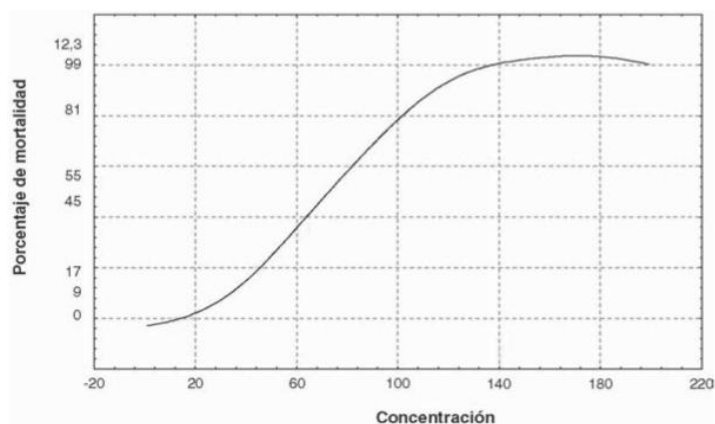


Figura 1. Relación dosis-respuesta

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:

$$y = a + bx$$

Donde:

$$y \text{ (expresado en unidades Probit)} = z + 5$$

$$z = \text{Variable normal estándar} = z_0 \text{ tal que la Prob } (z \leq z_0) = p$$

a y b son los estimadores de los parámetros de la recta de regresión

Así, cuando $p = 50\%$ entonces $y = 5$, por lo tanto:

$$X_5 = \log_{10} CL_{50}, \text{ entonces } CL_{50} = 10^5$$

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 4 de 22 Versión 0

Para facilitar los cálculos, simplemente se puede usar un *software* como el suministrado por la US Environmental Protection Agency (US EPA): *Probit Analysis Program*, 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.

7. PROCEDIMIENTO

Para el cálculo de la CL₅₀ por este método es necesario contar, por lo menos, con dos porcentajes intermedios del efecto esperado (valores entre 0 y 100%).

Con los resultado obtenidos en los ensayos de toxicidad aguda con *Daphnia Pulex* se debe construir una tabla que contenga los siguientes datos:


- Concentración de la sustancia ensayada en %
- Logaritmo en base 10 de las concentraciones (x)

- Número de organismos en cada concentración
- Número de organismos muertos en cada concentración (r).
- Porcentaje de mortalidad en cada concentración (P).
- Probit empírico (PE).
- Probit esperado o calculado (Y).

Los cinco primeros resultados corresponden a datos experimentales; el Probit empírico se obtiene de la tabla del anexo A con el porcentaje de mortalidad observada en cada una de las concentraciones.

Tabla 1: Cálculo de la CL50 por el método Probit

Concentración del agente tóxico (%)	Log10 de la concentración (X)	Núm. de organismos (N)	Núm. de muertos (r)	Porcentaje de mortalidad (P)	Probit empírico (PE)	Probit calculado (Y)

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 5 de 22 Versión 0
<p>A partir de estos datos se elabora una gráfica en papel cuadrulado, colocando en el eje x el logaritmo de las concentraciones y en el eje Y el Probit empírico (figura 1 Anexo B), y se ajusta la recta a través de estos puntos. En el gráfico se traza una línea a partir del Probit 5,0 hasta cortar la línea trazada; el valor correspondiente en el eje x se denomina m y el antilogaritmo de este valor corresponderá a la CE50 o CL50.</p> <p>Para el cálculo del Probit esperado o calculado, debe hallarse el valor de S correspondiente a la tasa de incremento del log de la concentración (x) por unidad de incremento del Probit.</p>		

Para el cálculo del Probit esperado o calculado, debe hallarse el valor de S correspondiente a la tasa de incremento del log de la concentración (x) por unidad de incremento del Probit

En la recta trazada se calcula la pendiente, tomando el porcentaje donde se halló el mayor y el menor efecto, así como los probits correspondientes a estos valores, remplazando en la siguiente formula:

$$S = (X - x) / (PE - Pe)$$


Donde:

X : Mayor concentración

x : Menor concentración

PE : Probit empírico correspondiente a la mayor concentración

Pe : Probit empírico correspondiente a la menor concentración

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 6 de 22 Versión 0
<p>A partir de estos datos se elabora una gráfica en papel cuadrulado, colocando en el eje x el logaritmo de las concentraciones y en el eje Y el Probit empírico (figura 1 Anexo B), y se ajusta la recta a través de estos puntos. En el gráfico se traza una línea a partir del Probit 5,0 hasta cortar la línea trazada; el valor correspondiente en el eje x se denomina m y el antilogaritmo de este valor corresponderá a la CE50 o CL50.</p> <p>Para el cálculo del Probit esperado o calculado, debe hallarse el valor de S correspondiente a la tasa de incremento del log de la concentración (x) por unidad de</p>		

incremento del Probit.

Para el cálculo del Probit esperado o calculado, debe hallarse el valor de S correspondiente a la tasa de incremento del log de la concentración (x) por unidad de incremento del Probit

En la recta trazada se calcula la pendiente, tomando el porcentaje donde se halló el mayor y el menor efecto, así como los probits correspondientes a estos valores, remplazando en la siguiente formula:

$$S = (X - x) / (PE - Pe)$$

Donde:

X: Mayor concentración

x: Menor concentración

PE: Probit empírico correspondiente a la mayor concentración

Pe: Probit empírico correspondiente a la menor concentración

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 7 de 22 Versión 0
<p>Así, los valores del Probit esperado o calculado (Y) para cada concentración podrán ser calculados utilizando la siguiente expresión:</p>		

$$Y = 5 + \frac{(x - m)}{S}$$

Una vez calculados se colocan en la columna correspondiente de la tabla 1.

La prueba de hipótesis utilizada para establecer la asociación entre la concentración de la sustancia tóxica y la respuesta en unidades probit es la prueba de CHI-cuadrado (X^2). Los datos para el cálculo de este valor se colocan en una tabla 2 (anexo C) de la siguiente forma:

- Concentración de la sustancia estudiada en %
- Logaritmo decimal de la concentración (x).
- Probit calculado o esperado (Y).
- Numero de organismos (N)
- Mortalidad observada (r)
- Porcentaje de efecto esperado (P).

La mortalidad esperada (NP) se calcula multiplicando (N) por (P).

El cálculo de la desviación de la mortalidad se obtiene hallando la diferencia entre la mortalidad observada y la esperada. La contribución al Chi cuadrado de cada uno de los valores se calcula:

$$(r - NP)^2 / NP(1 - P)$$

Y para el cálculo de los grados de libertad (n):

$$n = K - 2$$

donde K es el número de concentraciones utilizadas

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 8 de 22 Versión 0

Con los datos obtenidos de realiza la siguiente tabla 3 para el calculo del intervalo de confianza:


Tabla 3. Valores de X^2 para una $P=0.05$.	
Grados de libertad(n)	X^2

Para el cálculo de los límites es necesario establecer el error estándar. El error estándar del log de la concentración letal para el 50% de los organismos se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$EE \log_{10} CL_{50} = \left\{ S^2 \left(\frac{1}{SNp} + \frac{(m-x)^2}{SNp(x-x^2)} \right) \right\}^{0.5}$$

4.17. Inicialmente, se construye una tabla en la cual se incorporen los siguientes datos:

- Logaritmo decimal de las concentraciones (x).
- Numero de organismos por concentración (N).
- Probit esperado o calculado (Y).
- Factor p , el cual se obtiene de la tabla 4 del Anexo C con el valor Y .
- Productos Np , Npx y Npx^2 , obtenidos de los datos de la misma tabla
- Sumatoria de los productos correspondientes a los valores SNp , $SNpx$ y $SNpx^2$
- Factor p debe ser obtenido en la tabla entrando el valor de Probit calculado
- Producto Np resultante de la multiplicación de los valores de número de organismos por el factor p y su respectiva sumatoria.
- Producto Npx resultante de la multiplicación del producto anterior por el logaritmo de las concentraciones con su respectiva sumatoria.
- Producto Npx^2 resultante de la multiplicación del producto anterior por el logaritmo de la concentración con su respectiva sumatoria.

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 9 de 22 Versión 0

Con todos los datos se obtiene la siguiente tabla 5:

Tabla 5. Cálculo del error estándar del log10 CL50.						
Log 10 de la concentración (x)	Núm. De organismos (N)	Probit calculado (Y)	Factor (p)	Producto (Np)	Producto (Npx)	Producto (Npx ²)

Al tener la CL50 y no olvidando que el intervalo de confianza es 95% tendremos la concentración letal con sus limites inferior y superior respectivamente.


Para el desarrollo de esta investigación se adquirió el Software de Probit, el cual determinar la CL50-48 y los limites de confianza mas 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 PROBFIS2 y se da doble clic donde se abre 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 >
===== >

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 10 de 22 Versión 0
<p>Da dos opciones para manejar el programa, la (1) es para introducir los datos con el teclado, la (2) para introducirlos en fila. Es este paso se escribe (1), y sale:</p> <div data-bbox="518 753 1203 1257" style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 20px auto; width: fit-content;"> <p>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</p> <p>Inserimento dei dati da TASTIERA (1) o da FILE (2) ? Battere 1, 2 oppure CTRL+C per abbandonare > ===== > 1</p> <p>Risultati su SCHERMO (1), STAMPANTE (2), oppure FILE (3) ? ===== > 3</p> </div> <p>Ahora se le da un nombre al archivo que se crea con los resultados que determina el programa, así:</p>		

<p>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</p> <p>Inserimento dei dati da TASTIERA (1) o da FILE (2) ? Battere 1, 2 oppure CTRL+C per abbandonare > ===== > 1</p> <p>Risultati su SCHERMO (1), STAMPANTE (2), oppure FILE (3) ? ===== > 3</p> <p>Inserisci il nome (NAME2) del file per i risultati ===== > B</p>


FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 <p>UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia</p>	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 11 de 22 Versión 0
<p>Ahora el programa pide que se inserten el numero de concentraciones, sin el control, numero de muertes en el control, numero de organismos en el control, así:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p>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</p> </div> <p>Ahora se procede a insertar los datos de las concentraciones comenzando por la concentración menor, el numero de muertes en cada una y el numero de tratamientos, así:</p>		


```

Risultati su SCHERMO (1), STAMPANTE (2), oppure FILE (3) ?
===== > 3
Inserisci il nome (NAME2) del file per i risultati
===== > 8
NUMERO DI CONCENTRAZIONI (escluso el controllo)=5
NUMERO MORTI NEL CONTROLLO=0
NUMERO ORGANISMI NEL CONTROLLO=20

== > INIZIA A INSERIRE I DATI DALLA CONC. INFERIORE
CONCENTRAZIONE= 0.1
NUMERO MORTI= 0
NUMERO TRATTATI=20
    
```

Así, sucesivamente hasta completar los datos de las 5 concentraciones. Al terminar este paso se da ENTER y se cierra esta ventana, en la carpeta de Probit aparece un archivo con el nombre que se le designo a esa batería donde dará los resultados de la CL₅₀ son los límites de confianza.

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 12 de 22 Versión 0

Este procedimiento se debe realizar para cada batería de ensayo, quedaran registrados los resultados en su respectivo archivo.

8. EJEMPLO

Se realizo una prueba de toxicidad, de la cual se obtuvieron los siguientes porcentajes de mortalidad:

Ejemplo de cálculo de la CL50 por el método Probit.

Concentración del agente tóxico (%)	Log10 de la concentración (X)	Núm. de organismos (N)	Núm. de muertos (r)	Porcentaje de mortalidad (P)	Probit empirico (PE)	Probit calculado (Y)
100	2,0	20	15	75	5,67	5,53
50	1,7	20	9	45	4,87	4,96

25	1,4	20	5	25	4,33	4,40
12,5	1,1	20	2	10	3,72	3,84
6,25	0,8	20	1	5	3,36	3,27

No se debe olvidar que los cinco primeros resultados corresponden a datos experimentales; el Probit empírico se obtiene de la tabla de anexo A con el porcentaje de mortalidad observada en cada una de las concentraciones.

A partir de estos datos se elabora una gráfica en papel cuadrulado, colocando en el eje x el logaritmo de las concentraciones y en el eje Y el Probit empírico (figura 1 Anexo B), y se ajusta la recta a través de estos puntos. En el gráfico se traza una línea a partir del Probit 5,0 hasta cortar la línea trazada; el valor correspondiente en el eje x se denomina m y el antilogaritmo de este valor corresponderá a la CL₅₀. Teniendo en este caso un $m = 1.72$, por lo tanto la CL₅₀ = 52.5 mg/l.


En la recta trazada se calcula la pendiente, tomando el porcentaje donde se halló el mayor y el menor efecto, así como los Probit correspondientes a estos valores:

$$x_m = 0.8 \quad PE = 3.30$$

$$x_M = 2.0 \quad PE = 5.55$$

Si:

$$S = (X - x)/(PE - PE)$$

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 13 de 22 Versión 0
<p>Siendo:</p> <p>x_M = Mayor concentración. x_m = Menor concentración. PE = Probit empírico correspondiente a la mayor concentración. PE = Probit empírico correspondiente a la menor concentración.</p> <p>Tendremos:</p>		

$$S = (2.0 - 0.8) / (5.55 - 3.30)$$

$$S = 0.533$$

Obteniendo así la tabla del Chi-cuadrado (X^2) como se observa en el Anexo E.

Se reemplaza en la ecuación los valores:

$$n = K - 2$$

$$n = 5 - 2 = 3$$

En la tabla 4 se determina el valor de X^2 para tres grados de libertad, el valor obtenido es 7,82; al compararlo con el valor obtenido en la tabla, se observa que:

$$7.82 > 0.482$$

Por lo tanto, la recta está bien ajustada; en caso contrario, trazar nuevamente la recta y volver a calcular el Chi cuadrado.

Tabla 5.7. Valores de X^2 para una $P=0.05$.	
Grados de libertad(n)	x^2
1	3,34
2	5,99
3	7,82
4	9,49
5	11,4
6	12,6
7	14,4
8	15,5
9	16,9
10	18,8

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 14 de 22 Versión 0
Cálculo del intervalo de confianza		
Para el cálculo de los límites es necesario establecer el error estándar. El error estándar del log de la concentración letal para el 50% de los organismos se obtiene a través de la siguiente expresión:		

$$EE \log_{10} CL_{50} = \left\{ S^2 \left(\left[1 / SNp + (m - x)^2 / SNp(x - x^2) \right] \right) \right\}^{0.5}$$

Así se construye la grafica:

Cálculo del error estándar del log10 CL50.

Log 10 de la concentración (x)	Núm. de organismos (N)	Probit calculado (Y)	Factor (p)	Producto (Np)	Producto (Npx)	Producto (Npx ²)
2,0	20	5,53	0,569	11,38	22,76	45,52
1,7	20	4,96	0,635	12,70	21,59	36,70
1,4	20	4,40	0,558	11,16	15,62	21,87
1,1	20	3,84	0,388	7,76	9,54	9,39
0,8	20	3,27	0,194	3,88	3,10	2,48
			(Σ)'	46,88	71,61	115,96

En este caso sería:

$$S = 0.533$$

$$x = \sum Npx / \sum Np = 1.527$$

$$m = 1.72$$

$$\sum Np = 46.88 \quad \sum Npx = 71.61 \quad \sum Npx^2 = 115.96$$

$$\sum Np(x - x^2) = Npx^2 - \{(\sum Npx)^2 / \sum Np\} = 6.574$$

Sustituyendo estos valores en la expresión:

$$EE \log_{10} CL_{50} = 0.0875$$

Así, el EE de CL50 será:

$$EECL_{50} = \log 10 \times EE \log_{10} CL_{50} \times 10^m$$

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 15 de 22 Versión 0

Donde:

$$\log 10 = 2.3026$$

$$EE \log_{10} CL_{50} = 0.0875$$

$$10^m = 51.97$$

Sustituyendo los valores en la expresión:

$$EECL_{50} = 32.96$$

Como la:

$$CL_{50} = 51.97$$

$$\text{Intervalo de confianza} = m \pm EECL_{50}$$

$$\text{al } 95\% = 51.97 + 32.46 = 84.43$$

$$51.97 - 32.46 = 37.14$$

Por tanto, la CL_{50} con los respectivos límites será:

- Limite inferior: 41.9 ppm
- CL_{50} : 52.5 ppm
- Limite Superior: 63.1 ppm


Utilizando el Software con los datos de el ejemplo anterior seria:


```
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

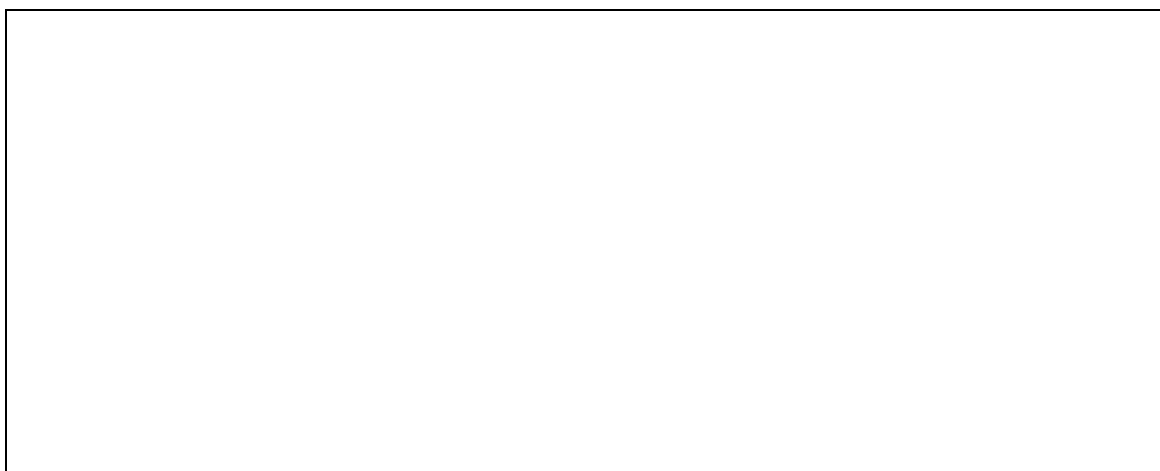
Inserisci il nome (NAME2) del file per i risultati
===== > B
```


FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03		
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 16 de 22		
		Versión 0		
<div><p>NUMERO DI CONCENTRAZIONI (escluso el controllo)=5 NUMERO MORTI NEL CONTROLLO=0 NUMERO ORGANISMI NEL CONTROLLO=20</p><p>== >INIZIA A INSERIRE I DATI DALLA CONC. IFERIORE CONCENTRACIONE= 6.25 NUMERO MORTI= 1 NUMERO TRATTATI=20</p><p>== >INIZIA A INSERIRE I DATI DALLA CONC. IFERIORE CONCENTRACIONE= 12.50 NUMERO MORTI= 2 NUMERO TRATTATI=20</p><p>== >INIZIA A INSERIRE I DATI DALLA CONC. IFERIORE CONCENTRACIONE= 25 NUMERO MORTI= 5 NUMERO TRATTATI=20</p><p>== >INIZIA A INSERIRE I DATI DALLA CONC. IFERIORE CONCENTRACIONE= 50 NUMERO MORTI= 9 NUMERO TRATTATI=20</p><p>== >INIZIA A INSERIRE I DATI DALLA CONC. IFERIORE CONCENTRACIONE= 100 NUMERO MORTI= 15 NUMERO TRATTATI=20</p></div>				
<p>Al terminar de digitar los datos en el programa, se cierra esta ventana y al abrir el archivo de nombre B los datos salen registrados de la siguiente manera:</p>				
CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI osservati	attesi
6.25	0.7959	20.	1.	0.68
12.50	1.0969	20.	2.	2.20
25.00	1.3979	20.	5.	5.28
50.00	1.6990	20.	9.	9.73

100.00	2.0000	20.	15.	14.27
Controllo		20.	0.	0.00
=====				
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia		LB03	
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT		Página 17 de 22	
			Versión 0	
PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$: (Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)				
Intercetta (a) = 1.5801				
Pendenza (b) = 1.9932 es = 0.3991				
Media delle X = 1.5377				
Media delle Y = 4.6451				
CHI quadro = 0.4327				
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	3.5373	0.7646	7.1428	
LC50	51.9726	37.1407	84.4326	
=====				
Como se observa tanto el método manual como con el Software, los resultados de la CL 50 y los limites de confianza son iguales.				
9. BIBLIOGRAFÍA				
<ul style="list-style-type: none">• http://www.metodologia probit.htm• http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Probit.htm				

Elaboro:	Alba Janneth Bernal Paredes	41012014
	Andrea Paola Rojas Avella	41001100
Primera Revisión:	Pedro Miguel Escobar Malaver	
Segunda Revisión:	Rubén Darío Londoño	

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá • Colombia	LB03								
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	Página 18 de 22 Versión 0								
10. ANEXOS										
ANEXO A										
Relación entre el Probit empírico y el porcentaje de mortalidad.										
%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
%	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
99a	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	9,09
A Valores entre 99, 0 y 99, 9.										



FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB03
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	<i>Página 19 de 22</i>
ANEXO B		<i>Versión 0</i>

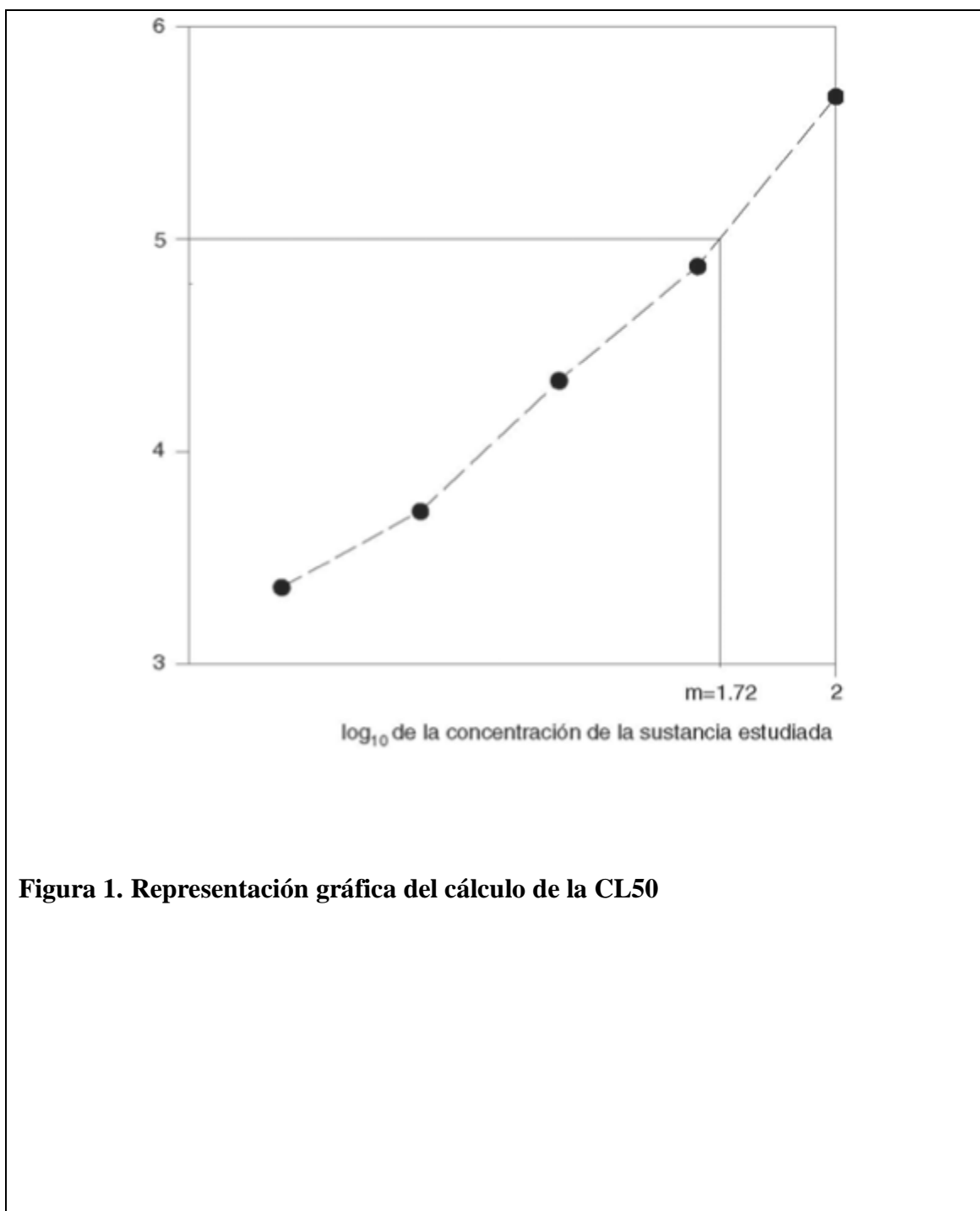



Figura 1. Representación gráfica del cálculo de la CL50

<p>FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA</p>	<div data-bbox="948 1680 1065 1793"> </div> <p>UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia</p>
<p>LABORATORIO DE</p>	

BIOENSAYOS										
ANEXO C										
Tabla 2. Determinación del Chi-cuadrado(X2).										
Concentración de la sustancia tóxica (%)	Log10 de la Concentración(X)	Probit calculado (Y)	Porcentaje de efecto esperado (P')	Núm.de organismos (N)	Núm.de muertos (r)	Mortalidad esperada				
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA		 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia			LB03					
LABORATORIO DE BIOENSAYOS		ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT			Página 21 de 22					
					Versión 0					
ANEXO D										
Tabla 4. Factor (p) para el Probit calculado (Y).										
Y	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,011
2	0,015	0,019	0,025	0,031	0,040	0,069	0,062	0,076	0,092	0,110
3	0,131	0,154	0,180	0,208	0,238	0,264	0,302	0,336	0,370	0,406

4	0,439	0,471	0,503	0,532	0,558	0,583	0,601	0,616	0,627	0,634
5	0,637	0,634	0,627	0,616	0,601	0,589	0,558	0,532	0,503	0,471
6	0,439	0,405	0,370	0,336	0,302	0,269	0,238	0,208	0,180	0,154
7	0,131	0,110	0,092	0,076	0,062	0,059	0,050	0,031	0,025	0,019
8	0,015	0,011	0,008	0,006	0,005	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS DE RESULTADOS, MEDIANTE EL METODO DE PROBIT	


ANEXO E

Determinación del Chi-cuadrado(X²).

Concentración de la sustancia tóxica (%)	Log10 de la Concentración(X)	Probit calculado (Y)	Porcentaje de efecto esperado (P')	Núm.de organismos (N)	Núm.de muertos (r)	Mortalidad esperada (NP')	Desviación (r-N)
100	2.0	5.53	0.705	20	15	14.1	0

50	1.7	4.96	0.485	20	9	9.7	-0
25	1.4	4.40	0.275	20	5	5.5	-0
12.5	1.1	3.84	0.125	20	2	2.5	-0
6.25	0.8	3.27	0.045	20	1	0.9	0


ANEXO D. PROTOCOLO LB04. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB04
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS VARIANZA (ANOVA)	Página 1 de 7
		Versión 0
<p>CONTENIDO</p> <ol style="list-style-type: none"> Objetivo Definiciones Principio del modelo Procedimiento Ejemplo Bibliografía Anexo A <p>1. OBJETIVO</p> <p>Comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos.</p> <p>2. DEFINICIONES</p> <p><u>Variable</u>: conceptos que forman enunciados de un tipo particular denominado hipótesis. Las variables se refieren a propiedades de la realidad que varían, es decir, su idea contraria son las propiedades constantes de cierto fenómeno.</p> <p><u>Variable Dependiente</u>: características de la realidad que se ven determinadas o que dependen del valor que asuman otros fenómenos o variables independientes.</p>		

Variables independientes: Los cambios en los valores de este tipo de variables determinan cambios en los valores de otra (variable dependiente).

Grados de libertad: número 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: Las hipótesis son proposiciones 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 de campo o de laboratorio

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB04
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS VARIANZA (ANOVA)	Página 2 de 7 Versión 0
<p>3. PRINCIPIO DEL MODELO</p> <p>El análisis de varianza parte de algunos supuestos que han de cumplirse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 <p>Los modelos de <i>efectos aleatorios</i> asumen que en un factor se ha considerado tan sólo una muestra de los posibles valores que éste 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.</p> <p>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).</p>		

$$SS_{\text{Total}} = SS_{\text{Error}} + SS_{\text{Factores}}$$

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.

$$gl_{\text{Total}} = gl_{\text{Error}} + gl_{\text{Factores}}$$

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB04
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS VARIANZA (ANOVA)	Página 3 de 7 Versión 0

4. PROCEDIMIENTO

Al realizar una prueba de toxicidad, se pasan los datos correspondientes a la siguiente tabla 1

Tabla 1. Formato de Datos de Prueba de Toxicidad

Tratamientos	Observaciones				Yi	Yi Promedio
	1	2	3	4		

4.3. Se plantea la hipótesis nula y la hipótesis alterna

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_n$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$, para algún par

4.4. El tratamiento de análisis de varianza sería mediante la siguiente tabla 2::


Tabla 2. Análisis de Varianza

FV	SS	GL	Ms	Fc	Ft
Tratamiento	SS _{TTO}	a – 1	$\frac{SS_{TTO}}{a - 1}$	$\frac{SS_{TTO}}{a - 1}$ $\frac{SS_E}{N - a}$	F α (V ₁ V ₂)

Error	SS _E	N – a	$\frac{SS_E}{N - a}$		
Total	SS _T	N – 1			

Donde:

- N: Número total de observaciones; N: a * n
- n: número de observaciones en cada grupo
- a: numero de tratamientos

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB04
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS VARIANZA (ANOVA)	Página 4 de 7 Versión 0
<ul style="list-style-type: none"> • FV : Fuente de varianza • SS: Suma de cuadrados • GL: Grados de libertad • Ms: Cuadrados medios • Fc: F calculado • Ft: F tabulado • V₁: a – 1 • V₂: N – a <p>4.5. Para obtener el SS_{TTO}, se debe reemplazar la siguiente formula:</p> $SS_{TTO} = \sum_{i=1}^{a=5} \frac{Y_i^2}{n} - \frac{Y^2}{N}$ <p>4.6. Para obtener el SS_T, se debe reemplazar la siguiente formula:</p> $SS_T = \sum_{i=1}^{a=5} \times \sum_{j=1}^{n=5} = Y_{ij}^2 \times \frac{Y^2}{N}$ <p>4.7. Para obtener el SS_E:</p> $SS_E = SS_T - SS_{TTO}$		

4.7. Al obtener el F_c lo comparamos el F_t , el cual se encuentra en el libro “Diseño y análisis de experimentos Douglas C. Montgomery” , para refutar o aceptar alguna hipótesis, esto se hace así:

$F_c > F_t$ Se rechaza la H_0

$F_c < F_t$ Se acepta la H_0

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB04
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS VARIANZA (ANOVA)	Página 5 de 7 Versión 0

5. EJEMPLO:

De una prueba de toxicidad que se realizó en el laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. Formato de Datos de Prueba de Toxicidad

Tratamientos	Observaciones				Total	Porcentaje de mortalidad
	1	2	3	4		
10	5	5	5	5	20	100
5	5	5	5	5	20	100
1	4	3	4	3	14	70
0,5	1	2	1	0	4	20
0,1	0	1	0	1	2	10
Control	0	0	0	0	0	0

De la cual partimos de dos hipótesis así:

H_0 : Las diferentes concentraciones producen el mismo efecto en todos los organismos

H_1 : Las diferentes concentraciones producen un diferente efecto en todos los

organismos.

Teniendo en cuenta que tenemos:

Tratamientos:	6
Observaciones:	4
Total:	24

Podemos construir la tabla 2 del análisis de varianza de la siguiente forma:

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB04
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS VARIANZA (ANOVA)	Página 6 de 7 Versión 0

Tabla 2. Análisis de Varianza

FV	SS	GL	Ms	Fc	Ft
Tratamiento	101,83	5	20,37	244,40	2.77
Error	1,5	18	0,08		
Total	103,33	23			

Como podemos observar el $F_c > F_t$, por consiguiente se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que las diferentes concentraciones producen efectos distintos en los organismos prueba.

6. BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.estadistico.com/arts.html?20011022>
- http://www.udc.es/dep/mate/estadistica2/sec3_7.html
- http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_varianza

Elaboro:	Alba Janneth Bernal Paredes	41012014
	Andrea Paola Rojas Avella	41001100
Primera Revisión:	Pedro Miguel Escobar Malaver	
Segunda Revisión:	Rubén Darío Londoño	

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Bogotá - Colombia	LB04
LABORATORIO DE BIOENSAYOS	ANÁLISIS VARIANZA (ANOVA)	Página 7 de 7 Versión 0

7. ANEXOS

ANEXO A

IV. Puntos porcentuales de la distribución F (continuación)

$F_{0.10, \nu_1, \nu_2}$		Grados de libertad del numerador (ν_1)														
ν_2	ν_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	60.71	61.22	61.74	62.00	62.26	62.46
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.46
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.17
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.82
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.17
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.80
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.56
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.38
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.25
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.16
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.08
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	2.01
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.96
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.91
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.87
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.84
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.81
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.78
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.76
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.74
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.72
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.70
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.96	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.69
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.67
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.66
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.65
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.64
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.63
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.62
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.03	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.61
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.54
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.48
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41	1.41
∞	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.34

Fuente: Diseño y análisis de experimentos Douglas C. Montgomery

ANEXO E-1. REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE SENSIBILIDAD CON
DICROMATO DE POTASIO.



DATOS DE PRUEBA DE SENSIBILIDAD CON TRUCHA ARCO
RHYNCHUS MYKISS)

PRUEBA NUMERO: 1

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO ($K_2Cr_2O_7$)

INICIO: 28 / 04 / 09 / 9:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 02 / 05 / 09 / 9:30 HORAS

	3 HORAS	6 HORAS	24 HORAS	48 HORAS
CONCENTRACIÓN	NO. DE	NO. DE	NO. DE	NO. DE

	ORGANISMOS POR PECERA				ORGANISMOS POR PECERA				ORGANISMOS POR PECERA				ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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	1	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1
60	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	2	3	2	1	2
80	0	0	0	0	0	1	0	0	2	4	2	3	4	5	2	5
100	0	0	0	0	0	1	1	3	3	4	3	3	4	5	5	5

	72 HORAS				96 HORAS					
CONCENTRACIÓN	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. De muertes	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4	No. muertos	No. total
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
40	0	0	2	1	0	0	2	1	3	20
60	3	2	1	4	3	2	1	4	9	20
80	4	5	2	5	4	5	2	5	16	20
100	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20

LÍMITE SUPERIOR: 65.5251

CL₅₀₋₉₆: 59.1002

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 52.3256

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



DATOS DE PRUEBA DE SENCIBILIDAD CON TRUCHA ARCO
(*RHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 2

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

INICIO: 28 / 04 / 09 / 9:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 02 / 05 / 09 / 9:30 HORAS

	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS UTILIZANDO ALEVINOS DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

40	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	2	1
60	0	0	0	0	1	1	0	1	3	2	2	3	3	2	3	3
80	0	0	0	0	2	0	1	4	2	3	2	4	4	3	2	4
100	0	0	0	0	2	2	1	2	4	3	4	3	5	5	5	4

CONCENTRACIÓN (ppm)	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
40	1	0	2	1	1	0	2	1	4	20	
60	4	3	3	2	4	3	4	2	13	20	
80	5	4	2	5	5	4	3	5	17	20	
100	5	5	5	4	5	5	5	4	19	20	

LÍMITE SUPERIOR: 60,1547

CL₅₀₋₉₆: 53,7093

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 46,8855

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



REGISTRO DE DATOS DE PRUEBA DE
HYNCUS MYKISS)

PRUEBA NUMERO: 3

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

INICIO: 05 / 05 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 09 / 05 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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	1	0	0	2	1	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	0	3	1	3
80	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	3	5	5
100	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	4	5	5	4	5	5

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS UTILIZANDO ALEVINOS DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

CONCENTRACIÓN (ppm)	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes	
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
40	0	2	1	1	0	2	1	1	4	20
60	2	3	1	3	2	3	1	3	9	20
80	2	4	5	5	2	4	5	5	16	20
100	5	4	5	5	5	4	5	5	19	20

LÍMITE SUPERIOR: 65.8798

CL₅₀₋₉₆: 58.4187

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 50.7421

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



ATOS DE PRUEBA DE SENCIBILIDAD CON TRUCHA ARCO
(*HYNCUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 4

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

INICIO: 05 / 05 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 09 / 05 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN (ppm)	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
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	1	1	0	0	2	1	0	1	2	1
60	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	2	1	2	3	3	1
80	0	0	0	0	4	0	0	2	4	3	3	5	4	3	4	5
100	0	0	0	0	2	1	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN (ppm)	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes	
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total
	1	2	3	4	1	2	3	4		

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS UTILIZANDO ALEVINOS DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
40	0	2	2	1	0	2	2	1	5	20	
60	2	3	3	1	2	3	3	1	9	20	
80	5	3	4	5	5	3	4	5	17	20	
100	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 62.1702

CL₅₀₋₉₆: 55.5468

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 48.6349

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



REGISTRO DE DATOS DE PRUEBA DE SENCIBILIDAD CON TRUCHA ARCO
HYNCUS MYKISS)

PRUEBA NUMERO: 5

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

INICIO: 12 / 05 / 09 / 9:45 HORAS

FINALIZACIÓN: 16 / 05 / 09 / 9:45 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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	1
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	2	1	1
60	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	2	2	3	2
80	0	0	0	0	1	0	0	0	3	3	5	5	5	4	5	5
100	0	0	0	0	1	0	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
20	0	0	0	1	0	0	0	1	1	20	
40	0	3	1	1	0	3	1	1	5	20	
60	4	2	3	2	4	2	3	2	11	20	

80	5	4	5	5	5	4	5	5	19	20	
100	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 56.2535

CL₅₀₋₉₆: 49.6477

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 42.6669

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



REGISTRO DE DATOS DE PRUEBA DE SENSIBILIDAD CON TRUCHA ARCO
HYNCUS MYKISS)

PRUEBA NUMERO: 6

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

INICIO: 12 / 05 / 09 / 9:45 HORAS

FINALIZACIÓN: 16 / 05 / 09 / 9:45 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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	1	0	0	1	2	1	1	1
60	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	2	2	2	2
80	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	2	4	5	3	5	4
100	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	4	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
40	2	1	1	1	2	1	1	1	5	20	
60	3	4	2	2	3	4	2	2	11	20	
80	5	3	5	4	5	3	5	4	17	20	
100	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 60,1547

CL₅₀₋₉₆: 53,7093

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 46,8855

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



ACTOS DE PRUEBA DE SENCIBILIDAD CON TRUCHA ARCO
HYNCUS MYKISS)

PRUEBA NUMERO: 7

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

INICIO: 19 / 05 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 23 / 05 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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	1	0	0	0	1	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	1	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	3	2	2	1	3
80	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	5	3	5	3	5	4
100	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
20	0	1	0	0	0	1	0	0	1	20	
40	2	1	1	0	2	1	1	0	4	20	
60	3	2	2	3	3	2	2	3	10	20	
80	5	4	5	4	5	4	5	4	18	20	
100	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 59,4713

CL₅₀₋₉₆: 52,5067

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 45,3242

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



**TOS DE PRUEBA DE SENCIBILIDAD CON TRUCHA ARCO
(YNCUS MYKISS)**

PRUEBA NUMERO: 8

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

INICIO: 19 / 05 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 23 / 05 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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	1	0	0	2	1	1	1
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	2	3
100	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	4	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
40	2	2	1	1	2	3	1	1	7	20	
60	3	2	4	3	3	2	4	3	12	20	
80	4	5	4	4	4	5	4	4	17	20	
100	4	5	5	5	4	5	5	5	19	20	

LÍMITE SUPERIOR: 55,2045

CL₅₀₋₉₆: 47,8316

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 40,2108

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



**DATOS DE PRUEBA DE SENCIBILIDAD CON TRUCHA ARCO
(RHYNCUS MYKISS)**

PRUEBA NUMERO: 9

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

INICIO: 26 / 05 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 30 / 05 / 09 / 10:30 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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	1	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	1	1	2
80	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	3	3	2
100	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	2	4	5	4	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
20	0	1	0	0	0	1	0	0	1	20	
40	2	2	1	2	2	3	1	2	8	20	
60	3	2	3	2	4	2	3	2	11	20	
80	3	3	4	5	4	3	5	5	17	20	
100	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 55,2045

CL₅₀₋₉₆: 47,8316

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 40, 2108

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



DATOS DE PRUEBA DE SENCIBILIDAD CON TRUCHA ARCO
(*MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 10

SUSTANCIA DE PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

INICIO: 26 / 05 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 30 / 05 / 09 / 10:30 HORAS

	3 HORAS	6 HORAS	24 HORAS	48 HORAS
CONCENTRACIÓN	NO. DE	NO. DE	NO. DE	NO. DE

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS
UTILIZANDO ALEVINOS DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

	ORGANISMOS POR PECERA				ORGANISMOS POR PECERA				ORGANISMOS POR PECERA				ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
40	0	0	0	0	2	0	2	1	2	0	2	1	2	0	2	1
60	0	0	0	0	1	2	1	0	1	2	1	1	1	3	1	1
80	0	1	0	1	3	1	1	1	3	2	1	1	3	3	1	1
100	2	0	0	0	3	1	2	1	3	3	4	5	3	4	5	5

	72 HORAS				96 HORAS					
CONCENTRACIÓN	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. De muertes	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4	No. muertos	No. total
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
20	1	0	0	0	1	0	0	0	1	20
40	2	1	3	1	3	1	3	1	8	20
60	2	3	2	5	3	3	3	5	14	20
80	3	5	2	2	4	5	5	4	18	20
100	5	5	4	5	5	5	4	5	19	20

LÍMITE SUPERIOR: 52,3955

CL₅₀₋₉₆: 45,1073

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 37,4158

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR

ANEXO E-2. REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE TOXICIDAD AGUDA CON ALUMINIO EN TRUCHA ARCO IRIS.



RO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON
S (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: PRELIMINAR

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $Al_2(SO_4)_3$

INICIO: 02 / 06 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 06 / 06 / 09 / 10:00 HORAS

	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS
UTILIZANDO ALEVINOS DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5
100	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

	72 HORAS				96 HORAS					
CONCENTRACIÓN	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. De muertes	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4	No. muertos	No. total
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
10	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20
100	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



O DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON
RIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: PRELIMINAR

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $Al_2(SO_4)_3$

INICIO: 09 / 06 / 09 / 11:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 13 / 06 / 09 / 11:00 HORAS

	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
CONCENTRACIÓN	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS UTILIZANDO ALEVINOS DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

5.0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
7.0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

	72 HORAS				96 HORAS						
CONCENTRACIÓN	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. De muertes		
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4	No. muertos	No. total	
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
3.0	0	0	0	0	5	5	5	5	20	20	
5.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
7.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
10	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



RESUMEN DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON
ALEVINOS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 1

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $Al_2(SO_4)_3$

INICIO: 07 / 07 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 11 / 07 / 09 / 10:30 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	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
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	1	3	1	1
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5

3.0	0	0	0	0	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

CONCENTRACIÓN (ppm)	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	20	
2.0	1	3	1	1	1	3	1	2	7	20	
2.5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
3.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.1821

CL₅₀₋₉₆: 2.0381

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.8626

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



JO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON
IS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 2

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO Al₂(SO₄)₃

INICIO: 07 / 07 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 11 / 07 / 09 / 10:30 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	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
2.0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	1	1	3	2	2
2.5	0	0	0	0	2	0	0	0	4	3	3	4	4	4	3	5
3.0	0	0	0	0	3	1	2	1	5	5	5	5	5	5	5	5

72 HORAS	96 HORAS
----------	----------

CONCENTRACIÓN (ppm)	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. De muertes		
	1	2	3	4	1	2	3	4	No. muertos	No. total	
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
2.0	1	3	2	3	1	3	2	3	9	20	
2.5	5	4	4	5	5	4	4	5	18	20	
3.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.1808

CL₅₀₋₉₆: 2.0576

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.9313

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON
IS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 3

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO Al₂(SO₄)₃

INICIO: 14 / 07 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 18 / 07 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN (ppm)	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
1.0	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
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	2	3	1
2.5	0	0	0	0	1	0	0	0	2	3	5	3	4	3	5	3
3.0	0	0	0	0	1	2	0	1	4	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN (ppm)	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	

1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	20	
2.0	1	2	3	2	1	2	3	2	8	20	
2.5	5	3	5	4	5	3	5	4	17	20	
3.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.2035

CL₅₀₋₉₆: 2.0633

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.9149

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON
IS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 4

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO Al₂(SO₄)₃

INICIO: 14 / 07 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 18 / 07 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	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	2	0
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	1	1	2	3
2.5	0	0	0	0	1	0	0	1	3	4	3	3	4	4	3	3
3.0	0	0	0	0	3	1	0	2	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.5	0	0	2	0	0	0	2	0	2	20	
2.0	1	2	3	3	1	2	3	3	9	20	

2.5	5	5	4	5	5	5	4	5	19	20	
3.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.0957

CL₅₀₋₉₆: 1.9590

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.8137

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



RESEÑA DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON
IS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 5

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO Al₂(SO₄)₃

INICIO: 28 / 07 / 09 / 9:40 HORAS

FINALIZACIÓN: 01 / 08 / 09 / 9:40 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	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
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	1	3	1	1
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5
3.0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.5	0	1	0	0	0	1	0	0	1	20	
2.0	1	3	1	1	1	3	1	2	7	20	
2.5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
3.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.1741

CL₅₀₋₉₆: 2.0503

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.9093

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



RESEÑA DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON ALEVINOS (ONCORHYNCHUS MYKISS)

PRUEBA NUMERO: 6

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO Al₂(SO₄)₃

INICIO: 28 / 07 / 09 / 9:40 HORAS

FINALIZACIÓN: 01 / 08 / 09 / 9:40 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	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	1
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3	2	2	0	3
2.5	0	0	0	0	5	5	3	4	5	5	5	4	5	5	5	4
3.0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.5	0	0	0	1	0	0	0	1	1	20	
2.0	3	2	1	3	3	2	1	3	9	20	
2.5	5	5	5	4	5	5	5	4	19	20	
3.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.1248

CL₅₀₋₉₆: 1.9940

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.8550

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



SE DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON ALEVINOS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 7

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $Al_2(SO_4)_3$

INICIO: 04 / 08 / 09 / 10:15 HORAS

FINALIZACIÓN: 08 / 08 / 09 / 10:15 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	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
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	3	1	3	1	3
2.5	0	0	0	0	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5
3.0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
2.0	1	3	1	3	1	3	1	3	8	20	
2.5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
3.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.1448

CL₅₀₋₉₆: 2.0460

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.9353

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON TRUCHA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 8

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO Al₂(SO₄)₃

INICIO: 04 / 08 / 09 / 10:15 HORAS

FINALIZACIÓN: 08 / 08 / 09 / 10:15 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	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
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	1	3	0	0
2.5	0	0	0	0	1	2	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0
3.0	0	1	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0	5	5	0	0

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
2.0	1	3	0	0	1	3	0	0	4	10	
2.5	5	5	0	0	5	5	0	0	10	10	
3.0	5	5	0	0	5	5	0	0	10	10	

LÍMITE SUPERIOR: 2.1967

CL₅₀₋₉₆: 2.0477

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.8754

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR

PRUEBA NUMERO: 9

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO Al₂(SO₄)₃

INICIO: 18 / 08 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 22 / 08 / 09 / 10:30 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	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	1
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	2	2	3	3
2.5	0	0	0	0	1	0	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5
3.0	0	0	0	0	2	1	0	3	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.5	0	0	0	1	0	0	0	1	1	20	
2.0	2	3	3	3	2	3	3	3	11	20	
2.5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
3.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.0449

CL₅₀₋₉₆: 1.9302

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.8043

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



O DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON RIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 10

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO Al₂(SO₄)₃

INICIO: 18 / 08 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 22 / 08 / 09 / 10:30 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA			
(ppm)	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
1.0	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
2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	1	2	1	3	2
2.5	0	0	0	0	0	0	2	1	3	5	4	4	5	5	5	5
3.0	0	0	0	0	4	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(ppm)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
2.0	2	2	3	2	2	2	3	3	10	20	
2.5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
3.0	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.0941

CL₅₀₋₉₆: 1.9942

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.8852

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR

ANEXO E-3. REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE TOXICIDAD DEL
VERTIMIENTO DE LA EMPRESA CORINTER S.A, EN TRUCHA ARCO IRIS.



GISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
IA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: PRELIMINAR

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO DE EMPRESA CORINTER S.A.

INICIO: 01 / 09 / 09 / 10:35 HORAS

FINALIZACIÓN: 05 / 09 / 09 / 10:35 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
1	2	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS
UTILIZANDO ALEVINOS DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

20	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

CONCENTRACIÓN (%)	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
10	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
15	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
20	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



RO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL VERTIMIENTO
ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 1

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO DE EMPRESA CORINTER S.A.

INICIO: INICIO: 08 / 09 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 12 / 09 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	3	1	0
0.5	0	0	0	0	0	0	1	0	2	4	3	3	2	4	3	3
1	1	0	0	1	1	0	0	1	4	4	4	4	4	4	4	4

CONCENTRACIÓN (%)	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes	
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total
	1	2	3	4	1	2	3	4		
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
0.05	0	2	0	0	0	2	0	0	2	16
0.1	0	3	3	0	0	3	3	0	6	16
0.5	4	4	4	4	4	4	4	4	16	16
1	4	4	4	4	4	4	4	4	16	16

LÍMITE SUPERIOR: 0.1643

CL₅₀₋₉₆: 0.1169

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 0.11256

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



GISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
A ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 2

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO DE EMPRESA CORINTER S.A.

INICIO: 08 / 09 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 12 / 09 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	2	1
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	1	2	3	2
0.5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	4	3	4	5	5	5
1	0	0	0	0	0	1	1	5	3	2	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes	
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA					

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS
UTILIZANDO ALEVINOS DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

(%)	1	2	3	4	1	2	3	4	No. muertos	No. total	
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.01	0	0	1	0	0	0	1	0	1	20	
0.05	1	0	2	1	1	0	2	1	4	20	
0.1	2	3	3	2	2	3	3	2	10	20	
0.5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
1	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 0.1341

CL₅₀₋₉₆: 0.0957

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 0.0660

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
UCHA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 3

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO DE EMPRESA CORINTER S.A.

INICIO: 15 / 09 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 19 / 09 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	2	2	1
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	3	5	4	4	4	5
1	0	0	0	0	2	1	1	0	4	4	3	3	5	4	4	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(%)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀₋₉₆) DEL ALUMINIO MEDIANTE PRUEBAS TOXICOLÓGICAS UTILIZANDO ALEVINOS DE *Oncorhynchus mykiss* (TRUCHA ARCO IRIS)

0.05	0	0	1	2	0	0	1	2	3	20	
0.1	1	2	3	1	1	2	3	1	7	20	
0.5	5	4	4	5	5	4	4	5	18	20	
1	5	5	4	5	5	5	4	5	19	20	

LÍMITE SUPERIOR: 0.2171

CL₅₀₋₉₆: 0.1494

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 0.1032

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
UCHA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 4

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO DE EMPRESA CORINTER S.A.

INICIO: 15 / 09 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 19 / 09 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	2	2	1
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	3	5	5	5	5	5
1	0	0	0	0	0	2	3	2	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(%)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.01	1	0	1	0	1	0	1	0	2	20	
0.05	0	1	2	2	0	1	2	2	5	20	
0.1	1	3	2	2	1	3	2	2	8	20	
0.5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

1	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	--

LÍMITE SUPERIOR: 0.1522

CL₅₀₋₉₆: 0.1029

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 0.0661

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
UCHA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 5

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO DE EMPRESA CORINTER S.A.

INICIO: 22 / 09 / 09 / 09:45 HORAS

FINALIZACIÓN: 26 / 09 / 09 / 09:45 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5
1	0	0	0	0	0	2	3	2	3	4	5	5	4	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(%)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.05	0	1	0	0	0	1	0	0	1	20	
0.1	1	0	1	1	1	0	1	1	3	20	
0.5	1	2	1	5	1	2	1	5	9	20	
1	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 0.5062

CL₅₀₋₉₆: 0.3460

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 0.2422

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



**REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
UCHA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)**

PRUEBA NUMERO: 1

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

INICIO: 22 / 09 / 09 / 09:45 HORAS

FINALIZACIÓN: 26 / 09 / 09 / 09:45 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(%)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1	0	1	1	1	0	1	1	1	3	20	
10	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 3.1826

CL₅₀₋₉₆: 2.0122

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.4378

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



EGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
HA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 2

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

INICIO: 29 / 09 / 09 / 10:10 HORAS

FINALIZACIÓN: 03 / 10 / 09 / 10:10 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	2	0	1	2
10	0	0	0	0	2	3	2	0	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(%)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	20	
0.5	1	0	1	1	1	0	1	1	3	20	
1	2	0	1	3	2	0	1	3	6	20	
10	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 2.7465

CL₅₀₋₉₆: 1.6670

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.0772

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



**REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
VERTIMIENTO CON TRUCHA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)**

PRUEBA NUMERO: 3

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

INICIO: 29 / 09 / 09 / 10:10 HORAS

FINALIZACIÓN: 03 / 10 / 09 / 10:10 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	0	0	1
10	0	0	0	0	2	4	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(%)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.5	0	1	1	0	0	1	1	0	2	20	
1	2	0	1	1	2	0	1	1	4	20	
10	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 3.0184

CL₅₀₋₉₆: 1.9935

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.3618

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



**STRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)**

PRUEBA NUMERO: 4

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

INICIO: 06 / 10 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 10 / 10 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	1
10	0	0	0	0	4	2	2	1	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(%)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.05	1	0	0	0	1	0	0	0	1	20	
0.1	0	1	1	0	0	1	1	0	2	20	
0.5	2	0	0	1	2	0	0	1	3	20	
1	1	2	1	1	1	2	1	1	5	20	
10	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 3.2773

CL₅₀₋₉₆: 1.7153

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 1.0119

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR



REGISTRO DE DATOS DE LA PRUEBA DE TOXICIDAD DEL
TRUCHA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

PRUEBA NUMERO: 5

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

INICIO: 06 / 10 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 10 / 10 / 09 / 10:00 HORAS

CONCENTRACIÓN	3 HORAS				6 HORAS				24 HORAS				48 HORAS			
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS 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
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	2	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5

CONCENTRACIÓN	72 HORAS				96 HORAS				No. De muertes		
	NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				NO. DE ORGANISMOS POR PECERA				No. muertos	No. total	
(%)	1	2	3	4	1	2	3	4			
BLANCO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	20	
10	5	5	5	5	5	5	5	5	20	20	

LÍMITE SUPERIOR: 4.3491

CL₅₀₋₉₆: 3.0127

RESPONSABLE: ANA MELISSA CORPUS S.

LÍMITE INFERIOR: 2.0376

ELABORADO POR: PEDRO MIGUEL ESCOBAR

ANEXO F-1. REGISTRO DE DATOS DE ANÁLISIS PROBIT PARA PRUEBAS DE
SENSIBILIDAD CON DICROMATO DE POTASIO

N° PRUEBA: 1
INICIO: 28 / 04 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
FINALIZACIÓN: 02 / 05 / 09

=====

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.03
40.00	1.6021	20.	3.	2.65
60.00	1.7782	20.	9.	9.90
80.00	1.9031	20.	16.	15.58
100.00	2.0000	20.	20.	18.31
Controllo		20.	0.	0.00

=====

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = -7.6795
Pendenza (b) = 7.1572 es = 1.1564
Media delle X = 1.8077
Media delle Y = 5.2586
CHI quadro = 1.2511

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	27.9613	18.6511	34.8249
LC50	59.1002	52.3256	65.5251

=====

N° PRUEBA: 2
INICIO: 28 / 04 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
FINALIZACIÓN: 02 / 05 / 09

=====

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.07
40.00	1.6021	20.	4.	4.24
60.00	1.7782	20.	13.	12.36
80.00	1.9031	20.	17.	17.20
100.00	2.0000	20.	19.	19.08
Controllo		20.	0.	0.00

=====

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = -6.0137
 Pendenza (b) = 6.3605 es = 1.1191
 Media delle X = 1.7748
 Media delle Y = 5.2748
 CHI quadro = 0.1910

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	23.2183	13.8472	30.1934
LC50	53.8977	46.5692	60.7265

=====

N° PRUEBA: 3
 INICIO: 05 / 05 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
 FINALIZACIÓN: 09 / 05 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.05
40.00	1.6021	20.	4.	3.23
60.00	1.7782	20.	9.	10.60
80.00	1.9031	20.	16.	15.94
100.00	2.0000	20.	19.	18.43
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = -5.8887
 Pendenza (b) = 6.1638 es = 1.1079
 Media delle X = 1.7982
 Media delle Y = 5.1954
 CHI quadro = 0.9971

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	24.4984	14.3744	31.9700
LC50	58.4187	50.7421	65.8798

N° PRUEBA: 4
INICIO: 05 / 05 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
FINALIZACIÓN: 09 / 05 / 09

=====				
CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.14
40.00	1.6021	20.	5.	4.16
60.00	1.7782	20.	9.	11.13
80.00	1.9031	20.	17.	15.88
100.00	2.0000	20.	20.	18.22
Controllo		20.	0.	0.00
=====				

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	-6.0531	
Pendenza (b) =	6.3354	es = 0.9859
Media delle X =	1.7875	
Media delle Y =	5.2714	
CHI quadro =	2.5267	

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	23.8489	15.4267	30.3772
LC50	55.5468	48.6349	62.1702
=====			

N° PRUEBA: 5
INICIO: 12 / 05 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
FINALIZACIÓN: 16 / 05 / 09

=====

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	1.	0.48
40.00	1.6021	20.	5.	6.11
60.00	1.7782	20.	11.	12.74
80.00	1.9031	20.	19.	16.63
100.00	2.0000	20.	20.	18.48
Controllo		20.	0.	0.00

=====

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	-4.5359	
Pendenza (b) =	5.6229	es = 0.8498
Media delle X =	1.7560	
Media delle Y =	5.3378	
CHI quadro =	4.0314	

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	19.1506	11.8201	25.1535
LC50	49.6477	42.6669	56.2535

=====

N° PRUEBA: 6
INICIO: 12 / 05 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
FINALIZACIÓN: 16 / 05 / 09

=====				
CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.15
40.00	1.6021	20.	5.	4.58
60.00	1.7782	20.	11.	11.94
80.00	1.9031	20.	17.	16.56
100.00	2.0000	20.	20.	18.64
Controllo		20.	0.	0.00

=====

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	-6.0954	
Pendenza (b) =	6.4133	es = 1.0027
Media delle X =	1.7773	
Media delle Y =	5.3029	
CHI quadro =	1.1269	

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	23.2982	15.0263	29.7037
LC50	53.7093	46.8855	60.1547

=====

N° PRUEBA: 7
INICIO: 19 / 05 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
FINALIZACIÓN: 23 / 05 / 09

=====

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	1.	0.42
40.00	1.6021	20.	4.	5.41
60.00	1.7782	20.	10.	11.73
80.00	1.9031	20.	18.	15.81
100.00	2.0000	20.	20.	17.94
Controllo		20.	0.	0.00

=====

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	-4.4987	
Pendenza (b) =	5.5218	es = 0.8427
Media delle X =	1.7700	
Media delle Y =	5.2751	
CHI quadro =	4.3634	

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	19.9032	12.2412	26.1483
LC50	52.5067	45.3242	59.4713

N° PRUEBA: 8
 INICIO: 19 / 05 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
 FINALIZACIÓN: 23 / 05 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	0.	0.49
40.00	1.6021	20.	7.	6.36
60.00	1.7782	20.	12.	13.10
80.00	1.9031	20.	17.	16.92
100.00	2.0000	20.	19.	18.66
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	-4.1157	
Pendenza (b) =	5.3422	es = 0.8563
Media delle X =	1.7507	
Media delle Y =	5.2368	
CHI quadro =	0.7355	

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	18.6602	10.9765	24.9051
LC50	50.8601	43.5403	58.0970

N° PRUEBA: 9
INICIO: 26 / 05 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
FINALIZACIÓN: 30 / 05 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	1.	1.07
40.00	1.6021	20.	8.	7.09
60.00	1.7782	20.	11.	12.76
80.00	1.9031	20.	17.	16.14
100.00	2.0000	20.	20.	17.95
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	-2.8380	
Pendenza (b) =	4.6663	es = 0.7308
Media delle X =	1.7427	
Media delle Y =	5.2941	
CHI quadro =	2.4706	

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	15.1768	8.3468	21.0864
LC50	47.8316	40.2108	55.2045

N° PRUEBA: 10
INICIO: 26 / 05 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: Dicromato de Potasio
FINALIZACIÓN: 30 / 05 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
20.00	1.3010	20.	1.	0.92
40.00	1.6021	20.	8.	8.03
60.00	1.7782	20.	14.	14.45
80.00	1.9031	20.	18.	17.65
100.00	2.0000	20.	19.	19.01
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	-2.8969	
Pendenza (b) =	4.7737	es = 0.8017
Media delle X =	1.7207	
Media delle Y =	5.3171	
CHI quadro =	0.1190	

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	14.6871	7.6548	20.6710
LC50	45.1073	37.4158	52.3955

ANEXO F-2. REGISTRO DE DATOS DE ANÁLISIS PROBIT PARA PRUEBAS DE TOXICIDAD AGUDA CON ALUMINIO

N° PRUEBA: 1
INICIO: 07 / 07 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO
FINALIZACIÓN: 11 / 07 / 09

=====				
CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.05
1.50	0.1761	10.	1.	0.87
2.00	0.3010	20.	7.	7.27
2.50	0.3979	20.	20.	13.35
3.00	0.4771	20.	20.	17.17
Controllo		20.	0.	0.00
=====				

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y = probits ponderati; X = log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	1.5267	
Pendenza (b) =	11.2321	es = 1.7001
Media delle X =	0.3583	
Media delle Y =	5.5506	
CHI quadro =	3.0096	

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	1.2651	0.9743	1.4659
LC50	2.0381	1.8626	2.1821

N° PRUEBA: 2 SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO
INICIO: 07 / 07 / 09 FINALIZACIÓN: 11 / 07 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.00
1.50	0.1761	20.	0.	0.50
2.00	0.3010	20.	9.	8.97
2.50	0.3979	20.	18.	18.03
3.00	0.4771	20.	20.	19.86
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = -0.1456
Pendenza (b) = 16.4213 es = 2.7632
Media delle X = 0.3225
Media delle Y = 5.1507
CHI quadro = 0.2201

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	1.4849	1.2349	1.6403
LC50	2.0576	1.9313	2.1808

N° PRUEBA: 3

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO

INICIO: 14 / 07 / 09

FINALIZACIÓN: 18 / 07 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.00
1.50	0.1761	20.	1.	0.85
2.00	0.3010	20.	8.	8.48
2.50	0.3979	20.	17.	16.80
3.00	0.4771	20.	20.	19.50
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = 0.8902
 Pendenza (b) = 13.0648 es = 2.1882
 Media delle X = 0.3306
 Media delle Y = 5.2099
 CHI quadro = 0.4131

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	1.3693	1.0855	1.5506
LC50	2.0633	1.9149	2.2035

N° PRUEBA: 4
 INICIO: 14 / 07 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO
 FINALIZACIÓN: 18 / 07 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.00
1.50	0.1761	20.	2.	1.43
2.00	0.3010	20.	9.	10.77
2.50	0.3979	20.	19.	18.08
3.00	0.4771	20.	20.	19.78
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = 1.1666
 Pendenza (b) = 13.1264 es = 2.2376
 Media delle X = 0.3087
 Media delle Y = 5.2184
 CHI quadro = 1.4741

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	1.3026	1.0264	1.4777
LC50	1.9590	1.8137	2.0957

N° PRUEBA: 5
 INICIO: 28 / 07 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO
 FINALIZACIÓN: 01 / 08 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.00
1.50	0.1761	20.	1.	0.92
2.00	0.3010	20.	7.	7.21
2.50	0.3979	20.	20.	15.00
3.00	0.4771	20.	20.	18.71
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = 0.7730
 Pendenza (b) = 13.5562 es = 1.9144
 Media delle X = 0.3449
 Media delle Y = 5.4490

CHI quadro = 2.0322

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	1.3811	1.1387	1.5489
LC50	2.0503	1.9093	2.1741

N° PRUEBA: 6

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO

INICIO: 28 / 07 / 09

FINALIZACIÓN: 01 / 08 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.00
1.50	0.1761	20.	1.	0.70
2.00	0.3010	20.	9.	10.11
2.50	0.3979	20.	19.	18.47
3.00	0.4771	20.	20.	19.90
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = 0.4733
Pendenza (b) = 15.1033 es = 2.7473

Media delle X = 0.3127
 Media delle Y = 5.1961
 CHI quadro = 0.6394

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	1.3986	1.1149	1.5685
LC50	1.9940	1.8550	2.1248

N° PRUEBA: 7
 INICIO: 04 / 08 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO
 FINALIZACIÓN: 08 / 08 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.00
1.50	0.1761	20.	0.	0.15
2.00	0.3010	20.	8.	8.07
2.50	0.3979	20.	20.	18.53
3.00	0.4771	20.	20.	19.95
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = -1.7214
 Pendenza (b) = 21.6183 es = 3.6813
 Media delle X = 0.3257
 Media delle Y = 5.3186
 CHI quadro = 0.1775

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	1.5970	1.3715	1.7328
LC50	2.0460	1.9353	2.1448

N° PRUEBA: 8

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO

INICIO: 04 / 08 / 09

FINALIZACIÓN: 08 / 08 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.00
1.50	0.1761	10.	0.	0.16
2.00	0.3010	10.	4.	4.04
2.50	0.3979	10.	10.	8.91
3.00	0.4771	10.	10.	9.93
Controllo		10.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = -1.0116
 Pendenza (b) = 19.3139 es = 4.1404
 Media delle X = 0.3291
 Media delle Y = 5.3452
 CHI quadro = 0.1897

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	1.5517	1.2111	1.7343
LC50	2.0477	1.8754	2.1967

N° PRUEBA: 9

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO

INICIO: 18 / 08 / 09

FINALIZACIÓN: 22 / 08 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.00
1.50	0.1761	20.	1.	0.97
2.00	0.3010	20.	11.	11.11
2.50	0.3979	20.	20.	18.75
3.00	0.4771	20.	20.	19.93

Controllo	20.	0.	0.00
-----------	-----	----	------

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	0.3131	
Pendenza (b) =	16.4105	es = 2.6922
Media delle X =	0.3040	
Media delle Y =	5.3012	
CHI quadro =	0.5249	

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	1.3927	1.1540	1.5437
LC50	1.9302	1.8043	2.0449

N° PRUEBA: 10

SUSTANCIA DE PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO

INICIO: 18 / 08 / 09

FINALIZACIÓN: 22 / 08 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
1.00	0.0000	20.	0.	0.00
1.50	0.1761	20.	0.	0.27
2.00	0.3010	20.	10.	10.05
2.50	0.3979	20.	20.	19.16
3.00	0.4771	20.	20.	19.98

Controllo	20.	0.	0.00
-----------	-----	----	------

=====

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	-1.4672	
Pendenza (b) =	21.5744	es = 3.7806
Media delle X =	0.3116	
Media delle Y =	5.2562	
CHI quadro =	0.0741	

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	1.5557	1.3312	1.6890
LC50	1.9942	1.8852	2.0941

=====

ANEXO F.3. REGISTRO DE DATOS DE ANÁLISIS PROBIT PARA PRUEBAS DE
TOXICIDAD DEL VERTIMIENTO DE LA EMPRESA CORINTER S.A.

NÚMERO DE PRUEBA: 1
INICIO: 08 / 09 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO CORINTER S.A
FINALIZACIÓN: 12 / 09 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
0.01	-2.0000	16.	0.	0.01
0.05	-1.3010	16.	2.	1.88
0.10	-1.0000	16.	6.	6.19
0.50	-0.3010	16.	16.	15.43
1.00	0.0000	16.	16.	15.94
Controllo		16.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	8.1538	
Pendenza (b) =	3.3831	es = 0.6282
Media delle X =	-0.9690	
Media delle Y =	4.8757	
CHI quadro =	0.1859	

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	0.0240	0.0094	0.0387
LC50	0.1169	0.0853	0.1643

NÚMERO DE PRUEBA: 2
INICIO: 08 / 09 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO CORINTER S.A
FINALIZACIÓN: 12 / 09 / 09

=====				
CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
0.01	-2.0000	20.	1.	0.69
0.05	-1.3010	20.	4.	5.37
0.10	-1.0000	20.	10.	9.21
0.50	-0.3010	20.	20.	17.30
1.00	0.0000	20.	20.	18.95
Controllo		20.	0.	0.00

=====

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	7.1644	
Pendenza (b) =	2.1242	es = 0.2800
Media delle X =	-0.9140	
Media delle Y =	5.2230	
CHI quadro =	1.6906	

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	0.0077	0.0027	0.0146
LC50	0.0957	0.0660	0.1341

NÚMERO DE PRUEBA: 3 SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO CORINTER S.A
 INICIO: 15 / 09 / 09 FINALIZACIÓN: 19 / 09 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
0.01	-2.0000	20.	0.	0.11
0.05	-1.3010	20.	3.	3.03
0.10	-1.0000	20.	7.	7.08
0.50	-0.3010	20.	18.	17.48
1.00	0.0000	20.	19.	19.28
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	6.8360	
Pendenza (b) =	2.2239	es = 0.3510
Media delle X =	-0.8314	
Media delle Y =	4.9870	
CHI quadro =	0.3281	

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	0.0134	0.0042	0.0256
LC50	0.1494	0.1032	0.2171

NÚMERO DE PRUEBA: 4
INICIO: 15 / 09 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO CORINTER S.A
FINALIZACIÓN: 19 / 09 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
0.01	-2.0000	20.	2.	1.79
0.05	-1.3010	20.	5.	5.52
0.10	-1.0000	20.	8.	7.85
0.50	-0.3010	20.	20.	13.66
1.00	0.0000	20.	20.	15.75
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	6.5833	es = 0.2140
Pendenza (b) =	1.6033	
Media delle X =	-0.8365	
Media delle Y =	5.2420	
CHI quadro =	2.6124	

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	0.0036	0.0009	0.0085
LC50	0.1029	0.0661	0.1522

NÚMERO DE PRUEBA: 5
 INICIO: 22 / 09 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO CORINTER S.A
 FINALIZACIÓN: 26 / 09 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
0.01	-2.0000	20.	0.	0.10
0.05	-1.3010	20.	1.	1.19
0.10	-1.0000	20.	3.	2.64
0.50	-0.3010	20.	9.	9.23
1.00	0.0000	20.	20.	12.69
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = 5.9537
 Pendenza (b) = 2.0693 es = 0.3067
 Media delle X = -0.5163

Media delle Y = 4.8853
 CHI quadro = 4.4028

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	0.0260	0.0087	0.0491
LC50	0.3460	0.2422	0.5062

NÚMERO DE PRUEBA: 1 SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO CORINTER S.A
 INICIO: 22 / 09 / 09 FINALIZACIÓN: 26 / 09 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
0.05	-1.3010	20.	0.	0.00
0.10	-1.0000	20.	0.	0.00
0.50	-0.3010	20.	0.	0.49
1.00	0.0000	20.	3.	3.03
10.00	1.0000	20.	20.	19.62
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = 3.8887
Pendenza (b) = 3.6597 es = 0.6444
Media delle X = 0.1071
Media delle Y = 4.2805
CHI quadro = 0.1476

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	0.4656	0.2385	0.6915
LC50	2.0122	1.4378	3.1826

NÚMERO DE PRUEBA: 2 SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO CORINTER S.A
INICIO: 29 / 09 / 09 FINALIZACIÓN: 03 / 10 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
0.05	-1.3010	20.	0.	0.35
0.10	-1.0000	20.	1.	0.81
0.50	-0.3010	20.	3.	3.57
1.00	0.0000	20.	6.	5.72
10.00	1.0000	20.	20.	14.63
Controllo		20.	0.	0.00

=====

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = 4.6267
 Pendenza (b) = 1.6820 es = 0.2268
 Media delle X = 0.0408
 Media delle Y = 4.6953
 CHI quadro = 1.3262

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	0.0690	0.0226	0.1389
LC50	1.6670	1.0772	2.7465

=====

NÚMERO DE PRUEBA: 3
 INICIO: 29 / 09 / 09

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO CORINTER S.A
 FINALIZACIÓN: 03 / 10 / 09

=====

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
0.05	-1.3010	20.	0.	0.01
0.10	-1.0000	20.	0.	0.08
0.50	-0.3010	20.	2.	1.77
1.00	0.0000	20.	4.	4.29
10.00	1.0000	20.	20.	17.11

Controllo	20.	0.	0.00
-----------	-----	----	------

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) =	4.2940	
Pendenza (b) =	2.3563	es = 0.3378
Media delle X =	0.2140	
Media delle Y =	4.7982	
CHI quadro =	0.3380	

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	0.2053	0.0815	0.3621
LC50	1.9935	1.3618	3.0184

NÚMERO DE PRUEBA: 4	SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO CORINTER S.A
INICIO: 06 / 10 / 09	FINALIZACIÓN: 10 / 10 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N.TRATTATI	N.MORTI	
			osservati	attesi
0.05	-1.3010	20.	1.	1.11
0.10	-1.0000	20.	2.	1.65
0.50	-0.3010	20.	3.	3.60
1.00	0.0000	20.	5.	4.76
10.00	1.0000	20.	20.	9.71
Controllo		20.	0.	0.00

=====

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = 4.6953
Pendenza (b) = 1.3000 es = 0.1901
Media delle X = -0.0560
Media delle Y = 4.6226
CHI quadro = 4.6017

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	0.0279	0.0061	0.0686
LC50	1.7153	1.0119	3.2773

=====

NÚMERO DE PRUEBA: 5

SUSTANCIA DE PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO CORINTER S.A

INICIO: 06 / 10 / 09

FINALIZACIÓN: 10 / 10 / 09

CONCENTRAZIONE	LOG (CONC)	N. TRATTATI	N. MORTI	
			osservati	attesi
0.05	-1.3010	20.	0.	0.00
0.10	-1.0000	20.	0.	0.00
0.50	-0.3010	20.	0.	0.13
1.00	0.0000	20.	1.	1.05
10.00	1.0000	20.	20.	17.83
Controllo		20.	0.	0.00

PARAMETRI STATISTICI DELLA REGRESSIONE $Y=a+bX$:

(Y= probits ponderati; X= log(conc) ponderati)

Intercetta (a) = 3.3245
 Pendenza (b) = 3.4983 es = 0.5267
 Media delle X = 0.5334
 Media delle Y = 5.1905
 CHI quadro = 0.0171

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	0.6516	0.2890	1.0709
LC50	3.0127	2.0376	4.3491

ANEXO G-1. ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA PARA PRUEBAS DE
SENSIBILIDAD CON DICROMATO DE POTASIO.

NÚMERO DE PRUEBA: 1
PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO ($K_2Cr_2O_7$)

SUSTANCIA DE

INICIO: 28 / 04 / 09 / 9:30 HORAS
/ 05 / 09 / 9:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 02

CONCENTRACIÓN DE $K_2Cr_2O_7$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	5	5	5	5	20	5
80	4	5	2	5	16	4
60	3	2	1	4	9	2,5
40	0	0	2	1	3	0,75
20	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	48	12,25

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	90,5	5	18,1	17,6108108	2,77
Dentro de Grupos	18,5	18	1,0277778		
Total	109	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 2
PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO ($K_2Cr_2O_7$)

SUSTANCIA DE

INICIO: 28 / 04 / 09 / 9:30 HORAS
/ 05 / 09 / 9:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 02

CONCENTRACIÓN DE K ₂ Cr ₂ O ₇	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	5	5	5	4	19	4,75
80	5	4	3	5	17	4,25
60	4	3	4	2	13	3,25
40	1	0	2	1	4	1
20	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					53	13,25

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	91,7083333	5	18,341667	40,0181818	2,77
Dentro de Grupos	8,25	18	0,4583333		
Total	99,9583333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
F_c > F_t: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 3
PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

SUSTANCIA DE

INICIO: 05 / 05 / 09 / 10:00 HORAS
/ 05 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 09

CONCENTRACIÓN DE K ₂ Cr ₂ O ₇	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	5	4	5	5	19	4,75
80	2	4	5	5	16	4
60	2	3	1	3	9	2,25
40	0	2	1	1	4	1
20	0	0	0	0	0	0

BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	48	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	82,50	5	16,5	25,826087	2,77
Dentro de Grupos	11,5	18	0,6388889		
Total	94,00	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 4
PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

SUSTANCIA DE

INICIO: 05 / 05 / 09 / 10:00 HORAS
/ 05 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 09

CONCENTRACIÓN DE K ₂ CrO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	5	5	5	5	20	5
80	5	3	4	5	17	4,25
60	2	3	3	1	9	2,25
40	0	2	2	1	5	1,25
20	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	51	12,75

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	90,375	5	18,075	39,4363636	2,77
Dentro de Grupos	8,25	18	0,46		

Total	98,625	23			
-------	--------	----	--	--	--

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 5
PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO ($K_2Cr_2O_7$)

SUSTANCIA DE

INICIO: 12 / 05 / 09 / 9:45 HORAS
/ 05 / 09 / 9:45 HORAS

FINALIZACIÓN: 16

CONCENTRACIÓN DE K_2CrO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	5	5	5	5	20	5
80	5	4	5	5	19	4,75
60	4	2	3	2	11	2,75
40	0	3	1	1	5	1,25
20	0	0	0	1	1	0,25
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					56	14

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	96,333333	5	19,266667	38,533333	2,77
Dentro de Grupos	9	18	0,5		
Total	105,333333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 6
PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO ($K_2Cr_2O_7$)

SUSTANCIA DE

INICIO: 12 / 05 / 09 / 9:45 HORAS
/ 05 / 09 / 9:45 HORAS

FINALIZACIÓN: 16

CONCENTRACIÓN DE K ₂ CrO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	5	5	5	5	20	5
80	5	3	5	4	17	4,25
60	3	4	2	2	11	2,75
40	2	1	1	1	5	1,25
20	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	53	13,25

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	91,708333	5	18,341667	52,824	2,77
Dentro de Grupos	6,25	18	0,3472222		
Total	97,958333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 7
PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO (K₂Cr₂O₇)

SUSTANCIA DE

INICIO: 19 / 05 / 09 / 10:00 HORAS
/ 05 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 23

CONCENTRACIÓN DE K ₂ CrO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	5	5	5	5	20	5
80	5	4	5	4	18	4,5
60	3	2	2	3	10	2,5
40	2	1	1	0	4	1
20	0	1	0	0	1	0,25

BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	53	13,25

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	93,208333	5	18,641667	70,6421053	2,77
Dentro de Grupos	4,75	18	0,2638889		
Total	97,958333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 8

SUSTANCIA DE

PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO ($K_2Cr_2O_7$)

INICIO: 19 / 05 / 09 / 10:00 HORAS
/ 05 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 23

CONCENTRACIÓN DE K ₂ CrO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	4	5	5	5	19	4,75
80	4	5	4	4	17	4,25
60	3	2	4	3	12	3
40	2	3	1	1	7	1,75
20	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	55	13,75

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	84,708333	5	16,941667	48,792	2,77
Dentro de Grupos	6,25	18	0,3472222		

Total	90,958333	23			
-------	-----------	----	--	--	--

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 9
PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO ($K_2Cr_2O_7$)

SUSTANCIA DE

INICIO: 26 / 05 / 09 / 10:30 HORAS
/ 05 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 30

CONCENTRACIÓN DE K_2CrO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	5	5	5	5	20	5
80	4	3	5	5	17	4,25
60	4	2	3	2	11	2,75
40	2	3	1	2	8	2
20	0	1	0	0	1	0,25
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					57	14,25

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	83,375	5	16,675	36,3818182	2,77
Dentro de Grupos	8,25	18	0,46		
Total	91,625	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 10
PRUEBA: DICROMATO DE POTASIO ($K_2Cr_2O_7$)

SUSTANCIA DE

INICIO: 26 / 05 / 09 / 10:30 HORAS
/ 05 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 30

CONCENTRACIÓN DE K ₂ CrO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
100	5	5	4	5	19	4,75
80	4	5	5	4	18	4,5
60	3	3	3	5	14	3,5
40	3	1	3	1	8	2
20	1	0	0	0	1	0,25
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					60	15

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	86,5	5	17,3	32,77789474	2,77
Dentro de Grupos	9,5	18	0,53		
Total	96	23			

H₀: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H₁: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

F_c > F_t: Se rechaza la hipótesis nula.

ANEXO G-2. ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA PARA PRUEBAS DE TOXICIDAD
AGUDA CON ALUMINIO

NÚMERO DE PRUEBA: 1
PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

SUSTANCIA DE

INICIO: 07 / 07 / 09 / 10:30 HORAS
/ 07 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 11

CONCENTRACIÓN DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	5	5	20	5

2.5	5	5	5	5	20	5
2.0	1	3	1	2	7	1.75
1.5	0	1	0	0	1	0.25
1.0	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	48	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	116,5	5	23,3	119,828571	2,77
Dentro de Grupos	3,5	18	0,19444444		
Total	120	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 2

SUSTANCIA DE

PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

INICIO: 07 / 07 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 11

/ 07 / 09 / 10:30 HORAS

CONCENTRACIÓN DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	5	5	20	5
2.5	5	4	4	5	18	4,5
2.0	1	3	2	3	9	2,25
1.5	0	0	0	0	0	0
1.0	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	47	11,75

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	109,2083333	5	21,8416667	104,84	2,77
Dentro de Grupos	3,75	18	0,2083333		
Total	112,9583333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 3

SUSTANCIA DE

PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

INICIO: 14 / 07 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 18

/ 07 / 09 / 10:30 HORAS

CONCENTRACIÓN DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	5	5	20	5
2.5	5	3	5	4	17	4,25
2.0	5	3	5	4	17	2
1.5	0	1	0	0	1	0,25
1.0	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	46	11,5

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
---------------------------	-------------------	--------------------	-----------------------	-------------	-----------

Entre grupos	100,3333333	5	20,06666667	65,6727273	2,77
Dentro de Grupos	5,5	18	0,305555556		
Total	105,8333333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 4

SUSTANCIA DE

PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

INICIO: 14 / 07 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 18

/ 07 / 09 / 10:30 HORAS

CONCENTRACIÓN DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	5	5	20	5
2.5	5	5	4	5	19	4,75
2.0	1	2	3	3	9	2,25
1.5	0	0	2	0	2	0,05
1.0	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					50	12,5

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	107,3333333	5	21,46666667	59,4461538	2,77
Dentro de Grupos	6,5	18	0,361111111		
Total	113,8333333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 5
PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $Al_2(SO_4)_3$

SUSTANCIA DE

INICIO: 28 / 07 / 09 / 10:30 HORAS
/ 08 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 01

CONCENTRACIÓN DE $Al_2(SO_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	5	5	20	5
2.5	5	5	5	5	20	5
2.0	1	3	1	2	7	1,75
1.5	0	1	0	0	1	0,25
1.0	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					48	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	116,5	5	23,3	119,828571	2,77
Dentro de Grupos	3,5	18	0,19444444		
Total	120	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 6
PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

SUSTANCIA DE

INICIO: 28 / 07 / 09 / 10:30 HORAS
 / 08 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 01

CONCENTRACIÓN DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	5	5	20	5
2.5	5	5	5	4	19	4,75
2.0	3	2	1	3	9	2,25
1.5	0	0	0	1	1	0,25
1.0	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					49	12,25

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	110,7083333	5	22,14166667	93,7764706	2,77
Dentro de Grupos	4,25	18	0,236111111		
Total	114,9583333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 7
PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

SUSTANCIA DE

INICIO: 04 / 08 / 09 / 10:30 HORAS
 / 08 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 08

CONCENTRACIÓN DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	5	5	20	5
2.5	5	5	5	5	20	5
2.0	1	3	1	3	8	2
1.5	0	0	0	0	0	0
1.0	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					48	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	120	5	24	108	2,77
Dentro de Grupos	4	18	0,222222222		
Total	124	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
 H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 8
PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

SUSTANCIA DE

INICIO: 04 / 08 / 09 / 10:30 HORAS
 / 08 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 08

CONCENTRACIÓN DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	-	-	10	5
2.5	5	5	-	-	10	5
2.0	1	3	-	-	4	2
1.5	0	0	-	-	0	0
1.0	0	0	-	-	0	0
BLANCO	0	0	-	-	0	0
TOTAL					24	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	60	5	12	36	2,77
Dentro de Grupos	2	6	0,3333333		
Total	62	11			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 9
PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

SUSTANCIA DE

INICIO: 18 / 08 / 09 / 10:30 HORAS
/ 08 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 22

CONCENTRACIÓN DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	5	5	20	5
2.5	5	5	5	5	20	5

2.0	2	3	3	3	11	2,75
1.5	0	0	0	1	1	0,25
1.0	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
					TOTAL	52
						13

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	117,833333	5	23,5666667	282,8	2,77
Dentro de Grupos	1,5	18	0,08333333		
Total	119,333333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 10

SUSTANCIA DE

PRUEBA: SULFATO DE ALUMINIO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

INICIO: 18 / 08 / 09 / 10:30 HORAS

FINALIZACIÓN: 22

/ 08 / 09 / 10:30 HORAS

CONCENTRACIÓN DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
3.0	5	5	5	5	20	5
2.5	5	5	5	5	20	5
2.0	2	2	3	3	10	2,5
1.5	0	0	0	0	0	0
1.0	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
					TOTAL	50
						12,5

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	120,833333	5	24,1666667	435	2,77
Dentro de Grupos	1	18	0,05555556		
Total	121,833333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

ANEXO G-3. ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA PARA PRUEBAS DE TOXICIDAD DEL VERTIMIENTO DE LA EMPRESA CORINTER S.A

NÚMERO DE PRUEBA: 1
PRUEBA: VERTIMIENTO DE CORINTER S.A.

SUSTANCIA DE

INICIO: 08 / 09 / 09 / 10:00 HORAS
/ 09 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 12

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
1.00	4	4	4	4	16	4
0.50	4	4	4	4	16	4
0.10	0	3	3	0	6	1,5
0.05	0	2	0	0	2	0,5
0.01	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					40	10

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
------------------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------------	-------------	-----------

Entre grupos	71,3333333	5	14,266667	21,4	2,77
Dentro de Grupos	12	18	0,6666667		
Total	83,333333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 2
PRUEBA: VERTIMIENTO DE CORINTER S.A.

SUSTANCIA DE

INICIO: 08 / 09 / 09 / 10:00 HORAS
/ 09 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 12

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
1.00	5	5	5	5	20	5
0.50	5	5	5	5	20	5
0.10	2	3	3	2	10	2,5
0.05	1	0	2	1	4	1
0.01	0	0	1	0	1	0,25
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					55	13,75

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	103,208333	5	20,641667	99,08	2,77
Dentro de Grupos	3,75	18	0,2083333		
Total	106,958333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 3
PRUEBA: VERTIMIENTO DE CORINTER S.A.

SUSTANCIA DE

INICIO: 15 / 09 / 09 / 10:0 HORAS
/ 09 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 19

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
1.00	5	5	4	5	19	4,75
0.50	5	4	4	5	18	4,5
0.10	1	2	3	1	7	1,25
0.05	0	0	1	2	3	0,75
0.01	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					47	11,75

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	93,7083333	5	18,741667	46,5310345	2,77
Dentro de Grupos	7,25	18	0,4027778		
Total	100,958333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 4
PRUEBA: VERTIMIENTO DE CORINTER S.A.

SUSTANCIA DE

INICIO: 15 / 09 / 09 / 10:0 HORAS
 / 09 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 19

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
1.00	5	5	5	5	20	5
0.50	5	5	5	5	20	5
0.10	1	3	2	2	8	2
0.05	0	1	2	2	5	1,25
0.01	1	0	1	0	2	0,5
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					55	13,75

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	97,2083333	5	19,441667	60,8608696	2,77
Dentro de Grupos	5,75	18	0,3194444		
Total	102,958333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
 H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 5
PRUEBA: VERTIMIENTO DE CORINTER S.A.

SUSTANCIA DE

INICIO: 22 / 09 / 09 / 09:45 HORAS
/ 09 / 09 / 09:45 HORAS

FINALIZACIÓN: 26

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
1.00	5	5	5	5	10	5
0.50	1	2	1	5	9	2,25
0.10	1	0	1	1	3	0,75
0.05	0	1	0	0	1	0,25
0.01	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	33	8,25

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	77,375	5	15,475	22,7387755	2,77
Dentro de Grupos	12,25	18	0,6805556		
Total	89,625	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 1
PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

SUSTANCIA DE

INICIO: 22 / 09 / 09 / 09:45 HORAS
/ 09 / 09 / 09:45 HORAS

FINALIZACIÓN: 26

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		

10	5	5	5	5	20	5
1.0	0	1	1	1	3	0,75
0.5	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0
0.05	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					23	5,75

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	80,2083333	5	16,041667	385	2,77
Dentro de Grupos	0,75	18	0,041666		
Total	80,9583333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 2

SUSTANCIA DE

PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

INICIO: 29 / 09 / 09 / 10:10 HORAS

FINALIZACIÓN: 03

/ 10 / 09 / 10:10 HORAS

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
10	5	5	5	5	20	5
1.0	2	0	1	3	6	1,5
0.5	1	0	1	1	3	0,75
0.1	0	0	0	1	1	0,25
0.05	0	0	0	0	0	0

BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	30	7,5

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	74	5	14,8	40,9846154	2,77
Dentro de Grupos	6,5	18	0,3611111		
Total	80,5	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 3
PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

SUSTANCIA DE

INICIO: 29 / 09 / 09 / 10:10 HORAS
/ 10 / 09 / 10:10 HORAS

FINALIZACIÓN: 03

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
10	5	5	5	5	20	5
1.0	2	0	1	1	4	1
0.5	0	1	1	0	2	0,5
0.1	0	0	0	0	0	0
0.05	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	26	6,5

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	76,833333	5	15,366667	92,2	2,77
Dentro de Grupos	3	18	0,166667		
Total	79,833333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 4
PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

SUSTANCIA DE

INICIO: 06 / 10 / 09 / 10:00 HORAS
/ 10 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 10

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
10	5	5	5	5	20	5
1.0	1	2	1	1	5	1,25
0.5	2	0	0	1	3	0,75
0.1	0	1	1	0	2	0,5
0.05	1	0	0	0	1	0,25
BLANCO	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	31	7,75

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	69,7083333	5	13,941667	47,8	2,77

Dentro de Grupos	5,25	18	0,2916667		
Total	74,958333	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos

H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.

Fc > Ft: Se rechaza la hipótesis nula.

NÚMERO DE PRUEBA: 5

SUSTANCIA DE

PRUEBA: VERTIMIENTO FILTRADO DE CORINTER S.A.

INICIO: 06 / 10 / 09 / 10:00 HORAS

FINALIZACIÓN: 10

/ 10 / 09 / 10:00 HORAS

PORCENTAJE DEL VERTIMIENTO	NÚMERO DE REPLICAS DE PRUEBAS				TOTAL	PROMEDIO
	R1	R2	R3	R4		
10	5	5	5	5	20	5
1.0	0	0	1	0	1	0,25
0.5	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0
0.05	0	0	0	0	0	0
BLANCO	0	0	0	0	0	0
TOTAL					21	5,25

ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F CALCULADO	F TEÓRICO
Entre grupos	81,875	5	16,375	393	2,77
Dentro de Grupos	0,75	18	0,0416667		
Total	82,625	23			

Ho: El efecto de las diferentes concentraciones es igual para todos los organismos
H1: Las diferentes concentraciones tienen un efecto diferente sobre los organismos expuestos.
 $F_c > F_t$: Se rechaza la hipótesis nula.