

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



Efecto toxicológico agudo de Furadan expuesto a
diferentes tiempos de radiación solar directa, sobre
alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGA EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y
RECURSOS NATURALES

PRESENTADO POR:

Bach. AUQUI CALLAÑAUPA, Katty Sandra

AYACUCHO – PERÚ

2016

Con mucho amor y cariño a
mis padres.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por acogerme en sus aulas y materializar mi formación como profesional.

A la Facultad de Ciencias Biológicas, por ser mi segundo hogar, en la que logré materializar mis estudios en la carrera profesional de Biología.

A mi asesor, Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz por su apoyo incondicional, paciencia, orientación y sabios consejos, que han permitido culminar con mi trabajo de investigación tendiente a la obtención del título de Bióloga.

Al Parque Zoológico “La Totorilla” y a los integrantes de la Comisión Administradora, presidida por el MCs. Edwin Portal Quicaña, por brindarme las facilidades para el uso de sus ambientes y llevar a cabo la parte experimental del presente trabajo de investigación.

Al Laboratorio Biodiversidad y Sistema de Información Geográfica, por brindarme las facilidades con los equipos y materiales empleados.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	8
2.2.1. Persistencia	8
2.2.2. Residualidad	8
2.2.3. Fotólisis	8
2.2.4. Toxicidad	8
2.2.5. Concentración Letal Media (CL ₅₀)	8
2.2.6. Bioensayos	8
2.3. Bases teóricas	9
2.3.1. Contaminación de ecosistemas acuáticos	9
2.3.2. Contaminación del agua por productos químicos	9
2.3.3. Mecanismos de degradación y transporte de los agroquímicos	9
2.3.4. Fotodegradación de un agroquímico	11
2.3.5. Persistencia de los agroquímicos	11
2.3.6. Toxicidad en ecosistemas acuáticos	12
2.3.7. Efecto de la contaminación sobre los organismos acuáticos	12
2.3.8. Bioindicador	12
2.3.9. Importancia de los bioindicadores	13
2.3.10. Agroquímicos	13
2.3.11. Furadan® 4F	13
2.3.12. Mecanismo de acción del plaguicida Furadán (i.a. carbofurano).	17
2.3.13. Mecanismo de acción del Neurotransmisor Acetilcolina.	18
2.3.14. La “trucha arco iris” <i>Oncorhynchus mykiss</i>	20
2.4. Marco Legal	21
2.4.1. Organismos Internacionales	21
2.4.2. Normas de regulación nacional de los plaguicidas	21
2.4.3. Plaguicidas agrícolas restringidas y prohibidas	22

2.4.4. Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)	22
2.4.5. Código Penal ⁴⁰	23
2.4.6. Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)	23
2.4.7. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo 015-2015-MINAM)	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. Lugar de ejecución	25
3.1.1. Ubicación política	25
3.1.2. Ubicación geográfica	25
3.2. Población y muestra	25
3.2.1. Población	25
3.2.2. Muestra	25
3.2.3. Unidad experimental	26
3.3. Sistema de muestreo	26
3.4. Metodología y recolección de datos	26
3.4.1. Obtención de alevinos de trucha y aclimatación	26
3.4.2. Preparación de soluciones del Furadan 4F	26
3.4.3. Selección y estabulación de unidades experimentales	27
3.4.4. Determinación de la toxicidad	28
3.5. Análisis estadístico	28
IV. RESULTADOS	29
V. DISCUSIÓN	37
VI. CONCLUSIONES	43
VII. RECOMENDACIONES	45
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Ficha técnica del plaguicida Furadan® 4F	14
Tabla 2. Usos agrícolas y su dosificación respectiva del carbofurano (Furadan® 4F).	15

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Porcentaje de mortalidad promedio y desviación típica generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris”.	30
Figura 2. Porcentaje de mortalidad promedio y desviación típica generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos (2 y 6 horas) según cuatro concentraciones crecientes, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 24 horas de exposición.	31
Figura 3. Porcentaje de mortalidad promedio y desviación típica promedio generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos (2 y 6 horas) según cuatro concentraciones crecientes, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 48 horas de exposición.	32
Figura 4. Tendencia de mortalidad acumulada teórica y concentración letal media (CL ₅₀) calculada por el método Probit para Furadan expuesto a dos horas de luz solar sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 24 horas de exposición.	33
Figura 5. Tendencia de mortalidad acumulada teórica y concentración letal media (CL ₅₀) calculada por el método Probit para Furadan expuesto a seis horas de luz solar sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 24 horas de exposición.	34
Figura 6. Tendencia de mortalidad acumulada teórica y concentración letal media (CL ₅₀) calculada por el método Probit para Furadan expuesto a dos horas de luz solar sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 48 horas de exposición.	35
Figura 7. Porcentaje de mortalidad y concentración letal media (CL ₅₀) calculada por el método Probit para Furadan expuesto a seis	36

horas de luz solar sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss*
“trucha arco iris” a las 48 horas de exposición.

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Resultado de la prueba de Shapiro-Wilks (modificado) para determinar el tipo de distribución de los datos de mortalidad acumulada de alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” causada por Furadan expuesto a la luz solar en dos tiempos a las 24 y 48 horas de exposición	50
Anexo 2. Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para comparar el porcentaje de mortalidad de alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” acumulada, causada por Furadan expuesto a dos y seis horas a la luz solar a las 24 horas de exposición.	51
Anexo 3. Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para comparar el porcentaje de mortalidad de alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” acumulada, causada por Furadan expuesto a dos y seis horas a la luz solar a las 48 horas de exposición.	52
Anexo 4. Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para comparar el porcentaje de mortalidad promedio generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos (2 y 6 horas) según cuatro concentraciones, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 24 horas de exposición.	53
Anexo 5. Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para comparar el porcentaje de mortalidad promedio generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos (2 y 6 horas) según cuatro concentraciones, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 48 horas de exposición.	54
Anexo 6. Valores de Concentración Letal Media (CL ₅₀) calculada y los intervalos de confianza a las 24 y 48 horas de exposición, en medios con Furadan sometidos de dos y seis horas de luz solar, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris”.	55

Anexo 7.	Percentiles (concentración letal en g/L) y porcentaje de mortalidad causado por Furadan expuesto a dos horas de luz solar sobre alevinos de trucha <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” s a las 24 horas de iniciado el experimento, obtenidos mediante el análisis Probit.	56
Anexo 8.	Percentiles (concentración letal en g/L) y porcentaje de mortalidad causado por Furadan expuesto a seis horas de luz solar sobre alevinos de trucha <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 24 horas de iniciado el experimento, obtenidos mediante el análisis Probit.	57
Anexo 9.	Percentiles (concentración letal en g/L) y porcentaje de mortalidad causado por Furadan expuesto a dos horas de luz solar sobre alevinos de trucha <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 48 horas de iniciado el experimento, obtenidos mediante el análisis Probit.	58
Anexo 10.	Percentiles (concentración letal en g/L) y porcentaje de mortalidad causado por Furadan expuesto a seis horas de luz solar sobre alevinos de trucha <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” a las 48 horas de iniciado el experimento, obtenidos mediante el análisis Probit.	59
Anexo 11.	Disposición y preparación de las unidades de experimentación con la solución de la Furadan a diferentes tiempos de radiación solar directa.	60
Anexo 12.	Preparación de las unidades experimentales, constituidas por un recipiente con la respectiva concentración y los alevinos de <i>Oncorhynchus mykiis</i> .	61
Anexo 13.	Vista panorámica de las unidades experimentales con la diferentes concentraciones del Furadan expuestos a dos tiempos de radiación solar directa, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris”	62
Anexo 14.	Vista del envase del pesticida agrícola Furadan 4F	63
Anexo 15.	Ficha técnica del plaguicida Furadán	64
Anexo 16.	Matriz de Consistencia.	65

RESUMEN

Los plaguicidas son ampliamente empleados en la agricultura, ganadería y otras actividades, para el control de organismos que son considerados plagas; sin tomar en cuenta los efectos negativos sobre otros organismos. Por otro lado, en estos últimos años se están introduciendo productos que se mencionan que tienen poca residualidad y persistencia en el medio ambiente; existiendo pocos estudios sobre el efecto de factores ambientales, como la luz solar, que permitan comprobar dichas afirmaciones de manera fehaciente. Es por ello que esta investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto toxicológico agudo del agroquímico Furadan, expuesto a la luz solar en dos tiempos (dos y seis horas) y tres concentraciones 0,48; 0,72 y 0,96 mg/L, sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 24 y 48 horas de iniciado el experimento. Para lo cual se prepararon 27 unidades experimentales en la que se consideró dos tiempos de exposición a la luz solar del Furadan y tres concentraciones con cuatro repeticiones, agregándose a ello tres blancos. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por 10 alevinos de trucha en 10L de agua y la respectiva concentración del plaguicida, todo contenido en baldes de plástico de 20 L de capacidad. Las determinaciones de la mortalidad aguda (mortalidad en cada unidad experimental fueron realizados a las 24 y 48 horas de iniciado el experimento). De los resultados hallados, se puede mencionar que las mayores mortalidades ($p < 0,05$) fueron registrados en los medios con Furadan sometidos a dos horas de luz solar en comparación con aquellos sometidos a seis horas, así mismo se observó que la mortalidad se halla directamente relacionada con la concentración de Furadan, siendo los valores mayores a mayor concentración ($p < 0,05$); también se halló que los valores de la concentración letal media (CL_{50}) del Furadan sobre los alevinos de trucha fue de 1,03 mg/L, disminuyendo dicho valor, según sea menor el tiempo de exposición del plaguicida Furadan y mayor el tiempo transcurrido luego del inicio del experimento.

Palabras clave: Toxicidad aguda, Furadan, fotólisis

I. INTRODUCCIÓN

Los productos químicos que son empleados para combatir plagas, obviamente hacen ver un efecto beneficioso sobre los intereses del hombre, ya que tienen la capacidad de controlar dichos organismos, lo que ha determinado que sean ampliamente utilizados en la agricultura y la ganadería; sin embargo, también es indudable que causan efectos negativos sobre otros organismos que comparten el mismo ambiente donde son introducidos. Aparentemente su empleo ha permitido incrementar las ganancias, minimizando las pérdidas, reduciendo la presencia de las poblaciones de organismos que causan problemas en el campo de cultivo y en el ganado, así de aquellos que tienen la capacidad de transmitir enfermedades al hombre (vectores); es decir, en forma general el uso de dichos productos ha elevado la calidad de vida del hombre, sin embargo estos tienen efectos negativos que muchas veces no son tomados en cuenta cuando se cuantifica dichos beneficios. Otro aspecto al cual se le da importancia académica y de investigación, son los riesgos y efectos para la salud del propio hombre; sin embargo frecuentemente en el momento de su uso, no es considerado o en todo caso es minimizado por la desidia de las personas que aplican dichos productos, al no asumir medidas de prevención, como el uso de indumentaria adecuada.

La preocupación es creciente, sobre el efecto de los productos denominados plaguicidas, más sobre aquellos que han sido incorporados al comercio como nuevos y que son promocionados como muy específicos en los organismos que se pretende controlar y cuyo efecto tóxico es más breve, mencionándose que son poco estables frente a la acción de factores físico ambientales (temperatura, luz, humedad, etc.), químicos (reacción con otros compuestos presentes en el ambiente) y biológicos (microorganismos que son capaces de descomponerlos en otros compuestos no tóxicos); sin embargo existen dudas sobre ello, ya que muchos compuestos activos de los plaguicidas son mucho más persistentes de

los que se menciona, resistiendo en grado variable la degradación física, química y biológica haciendo que la vida media en el ambiente sea de mucho mayor tiempo. Los plaguicidas que tienen como principio activo al carbofurano, es uno de los grupos más empleados en la agricultura de nuestra región, principalmente bajo el nombre comercial de Furadan 4F, el cual es catalogado como muy tóxico, y de acuerdo a sus especificaciones técnicas, de baja estabilidad química en el ambiente (considerándose a la luz como el principal factor degradativo) y no se acumula en el tejido; características que los hacen más ventajosos que los plaguicidas órganofosforados que son más persistentes.

Por lo mencionado, anteriormente se planteó el presente trabajo de investigación con la finalidad de comprobar, mediante ensayos de toxicidad, teniendo como modelos biológicos a alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris”, la persistencia del producto comercial Furadan 4F sometido a dos diferentes tiempos de incidencia solar, para el cual se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el efecto toxicológico agudo del agroquímico Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos y en tres concentraciones, sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris”.

Objetivos específicos

1. Determinar el porcentaje de mortalidad causado por Furadan sometido a dos tiempos de exposición solar (2 y 6 horas) sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris”.
2. Determinar el porcentaje de mortalidad causado por tres concentraciones de Furadan (0,48; 0,72 y 0,96 mg/L) sometido a dos tiempos de exposición (2 y 6 horas) sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” expuestos a 24 y 48 horas.
3. Determinar la concentración letal media (CL₅₀) de Furadan sometido a dos tiempos de exposición solar (2 y 6 horas).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Se menciona que el uso de plaguicidas en el mundo aumenta en forma desproporcionada cada día, por lo que se necesitan urgentemente adecuados agentes bioindicadores con la finalidad de realizar evaluaciones oportunas del riesgo ambiental, principalmente de los ambientes acuáticos dulceacuícolas; así es que se ha identificado dentro de los muchos que posiblemente tienen dicha característica, a la planaria de agua dulce *Giardia festae* (Borelli, 1898) (Tricladida: Dugesiidae). Dichos organismos son importantes componentes de los ecosistemas límnicos, algunas tienen amplia distribución geográfica, son sensibles a contaminantes, poseen alta capacidad de regeneración y son de fácil cultivo en el laboratorio. Es por ello que se planteó como objetivo del trabajo de investigación, evaluar el efecto subletal del insecticida carbofurano sobre la regeneración de *Giardia festae*, para lo cual se evaluaron planarias seccionadas en tres niveles (cefálico, medio y caudal) realizando dos cortes transversales (amputación prefaringeal y postfaringeal) en el plano dorso-ventral y se individualizaron en un medio control (agua de grifo autoclavada) y en dos diluciones del carbofurano ($1,17 \text{ mg/L}^{-1}$ y $2,34 \text{ mg/L}^{-1}$) en envases plásticos de 30 mL. El bioensayo ecotoxicológico se concluyó a 17 días de exposición hasta lograr la regeneración completa de las planarias. La parte media regenerada logró un mayor porcentaje de crecimiento en el control en comparación con las dos concentraciones de carbofurano. En contraste se observó la hormesis, en las partes cefálicas y caudales regeneradas, al lograr un mayor porcentaje de crecimiento en $2,34 \text{ mg}$ de carbofurano L^{-1} en comparación con el control.¹

Se determinó la toxicidad de diez plaguicidas utilizados en el municipio de Popayán-Colombia, para el cual se empleó la técnica de difusión en disco y como bioindicador *Bacillus subtilis*, ATCC 6633. Para la evaluación se utilizó las

formulaciones comerciales, puesto que se pretende conocer la toxicidad de estos agroquímicos en la presentación que utiliza el campesino. Los resultados mostraron que pueden diferenciarse claramente cuatro grupos de plaguicidas según la magnitud del efecto tóxico; el primero de ellos conformado por el herbicida Combo y los insecticidas Tamaron y Furadan, los cuales no mostraron toxicidad. El siguiente grupo calificado como ligeramente tóxico, compuesto por el insecticida Lorsban con un 42,0% de toxicidad, seguido de los medianamente tóxicos, entre los que se encontró a los herbicidas Tordon, Gramoxone y Roundup, con una toxicidad de 51,6%, 50,5% y 49,0% respectivamente. Finalmente el grupo de los altamente tóxicos, conformado por los fungicidas Manzate, Curzate y Format, con una toxicidad de 79,3%; 69,5% y 63,45% respectivamente. Mediante análisis de varianzas, se estableció que hubo diferencias significativas entre plaguicidas y entre concentraciones ($p=0,000$), y que las diferencias dependen del tipo de plaguicida y de la concentración utilizada, puesto que la interacción plaguicida - concentración fue significativa estadísticamente ($p=0,000$).²

Una investigación se diseñó con el objetivo de determinar la frecuencia de uso de plaguicidas en la producción agropecuaria, porcícola y avícola, para comprender su influencia en el recurso hídrico en la vereda Monterredondo del municipio San Pedro de los Milagros (Antioquia, Colombia) y establecer a partir de ello un diagnóstico de su calidad. Para lo cual se aplicó una encuesta domiciliaria al 100% de las familias ubicadas en la ribera del río, sobre el uso de productos químicos y se realizaron dos análisis, el fisicoquímico y el microbiológico a tres muestras de agua en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia bajo métodos estandarizados. Dentro de los resultados reporta que la quebrada El Hato presenta una contaminación por Coliformes de $1\ 600 \times 10^3$ NMP/100ml y por *E. coli* de 220×10 NMP/100ml. La quebrada Fray Juana presenta un grado de contaminación de 1600×10^3 NMP/100ml de Coliformes. Se encontró igualmente una contaminación de las fuentes hídricas por el uso de diversos plaguicidas como: Lorsban® (Clorpirifos), Ráfaga® (Clorpirifos), Látigo® (Clorpirifos), Neguvón® (Metrifonato), Furadan® (Carbofuran). Con insecticidas como: Ganabaño® (Cibermetrina) y desinfectantes como: Límpido® (Hipoclorito de sodio 6%). Por lo que concluyeron, que la producción agropecuaria, porcícola y avícola en la vereda, está generando impactos negativos en el recurso hídrico, por la disminución y la contaminación de éste, también concluyeron que las aguas de las muestras analizadas, no son aptas para el consumo de seres vivos.³

Se probó el efecto ecotoxicológico del Furadan 4F® (ingrediente activo (i.a.) carbofurano) y Monofos® (i.a. metamidofos) en mezclas heterotóxicas y equitóxicas sobre los alevinos de la trucha *Oncorhynchus mykiss*, y a partir de estos resultados evaluar el riesgo ambiental acuático de estos dos insecticidas. Las mortalidades fueron evaluadas de 24 hasta 96 horas de exposición y la toxicidad combinada fue calculada en base a unidades tóxicas. Para las mezclas heterotóxicas de exposición, la CL₅₀ (96 horas) del Monofos® disminuye con el aumento de dos concentraciones constantes y fijas del Furadan 4F® (251 y 502 µg/L⁻¹ equivalentes de ingrediente activo), exhibiendo una toxicidad sinérgica. El mismo comportamiento se observó para la CL₅₀ (96 horas) de exposición del Furadan 4F® a cinco concentraciones constantes y fijas de Monofos® (1,42; 2,85; 5,70; 11,41 y 22,82 mg/L⁻¹ equivalentes de ingrediente activo), exhibiendo una toxicidad sinérgica. Para las mezclas equitóxicas, las unidades toxicas de la mezcla variaron entre 0,97 a 1,02. Los datos indican que el Furadan 4F® y el Monofos® exhiben una toxicidad sinérgica o aditiva parcial cuando se presentan en concentraciones equitóxicas.⁴

En una investigación titulada, “La degradación solar fotocatalítica de dióxido de titanio (TiO₂) del plaguicida carbofurano (CBF) en agua, en laboratorio y a escala piloto”, se estudió a escala de laboratorio la evaluación de la concentración del plaguicida carbofurano (14-282 mmol/L⁻¹), mostró que el sistema siguió un cinética de emisión Langmuir-Hinshelwood, se evaluaron también la concentración de dióxido de titanio (0,05 a 2 g/L⁻¹) y el pH inicial (3-9) y para luego ser optimizado usando la metodología de superficie de respuesta y el diagrama de Pareto. En la gama de variables estudiadas, el pH inicial de 7,60 y 1,43 g/L⁻¹ de dióxido de titanio favorecen la eficiencia del proceso. En condiciones óptimas fueron evaluados, la evolución del sustrato, la demanda química de oxígeno, carbono orgánico disuelto, la toxicidad y los orgánicos subproductos. En los ensayos a escala piloto, utilizando la luz solar directa, 55 mg/L⁻¹ del carbofurano en una formulación comercial, después de 420 min fue eliminado; mientras que después de 900 minutos de tratamiento se eliminó el 80% de toxicidad (E₅₀ en *Vibrio fischeri* 1), 80% de la demanda química de oxígeno y 60% de carbono orgánico disuelto. El análisis y la evolución de cinco subproductos del carbofurano, así como la evaluación del tratamiento en presencia de isopropanol o usando acetónitrilo como disolvente, sugieren que la degradación se lleva a cabo principalmente por el ataque al radical.⁵

Sea firma que en la actualidad existe un creciente interés por los contaminantes emergentes (CE), ya que son compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia en el medioambiente, o las posibles consecuencias de la misma, han pasado en gran medida inadvertidas, causando problemas ambientales y de riesgo para la salud. Estos compuestos se encuentran diseminados en el ambiente y se han detectado en fuentes de abastecimiento de agua, aguas subterráneas e incluso en agua potable. Son compuestos de los que relativamente se conoce poco, en cuanto a su presencia, impacto y tratamiento; en la mayoría de los casos son contaminantes no regulados, que pueden ser candidatos a regulación futura, dependiendo de investigaciones sobre sus efectos potenciales en la salud y los datos de monitoreo con respecto a su incidencia; por lo tanto, son susceptibles de investigación. Se identifica como contaminantes emergentes principales a los plaguicidas, productos farmacéuticos, drogas ilícitas, compuestos de "estilo de vida", aseo personal y otros. Es por ello que es necesario identificar tratamientos fisicoquímicos, biológicos y avanzados, entre otros, con la finalidad de eliminarlos, así se determina que, tratamientos combinados son los más efectivos para la eliminación del contaminante emergente, ya que combinan tanto tratamientos fisicoquímicos, como biológicos, los cuales individualmente muestran alguna deficiencia.⁶

El uso de plaguicidas en la agricultura ha generado importantes impactos: por un lado, el incremento de la productividad agrícola; y por otro lado una fuente importante de contaminación ambiental, hecho que ha concienciado hacia el estudio de la dinámica de estos contaminantes en el ambiente y en las posibles maneras para su degradación, con el objetivo de estudiar la fotólisis del carbofurano en aguas de confluencia a los cultivos en el Oriente Antioqueño en Colombia, utilizando simulador de radiación solar, ensayos de toxicidad y determinación por cromatografía líquida con detector ultravioleta con arreglo de diodos, de acuerdo a su metodología, se estableció las mejores condiciones de degradación fotolítica. Se empleó un diseño factorial 3x2x2, evaluando tres variables: pH (5, 7 y 9), tipos de agua (agua ultrapura y agua superficial) y concentración de carbofurano; el factor de respuesta definido, fue el porcentaje de degradación, observando como resultado que a medida que aumenta el pH, el porcentaje de degradación del carbofurano es más significativo, mostrando un 30% y 20% de degradación a pH 9 durante 90 minutos de irradiación en agua ultrapura y agua superficial, respectivamente, además se observó, que bajo

condiciones naturales de pH del agua superficial representada por el agua del Río Negro, los porcentajes de remoción cuando se irradia una muestra que contiene 10 mg/L⁻¹ y 30 mg/L⁻¹, se obtienen, respectivamente, 9,5% y 21% de degradación, indicando que a bajas concentraciones de carbofurano el efecto del pH neutro tiende a ejercer una menor influencia sobre la degradación, por lo que concluyeron que los procesos fotolíticos como mecanismos de degradación primaria en el ambiente presentan una contribución significativa a la degradación del carbofurano cuando este se encuentra a concentraciones relativamente altas; para el caso de las aguas del río Río Negro ni la presencia de materia orgánica disuelta ni un valor pH neutro presentaron efecto sobre la degradación del carbofurano; no obstante, valores de pH básicos o ácidos tienden a aumentar la degradación del carbofurano.⁷

En un trabajo de investigación realizado en la ciudad de Ayacucho, señala que los problemas ambientales generados por el uso de agroquímicos como los plaguicidas, principalmente se dan en los ecosistemas acuáticos como ríos. Por lo cual se elaboró esta investigación con el objetivo de determinar el efecto toxicológico agudo de 4 concentraciones crecientes (5,00; 10,00; 15,00 y 20,00 mg/L) utilizando el plaguicida Furadan® 4F (ingrediente activo (i.a.) carbofurano) expuestos durante 24, 48 y 72 horas empleando para ello alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris”. Dicho trabajo de investigación se ejecutó en las instalaciones del Parque Zoológico “La Totorilla”, donde se establecieron 20 unidades experimentales, los que estuvieron constituidos por diez alevinos de *Oncorhynchus mykiss* con diez litros de agua incluidos en un balde de plástico de 20 L de capacidad, además cada unidad experimental presentó un ingreso de aire a través de un piedra difusora y bombeada por un aireador. Se determinó que los porcentajes de mortalidad de los alevinos de “trucha arco iris” se incrementan a medida que las concentraciones de Furadan también se incrementan, por otro lado la mortalidad registrada es diferente estadísticamente ($p < 0,05$) en cuanto a las concentraciones para cada tiempo de exposición. Con respecto a la concentración letal media, para el plaguicida Furadan (carbofurano) fue de 14,57; 9,61 y 8,42 mg/L para 24, 48 y 72 horas de exposición respectivamente, mostrando que la concentración letal media tiende a disminuir a medida que el tiempo de exposición se incrementa, por lo que cuanto mayor sea las cantidades del plaguicida empleado para combatir las plagas agrícolas, mayor será su efecto negativo en los componentes bióticos de los ecosistemas.⁸

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Persistencia

Es el tiempo que tarda en degradarse el agroquímico. En el proceso de degradación puede aparecer metabolitos que presenten también actividad biológica, que puede ser mayor o menor que la del plaguicida de partida.⁹

2.2.2. Residualidad

Tiempo durante el cual el agroquímico o sus metabolitos permanecen biológicamente activos después de su aplicación.¹⁰

2.2.3. Fotólisis

Degradación fotoquímica que resulta de la absorción directa de luz por una molécula orgánica o a través de reacciones indirectas donde la energía se transfiere de una molécula que absorbe luz solar a otra que no absorbe.¹¹

2.2.4. Toxicidad

Se denomina toxicidad a la actividad tóxica y específica, vinculada a la estructura química de una sustancia exógena al organismo (xenobiótico) por su interacción con moléculas endógenas (receptor).¹²

Precisamente esta actividad biológica es la que permite juzgar acerca de la capacidad que posee una sustancia para poder actuar como nociva para un organismo vivo bajo unas determinadas condiciones.¹³

2.2.5. Concentración Letal Media (CL₅₀)

La CL₅₀ es la dosis que produce una mortalidad del 50% en una población animal. La CL₅₀ solía considerarse en la bibliografía más antigua como una medida de la toxicidad aguda de las sustancias químicas. A mayor CL₅₀, menor toxicidad aguda. De una sustancia química muy tóxica (con una CL₅₀ baja) se dice que es potente. No hay una correlación necesaria entre la toxicidad aguda y la toxicidad crónica. La DE₅₀ (dosis efectiva) es la dosis que produce en el 50% de los animales un efecto específico no letal.¹⁴

2.2.6. Bioensayos

Los bioensayos son definidos como el método utilizado para evaluar la potencia relativa de un agente tóxico (químico o no) sobre un organismo vivo, a través de la comparación de ese agente con el efecto de una solución patrón o estándar. La prueba de toxicidad corresponde al método utilizado para detectar y evaluar la capacidad de un agente dado para producir efectos tóxicos sobre los organismos vivos; su objetivo primario, además de obtener datos para determinar los efectos sobre los sistemas biológicos, es caracterizar la relación concentración-respuesta del agente.¹⁴

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Contaminación de ecosistemas acuáticos

La contaminación es la introducción en un medio cualquiera de un contaminante, es decir, la introducción de cualquier sustancia o forma de energía con potencial para provocar daños, irreversibles o no, en el medio inicial, así mismo al cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del ambiente y que puede afectar la vida humana y de otras especies. La presencia en el ambiente, por acción del hombre, de cualquier sustancia química, objetos, partículas, microorganismos, formas de energía o componentes del paisaje urbano o rural, en niveles o proporciones que alteren la calidad ambiental y, por ende, las posibilidades de vida.¹⁵

2.3.2. Contaminación del agua por productos químicos

La agricultura es uno de los mayores consumidores de los recursos hídricos, luego de sus diferentes usos y aplicaciones sus efluentes retoman a los cursos de aguas superficiales o subterráneas conteniendo grandes cantidades de sales, nutrientes y productos agroquímicos, que también contribuye al deterioro de la calidad.¹⁵

Los problemas del agua se centran tanto en la calidad como en la cantidad. La comunidad debe conocer la importancia de la "calidad" y esa misma comunidad debe encargarse de su cuidado y preservación. Los primeros en contaminar las aguas son los plaguicidas, llevados hasta los ríos por la lluvia y la erosión del suelo, cuyas partículas vuelan hacia los ríos o el mar contaminándolos. Además, los campos pierden fecundidad por abuso de las técnicas agrícolas. La sal acarreada en el invierno desde las rutas hasta los ríos es otro factor envenenante. Lo mismo que los diques y las represas, que "barren" amplias franjas de cultivo.¹⁶

2.3.3. Mecanismos de degradación y transporte de los agroquímicos

Las vías por las cuales un agroquímico se distribuye en el ambiente son bien conocidas, lo que no se conoce muy bien son las cantidades que se distribuye por cada vía. Esto depende de las propiedades fisicoquímicas del compuesto y de las condiciones ambientales específicas.¹⁷

a. Degradación biótica y abiótica

Una vez que los agroquímicos han sido liberados en el ambiente, sufren varias reacciones físicas, químicas y biológicas que lo transforman en otros compuestos, generalmente resulta difícil determinar cuándo un plaguicida se encuentra bajo una transformación biótica o abiótica, ya que en muchos casos ambos procesos ocurren de manera simultánea.¹⁷

Las transformaciones abióticas tienen un importante papel en el destino final de los agroquímicos en el ambiente. Aun en medios de intensa actividad biológica, como el suelo, las transformaciones abióticas pueden llegar a dominar el comportamiento de estos compuestos.¹⁷

La luz solar es una de las fuerzas primarias que provocan la degradación de plaguicida de los diferentes compartimientos, la fotólisis tanto como en el suelo como en el agua, es el proceso en el cual la luz visible o la ultravioleta causa la transformación de estos contaminantes a otras sustancias y se inicia la mineralización.¹⁷

Otras reacciones abióticas de los agroquímicos que ocurren en el agua y los sedimentos son la hidrólisis y las reacciones de oxidación y reducción. Los parámetros fisicoquímicos que condicionan la reactividad de los agroquímicos en estos sustratos son el pH, la temperatura, las sustancias orgánicas disueltas y particuladas, la presencia de ciertos iones metálicos y el estado de reducción de la columna de agua. Las transformaciones abióticas no siempre reducen la actividad biocida de los compuestos. Además, los productos de ciertas transformaciones pueden ser más tóxicos que el plaguicida original.¹⁷

Por otro lado la degradación biótica de los agroquímicos se efectúa principalmente por la enorme cantidad y diversidad de microorganismos del suelo y del agua; se calcula que tan solo en el suelo la cantidad de células activas pueden ser de 10^{+2} por gramo de sustrato. Esta degradación ocurre por medio de diversos mecanismos y tiende a reducir la persistencia y toxicidad de los plaguicidas. Sin embargo al igual que en la reacciones abióticas el resultado de tal degradación es un compuesto de estructura diferente, que no siempre es menos tóxico ni menos estable que el que dio origen.¹⁷

b. Transporte

Desde el momento en que entran al ambiente, los plaguicidas quedan expuestos a diferentes flujos de energía, y los movimientos del aire y del agua, que actúan como mecanismos de transporte hacia otros sitios. Las rutas de estos contaminantes pueden ser cíclicas y sobre todo en el nivel de meso y macro escala, están condicionadas por los factores ecológicos y climáticos, en tanto que en la micro escala, sus propiedades fisicoquímicas como presión de vapor, solubilidad en agua y coeficiente de partición son determinantes para su transporte y disponibilidad.¹⁷

Una de las vías principales por la que los agroquímicos son desplazados fuera de las áreas en donde son aplicados, es la atmósfera. Se calcula que entre el 40 y el 80 de volumen que se aplica se pierde por volatilización. Dependiendo de las condiciones ambientales, diferentes proporciones de estos compuestos se depositan en otras áreas terrestres, o directamente en los cuerpos acuáticos. Esto puede ocurrir por precipitación seca o húmeda, cuando dichos contaminantes son precipitados por las lluvias.¹⁷

2.3.4. Fotodegradación de un agroquímico

La fotodegradación consiste en la transformación del plaguicida inducida por la luz solar, que puede tener lugar mediante reacciones de oxidación, reducción, hidrólisis, sustitución e isomerización. Esta reacción es importante en los primeros centímetros del suelo, en la superficie de las plantas y ecosistemas acuáticos. A medida que el agroquímico penetra en el suelo, los procesos de fotodegradación son menos frecuentes, debido a que la radiación solar puede llegar a atenuarse hasta un 90% en los primeros 0,2 mm de suelo. El proceso de fotodescomposición depende de los factores como la intensidad y tiempo de exposición del agroquímico a la radiación solar, la presencia de catalizadores fotoquímicos, que pueden favorecer la descomposición, el pH del suelo, el grado de aireación del suelo, estado en el que se encuentra el agroquímico (sólido, en dilución, vapor, entre otros), el grado de adsorción y la estructura química del agroquímico.¹⁸

En el proceso de fotodegradación podemos diferenciar entre¹⁸:

- Fotólisis directa: es cuando el agroquímico absorbe la luz ultravioleta UV-A (onda larga) de 400 nm a 315 nm, dentro del espectro de la radiación solar.
- Fotólisis indirecta, implica la absorción inicial de la energía luminosa por las moléculas, como es el caso de los ácidos húmicos, la cual es transferida directamente al oxígeno (sensibilización) o da lugar a una reacción en cadena que produce la formación de otros agentes oxidantes.

2.3.5. Persistencia de los agroquímicos

La persistencia de un plaguicida en el ambiente (agua o suelo) se define como el tiempo necesario para que pierda el 95% de su actividad ambiental, o mediante el concepto de vida media, siendo esta el tiempo que tarda en degradarse la mitad de la cantidad de plaguicida aplicada. Este tiempo puede variar considerablemente de unos a otros plaguicidas. Se habla de plaguicidas persistentes si la vida media es superior a 6 meses -1 año, moderadamente persistentes de 2 a 4 meses y fácilmente degradables si es inferior a 15 días ¹⁹.

Los procesos de degradación más importantes son de tipo bioquímico (biodegradación), así como de carácter químico (oxidación, Hidrolisis) y fotoquímico.²⁰

2.3.6. Toxicidad en ecosistemas acuáticos

Los problemas del agua se centran tanto en la calidad como en la cantidad. La comunidad debe conocer la importancia de la "calidad" de la misma y esa misma comunidad debe encargarse de su cuidado y preservación. Los primeros en contaminar las aguas son los plaguicidas, llevados hasta los ríos por la lluvia y la erosión del suelo, cuyo polvo vuela hacia los ríos o el mar y los contamina. Además, los campos pierden fecundidad por abuso de las técnicas agrícolas. La sal acarreada en el invierno desde las rutas hasta los ríos es otro factor envenenante. Lo mismo que los diques y las represas, que "barren" amplias franjas de cultivo. La agricultura da cuenta de alrededor del 70% del uso global del agua.²¹

Algunos organismos acuáticos tienen la capacidad de acumular metales sin que esto le cause un daño aparente. De esta forma, concentraciones de metales pueden ingresar a la cadena alimenticia y causar daños considerables. La mayoría de compuestos que contiene carbono son descritos como orgánicos con algunas excepciones como el CO₂ y el CO. El carbono tiene la habilidad de formar una gran diversidad de compuestos orgánicos, muchos de los cuales son la base para los organismos vivos.²¹

2.3.7. Efecto de la contaminación sobre los organismos acuáticos

Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan estas adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos "sensibles" que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como "intolerantes", mientras que otros, que son "tolerantes" no se ven afectados. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes, estos mueren y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes.⁹

2.3.8. Bioindicador

Todo organismo es un indicador de las condiciones del medio en el cual se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un espacio y momento determinados responden a su capacidad de adaptarse a los distintos factores

ambientales. Sin embargo en términos más estrictos un bioindicador acuático se ha considerado como aquel en cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita, en especial si tales fenómenos constituyen un problema del manejo del recurso hídrico. Los indicadores se han asociado directamente con la calidad de agua.²²

2.3.9. Importancia de los bioindicadores

El uso de especies para detectar procesos y factores en los ecosistemas acuáticos tiene varias ventajas²²:

- Las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis fisicoquímicos no detectan. Es decir las especies y las comunidades bióticas responden a efectos acumuladores intermitentes que en determinado momento un muestreo de variables químicas o físicas pasan por alto.
- La vigilancia biológica evita la determinación regular de un número excesivo de parámetros químicos y físicos, ya que en los organismos se sintetizan o se confluyen muchas de estas variables.
- Los bioindicadores permiten detectar la aparición de elementos contaminantes nuevos insospechados.

2.3.10. Agroquímicos

Son productos químicos destinados a combatir organismos que, o bien son parásitos de cultivos agrícolas, de los ganados o del mismo hombre, o compiten con éste por el alimento que derivan de los bienes mencionados.²³

2.3.11. Furadan® 4F

Es un insecticida-nematicida. Aplicado al suelo es absorbido por las raíces, donde ejerce su acción nematicida, trasladándose a la parte aérea de la planta, donde ejerce su acción insecticida. Posee un gran poder de noqueo (Knock down), característica que lo hace ser más valiosa herramienta de control de vectores de virosis para los cultivos.²⁴

a. Componente principal:

El carbofurano o carbofuran es un plaguicida sistémico utilizado como insecticida, acaricida y nematicida de amplio espectro, que pertenece al grupo químico de los carbamatos (N-methyl). Conjuntamente con los insecticidas organofosforados, los compuestos piretroides y otros carbamatos, el carbofurano integra un grupo sustituto de insecticidas persistentes como el clordano y heptacloro. Su nombre químico (IUPAC) es 2,3-dihidro-2,2-dimetilbenzofuran-7-il metilcarbamato y su fórmula química: $C_{12}H_{15}NO_3$. A temperatura ambiente el carbofurano es un sólido

cristalino, de color blanco o gris, en forma de gránulos (similar a la arena). Es inodoro o con ligero olor fenólico, y una solubilidad en el agua que llega a 700 mg/1 a 25° C. Si bien es muy poco soluble en los solventes convencionales utilizados en las formulaciones de uso agrícola, presenta solubilidades elevadas en diversos solventes orgánicos.²⁴

b. Características generales del Furdán (i.a. carbofurano)

Furdán es un insecticida-nematicida. Aplicado al suelo es absorbido por las raíces donde ejerce su acción insecticida y nematicida.²⁵

Tabla 1.- Ficha técnica del plaguicida Furdán® 4F.

Características	Descripción
Ingrediente activo	Carbofurano
Grupo químico	Carbamatos
Concentración y formulación	48% p/v Suspensión Concentrada(SC)
Modo de acción	Contacto e ingestión
Fabricante/Formulador	FMC Corporation. Estados Unidos/Brasil
Distribuidor en Chile	ASP CHILE S.A.
Toxicidad	Grupo IA. (Extremadamente tóxico). DL ₅₀ Producto comercial: Dermal > 5,000 mg/kg Oral 7,34 mg/kg
Antídoto	Sulfato de Antropina
Registro SAG	1076
Presentaciones Comerciales	3,785 L

Fuente: Ficha técnica de Furdán.²⁵

c. Usos

Se usa para el control de insectos y nemátodos de una gran variedad de cultivos, especialmente maíz, trigo, arroz, soja, papas, girasol, frutas (melón, uvas) y hortalizas, entre muchos otros. En Argentina ha sido utilizado para eliminar loros que se alimentan de cultivos anuales y perennes, aplicándolo en sus nidos. El tiempo de carencia es de 60 días. Se comercializa en distintas formulaciones con los nombre de Carbofurán10G, Carbodan, Curaterr 10% GR, Curater, Furdan 10G, Furdán 4F, Furacarb, Fursem, Carbofed, Carbogroz, Cropsa. Se aplica al suelo incorporado al agua de riego. Algunos distribuidores recomiendan no usarlo en hortalizas con hojas comestibles.²⁴

Tabla 2.- Usos agrícolas y su dosificación respectiva del carbofurano (Furadan® 4F).

Cultivo	Plagas		Dosis mL/cil	P.C. (días)	L.M.R. (ppm)
	Nombre común	Nombre técnico			
Papa	“gorgojo de los andes”	<i>Premnotypes suturicallus</i>	500	60	1,0
	“pulguilla saltona	<i>Epitrix subcrinita</i>			
	“mosca cecidomide”	<i>Prodiplosis longifila</i>			
Tomate	“pulgón”	<i>Myzus persicae</i>	500	60	0,1
Zapallo	“perforador de frutas”	<i>Diaphania nitidalis</i>	500	60	0,6
Flor	“mosca cecidomide”	<i>Prodiplosis longifila</i>	500	60	1,0
Plátano	“gorgojo negro”	<i>Cosmopolites sordidus</i>	400	60	0,1

mL: mililitros

cil: cilindros

P.C: programa en días

L.M.R.: Límite Máximo de Residuos de Plaguicidas

ppm: partes por millón

Fuente: Red Acción Ecológica.²⁵

d. Modo de acción

Actúa interfiriendo los impulsos nerviosos por inhibición del acetil colinesterasa e ingresa en los organismos principalmente por contacto e ingestión, y en menor medida por inhalación. Su efecto sistémico, al ser absorbido por las raíces de las plántulas, le confiere acción de ingestión sobres pulgones e insectos de las partes aéreas.²⁴

e. Persistencia

Posee una vida media en suelos de 30 a 60 días. Se degrada principalmente por acción microbiológica, generando dióxido de carbono. La persistencia ambiental del carbofurano está controlada por su degradación por vías química, fotoquímica y bioquímica. La primera de ellas está preeminentemente asociada al hidrólisis, con tiempos de vida medios para este mecanismo de reacción comprendidos entre 2 días, a pH=9, 5 y 7 días, a pH=5,2, teniendo influencia directa la temperatura sobre la tasa de hidrólisis, además del pH. La fotólisis directa y la fotooxidación por el mecanismo de radicales libres constituyen una importante vía de degradación del carbofurano, habiéndose observado en estudios de laboratorio una fotodescomposición significativa dentro de 96 horas. La volatilización no aparece como una vía significativa de remoción del carbofurano. Reportaron persistencias máximas variando entre 10 y 21 horas para lagunas naturales con un pH próximo a 8,5. Debido a su alta movilidad, el carbofurano también puede percolar hacia aguas subterráneas, donde puede persistir más prolongadamente en condiciones de temperatura y pH bajos.²⁶

f. Toxicidad del plaguicida Furadan (Carbofurano)

La toxicidad es la capacidad de una sustancia química de causar daños a los organismos vivos. Esta depende de cantidad de la sustancia administrada o absorbida y del tiempo expuesto a la misma. La correlación entre la exposición y la incidencia o el grado de severidad es llamada correlación-respuesta. Los plaguicidas pueden afectar directamente a los organismos vivos causando la muerte por su toxicidad aguda (se refiere a los efectos tóxicos observados con una exposición única de corta duración menos de 24 horas en animales de laboratorio), o afectando el crecimiento, la sobrevivencia por factores reproductivos u otras funciones según su toxicidad crónica. Los plaguicidas pueden afectar indirectamente a los organismos por alteración de otros que le sirven de alimento, o por afectar la calidad del hábitat.²⁷

g. Toxicidad aguda

La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica al carbofurano en el grupo identificado como 1b, lo que significa “altamente peligroso”. Sin embargo, en el caso de ingestión en forma directa o de residuos existentes en alimentos, es “extremadamente tóxico”. Este agroquímico puede producir irritaciones en la piel y, según la vía por la cual ingresa en el organismo humano, afecta el sistema respiratorio (asfixia), el aparato digestivo (náuseas, vómitos, salivación, sudor frío, dolor abdominal, diarrea) y ojos (lagrimeo, visión doble, contracción de la pupila). A niveles más altos de exposición puede causar espasmos musculares, pérdida de coordinación y paro respiratorio. Los problemas respiratorios son característicos del edema pulmonar, síntoma habitualmente de envenenamiento grave por carbamato. Las empresas distribuidoras advierten que las personas con bajo nivel de colinesterasa basal o afecciones hepáticas pueden agravar su estado con la exposición a este plaguicida. Por otra parte, diversos estudios han aportado evidencia sobre la toxicidad del carbofurano en mamíferos de ensayo expuestos oralmente.²⁸

h. Efecto de plaguicidas sobre el ambiente biótico.

Los plaguicidas afectan a los microorganismos, así pueden dañar el plancton, con la que se afecta la base de las redes tróficas acuáticas. También actúan sobre las bacterias nitrificantes y sobre los hongos, con lo cual se altera, transitoria o permanentemente, los procesos esenciales que dependen de estos organismos, como la fertilidad de los suelos. Los plaguicidas tienen también efectos nocivos hasta causar la muerte de los peces y aves, lo que altera el equilibrio ecológico,

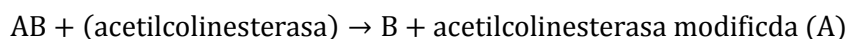
además se ven afectado notablemente los mamíferos, pues con frecuencia ocurren envenenamiento accidentales de fauna doméstica y silvestre con plaguicidas.²⁹

2.3.12. Mecanismo de acción del plaguicida Furadán (i.a. carbofurano).

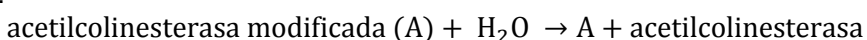
Las plaguicidas que conforman la familia de los carbamatos reaccionan de manera similar a la acetilcolina, es decir inhiben competitivamente la actividad colinesterásica comportándose como sustancias anticolinesterásicas (permitiendo así que la acetilcolina siga ejerciendo su actividad).¹⁹ Es así que actúa interfiriendo los impulsos nerviosos por inhibición de la acetilcolinesterasa e ingresa en los organismos principalmente por contacto e ingestión, y en menor medida por inhalación.³⁰

Estos compuestos reaccionan con la enzima de manera similar a la acetilcolina:³¹

Paso 1:



Paso 2:



En el primer paso, la parte ácida (A) del plaguicida se incorpora covalentemente en el sitio activo de la enzima, mientras que se libera su fracción alcohólica (B) de una molécula de carbamato (AB).³⁰

En el segundo paso, una molécula de agua libera la parte ácida (A) del plaguicida, dejando la enzima libre y, por lo tanto, reactivada. Este proceso de reactivación dura menos tiempo con los carbamatos, mientras que con los organofosforados puede ser mucho más prolongado e incluso llegar a ser irreversible. De ahí que, clínicamente hablando, los carbamatos se consideran inhibidores reversibles porque en poco tiempo dejan la enzima libre, mientras que a los organofosforados se les llama inhibidores irreversibles porque el proceso de reactivación tarda mucho más tiempo.³⁰ Este proceso de reactivación dura menos tiempo en comparación con los plaguicidas organofosforados.³²

Cuando la dosis tóxica del plaguicida es suficientemente alta, la pérdida de la función enzimática permite la acumulación de acetilcolina en las uniones colinérgicas neuroefectoras (efectos muscarínicos), en las uniones mioneurales del esqueleto y los ganglios autónomos (efectos nicotínicos) y en el sistema nervioso central (SNC). Es así que a altas concentraciones de acetilcolina en el sistema nervioso central causan alteraciones sensoriales y del comportamiento, incoordinación, depresión de la función motora y depresión respiratoria. El aumento en las secreciones pulmonares y la depresión respiratoria son las causas usuales de muerte en el envenenamiento por carbamatos.³³

El tiempo que permanece la acetilcolinesterasa inhibida, es fundamental para la buena acción del insecticida, ya que si sucediera lo contrario, el compuesto se considera un mal insecticida.³⁴

2.3.13. Mecanismo de acción del Neurotransmisor Acetilcolina.

a. Características de la enzima colinesterasa:

- **Acetilcolina:** Neurotransmisor endógeno, a nivel de la sinapsis y las uniones neuroefectoras colinérgicas en los sistemas nervioso central y periférico. Además, es metabolizada por la enzima acetilcolinesterasa con la consiguiente interrupción de la transmisión del impulso nervioso, la acción de la acetilcolina debe ser muy rápida, cerca de 1/1500 segundos.³⁵
- **Colinesterasa:** Es una enzima que abunda en las células postsinápticas de tejidos con rica inervación colinérgica. Como la colinesterasa se encarga de destruir al neurotransmisor acetilcolina en la sinapsis nerviosa. Su inactivación produce aumento del neurotransmisor en el receptor y por lo tanto se incrementa las reacciones colinérgicas.³⁵
- **Acetilcolinesterasa:** También llamada colinesterasa verdadera, se encuentra localizada exclusivamente en las neuronas.³⁵ Se encuentra tanto en vertebrados, regulando su sistema nervioso, como en el sistema nervioso central de insectos.¹⁷ Su función es la de hidrolizar el neurotransmisor acetilcolina en ácido acético y colina.³⁵

b. Mecanismo de acción sobre el organismo.

El sistema nervioso está compuesto por células especializados denominados neuronas, formadas por un cuerpo celular o soma que contiene al núcleo, y por proyecciones citoplasmáticas que pueden ser de dos tipos: las dendritas o parte receptora y los axones o parte transmisora. Estas últimas se extienden hasta hacer contacto con otras neuronas. Los axones frecuentemente se encuentran ramificados y en su parte terminal presentan una especie de arborización.³⁴

La transmisión de los impulsos nerviosos tiene lugar en la sinapsis, la cual se encuentra formada por una neurona presináptica, una hendidura sináptica y una neurona postsináptica.³⁴

La enzima acetilcolinesterasa actúa sobre la acetilcolina de la siguiente manera:³¹

- En el citoplasma de la terminal axónica de las neuronas presinápticas del tipo colinérgico que utilizan la acetilcolina como neurotransmisor, existen unas vesículas especiales que captan y almacenan a la acetilcolina.

- La llegada de un potencial de acción despolariza la membrana presináptica, provocando de esta manera, la apertura de canales iónicos y como consecuencia, la liberación del neurotransmisor a la hendidura sináptica por exocitosis.
- En la membrana postsináptica, se encuentran los receptores de naturaleza proteica con alta afinidad por el neurotransmisor acetilcolina.
- La acetilcolina al difundir en el espacio sináptico se pone en contacto con los receptores, provocando cambios en la permeabilidad de la membrana a los cationes de sodio y potasio o ambos, lo que altera el potencial de membrana de la neurona postsináptica, haciéndola partícipe de la transmisión del impulso nervioso.
- El neurotransmisor acetilcolina después de actuar es rápidamente degradada por la enzima acetilcolinesterasa, con la consiguiente disminución de la transmisión del impulso nervioso, por lo cual la acetilcolinesterasa hidroliza rápidamente en colina y ácido acético
- La colina puede regresar a la membrana presináptica y ser reutilizada en la síntesis de la acetilcolina. Es así que la transmisión de los impulsos nerviosos se realiza sucesivamente de manera sincronizada.

Las sinapsis colinérgicas se localizan en las fibras nerviosas autónomas preganglionares, en todas las fibras parasimpáticas posganglionares, en las terminaciones nerviosas a la médula adrenal (que embriológicamente hablando es un ganglio) y en terminaciones nerviosas a ciertas glándulas sudoríparas y vasos sanguíneos. Las sinapsis neuromusculares también son colinérgicas.³⁴

La reacción química producida en este proceso es:³⁵

Paso 1:

acetilcolina + enzima (acetilcolinesterasa) → colina + acetilcolinesterasa acetilada

Paso 2:

acetilcolinesterasa acetilada + H₂O → acetilcolinesterasa + ácido acético

Donde podemos observar en el esquema líneas arriba, en la que se representa la transmisión nerviosa en la sinapsis colinérgica.³¹

La enzima acetilcolinesterasa, es la responsable de la destrucción y terminación de la actividad biológica del neurotransmisor acetilcolina, al estar esta enzima inhibida se acumula acetilcolina en el espacio sináptico alterando el funcionamiento normal del impulso nervioso.³⁶ Es así, que tan pronto como la acetilcolina ejerce su efecto en la membrana postsináptica, debe ser destruida por

la acetilcolinesterasa. Esta degradación es de crítica importancia, ya que si la acetilcolina no fuera destruida, produciría actividad continua entre las neuronas con pérdida de coordinación nerviosa y una eventual tetanización muscular.³⁴

A continuación, se observa un esquema en el que se representa la transmisión nerviosa en la sinapsis colinérgica. La colina puede regresar a la membrana presináptica y ser reutilizada en la síntesis de la acetilcolina.³⁵

2.3.14. La “trucha arco iris” *Oncorhynchus mykiss*

a. Ubicación taxonómica:

La trucha pertenece a la familia de los salmónidos dentro del orden de los salmoniformes, donde las truchas verdaderas constituyen el género salmo, con dos únicas especies, la trucha común europea y el salmón del atlántico. La trucha común europea se clasifica como *Salmo trutta*; la trucha de río es la subespecie *Salmo trutta fario* y el reo o trucha marisca es *Salmo trutta trutta*. La trucha arco iris se clasificaba antes como *Salmo gairdnerii* Richardson, pero tras recientes revisiones sistemáticas se ha propuesto para esta especie el nuevo nombre científico de *Oncorhynchus mykiss*.³⁷

Reino	: Animal
Subreino	: Metazoos
Phylum	: Chordata
Sub Phylum	: Vertebrata
Orden	: Salmoniformes
Sub Orden	: Salmonidei
Familia	: Salmonidae
Súper Clase	: Gnathostomata
Clase	: Osteichthyes
Sub Clase	: Actinopterygii
Género	: <i>Oncorhynchus</i>
Especie	: <i>mykiss</i>
Nombre científico	: <i>Oncorhynchus mykiss</i>
Nombre común	: Trucha arco iris

b. Características generales de *Oncorhynchus mykiss*

Se caracteriza por tener el cuerpo cubierto con finas escamas de forma fusiforme y mucus, la coloración de la truchas varía de acuerdo al ambiente en que vive, edad, sexo y otros factores como la influencia del medio ambiente que lo rodea; en riachuelos sombreados presenta color plomo oscuro, mientras que en

estanques y jaulas flotantes al estar bien expuestos a los rayos solares ofrece una tonalidad más clara; de un color azulado a verde oliva en su parte superior o dorso, en las partes laterales una franja rojiza plateado iridiscente y con el abdomen blando, además posee bastantes lunares negros y marrones en la piel por lo que también es llama pecosa.³⁸

c. Aspectos ecológicos de *Oncorhynchus mykiss*

El hábitat natural de la trucha en nuestra región son los ríos, lagos y lagunas de aguas frías, limpias y cristalinas; típicas de los ríos de alta montaña. La “trucha arco iris” prefiere las corrientes moderadas y ocupa generalmente los tramos medios de fondos pedregosos y de moderada vegetación. Son peces de agua frías, aunque el grado de tolerancia a la temperatura es amplio, pudiendo subsistir a temperaturas de 25°C durante varios días y a límites inferiores cercanos a la congelación. Por otro lado son poco tolerantes a los cambios de la calidad fisicoquímica de las aguas de su hábitat, por lo que son empleados como bioindicadores de la calidad de aguas que forman parte de los ríos y lagos.³⁹

2.4. Marco Legal

2.4.1. Organismos Internacionales

Los organismos internacionales que toman responsabilidad de regular los diversos plaguicidas mediante sus normativas correspondientes son:

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO).
- Organización Mundial para la Salud (OMS).
- Comisión Federal para la Prevención de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), México.
- Tratado de Estocolmo.
- Decisión 436 de la Comunidad Andina.

2.4.2. Normas de regulación nacional de los plaguicidas

El registro de los plaguicidas químicos de usos agrícolas son regulados por la Decisión 436 de la Comunidad Andina, Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola, y su Manual Técnico aprobado por Resolución N° 630 de la Secretaria General de la Comunidad Andina, el cual es complementado con el Reglamento para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola , aprobado por el Decreto Supremo N° 16-2000-AG y sus normas modificatorias (Resolución Ministerial N° 476-2000-AG, Resolución Ministerial N° 639-2000-AG y Resolución Ministerial N° 1216-2001-AG). El proceso de registro conlleva a una evaluación administrativa, como son el

cumplimiento de los requisitos documentarios y formalidades de carácter legal, así mismo el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) registra otros aspectos agronómicos y especificaciones técnicas; la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de la Salud para los aspectos de toxicología humana. Específicamente el carbofuran está incluido en la Lista Consolidada de Productos Prohibidos o Restringidos por las Naciones Unidas y en la lista de plaguicidas y productos químicos peligrosos objetos de comercio internacional para la aplicación del Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo del Convenio de Rotterdam. Esto significa que el carbofuran, en su calidad de sustancia peligrosa, está sujeto a consulta previa en cada país, en el cual se debe decidir si acepta o rechaza de acuerdo a sus leyes y normas internas.⁴⁰

2.4.3. Plaguicidas agrícolas restringidas y prohibidas

La Organización Mundial para la Salud (OMS) y los órganos internacionales referidos al control y regulación de plaguicidas, y las autoridades nacionales, han recogido la preocupación relacionada con el impacto negativo de los plaguicidas a nivel agronómico y de la salud de la población, logrando definir el marco político-legal para indicar el proceso de reducción del uso de los plaguicidas y llevar a una agricultura sostenible.

2.4.4. Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)

De acuerdo a lo hallado en el libro Manual de derecho ambiental de Andaluz⁴⁰ se halló lo siguiente:

- En el Artículo 98° menciona: la conservación de los ecosistemas se orienta a conservar los ciclos y procesos ecológicos, para prevenir procesos de fragmentación por actividades antrópicas y a poner medidas de recuperación y rehabilitación, priorizando los ecosistemas especiales o frágiles.
- En el Artículo 114° menciona: el acceso al agua para consumo humano es un derecho de toda la población. Corresponde al Estado asegurar la vigilancia y protección de aguas que se utilizan con fines de abastecimiento poblacional,
- El artículo 120° menciona: el Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país. Asimismo, el Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su rehúso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

- En el Artículo 121° menciona: el Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertido de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental correspondientes y las normas legales vigentes.

2.4.5. Código Penal⁴⁰

En el artículo 304° y 305° prohíben la contaminación por vertimiento de residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza con infracción de las normas ambientales y por encima de los límites máximos permisibles, que causen o puedan causar perjuicio o alteraciones en la flora, fauna y recursos hidrobiológicos.

El Artículo 307° prohíbe el vertimiento de desechos industriales o domésticos en lugares no autorizados o sin cumplir con las normas sanitarias y de protección al ambiente.

2.4.6. Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)

Regula el uso y gestión integrada de los recursos hídricos, que comprende agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a ésta. Según el ordenamiento legal peruano el agua es un recurso natural renovable que constituye patrimonio de la Nación, es un bien de uso público, cuya administración solo puede ser otorgada y ejercida en armonía con el bien común, la protección ambiental y el interés de la Nación. En consecuencia no hay propiedad privada sobre el agua, correspondiendo al Estado la asignación de derechos patrimoniales a particulares, condicionado a su disponibilidad.⁴⁰

2.4.7. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo 015-2015-MINAM)

Establece el grado o el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente, estos ECAs son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en los diseños de normas legales y las políticas públicas, siendo obligatorio también en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.⁴⁰

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se ejecutó en el Área de Acuicultura e Hidrobiología ubicado en las instalaciones del Parque Zoológico “La Totorilla”, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.1.1. Ubicación política

Región : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Jesús Nazareno
Lugar : Parque Zoológico “La Totorilla”

3.1.2. Ubicación geográfica

El Parque Zoológico “La Totorilla” (PZ “LT”) se encuentra ubicado en el kilómetro 1.5 de la Vía de Evitamiento Juan Pablo II, a diez minutos de la plaza Mayor de Huamanga, ubicado al Noreste de la capital de la provincia del mismo nombre.

Coordenadas Geográficas:

Latitud sur : 13° 09' 26"
Longitud oeste : 74° 13' 22"

Coordenadas proyectadas (UTM)

Este : 0624044
Norte : 8616591
Altitud : 2675 m.s.n.m.
Zona de Vida : estepa espinosa – Montano Bajo Subtropical (ee – MBS)

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Plaguicida Furadan 4F, comercializada en la ciudad de Ayacucho.

3.2.2. Muestra

18 mg/L de plaguicida Furadan 4F (carbofurano)

3.2.3. Unidad experimental

Diez alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” en 10 litros de agua en baldes de 20 litros de capacidad.

3.3. Sistema de muestreo

El muestreo aplicado fue aleatorio:

- Para el caso de la obtención del plaguicida “Furadan 4F” se identificó aleatoriamente el local comercial de donde fue adquirido, para lo cual fue necesario identificar los comercios más grandes de productos agroquímicos existentes en la ciudad de Ayacucho.
- Los alevinos de “trucha arco iris” *Oncorhynchus mykiss*, fueron seleccionados 10 unidades para cada recipiente a partir de un lote de 1000 unidades.
- Las unidades experimentales fueron asignadas aleatoriamente para la disposición en la fila y columna en el conjunto de baldes.

3.4. Metodología y recolección de datos

3.4.1. Obtención de alevinos de trucha y aclimatación

Los alevinos de trucha arco iris fueron obtenidos de un criadero comercial ubicado en la cercanía a la ciudad de Ayacucho, los cuales fueron transportados a las instalaciones del Parque Zoológico “La Totorilla” y colocadas en un tanque de fibra de vidrio de 2500 L capacidad hasta antes de la prueba de toxicidad.

Una vez arribado los alevinos de trucha al PZ “LT” fueron aclimatados por espacio de 2 horas a las condiciones ambientales del lugar en la que permanecieron por un tiempo de 7 días, en los que se les dio el manejo adecuado. En este periodo de tiempo los alevinos fueron alimentados con ración balanceada hasta la satisfacción, dicha alimentación se suspendió 24 horas antes de efectuarse los bioensayos a fin de evitar que las excretas de los peces interfieran en los resultados. En dicho periodo también se realizó limpieza periódica (cada 2 días) para evitar la acumulación de desechos orgánicos que pudiera generar compuestos amoniacales, metano, entre otros y de esa manera minimizar la presencia de enfermedades en los peces.

3.4.2. Preparación de soluciones del Furadan 4F

Con la finalidad de que las concentraciones de Furadan 4F a probarse causen mortalidades en los alevinos por debajo del 100%, se realizaron pruebas piloto iniciales en la que se probaron concentraciones de 1,44; 2,88 y 5,76 mg/L sobre 5 alevinos, para luego ir bajando dichas concentraciones e identificar las que fueron finalmente fueron empleados en el experimento.

Se realizó la preparación de soluciones madre en dos baldes de 8 L de capacidad, en los cuales se colocaron 5 L de agua con 5 mg de Furadan, Las tres concentraciones de Furadan 4F (0,48, 0,72 y 0,96 mg/L) fueron obtenidas a partir de soluciones madre, preparadas en forma cuidadosa en dos baldes de plástico de 8 L de capacidad, en los cuales se colocaron 5 L de agua con 5 mg de Furadan, empleando probetas y pipetas que permitieron medir los volúmenes del plaguicida, para luego ser sometidos a la acción directa del Sol (2 y 6 horas). Luego se esperó el tiempo necesario para que las temperaturas de dichas soluciones preparadas sean homogéneas antes de ser diluidas en las unidades experimentales, para lo cual se empleó un multiparámetro, registrándose temperaturas de $17\pm0,5$ °C. El proceso de someter a la acción del Sol las soluciones preparadas, comenzó a las 9 am, culminando a las 3 pm, considerando que la solución con menor tiempo de exposición fue expuesta de 10 am a 12 pm, esto con la finalidad de que el ángulo de incidencia de los rayos solares sean lo más parecido a lo que soportó la solución con mayor tiempo de exposición.

3.4.3. Selección y estabulación de unidades experimentales

Para realizar los bioensayos de toxicidad se emplearon 27 unidades experimentales, las que estuvieron constituidas por baldes de plásticos de 20 L de capacidad, cuyo interior fue cubierta con una bolsa plástica de color blanco con la finalidad de incrementar la seguridad en el manejo de dicho producto químico, en los cuales se colocaron 10 L de agua con la respectiva concentración del plaguicida y 10 alevinos (número recomendado para estudios de toxicidad en la que se emplea como modelos a organismos como insectos, anfibios y peces). Las unidades experimentales fueron colocadas en un ambiente (estanque de concreto) expresamente preparado para ello, la que estuvo cubierto por una malla “rasha” de 60% y con una lámina de plástico, con la finalidad de minimizar el efecto de la luz solar y de las lluvias, así mismo se evitó la presencia de personas ajenas al experimento que pueda causar disturbios. A cada una de las unidades experimentales se colectó una piedra difusora de aire conectada a dos pequeñas compresoras, lo que aireó el sistema de manera permanente. Finalmente, en cada balde fue colocado diez unidades de alevinos, los que fueron seleccionados de manera aleatoria a partir del grupo adquirido, así mismo la disposición de los baldes en el área de experimentación fue colocada en forma aleatoria.

3.4.4. Determinación de la toxicidad

Los registros de la mortalidad se realizó a las 24 horas y 48 horas, luego de haber iniciado el experimento, para el cual se observó cuidadosamente las unidades experimentales, considerándose como muertos los alevinos que no presentaron ningún tipo de movimiento, los que fueron inmediatamente extraídos de las unidades experimentales.

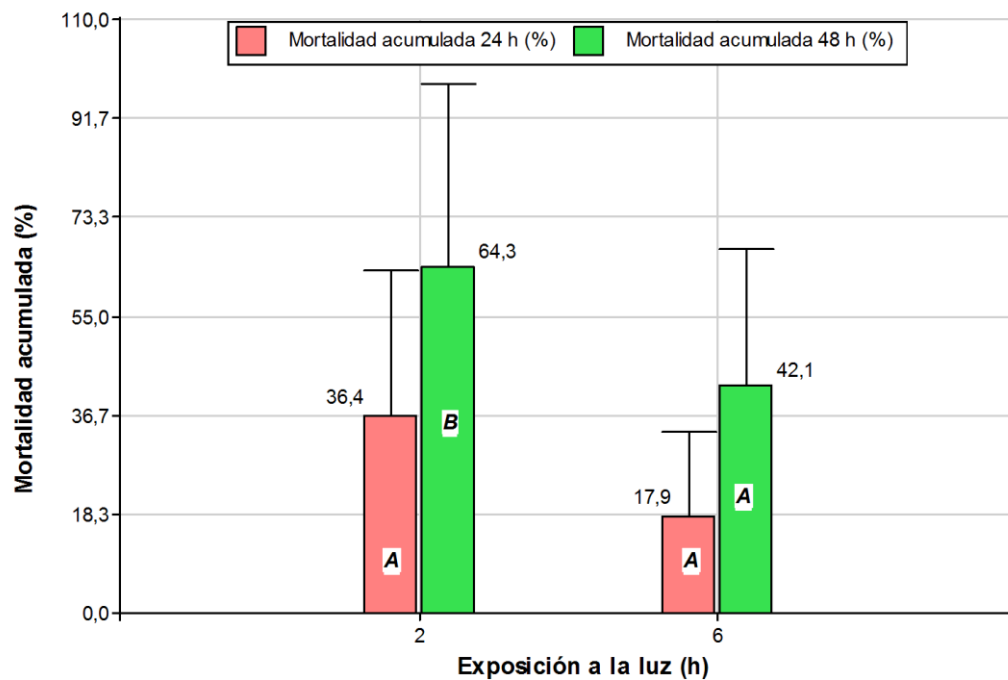
3.5. Análisis estadístico

El registro de mortalidad de alevinos en las unidades experimentales, sirvió para la construcción de una matriz de datos en el software EXCEL, el que posteriormente fue exportada a los softwares estadísticos de SPSS22, MINITAB 16 e InfoStat, a partir de los cuales se obtuvo estadísticos descriptivos de tendencia central y de dispersión los que se presentan en tabla y figuras.

Para determinar las posibles diferencias de mortalidad entre los tratamientos considerados, se utilizó el análisis de varianza no paramétrica (prueba de Kruskal-Wallis), en donde, en primer lugar, se determinó los efectos principales del Furadan 4F en los dos tipos de soluciones (exposición solar a 2 y 4 horas) y luego en las concentraciones. La toma de decisión estadística sobre las hipótesis planteadas fue en base a una confianza del 95% ($\alpha=0.05$).

Para calcular la concentración letal media (CL_{50}) se hizo uso del método de análisis Probit con la ayuda del paquete estadístico MINITAB 16. El método Probit nos permitió estimar el CL_{50} , ajustando los datos de mortalidad mediante una técnica de probabilidad para estimar los valores que siguen a una distribución logarítmica de tolerancia.

IV. RESULTADOS

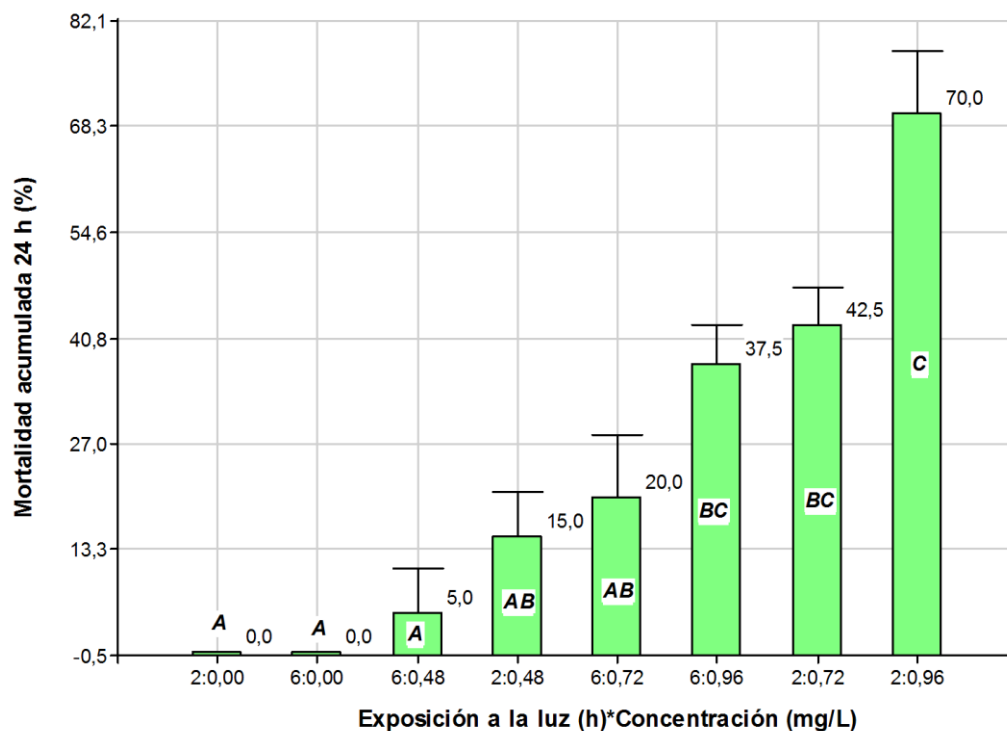


24 h: $H = 3,46$; $p = 0,0591$

48 h: $H = 3,99$; $p = 0,0441$

A, B: Categorías (rangos) asignados por la prueba estadística

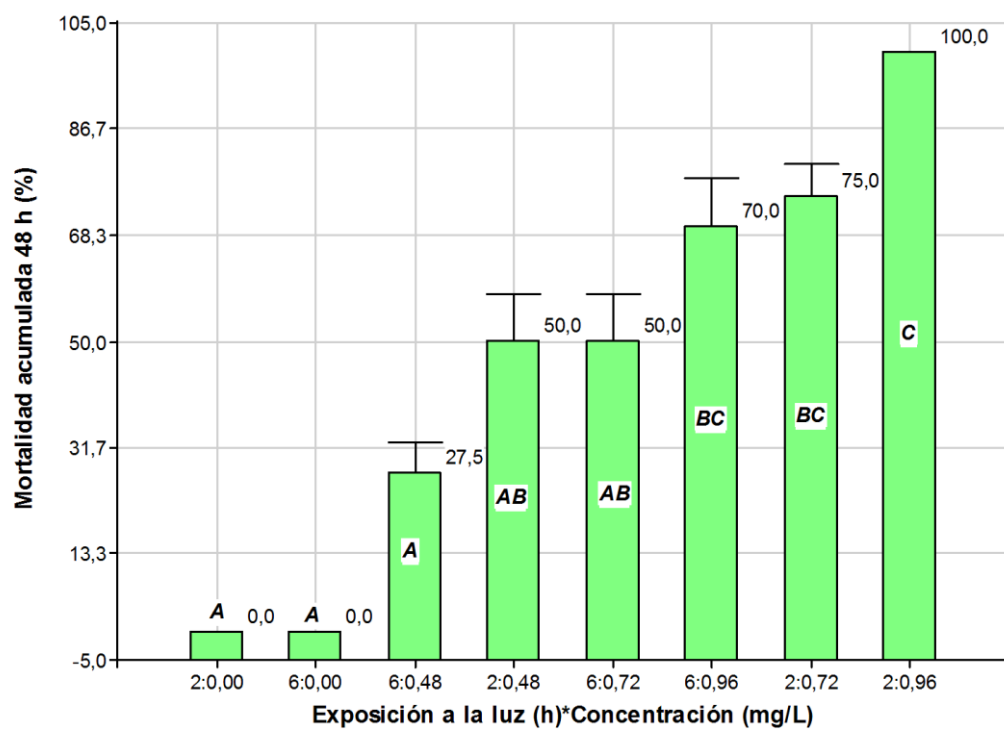
Figura 1. Porcentaje de mortalidad promedio y desviación típica generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos, sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* "trucha arco iris".



H = 0,24,7; p = 0,0006

A, B, C: Categorías (rangos) asignados por la prueba estadística

Figura 2. Porcentaje de mortalidad acumulada y desviación típica generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos (2 y 6 horas) según cuatro concentraciones crecientes, sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 24 horas de exposición.



H = 25,39; p = 0,0006

A, B, C: Categorías (rangos) asignados por la prueba estadística

Figura 3. Porcentaje de mortalidad promedio y desviación típica generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos (2 y 6 horas) según cuatro concentraciones crecientes, sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 48 horas de exposición.

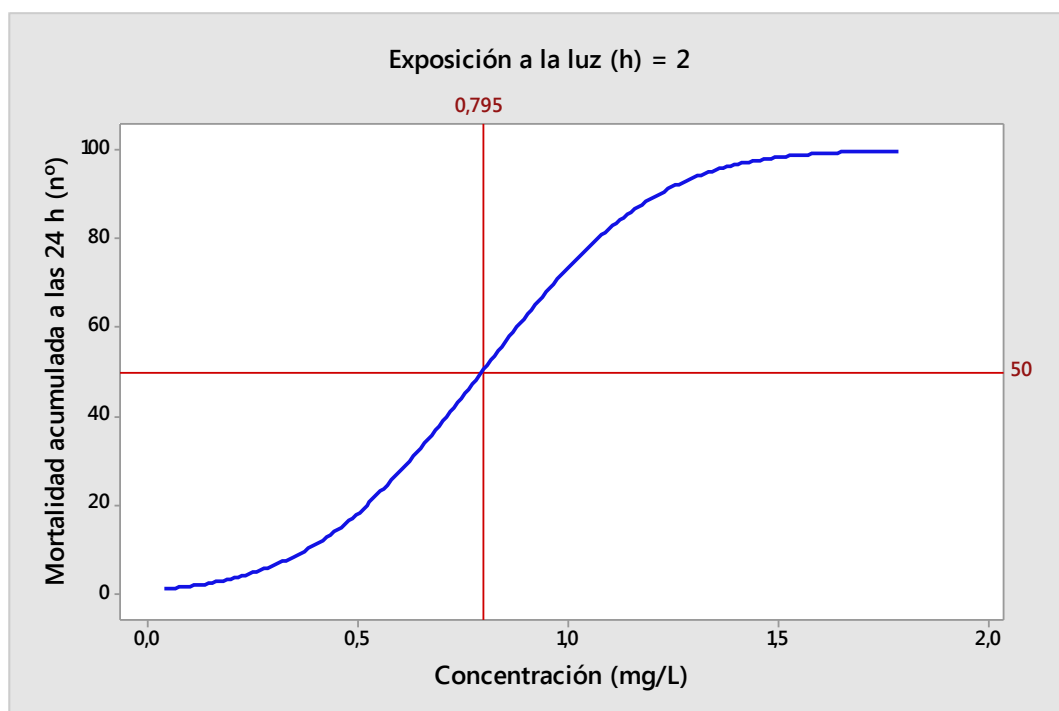


Figura 4. Tendencia de mortalidad acumulada teórica y concentración letal media (CL₅₀) calculada por el método Probit para Furadan expuesto a dos horas de luz solar sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 24 horas de exposición.

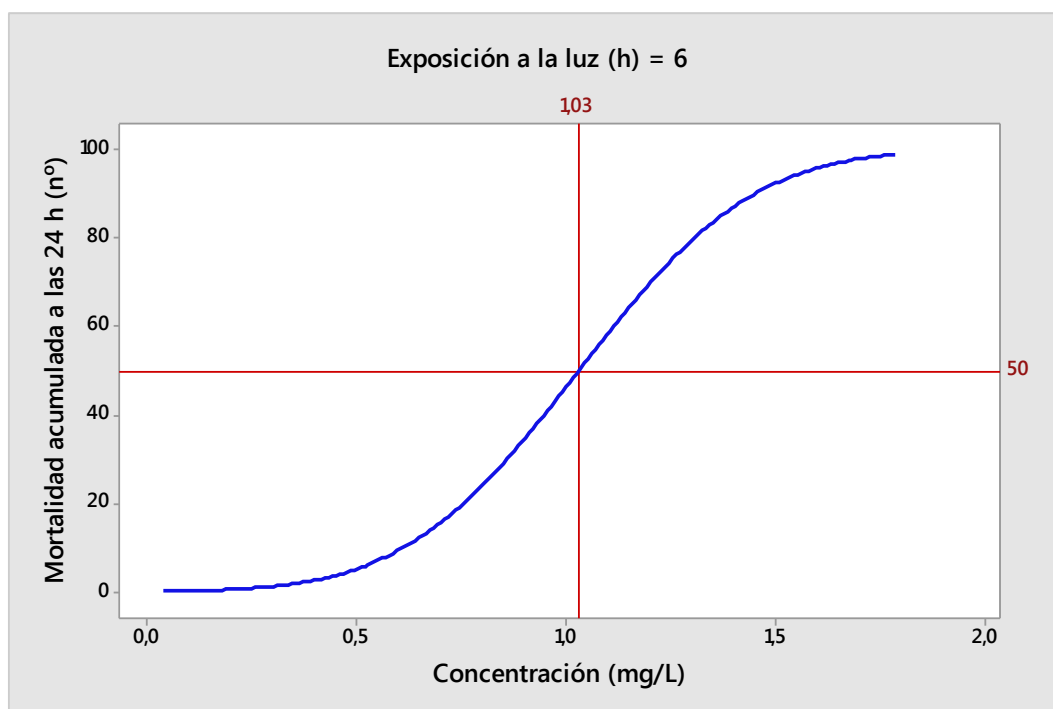


Figura 5. Tendencia de mortalidad acumulada teórica y concentración letal media (CL₅₀) calculada por el método Probit para Furadan expuesto a seis horas de luz solar sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 24 horas de exposición.

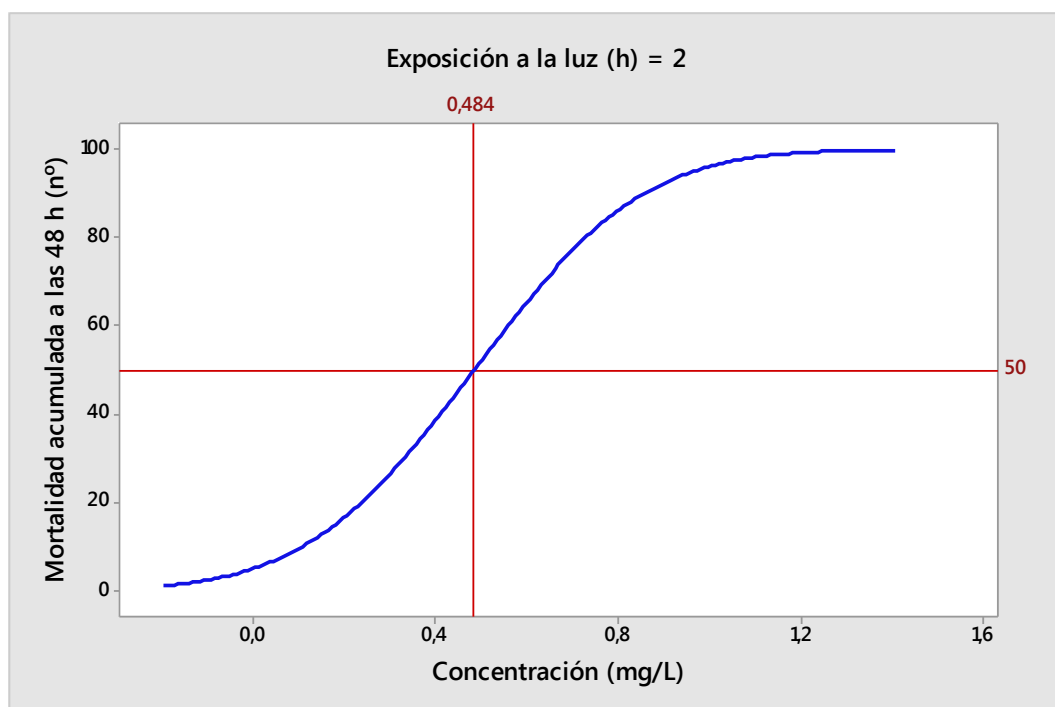


Figura 6. Tendencia de mortalidad acumulada teórica y concentración letal media (CL₅₀) calculada por el método Probit para Furadan expuesto a dos horas de luz solar sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 48 horas de exposición.

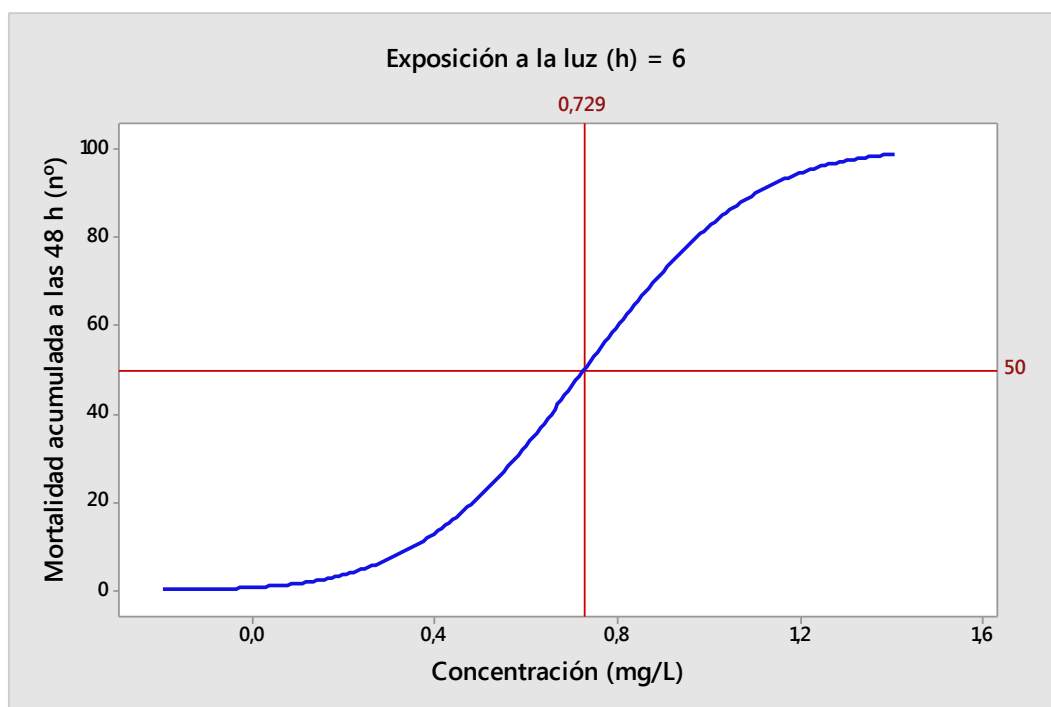


Figura 7. Porcentaje de mortalidad y concentración letal media (CL₅₀) calculada por el método Probit para Furan expuesto a seis horas de luz solar sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 48 horas de exposición.

V. DISCUSIÓN

En la Figura 1, se muestra el promedio y desviación estándar de la mortalidad de alevinos de trucha registrados a las 24 y 48 horas de iniciado el experimento, sometidos a medios con Furadan expuestos a dos y seis horas a la luz solar. En forma general se observa que las mortalidades se incrementan en los medios donde el Furadan fue expuesto a la luz en menor tiempo (dos horas), es así que en el experimento se registra mortalidades de 36,4% a las 24 horas de exposición y de 64,3% a las 48 horas, luego de iniciado el experimento, mientras que los medios con Furadan expuestos a la luz solar durante seis horas se tiene promedios de 17,9% y de 42,1% a las 24 y 48 horas respectivamente. Dicho efecto se debe a que el Furadan es afectado por los rayos solares, es así que cuanto mayor es el tiempo de exposición a dicho factor, el ingrediente activo sufre fotólisis de manera que es degradado, con la consecuente formación de otros compuestos cuya toxicidad es menor que el ingrediente activo carbofurano. Jiménez⁷, menciona que los procesos fotolíticos como mecanismos de degradación primaria en el ambiente presentan una contribución significativa a la degradación del carbofurano cuando este se encuentra a concentraciones relativamente altas; para el caso de las aguas de un río, ni la presencia de materia orgánica disuelta ni un valor pH neutro presentaron efecto sobre la degradación del carbofurano; no obstante, valores de pH básicos o ácidos tienden a aumentar la degradación del carbofurano, dicho resultados coinciden con lo hallado en la presente investigación, donde las mortalidades generadas en los alevinos de trucha, disminuyeron en el Furadan expuesto a seis horas de insolación solar, en comparación la mortalidad registrada en el Furadan expuesto a dos horas. Por otro lado, también es de notar que las mortalidades se incrementan cuanto mayor es el tiempo en la que los alevinos permanecen en las unidades experimentales, es decir las mortalidades son mayores a las 48 horas en comparación con 24

horas. Lo señalado se debe a que los organismos sufren mayores efectos negativos (toxicidad) cuanto mayor es el tiempo donde el tóxico causa efecto, tal como lo señala Zepp y Schlotzhauer.⁴¹ Es necesario mencionar que los datos obtenidos en la investigación, no muestran distribución normal, tal como se puede observar en el Anexo 1, en la que se realizó la prueba de Shapiro –Wilks, por lo que para comparar las mortalidades registrados a las 24 y 48 horas en los medios con dos y seis horas de exposición a la luz solar del Furadan, se empleó la prueba de Kruskal Wallis para comparar el porcentaje de mortalidad de alevinos durante las 24 horas, en la que no se halló significancia estadística ($p>0,05$), tal como se observa en el Anexo 2, por lo que interpretamos como que los porcentajes de mortalidad son semejantes entre los medios con Furadan expuestos a dos y seis horas a la luz solar; sin embargo el efecto tóxico es diferente a las 48 horas de iniciado el experimento, ya que la prueba de Kruskal Wallis, arroja un resultado significativo ($p<0,05$) tal como se observa en el Anexo 3, donde los medios con Furadan expuestos a dos horas a la luz solar, son los que generaron mayor mortalidad en comparación con el Furadan sometido a seis horas a la luz solar. En la Figura 2, se muestra los promedios y la desviación típica de las mortalidades, registradas en la combinación de las variables de exposición del Furadan a la luz solar (dos y seis horas) y de los niveles de la variable concentración del Furadan (0, 48, 72 y 96 mg/L) a las 24 horas de iniciado el experimento, en forma general se observa que el porcentaje de mortalidad de los alevinos de trucha se incrementa a medida que la exposición del Furadan a la luz solar es menor (dos horas) y en la medida que la concentración del Furadan se incrementa. Al realizar el test de Kruskal Wallis, se halló que las mortalidades son estadísticamente diferentes ($p<0,05$) en las diferentes tratamientos resultado de las combinaciones de los niveles de las variables consideradas en el trabajo de investigación, tal como se puede observar en el Anexo 4, los que al ser jerarquizadas en función al porcentaje de mortalidad, se observa que las soluciones con las concentraciones de 0 y 0,48 mg/L de Furadan expuestas a seis horas a la luz solar, son los que menores mortalidades generaron en los alevinos (0 y 5 %); mientras que la máxima mortalidad fue registrada en la solución de 0,96 mg/L expuesta a dos horas de luz solar, seguida de las combinaciones de mayores horas de exposición a la luz solar y menores concentraciones. Como se podrá observar existe una relación inversa entre las horas de exposición a luz solar del Furadan con la mortalidad generada en los alevinos de trucha, mientras que la relación es directa

con respecto a la concentración (mayor mortalidad a mayor concentración). Tal como se señaló anteriormente, los resultados hallados se deben por un lado, a que el Furadan al estar expuesto a un mayor tiempo a la luz solar, sufre fotólisis, tal como se explicó anteriormente; mientras que son mayores las mortalidades en mayores concentraciones del Furadan debido a que a mayor cantidad del Furadan mayor es la respuesta de toxicidad, donde se puede apreciar que los organismos afectados por dicho plaguicida muestran alteraciones sensoriales, descoordinación en el movimiento y depresión respiratoria, lo que finalmente conduce a la muerte en caso de persistir el efecto de dicho plaguicida, tal como lo menciona Hurtado³⁴. Por otro lado también es importante señalar que en los testigos (blancos) considerados en el experimento, no se registró mortalidad, por lo que la prueba de toxicidad cumple con los requisitos para ser procesada estadísticamente, sin introducir ninguna corrección.

En la Figura 3, se muestra los porcentajes de mortalidad promedio y su desviación típica de alevinos a las 48 horas de iniciado el experimento, registrado en los tratamientos producto de la combinación de los niveles de la variable tiempo de exposición de Furadan a la luz solar (dos y seis horas) y de los niveles de la concentración de Furadan. En forma general, tal como se describió en la Figura 2, se observa que las mayores mortalidades fueron registrados en los tratamientos producto de la combinación de los menores tiempos de exposición (dos horas) y las mayores concentraciones de Furadan (0,96 mg/L), mientras que las menores mortalidades fueron registrados en los mayores tiempos de exposición del Furadan a la luz solar y en las menores concentraciones. Lo descrito se explica con las consideraciones mencionadas de los resultados obtenidos a las 24 horas de iniciado el experimento. Es importante mencionar que los alevinos de trucha son especies sensibles a los cambios de su hábitat lo que ha determinado su uso como indicadores de cuerpos de agua como los ríos, ya que no soportan condiciones donde por ejemplo, existe presencia de sustancias tóxicas, ya que son intolerables a dichas condiciones conduciéndolo a la muerte.³⁵

En la Figura 4, se muestra la tendencia de la mortalidad acumulada de alevinos de trucha calculada mediante la técnica del Probit en los medios con Furadan expuestos a dos horas a la luz solar, y el valor de la concentración letal media (CL_{50}), a las 24 horas de iniciado el experimento. Como se puede observar, la mortalidad se incrementa a medida que la concentración del Furadán también se incrementa, siendo 0,795 mg/L el valor de la concentración letal media (CL_{50}), la

misma que se interpreta como que es la concentración calculada que causa mortalidad al 50% de los alevinos que fueron sometidos a dichas condiciones. Por otro lado, en el Anexo 7, se muestra los valores teóricos de las concentraciones del Furadan y las respectivas mortalidades calculadas a las dos horas de exposición solar, que pudieran causar a las 24 horas de exposición.

En la Figura 5, se muestra la tendencia de la mortalidad acumulada de alevinos de trucha calculada mediante la técnica del Probit en los medios con Furadan expuestos a seis horas a la luz solar y el valor de la concentración letal media (CL_{50}), a las 24 horas de iniciado el experimento. Al igual que el caso anterior se observa que la mortalidad se incrementa a medida que las concentraciones del Furadan se incrementan, siendo 1,03 mg/L el valor de la concentración letal media (CL_{50}), por lo que podemos afirmar que es la concentración de Furadan calculada que causa mortalidad al 50% de los alevinos que se hallan en medios donde el Furadan fue expuesto a seis horas de luz solar. En el Anexo 8, se muestra los valores teóricos de las concentraciones del Furadan y las respectivas mortalidades calculadas a las seis horas de exposición solar, que pudieran causar a las 24 horas de exposición.

En la Figura 6, se muestra la tendencia de la mortalidad acumulada de alevinos de trucha calculada mediante la técnica del Probit en los medios con Furadan expuestos a dos horas a la luz solar, y el valor de la concentración letal media (CL_{50}), a las 48 horas de iniciado el experimento. Resalta que la mortalidad se incrementa a medida que la concentración del Furadán se incrementa, por otro lado también se observa que la concentración letal media (CL_{50}) es de 0,484 mg/L, lo que quiere decir que es la concentración calculada que causa mortalidad al 50% de los alevinos de trucha que fueron sometidos a dichas condiciones. En el Anexo 9, se muestra los valores teóricos de las concentraciones del Furadan y las respectivas mortalidades calculadas a las dos horas de exposición solar, que pudieran causar a las 48 horas de exposición.

En la Figura 7, se muestra la tendencia de la mortalidad acumulada de alevinos de trucha calculada mediante la técnica del Probit en los medios con Furadan expuestos a seis horas a la luz solar y el valor de la concentración letal media (CL_{50}), a las 48 horas de iniciado el experimento. Al igual que los casos anteriores, se observa que la mortalidad acumulada se incrementa a medida que la concentración del Furadán también se incrementa, siendo 0,729 mg/L el valor de la concentración letal media (CL_{50}), es la concentración del Furadan que causa

mortalidad al 50% de los alevinos que fueron sometidos a Furadan expuesto a seis hora de luz a las 48 horas de iniciado el experimento. Por otro lado, en el Anexo 10, se muestra los valores teóricos de las concentraciones del Furadan y las respectivas mortalidades calculadas a las seis horas de exposición solar, que pudieran causar a las 48 horas de exposición.

En el Anexo 6, se observa los valores de las concentraciones letales media (CL_{50}) con sus intervalos de confianza para Furadan sometidos a la acción del Sol durante dos y seis horas, a las 24 y 48 horas de exposición, determinado sobre alevinos de “trucha arco iris”. De acuerdo a los valores hallados se aprecia que los valores de la concentración letal media del Furadan son superiores en los medios que fueron sometidos a las 6 horas de luz solar, tanto a las 24 y 48 horas de iniciado el experimento, es así que para las dos horas se exposición solar a las 24 horas se tiene un valor de 0,795 mg/L y para las 48 horas es de 1,030 mg/L; mientras que para las seis horas de exposición solar se registró valores de 0,484 y 0,729 mg/L para las 24 y 48 horas respectivamente. Los resultados descritos son congruentes con lo manifestado anteriormente, donde los medios con Furadan fue sometido a dos horas de exposición solar, origino mortalidades superiores en comparación a los medios con Furadan que fueron sometidos a seis horas de luz solar. Otro aspecto a resalta es que a medida que los alevinos son sometidos a mayores tiempos a la acción del Furadan, en este caso a 24 y 48 horas, los valores de la CL_{50} disminuyen, en base al cual se puede afirmar los efectos tóxicos (mortalidad) se incrementan en relación directa al tiempo a la que se hallan expuestos a la sustancia tóxica, tal como lo afirma Ramírez y Mendoza (2008)⁴², Herkovits (2003)⁴³

VI. CONCLUSIONES

1. La mortalidad de alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” causada por Furadan sometidos a la luz solar durante dos horas, es mayor ($p < 0,05$) que en aquellos medios con Furadan sometidos a la luz solar durante seis horas.
2. La mortalidad de alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” se incrementa en la medida que la concentración de Furadan también se incrementa, tanto en aquellos medios con Furadan expuestos a dos y seis horas a la luz solar. Por otro lado, la mortalidad es mayor ($p < 0,05$) donde está presente el plaguicida en mayores concentraciones en comparación con los medios donde su concentración es menor.
3. El valor de la concentración letal media es menor en el Furadan sometido a las dos horas de luz solar en comparación con aquel sometido a seis horas. Así mismo, el valor de la concentración letal media se incrementa cuanto menor es el tiempo de contacto con el plaguicida.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios toxicológicos con otros modelos biológicos como anfibios, insectos acuáticos y organismos que tienen como hábitat el medio acuático, con la finalidad de determinar con mayor amplitud el efecto de los plaguicidas empleados en la agricultura.
2. Realizar investigaciones en la cual se pruebe el efecto toxicológico agudo del Furadan sometidos a mayores tiempos a la acción solar directa, con la finalidad de determinar el tiempo en la que dicho plaguicida pierde su efecto toxicológico.
3. Probar el efecto toxicológico del Furadan sometido a diferentes gradientes de condiciones ambientales, como por ejemplo en medios con diferentes valores de pH, dureza total, conductividad, etc, de agua.
4. Realizar investigaciones en la que se determine e identifique los subproductos derivados de la fotólisis del Furadan, de modo que nos permita saber exactamente la naturaleza de dichos compuestos, así como de su posible toxicológico.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Iannacone, J. & Tejada, M. Empleo de la regeneración de la planaria de agua dulce *girardia festae* (Borelli, 1898) (tricladida: dugesiidae) para evaluar la toxicidad del carbofurano. *Neotropical Helminthol.* **1**, 7–14 (2007).
2. Benitez Campo, N., Vivas Zarate, D. H. & Rosedo Hernandez, E. D. Toxicidad de los principales plaguicidas utilizados en el municipio de Popayán, usando *Bacillus subtilis*. *Fac. Cienc. Agropecu.* **7**, 8 (2009).
3. Tobón Marulanda, F. Á., López Giraldo, L. A. & Paniagua Suárez, R. E. Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia. *Rev. Salud Pública* **12**, 300–307 (2010).
4. Iannacone, J., Alvaríño, L. & Mamani, N. Toxicity estimation for mixtures of Furadán 4F® and Monofos® on *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). *Ecotoxicol. Environ. Contam.* **6**, (2011).
5. Lopez Alvarez, B., Torres Palma, R. A. & Peñuela, G. Solar photocatalytical treatment of carbofuran at lab and pilot scale: Effect of classical parameters, evaluation of the toxicity and analysis of organic by-products. *J. Hazard. Mater.* **191**, 196–203 (2011).
6. Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I. & Gutiérrez, O. D. Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments. *Prod. Limpia* **7**, 52–73 (2012).
7. Cartagena Jimenez, C., Aguirre Giraldo, A. L., León Pérez, D. E. & Peñuela Mesa, G. A. Degradación fotolítica del carbofurano en aguas del río Ríonegro y en agua ultrapura bajo diferentes condiciones de pH. *Prod. Mas Limpia* **8**, 39–50 (2013).
8. Vallejo Vilca, N. Efecto toxicológico agudo del plaguicida Furadán sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* 'trucha arco iris'. Ayacucho, 2015. (Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2015).
9. Andrés Abellán, M. *La evaluación del impacto ambiental de proyectos y actividades agroforestales*. (Univ de Castilla La Mancha, 2006).
10. Sánchez Sánchez, H. *Código de Derecho Internacional Ambiental*. (Universidad del Rosario, 2008).
11. Cruz, M. & Alcalá, G. *La contaminación de suelos y aguas: su prevención con nuevas sustancias naturales*. (Universidad de Sevilla, 2007).
12. Bello Gutiérrez, J. & López de CerainSalsamendi, A. *Fundamentos de Ciencia Toxicológica*. (Ediciones Díaz de Santos, 2001).
13. Hill, J. W. & Kolb, D. K. *Química para el nuevo milenio*. (Pearson Educación, 1999).
14. Pauletti, M. *Manual de Precauciones en El Manejo de Plaguicidas*. (Bib. Orton IICA / CATIE, 1999).
15. Fernández Alés, R. & Leiva Morales, M. J. *Ecología para la agricultura*. (Mundi-Prensa, 2003).
16. Nebel, B. J. & Wright, R. T. *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. (Pearson Educación, 1999).
17. Botello, A. V., Rendon von Osten, J., Gord Bouchot, G. & Agraz Hernandez, C. *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. (Univ. J. Autónoma de Tabasco, 2005).
18. Cruz-Guzman, M. *La contaminación de suelos y aguas: su prevención con nuevas sustancias naturales*. (Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones, 2007).
19. Montoya, F. M. R., Gómez, P. A. M. & Tamayo, N. M. *Impacto generado por el manejo de agroquímicos: Microcuenca Chorro Hondo, Marinilla, Colombia (2011)*. (EAE, 2014).

20. Sánchez, L. Estudio de la fotodegradación de compuestos orgánicos mediante microextracción en fase sólida, cromatografía de gases y espectrometría de masas. (Univ Santiago de Compostela, 2007).
21. Mencías Rodríguez, E. & Mayero Franco, L. M. *Manual de toxicología básica*. (Ediciones Díaz de Santos, 2000).
22. Pinilla Agudelo, G. A. *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica*. (U. Jorge Tadeo Lozano, 1998).
23. Cojocarú, A. & Villegas, A. *Manejo seguro de plaguicidas: Manual para técnicos y aplicadores*. (CIAT, 1993).
24. Doll, J. *Recomendaciones básicas sobre el manejo de agroquímicos*. (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1980).
25. Ficha técnica del Carbofurano. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina (RAP-AL). (2008).
26. Rodríguez, B. E. S. *La contaminación ambiental y sus consecuencias Toxicológicas*. (Lulu.com, 2009).
27. Ascuasiati, A. A. *Plagas domésticas: Historia • Patologías • Plaguicidas • Control*. (Palibrio, 2012).
28. Capó, M. A. *Principios de Ecotoxicología*. (Editorial Tebar, 2007).
29. Repetto, M. *Toxicología Fundamental*. (Ediciones Díaz de Santos, 1997).
30. Maldonado, A. & Martínez, A. L. Impacto de las fumigaciones aéreas en las bananeras de Las Ramas, Salitre, Guayas. *Red Acción Ecológica* 56 (2007).
31. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Curso de autoinstrucción en diagnóstico, tratamiento y prevención de intoxicaciones agudas causadas por plaguicidas.
32. Córdova, D., Cadavid, S. & Ramos, J. *Inhibidoras de Colinesterasas en Toxicología*. (Editorial D. Cordova P., 1999).
33. Hurtado Clavijo, C. M. & Gutierrez de Salazar, M. Enfoque del paciente con intoxicación aguda por plaguicidas organosforados. *Rev. Fac. Med.* **53**, (2005).
34. Villanueva, J. *Toxicología y manejo de insecticidas*. (Universidad de Minnesota, 1994).
35. Henao, S. & Corey, G. *Plaguicidas inhibidores de la colinesterasa*. (Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud., 1991).
36. Dueñas, A., Castrodeza, J. & Lozano, R. *Carbamatos en intoxicaciones agudas en medicina de urgencias y cuidados críticos*. (Masson S.A., 1999).
37. Blanco, C. *La trucha: cría industrial*. (Mundi-Prensa, 1995).
38. Stevenson, J. P. *Manual de cría de la trucha*. (Acribia, 1985).
39. Ocampo, V. E. O. & Aguilera, X. *Biología de una especie introducida: La trucha Arcoiris (Oncorhynchus mykiss) en cinco lagunas de la Cordillera del Tunari (Cochabamba Bolivia)*. (EAE, 2012).
40. Andaluz, C. *Manual de derecho ambiental*. (Editorial Iustitia, 2013).
41. Zepp, R. G. & Schlotzhauer, P. F. Influence of algae on photolysis rates of chemicals in water. *Environ. Sci. Technol.* **17**, 462–468 (1983).
42. Ramírez, P. R. & Mendoza, A. M. *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo: la experiencia en México*. (Instituto Nacional de Ecología, 2008).
43. Herkovits, J., Pérez-Coll, C. & Monserrat, J. *Toxicología y química ambiental: contribuciones para un desarrollo sustentable*. (SETAC, 2003).

ANEXOS

Anexo 1.

Resultado de la prueba de Shapiro-Wilks (modificado) para determinar el tipo de distribución de los datos de mortalidad acumulada de alevinos *de Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” causada por Furan expuesto a la luz solar en dos tiempos a las 24 y 48 horas de exposición.

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Mortalidad acumulada 24 h	28	27,14	23,7	0,88	0,0077
Mortalidad acumulada 48 h	28	53,21	31,39	0,9	0,0347

Anexo 2.

Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para comparar el porcentaje de mortalidad de alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” acumulada, causada por Furadan expuesto a dos y seis horas a la luz solar a las 24 horas de exposición.

Variable	Exposición a la luz (h)	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Mortalidad acumulada 24 h	2	14	36,43	27,06	40	3,46	0,0591
Mortalidad acumulada 24 h	6	14	17,86	15,78	15		

Anexo 3.

Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para comparar el porcentaje de mortalidad de alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” acumulada, causada por Furadan expuesto a dos y seis horas a la luz solar a las 48 horas de exposición.

Variable	Exposición a la luz (h)	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Mortalidad acumulada 48 h	2	14	64,29	33,9	70	3,99	0,0441
Mortalidad acumulada 48 h	6	14	42,14	25,17	45		
Trat.	Ranks						
6	11,39			A			
2	17,61			B			

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 4.

Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para comparar el porcentaje de mortalidad promedio generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos (2 y 6 horas) según cuatro concentraciones, sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 24 horas de exposición.

Variable	Exposición a la luz (h)	Concentración (mg/L)	N	Medias	D.E.	gl	H	p
Mortalidad acumulada 24 h	2	0	2	0	0	7	24,7	0,0006
Mortalidad acumulada 24 h	2	0,48	4	15	5,77			
Mortalidad acumulada 24 h	2	0,72	4	42,5	5			
Mortalidad acumulada 24 h	2	0,96	4	70	8,16			
Mortalidad acumulada 24 h	6	0	2	0	0			
Mortalidad acumulada 24 h	6	0,48	4	5	5,77			
Mortalidad acumulada 24 h	6	0,72	4	20	8,16			
Mortalidad acumulada 24 h	6	0,96	4	37,5	5			

Trat.	Ranks				
02:00,0	3,5	A			
06:00,0	3,5	A			
06:00,5	6,25	A			
02:00,5	11,25	A		B	
06:00,7	13,13	A		B	
06:01,0	19,5			B	C
02:00,7	21,38			B	C
02:01,0	26,5				C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 5.

Resultado de la prueba de Kruskal Wallis para comparar el porcentaje de mortalidad promedio generado por Furadan expuesto a la luz solar directa en dos tiempos (2 y 6 horas) según cuatro concentraciones, sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* "trucha arco iris" a las 48 horas de exposición.

Variable	Exposición a la luz (h)	Concent. (mg/L)	N	Medias	D.E.	gl	H	p
Mortalidad acumulada 48 h	2	0	2	0	0	7	25,39	0,0006
Mortalidad acumulada 48 h	2	0,48	4	50	8,16			
Mortalidad acumulada 48 h	2	0,72	4	75	5,77			
Mortalidad acumulada 48 h	2	0,96	4	100	0			
Mortalidad acumulada 48 h	6	0	2	0	0			
Mortalidad acumulada 48 h	6	0,48	4	27,5	5			
Mortalidad acumulada 48 h	6	0,72	4	50	8,16			
Mortalidad acumulada 48 h	6	0,96	4	70	8,16			

Trat.	Ranks			
06:00,0	2,5	A		
02:00,0	2,5	A		
06:00,5	6,5	A		
06:00,7	12,63	A	B	
02:00,5	12,63	A	B	
06:01,0	19,5		B	C
02:00,7	21,25		B	C
02:01,0	26,5			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

Anexo 6.

Valores de Concentración Letal Media (CL₅₀) calculada y los intervalos de confianza a las 24 y 48 horas de exposición, en medios con Furadan sometidos de dos y seis horas de luz solar, sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris”.

Tratamientos (horas de luz solar)	Tiempo de exposición	CL ₅₀	Intervalo de Confianza (95%)	
			Inferior	Superior
2 horas	24 horas	0,795	0,717	0,886
	48 horas	0,484	0,395	0,561
6 horas	24 horas	1,030	0,932	1,173
	48 horas	0,729	0,658	0,801

CL₅₀: Concentración Letal Media.

Anexo 7

Percentiles (concentración letal en mg/L) y porcentaje de mortalidad causado por Furadan expuesto a dos horas de luz solar sobre alevinos de trucha *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” s a las 24 horas de iniciado el experimento, obtenidos mediante el análisis probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial (95%)	
			Inferior	Superior
1	0,0392947	0,111935	-0,266923	0,211722
2	0,127931	0,0994801	-0,14274	0,282007
3	0,184168	0,0917231	-0,0642403	0,326891
4	0,226473	0,0859847	-0,0053829	0,36085
5	0,260884	0,0813918	0,0423419	0,388625
6	0,290174	0,0775452	0,0828365	0,412392
7	0,315856	0,0742274	0,118231	0,433342
8	0,33885	0,0713063	0,149821	0,452202
9	0,359763	0,0686957	0,178457	0,469449
10	0,379013	0,066336	0,204728	0,485413
20	0,522058	0,0506667	0,396062	0,607918
30	0,625203	0,0427743	0,526757	0,703523
40	0,713336	0,0398439	0,630016	0,793629
50	0,795713	0,0410434	0,717687	0,886693
60	0,878089	0,0457599	0,797512	0,987601
70	0,966223	0,0536461	0,876734	1,10174
80	1,06937	0,0651881	0,964556	1,24022
90	1,21241	0,08344	1,08172	1,4369
91	1,23166	0,0860187	1,09724	1,46362
92	1,25258	0,0888441	1,11405	1,49269
93	1,27557	0,0919769	1,13248	1,52471
94	1,30125	0,0955049	1,153	1,56053
95	1,33054	0,0995622	1,17635	1,60145
96	1,36495	0,104369	1,20369	1,6496
97	1,40726	0,11033	1,2372	1,70891
98	1,46349	0,118329	1,2816	1,78789
99	1,55213	0,131072	1,35131	1,91264

Anexo 8.

Percentiles (concentración letal en mg/L) y porcentaje de mortalidad causado por Furadan expuesto a seis horas de luz solar sobre alevinos de trucha *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 24 horas de iniciado el experimento, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial (95%)	
			Inferior	Superior
1	0,273967	0,0906803	0,0307957	0,416467
2	0,362603	0,0792862	0,152839	0,488892
3	0,41884	0,0724232	0,229522	0,535592
4	0,461145	0,0675117	0,286689	0,571242
5	0,495556	0,0637145	0,332778	0,600652
6	0,524846	0,0606496	0,371657	0,626035
7	0,550528	0,0581089	0,405437	0,6486
8	0,573522	0,0559666	0,4354	0,669087
9	0,594435	0,0541399	0,46239	0,687979
10	0,613685	0,0525717	0,486991	0,705613
20	0,75673	0,0453284	0,660105	0,846339
30	0,859875	0,0461284	0,771456	0,961288
40	0,948009	0,0507778	0,857736	1,06837
50	1,03039	0,0576439	0,932867	1,17398
60	1,11276	0,0661789	1,00444	1,28314
70	1,2009	0,0765261	1,07847	1,40247
80	1,30404	0,0896576	1,16301	1,54423
90	1,44708	0,108975	1,27801	1,74307
91	1,46634	0,111641	1,29335	1,76997
92	1,48725	0,114552	1,30999	1,79921
93	1,51024	0,117768	1,32825	1,8314
94	1,53592	0,121378	1,34862	1,86738
95	1,56521	0,125516	1,3718	1,90846
96	1,59963	0,130403	1,39898	1,95677
97	1,64193	0,136445	1,43233	2,01624
98	1,69817	0,144527	1,47657	2,09539
99	1,7868	0,157362	1,5461	2,22033

Anexo 9.

Percentiles (concentración letal en mg/L) y porcentaje de mortalidad causado por Furadan expuesto a dos horas de luz solar sobre alevinos de trucha *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 48 horas de iniciado el experimento, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial (95%)	
			Inferior	Superior
1	-0,193945	0,102872	-0,453254	-0,0279544
2	-0,114412	0,0940706	-0,350703	0,0379124
3	-0,0639516	0,0885685	-0,2858	0,0798655
4	-0,0259918	0,0844805	-0,237078	0,111527
5	0,0048855	0,0811926	-0,197521	0,137355
6	0,031167	0,078424	-0,163912	0,159399
7	0,0542107	0,0760215	-0,134493	0,178778
8	0,0748436	0,0738923	-0,108195	0,196172
9	0,0936083	0,0719754	-0,0843183	0,212031
10	0,110881	0,0702287	-0,0623752	0,226666
20	0,239234	0,057936	0,0992958	0,336793
30	0,331785	0,0501605	0,213657	0,418418
40	0,410867	0,0446555	0,309028	0,49051
50	0,484783	0,0408624	0,395345	0,560717
60	0,558698	0,0387726	0,478061	0,634525
70	0,63778	0,038732	0,561879	0,718169
80	0,730331	0,0415466	0,653876	0,822158
90	0,858684	0,0494909	0,77295	0,974884
91	0,875957	0,0508236	0,788426	0,995984
92	0,894722	0,0523264	0,805126	1,01902
93	0,915355	0,0540393	0,823365	1,04447
94	0,938398	0,0560204	0,843596	1,07304
95	0,96468	0,0583583	0,866508	1,10578
96	0,995557	0,0611995	0,893236	1,14444
97	1,03352	0,0648132	0,92585	1,19221
98	1,08398	0,0697896	0,968856	1,25606
99	1,16351	0,0779474	1,03601	1,35733

Anexo 10.

Percentiles (concentración letal en mg/L) y porcentaje de mortalidad causado por Furadan expuesto a seis horas de luz solar sobre alevinos de trucha *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” a las 48 horas de iniciado el experimento, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial (95%)	
			Inferior	Superior
1	0,0503405	0,0871801	-0,168734	0,191448
2	0,129873	0,0785317	-0,0664871	0,257619
3	0,180334	0,0731627	-0,0018498	0,299837
4	0,218294	0,0691999	0,0466224	0,331748
5	0,249171	0,0660337	0,085936	0,35782
6	0,275453	0,0633855	0,119304	0,380106
7	0,298496	0,0611036	0,148481	0,399726
8	0,319129	0,0590959	0,174534	0,417365
9	0,337894	0,0573021	0,198163	0,433472
10	0,355167	0,0556807	0,219854	0,448359
20	0,48352	0,0448249	0,3786	0,561411
30	0,576071	0,0389626	0,489007	0,64699
40	0,655153	0,0359804	0,579086	0,724375
50	0,729068	0,0353438	0,658706	0,801278
60	0,802984	0,0369017	0,733645	0,882862
70	0,882066	0,040707	0,809292	0,974679
80	0,974617	0,0472474	0,893461	1,0865
90	1,10297	0,0586514	1,00539	1,24636
91	1,12024	0,060323	1,02018	1,26815
92	1,13901	0,0621667	1,03619	1,29188
93	1,15964	0,0642244	1,05372	1,31804
94	1,18268	0,0665566	1,07324	1,34731
95	1,20897	0,0692559	1,09543	1,38079
96	1,23984	0,0724748	1,12139	1,42021
97	1,2778	0,0764934	1,15319	1,46879
98	1,32826	0,081924	1,19529	1,53355
99	1,4078	0,0906472	1,26131	1,63594

Anexo 11.

Disposición y preparación de las unidades de experimentación con la solución de la Furadan a diferentes tiempos de radiación solar directa.



Anexo 12.

Preparación de las unidades experimentales, constituidas por un recipiente con la respectiva concentración y los alevinos de *Oncorhynchus mykiss*.



Anexo 13

Vista panorámica de las unidades experimentales con las diferentes concentraciones del Furadan expuestos a dos tiempos de radiación solar directa, sobre alevinos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris”



Anexo 14.

Vista del envase del pesticida agrícola Furadan 4F



Anexo 16.

Matriz de consistencia

TÍTULO: Efecto toxicológico agudo de Furdán expuesto a diferentes tiempos de radiación solar directa, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris”					
AUTOR: Auqui Callañaupa, Katty Sandra			ASESOR: Carrasco Badajoz, Carlos Emilio		
PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es la toxicidad aguda del agroquímico Furdán 4F expuesto a la luz solar directa en dos tiempos y tres concentraciones, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris”?	OBJETIVO GENERAL: Evaluar el efecto toxicológico agudo del agroquímico Furdán 4F expuesto a la luz solar directa en dos tiempos y en tres concentraciones, sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris”. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: a. Determinar el porcentaje de mortalidad causado por Furdán 4F sometido a dos tiempos de exposición solar (2 y 6 horas) sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris”. b. Determinar el porcentaje de mortalidad causado por tres concentraciones de Furdán 4F (0,48; 0,72 y 0,96 mg/L) sometido a dos tiempos de exposición (2 y 6 horas) sobre alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> “trucha arco iris” expuestos a 24 y 48 horas. c. Determinar la concentración letal media (CL₅₀) de Furdán 4F sometido a dos tiempos de exposición solar (2 y 6 horas).	Contaminación de los ecosistemas acuáticos Contaminación del agua por productos químicos. Mecanismos de degradación y transporte de los agroquímicos Fotodegradación de un agroquímico Persistencia de los agroquímicos Toxicidad en ecosistemas acuáticos Efecto de la contaminación sobre los organismos acuáticos Bioindicadores Agroquímicos Bioensayos Furdán La “trucha arco iris” <i>Oncorhynchus mykiss</i>	A mayor tiempo de exposición a la luz solar del Furdán 4F, menor será el porcentaje de mortalidad que genere, mientras que a mayor concentración mayor es la mortalidad.	VARIABLE INDEPENDIENTE a. Tiempo de exposición de Furdán 4F a la luz solar Indicador: Horas (2 y 6 horas) b. Concentración de Furdán 4F Indicador: Concentración (0,48; 0,72 y 0,96 mg/L) VARIABLE DEPENDIENTE a. Toxicidad aguda Indicadores: Mortalidad (%de mortalidad de alevinos de <i>Oncorhynchus mykiss</i>). Concentración letal media (CL₅₀), para las 2 y 6 horas de exposición solar (mg/L)	Tipo de investigación: Autofinanciada Nivel de investigación: Experimental básica Diseño: Experimental Muestreo: Aleatorio Técnicas: Observación Determinación Instrumentos: Observación