

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**



**EFECTO TOXICOLÓGICO AGUDO DEL MERCURIO Y
PLOMO SOBRE *LACTUCA SATIVA* (lechuga), *ALLIUM CEPA*
(cebolla), *RAPHANUS SATIVUS* (rábano) Y *BETA VULGARIS*
(betarraga), AYACUCHO 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO
EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE
PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**

PRESENTADO POR:

Bach. HERLINDA NUÑEZ ROMERO

ASESOR:

Maestro: CIPRIANO MENDOZA ROJAS

AYACUCHO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

Con mucho amor a mi querido esposo Rebelino, por su comprensión y apoyo durante los estudios de Posgrado.

Con mucho cariño a mi querida hija Linda Milagros, por ser la razón de mí existir.

A mis querido padres Margarita y Leónidas, a quienes le debo la vida y su apoyo incondicional.

A mis queridos hermanos Cristina, Ricardo, Venancio, Flora, Edgar, Leoncio, Nélica y Nilthon.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, pues bajo su manto protector, formé mi profesión y cada día de vida que pasa, espero ser merecedor del mismo.

A la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Minas, Geología y Civil y a toda su plana docente de Maestros en la mención Gerencia de Proyectos y Medio Ambiente, por ser parte de la profesión que amo y por compartir sus conocimientos en mis estudios de posgrado.

A mi asesor, Mg. Cipriano Mendoza Rojas, por sus sabias orientaciones, las cuales se han materializado en el presente estudio de investigación.

Al Dr. Carlos Carrasco Badajoz y al Mg. Rebelino Acuña Martínez por el desprendimiento demostrado al compartir sus conocimientos para realizar el presente estudio.

Al Laboratorio de Taxonomía Vegetal y Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNSCH por abrir sus puertas a la investigación.

A todas mis amistades, cuyos consejos y empujes sirvieron de aliento para culminar este trabajo.

CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 EL PROBLEMA CIENTÍFICO	1
1.1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.2. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1.3. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN	3
1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	4
1.3 OBJETIVOS	5
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES	6
2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	11
2.2.1. CONTAMINACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUATICOS CONTINENTALES.....	11
2.2.2. BIOINDICADORES	12
2.2.3. SUELOS CONTAMINADOS	12
2.2.4. TOXICIDAD	13
2.2.5. CONCENTRACIÓN DE INHIBICIÓN MEDIA (CE ₅₀ -192)	13
2.2.6. EFECTO ADVERSO NO OBSERVABLE.....	13
2.2.7. METALES PESADOS	14
2.2.8. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS: PLOMO Y MERCURIO	14
2.2.9. BIOENSAYOS	18
2.2.10. ORGANISMOS DE PRUEBA EN LOS BIOENSAYOS.....	18
2.3 MARCO LEGAL	23
2.3.1. LEY GENERAL DEL AMBIENTE (LEY N° 28611).....	25
2.3.2. LEY DE RECURSOS HÍDRICOS (LEY N° 29338).....	27
2.3.3. ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA (DECRETO SUPREMO 004-2017-MINAM).....	28
2.4 MARCO CONCEPTUAL.....	30

2.4.1.	TOXICIDAD	30
2.4.2.	METALES PESADOS	30
2.4.3.	CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL ₅₀)	30
2.4.4.	TIEMPO DE EXPOSICIÓN.....	31
2.4.5.	RIESGO AMBIENTAL	31
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1	UBICACIÓN DEL ESTUDIO	32
3.1.1.	UBICACIÓN POLÍTICA	32
3.1.2.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	32
3.1.3.	ÁREA DE ESTUDIO	33
3.2	TIPO DE ESTUDIO.....	33
3.3	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.4	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.5	POBLACIÓN DE ESTUDIO	34
3.6	MUESTRA.....	34
3.7	CANTIDAD DE MUESTRA.....	34
3.8	MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	34
3.9	PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES PARA DETERMINAR LAS CONCENTRACIONES DE LOS DOS METALES PESADOS.	36
3.10	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	37
IV.	RESULTADOS.....	38
V.	DISCUSIONES	66
VI.	CONCLUSIONES.....	85
VII.	RECOMENDACIONES.....	86
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
IX.	ANEXOS.....	93

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Disposición de las placas de Petri con diferentes concentraciones de metales pesados para las semillas de <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), <i>Lactuca sativa</i> (lechuga) y <i>Raphanus sativus</i> (rábano).....	37
Tabla 2. Índice de Toxicidad del nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en la germinación de las semillas de <i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i> , sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes, Ayacucho 2021.	44
Tabla 3. Índice de Toxicidad del cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en la germinación de las semillas de <i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i> , sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes, Ayacucho 2021.	45
Tabla 4. Percentiles (concentración letal media en g/L) de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en semillas de <i>Allium cepa</i> (cebolla) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.....	48
Tabla 5. Percentiles (concentración letal media en g/L) de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en semillas de <i>Allium cepa</i> (cebolla) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.....	50
Tabla 6. Percentiles (concentración letal media en g/L) de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en semillas de <i>Beta vulgaris</i> (betarraga) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.....	52
Tabla 7. Percentiles (concentración letal media en g/L) de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en semillas de <i>Beta vulgaris</i> (betarraga) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.....	54
Tabla 8. Percentiles (concentración letal media en g/L) de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en semillas de <i>Raphanus sativus</i> (rábano) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.....	56
Tabla 9. Percentiles (concentración letal media en g/L) de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en semillas de <i>Raphanus sativus</i> (rábano) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.....	58
Tabla 10. Percentiles (concentración letal media en g/L) de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en semillas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.....	60
Tabla 11. Percentiles (concentración letal media en g/L) de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en semillas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.....	62
Tabla 12. Valores de la Concentración Letal Media (CL_{50}) y los intervalos de confianza a las 192 horas de exposición para los metales pesados: nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y cloruro de mercurio ($HgCl_2$), en <i>Allium cepa</i> . Ayacucho, 2021.	64

Tabla 13. Valores de la Concentración Letal Media (CL ₅₀) y los intervalos de confianza a las 192 horas de exposición para los metales pesados: nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) y cloruro de mercurio (HgCl ₂), en <i>Beta vulgaris</i> . Ayacucho, 2021.....	64
Tabla 14. Valores de la Concentración Letal Media (CL ₅₀) y los intervalos de confianza a las 192 horas de exposición para los metales pesados: nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) y cloruro de mercurio (HgCl ₂), en <i>Raphanus sativus</i> . Ayacucho, 2021.....	65
Tabla 15. Valores de la Concentración Letal Media (CL ₅₀) y los intervalos de confianza a las 192 horas de exposición para los metales pesados: nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) y cloruro de mercurio (HgCl ₂), en <i>Lactuca sativa</i> . Ayacucho, 2021.	65

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de los Laboratorios de la FCB “Los Módulos”	33
Figura 2. Efecto Toxicológico agudo medido como semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), sometidos a la acción de cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$), Ayacucho 2021.....	38
Figura 3. Efecto Toxicológico agudo medido como semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$), Ayacucho 2021.....	38
Figura 4. Porcentaje de semillas no germinadas de las cuatro especies (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	39
Figura 5. Porcentaje de semillas no germinadas de las cuatro especies (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	39
Figura 6. Porcentaje de semillas no germinadas de <i>Allium cepa</i> , sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	40
Figura 7. Porcentaje de semillas no germinadas de <i>Beta vulgaris</i> , sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	40
Figura 8. Porcentaje de semillas no germinadas de <i>Raphanus sativus</i> sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	41
Figura 9. Porcentaje de semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> , sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	41
Figura 10. Porcentaje de semillas no germinadas de <i>Allium cepa</i> , sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	42
Figura 11. Porcentaje de semillas no germinadas de <i>Beta vulgaris</i> , sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	42
Figura 12. Porcentaje de semillas no germinadas de <i>Raphanus sativus</i> , sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	43
Figura 13. Porcentaje de semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> , sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.....	43
Figura 14. Promedio del tamaño de la radícula en (mm) de las cuatro especies (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a las cinco concentraciones crecientes de $HgCl_2$ (mg/L), Ayacucho 2021.....	46
Figura 15. Promedio del tamaño de la radícula en (mm) de las cuatro especies (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de $Pb(NO_3)_2$ en (mg/L), Ayacucho 2021...	47

Figura 16. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de <i>Allium cepa</i> (cebolla) en función de las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.....	48
Figura 17. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de <i>Allium cepa</i> (cebolla) en función de las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.....	50
Figura 18. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de <i>Beta vulgaris</i> (betarraga) en función de las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.....	52
Figura 19. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de <i>Beta vulgaris</i> (betarraga) en función de las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.....	54
Figura 20. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de <i>Raphanus sativus</i> (rábano) en función de las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.....	56
Figura 21. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de <i>Raphanus sativus</i> (rábano) en función de las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.....	58
Figura 22. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga) en función de las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.....	60
Figura 23. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga) en función de las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.....	62

CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo 1. Determinación del tipo de distribución de los datos de semillas no germinadas de las cuatro especies (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>) a través de la prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov).....	94
Anexo 2. Determinación del tipo de Distribución de los datos del tamaño de la radícula de las cuatro especies (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>) a través de la prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov).....	95
Anexo 3. Cuadro de comparación del porcentaje de semillas no germinadas de las cuatro especies: <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> , <i>Allium cepa</i> y <i>Lactuca sativa</i> , con los tratamientos de cloruro de mercurio (HgCl ₂) respectivamente.....	96
Anexo 4. Cuadro de comparación del porcentaje de semillas no germinadas de las cuatro especies: <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> , <i>Allium cepa</i> y <i>Lactuca sativa</i> , con los tratamientos de nitrato de plomo Pb(NO ₃) ₂ respectivamente.	97
Anexo 5. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Allium cepa</i> , sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl ₂) registrados a las 192 horas de exposición.....	98
Anexo 6. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Beta vulgaris</i> , sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl ₂) registrados a las 192 horas de exposición.....	99
Anexo 7. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Raphanus sativus</i> , sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl ₂) registrados a las 192 horas de exposición.....	100
Anexo 8. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> , sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl ₂) registrados a las 192 horas de exposición.....	101
Anexo 9. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Allium cepa</i> , sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) registrados a las 192 horas de exposición.....	102
Anexo 10. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Beta vulgaris</i> , sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) registrados a las 192 horas de exposición.....	103
Anexo 11. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Raphanus sativus</i> , sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) registrados a las 192 horas de exposición.....	104
Anexo 12. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> , sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) registrados a las 192 horas de exposición.....	105

Anexo 13. Cuadro de Índice de Toxicidad de las cuatro especies (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>) sometidas a las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl ₂) y nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) por 192 horas de exposición.	106
Anexo 14. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el tamaño de la radícula en (mm) de las cuatro variedades (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>), sometidos a cinco concentraciones crecientes de Cloruro de mercurio (HgCl ₂) registrados a las 192 horas de exposición.	108
Anexo 15. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el tamaño de la radícula en (mm) de las cuatro variedades (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>), sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo Pb(NO ₃) ₂ y registrados a las 192 horas de exposición.	109
Anexo 16. Cuadro comparativo del tamaño radicular (mm) de las 4 especies (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>), con las 5 concentraciones crecientes de nitrato de plomo Pb(NO ₃) ₂ , registrados a las 192 horas de exposición.	110
Anexo 17. Tamaño de la longitud radicular de <i>Allium cepa</i> (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) en mg/L, Ayacucho 2021.	112
Anexo 18. Tamaño de la longitud radicular de <i>Beta vulgaris</i> (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) en mg/L, Ayacucho 2021.	114
Anexo 19. Tamaño de la longitud radicular de <i>Raphanus sativus</i> (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) en mg/L, Ayacucho 2021.	116
Anexo 20. Tamaño de la longitud radicular de <i>Lactuca sativa</i> (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂) en mg/L, Ayacucho 2021.	118
Anexo 21. Cuadro comparativo del tamaño radicular (mm) de las 4 especies (<i>Allium cepa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Raphanus sativus</i> y <i>Lactuca sativa</i>), con las 5 concentraciones crecientes de cloruro de mercurio HgCl ₂ , registrados a las 192 horas de exposición.	120
Anexo 22. Tamaño de la longitud radicular de <i>Allium cepa</i> (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl ₂) en mg/L, Ayacucho 2021.	122
Anexo 23. Tamaño de la longitud radicular de <i>Beta vulgaris</i> (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl ₂) en mg/L, Ayacucho 2021.	124

Anexo 24. Tamaño de la radícula de <i>Raphanus sativus</i> (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl ₂) en mg/L, Ayacucho 2021.....	126
Anexo 25. Tamaño de la longitud radicular de <i>Lactuca sativa</i> (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl ₂) en mg/L, Ayacucho 2021.....	128
Anexo 26. Secuencias fotográficas	130

RESUMEN

La contaminación de los recursos naturales (agua, suelo y aire), por metales pesados, ha generado uno de los problemas globales más severos, comprometiendo la seguridad alimentaria y la salud pública a todo nivel.

Las hortalizas como la lechuga, rábano, cebolla y betarraga pueden concentrar metales pesados afectando en su desarrollo vegetativo e indirectamente al ser humano. El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto toxicológico agudo de metales pesados (mercurio y plomo) sobre *Lactuca sativa* “lechuga”, *Allium cepa* “cebolla”, *Raphanus sativus* “rábano” y *Beta vulgaris* “betarraga”. El estudio experimental se realizó en el Laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNSCH, teniendo como unidades muestrales placas de Petri (para cada especie con 20 semillas), con 5 concentraciones crecientes y cinco repeticiones para cada concentración del metal pesado, para los cuales se utilizó 20 semillas por especie y luego de 192 horas (8 días), se determinó la cantidad de semillas que no logaron germinar en comparación con el blanco. Se realizó la prueba de Kruskal-Wallis hallándose significancia estadística ($p < 0,05$), siendo el más tóxico para las 4 especies de semillas el cloruro de mercurio (HgCl_2), seguido por el nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$). El más sensible de los modelos biológicos fue las semillas de *Raphanus sativus* y el más resistente fue *Lactuca sativa*. Los valores hallados para la concentración de Inhibición media (CL_{50}) en los dos metales pesados mostraron valores mayores a los indicados por Estándares de Calidad Ambiental (ECA). La secuencia en orden ascendente para la concentración de inhibición media (CL_{50} en mg L^{-1}) del crecimiento radicular de las semillas a 192 horas, fue – en la mayoría de los casos – el mercurio seguido por el plomo. Por otro lado, la inhibición en las semillas de la lechuga, cebolla, betarraga y rábano se incrementan a medida que las concentraciones de los metales pesados y el tiempo de exposición se incrementan.

Palabras clave: *Lactuca sativa*, *Allium cepa*, *Raphanus sativus*, *Beta vulgaris*, plomo, mercurio, concentración de Inhibición media (CL_{50})

SUMMARY

The contamination of natural resources (water, soil and air) by heavy metals has generated one of the most severe global problems, compromising food safety and public health at all levels.

Vegetables such as lettuce, radish, onion and beetroot can concentrate heavy metals, affecting their vegetative development and indirectly affecting humans. The objective of this research work was to evaluate the acute toxicological effect of heavy metals (mercury and lead) on *Lactuca sativa* "lettuce", *Allium cepa* "onion", *Raphanus sativus* "radish" and *Beta vulgaris* "beetroot". The experimental study was carried out in the Botany Laboratory of the Faculty of Biological Sciences of the UNSCH, having as sample units Petri dishes (for each species with 20 seeds), with 5 increasing concentrations and five repetitions for each concentration of the heavy metal, for which 20 seeds per species were used and after 192 hours (8 days), the number of seeds that failed to germinate compared to the blank was determined. The Kruskal-Wallis test was performed, finding statistical significance ($p < 0.05$), with mercury chloride (HgCl_2) being the most toxic for the 4 seed species, followed by lead nitrate ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$). The most sensitive of the biological models was the seeds of *Raphanus sativus* and the most resistant was *Lactuca sativa*. The values found for the mean inhibition concentration (LC_{50}) in the two heavy metals showed higher values than those indicated by Environmental Quality Standards (ECA). The sequence in ascending order for the mean inhibition concentration (LC_{50} in mg L^{-1}) of seed root growth at 192 hours, was – in most cases – mercury followed by lead. On the other hand, the inhibition in lettuce, onion, beetroot and radish seeds increases as the concentrations of heavy metals and the exposure time increase.

Keywords: *Lactuca sativa*, *Allium cepa*, *Raphanus sativus*, *Beta vulgaris*, lead, mercury, mean inhibition concentration (CL_{50})

I. INTRODUCCIÓN

En gran parte del mundo el ecosistema acuático viene siendo mal empleado, generando la contaminación de estos. Una vez contaminado el cuerpo de agua disminuye su valor ecológico para ser empleado por el hombre. Al incorporarse estos materiales dañinos a los ecosistemas acuáticos, causa alteraciones en sus características fisicoquímicas naturales, lo que determina que la biodiversidad se vea afectada gravemente (FAO, 1993).

Los ecosistemas acuáticos en el Perú están sufriendo daños irreversibles debido a que se producen ingresos de sedimentos y materiales que contaminan a los cauces y cuerpos acuáticos, causando modificación temporal o permanente del balance hídrico local y/o regional. Las consecuencias de estos impactos pueden causar una degradación o pérdida de los ecosistemas, así mismo un impacto irreversible en la biodiversidad acuática.

La actividad agrícola libera diversos tipos de contaminantes al ambiente, los cuales afectan ecosistemas acuáticos; el agua, en su paso por las explotaciones agrícolas.

Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente. El tratamiento de relaves es una operación clave en la recuperación de agua para evitar filtraciones contaminando aguas subterráneas, pues en la actualidad su almacenamiento es la única opción sostenible.

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Botánica y Taxonomía Vegetal de la Facultad de Ciencias Biológicas, de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, dónde se pretende determinar el efecto toxicológico de metales pesados (plomo y mercurio) a diferentes concentraciones crecientes en la germinación de las semillas de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga).

1.1 EL PROBLEMA CIENTÍFICO.

1.1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Los ecosistemas acuáticos en el Perú están sufriendo daños irreversibles debido a que se producen ingresos de sedimentos y materiales que contaminan a los cauces y cuerpos de ecosistemas acuáticos, porque en esta se liberan contaminantes, generando la modificación directa temporal o permanente del balance hídrico local y/o regional. Las

consecuencias de estos impactos pueden causar una degradación o pérdida de los ecosistemas, así mismo un impacto irreversible en la biodiversidad acuática.

Al incorporarse estas aguas (relaves) a todos los ecosistemas, en particular a los ecosistemas acuáticos, causa alteraciones en sus características fisicoquímicas naturales, lo que determina que la biodiversidad se vea afectada gravemente (FAO, 1993).

En el Perú se ha propuesto determinar la ecotoxicidad de los metales pesados utilizando bioensayos simples y prácticos para la catalogación toxicológica de muestras ambientales contaminadas con plomo, cadmio y así proponer alternativas a la biorremediación.

1.1.2. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

Los ecosistemas acuáticos están siendo empleados como lugares en los cuales se consideran como el último ciclo de los residuos, es decir como botaderos finales, en el cual se disponen materiales de residuos que no han de ser reutilizados, generando así una contaminación y por ende una alteración en el ecosistema.

Determinar el efecto negativo, desde el punto de vista de la protección del ambiente, implica la realización de estudios ecotoxicológicos, con la finalidad de determinar los efectos de concentraciones crecientes de compuestos, en este caso de metales pesados, a partir del cual establecer herramientas de control ambiental en las fuentes de agua, sin causar daño alguno a los organismos.

Las sales, solubles en el agua, de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio, son muy tóxicos y fácilmente acumulables por los organismos que los absorben, los cuales, a su vez, son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones.

En el hombre, los alimentos contaminados por metales pesados, provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta pueden también causar la muerte (J. & Iannacone & Alvariño, 2005).

Teniendo como antecedente la información de primera fuente, de los productores del valle de Muyurina, Pongora, Chacco y Santo Domingo del distrito de Jesús Nazareno,

mencionan que las semillas que utilizan para la producción de las hortalizas al pasar el tiempo desde hace 10 años atrás no logran germinar en su totalidad y el cual viene afectando en su economía. Es de conocimiento que estos productores vienen realizando el riego de sus hortalizas con aguas del PTAR- Totorilla, lugar donde existe gran cantidad de almacenamiento de metales pesados, los cuales podrían estar afectando en la germinación de las hortalizas.

Por lo mismo, se pretende probar dos metales pesados (mercurio y plomo) preparadas como compuestos, utilizando el agua potable decolorada como medio de dilución, en concentraciones crecientes como agentes de toxicidad aguda en el proceso de germinación de las semillas de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), a nivel de laboratorio.

1.1.3. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

La contaminación por metales pesados, en la actualidad, es uno de los principales problemas debido a los impactos negativos que causan al agua, suelo, aire, fauna, flora y la salud humana.

En los últimos decenios, el medio acuático se ha visto contaminado por descargas provenientes de la agricultura, residuos industriales y/o mineros y, de origen urbano; estos contaminantes afectan directamente los ecosistemas acuáticos, modificando su comportamiento, su ecología, e incluso causándoles la muerte casi inmediata, por lo tanto, en los ecosistemas acuáticos existen organismos muy sensibles a los cambios mínimos que se puedan presentar, especialmente por los metales pesados.

Los metales pesados como mercurio y plomo son abundantes en forma natural, pero en la actualidad existen muchas mineras ilegales que sus residuos son evacuados sin previo tratamiento a estos ecosistemas acuáticos siendo estos muy tóxicos y acumulables por los organismos que lo toman, como son los organismos superiores a nivel de la cadena trófica.

En la presente investigación se emplearon semillas de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga) para determinar la toxicidad de metales pesados como mercurio y plomo. Los metales pesados existen

naturalmente en la corteza terrestre en forma de minerales, sales u otros compuestos. No tienen una función metabólica específica para los organismos vivos, por lo que no se degradan o destruyen fácilmente de forma natural o biológica (Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. & Barberis, 2002).

Los metales pesados son altamente peligrosos por su bioacumulación en distintos cultivos. La bioacumulación es un aumento en la concentración de un elemento, en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Angelova *et al.*, 2004).

Por lo tanto, teniendo en cuenta los estudios realizados del desarrollo vegetal y siendo la germinación una de las etapas más importantes, iniciándose con la inhibición y absorción de agua por la semilla para luego finalizar con la elongación de la radícula del embrión y desarrollo del tejido meristemático. Lo que incentiva a desarrollar diversas investigaciones para determinar el efecto que produce los metales pesados (plomo y mercurio) en la germinación y por ende en la elongación radicular de las semillas.

Los resultados obtenidos en esta investigación servirán como una base de datos en futuras investigaciones, para tomar acciones en la eficacia de la germinación y desarrollo del crecimiento radicular.

Así mismo los resultados se utilizará para realizar comparaciones con otros organismos a nivel mundial.

1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Problema general

¿Cuál el efecto toxicológico agudo del mercurio y plomo sobre *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), en la ciudad de Ayacucho?

Problemas específicos

- a. ¿Cuál es el efecto toxicológico agudo medido como semillas no germinadas de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), sometidos a la acción del mercurio y plomo?
- b. ¿Cuál es el porcentaje de germinación de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), frente al mercurio y plomo?
- c. ¿Cuál es el Índice de toxicidad del mercurio y plomo en la germinación de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga)?
- d. ¿Cuál es la concentración letal media (CL₅₀) del mercurio y plomo, determinado en la germinación de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), analizadas mediante bioensayo?

1.3 OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto toxicológico agudo del mercurio y plomo sobre *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga).

Objetivos específicos

- a. Determinar el efecto toxicológico agudo medido como semillas no germinadas de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), sometidos a la acción del mercurio y plomo.
- b. Determinar el porcentaje de semillas no germinadas de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), frente al mercurio y plomo.
- c. Determinar el Índice de toxicidad del mercurio y plomo en la germinación de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga).
- d. Calcular la concentración letal media (CL₅₀) del mercurio y plomo, determinado en la germinación de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), analizadas mediante bioensayo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

En el trabajo de investigación titulado “determinación de la toxicidad de mercurio (Hg) en tres variedades de *Phaseolus vulgaris* L. endémicas de Zacatecas”, se determinó que:

Las alteraciones en germinación, desarrollo radicular y concentración de proteínas. Las semillas de frijol flor de mayo, flor de junio y negro zacatecas fueron sometidas a cuatro tratamientos de HgCl₂ (0.01g/L, 0.1g/L, 1g/L y 10 g/L). Los resultados obtenidos mostraron una notable inhibición de la germinación conforme aumentó la dosis de Hg. También la raíz reveló claramente inhibición en su desarrollo a partir de 0.1g/L/HgCl₂. Finalmente, la evaluación sobre la concentración de proteínas a través de perfiles de expresión electroforética y cuantificación por espectrometría mostraron una disminución muy marcada a medida que se incrementaron las concentraciones del metal, comparadas con el grupo testigo. Dos de las variedades de estudio, flor de mayo y flor de junio resultaron más sensibles a los efectos mercuriales en comparación con el negro zacatecas que expresó mayor tolerancia al mercurio en los parámetros evaluados. (Huerta *et al.*, 2010, p. 1)

En el trabajo de investigación titulado “fitotoxicidad de metales pesados y del herbicida glifosato en ambientes acuáticos. Bioensayo con plantas vasculares como organismos diagnóstico”, los resultados indican que:

De la exposición aguda de *L. sativa* a metales pesados, evidencian que el cobre es el metal más tóxico, seguido del cadmio, siendo el cromo el de menor toxicidad; mientras que en las Lemnáceas es el cadmio el más tóxico, seguido del cobre y por último el cromo. La toxicidad del herbicida glifosato, comparando concentraciones equivalentes como principio activo y como formulado comercial Roundup@Max, es significativamente mayor cuando la exposición es al producto formulado. Estas diferencias están asociadas a la presencia de coadyuvantes en el formulado, los que aportan toxicidad, a la vez de favorecer la disponibilidad del principio activo, potenciando sus efectos. La toxicidad de los metales y del herbicida glifosato en *L.*

gibba disminuye significativamente en aguas naturales respecto a la solución nutritiva, dependiendo su biodisponibilidad de las características fisicoquímicas de las mismas. (Sobrero y Ronco, 2004, p. 210)

En el estudio “Plant Contamination and Phytotoxicity Due To Heavy Metals From Soil and Water. Tropical and Subtropical Agroecosystems”, se menciona que:

Los altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos y agua negra, utilizada para riego agrícola radican principalmente, que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura. Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosos. La presente compilación bibliográfica resalta y destaca la sensibilidad relativa de algunas plantas a la presencia de los metales pesados y la tendencia a acumular los mismos, haciendo énfasis en los aspectos de relación con algunas de las características fisicoquímica de los suelos y la fitotoxicidad por metales. (Prieto y col-Prieto, 2008, p. 1)

Así mismo, en el estudio “Efecto Ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares” se tuvo como objetivo:

La evaluación del efecto fitotóxico del Cr^{6+} , Hg^{2+} y Pb^{2+} en forma de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), cloruro de mercurio (Cl_2Hg) y acetato de plomo ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$), respectivamente, sobre el crecimiento radicular de cuatro especies de plantas superiores terrestres: cebolla (*Allium cepa* L., Liliaceae), betarraga (*Beta vulgaris* L., Chenopodiaceae), arroz (*Oriza sativa* L., Poaceae) y rabanito (*Raphanus sativus* L., Brassicaceae) a 192 h (8 días) de exposición. Se realizaron bioensayos de toxicidad subagudos estáticos para cada metal y para cada especie de planta, usando un diseño experimental en bloques completos al azar: seis concentraciones, ocho repeticiones, con un total de 240 semillas por bioensayo. La secuencia en orden ascendente para la concentración de inhibición media (CI_{50} en mg L^{-1}) del crecimiento radicular de las semillas a 192 h fue en la mayoría de los casos: $\text{Hg}^{2+} > \text{Cr}^{6+} > \text{Pb}^{2+}$. Se analizan las

perspectivas de uso para la evaluación de suelos contaminados por metales pesados en el Perú. (Iannacone y Alvariño, 2005, p. 2)

También en el estudio “Evaluación de la toxicidad de metales pesados en dos suelos agrícolas de Colombia mediante bioensayos”. Indica que:

La capacidad de inhibición de la toxicidad de los suelos (andisol y vertisol) sobre la planta indicadora *Lactuca sativa* y la bacteria *Vibrio fischeri* es alta, dado que las concentraciones solubles de los metales se consideran tóxicas en la solución del suelo; dicha capacidad se incrementó con el tiempo, y se relacionó con la reducción de las concentraciones solubles de metales como resultado del incremento del pH que permitió una mayor fijación en las posiciones de adsorción del suelo (materia orgánica, arcillas, y complejos amorfos de Fe y Al). El Zn fue el metal que influyó significativamente sobre la inhibición de la luminiscencia de la bacteria *Vibrio fischeri*, posiblemente por su mayor concentración, pH ácido y mayor movilización. La bacteria bioluminiscente *Vibrio fischeri* mostró una mayor sensibilidad a todos los metales pesados evaluados, permitiendo una mejor discriminación de niveles de toxicidad. Más, sin embargo, la interacción bacteria-metal es importante para deducir adecuadamente la toxicidad generada, ya que éstas poseen mecanismos de tolerancia ante la contaminación. (Cortés *et al.*, 2017, p. 50)

Por otro lado, en la investigación “Determinación de la concentración de inhibición media (CE_{120}) de cadmio y plomo en *Lactuca sativa* l. lechuga batavia mediante bioensayos de toxicidad, para la evaluación de suelos contaminados”, con el fin de:

Establecer el nivel tóxico de cadmio y plomo en suelos contaminados, se usó el bioensayo con *Lactuca sativa* L. para determinar la concentración de inhibición (CE_{120}) generada. Los tratamientos se constituyeron por 6 concentraciones de cada metal (Cd: 0.003, 0.004, 0.005, 0.006, 0.007 y 0.008 mg L⁻¹; Pb: 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 mg L⁻¹), las cuales fueron agregadas sobre semillas de la lechuga, que luego se incubaron durante 5 días (120 h). Se encontró que, para los tratamientos con Cd, el índice de toxicidad fue alto toxicidad en concentraciones mayores de 0,004 mg Cd L-

1. Para el Pb, una muy alta toxicidad a partir de la concentración de 0,5 mg Pb L⁻¹. Por lo tanto, para establecer un suelo contaminado se debe tener en cuenta propiedades físico-químicas como forma del metal, pH, contenido de arcillas, capacidad de cambio y contenido de Hierro y Manganeseo. Como estrategia de remediación, se indica la adición de cal y de fosfatos y materia orgánica para la inmovilización de estos metales pesados en el suelo. (Mora y Herrera, 2019, p. 47)

En el estudio titulado “efecto del plomo sobre la imbibición germinación y crecimiento de *Phaseolus vulgaris* L. y *Zea mays* L.”, indica que:

El plomo es altamente reactivo y consecuentemente puede ser tóxico para las células vivas de plantas y humanos. Este metal pesado es un contaminante para el ambiente ya que altera los ciclos naturales. El presente estudio tuvo como propósito, determinar el efecto del plomo en los procesos de imbibición, germinación y crecimiento en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el maíz (*Zea mays* L.). Se empleó un sistema compuesto por recipientes inundados para exponer las plantas al metal. La concentración de 5 g l⁻¹ de plomo afectó el proceso de imbibición en ambos cultivos, aunque fue más notorio en el frijol. El porcentaje de germinación se redujo en el frijol, pero no se afectó en las semillas de maíz. El crecimiento de los órganos de raíz, tallo y hoja en ambas especies en presencia de plomo se redujo. (Isaza, 2013, p. 161)

En el trabajo de investigación “determinación de la concentración de inhibición media (CE₅₀) de cromo para la semilla *Lactuca sativa* mediante ensayos de toxicidad”, se estudiaron:

Los efectos fitotóxicos sobre la semilla *Lactuca sativa*, mediante la realización de baterías de ensayo, con el fin de determinar la concentración de inhibición media del cromo (CE₅₀). Inicialmente se llevaron a cabo 20 pruebas con dicromato de potasio, para poder determinar la sensibilidad de la semilla frente al tóxico, teniendo en cuenta resultados arrojados en proyectos anteriores; luego de esto se definió el patrón para cromo hexavalente, teniendo en cuenta las pruebas con el dicromato de potasio, ya que este posee en su compuesto como elemento al cromo en estado de +6. Para finalizar y dándole una aplicabilidad a los ensayos fitotóxicos se decidió analizar el

comportamiento de la *Lactuca sativa* sobre un vertimiento de cromo, proveniente de una industria galvánica, para evaluar su toxicidad, por lo que fue necesario realizar algunas pruebas preliminares, para ya después definir las definitivas con un total de 5 pruebas. Posteriormente se efectuó un pretratamiento, mediante precipitación química buscando no solo reducir la concentración del metal en el vertimiento sino también su grado de toxicidad para con la semilla, es decir la concentración de inhibición media (CE_{50}), para estos procedimientos se requirieron de 5 pruebas. (Pinto, 2009, p. 13)

También en el trabajo de investigación “efecto ecotoxicológico del plomo sobre la germinación y crecimiento radicular de *Raphanus sativus* y *Beta vulgaris* en condiciones de laboratorio” indican que:

El intercambio de material nutritivo de los organismos vegetales con su medio externo, se ve afectado por residuos de actividades antrópicas, que ponen a disposición concentraciones de plomo que afectan a la salud humana y a la integridad de los ecosistemas. Su absorción por las raíces de los vegetales repercute en la cadena alimenticia, como tal sucede con algunas plantas comestibles como *Raphanus sativus* y *Beta vulgaris*, las mismas que satisfacen el consumo popular. Por tal motivo, en esta investigación se planteó como objetivo determinar el efecto ecotoxicológico del plomo en el crecimiento radicular de estas especies y estimar la concentración del elemento químico acumulado en su parte radicular. Para ello se dispuso a germinar semillas en recipientes distribuidos en un diseño en bloques con estímulo creciente. De este modo se determinó el crecimiento en longitud y la acumulación del plomo en la raíz, mediante técnicas de espectrofotometría de absorción atómica. Los datos obtenidos sirvieron para procesar los análisis de varianza. Asimismo, se pudo evidenciar que existe una diferencia significativa en las medidas de longitud y concentración de plomo en la radícula e hipocotilo de ambas especies, lo que nos permite concluir que el plomo causa efecto a medida que aumenta su concentración. (Nureña-Velásquez y Padilla, 2014, párr. 1)

En el estudio de “Toxicidad de cadmio y plomo en pasto Tanner *Brachiaria arrecta*”, menciona que:

Evaluó Fisiopatías en *Brachiaria arrecta* expuestas a contenidos tóxicos de cadmio y plomo en el invernadero de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, se doparon plántulas sanas de 20 días de edad bajo cultivo hidropónico. El objetivo fue describir síntomas crecientes por intoxicación con el diseño de una escala valorativa de daños crecientes, adicionalmente se evaluaron cambios histológicos de raíz tallo y hojas mediante microscopia de luz de alta resolución (MLAR). Las plantas fueron sometidas a estrés abiótico con los tratamientos de sales de (CdCl_2) concentración de 10 ppm, y de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 500 ppm, respectivamente. Los resultados principales mostraron un mayor detrimento cuando las plantas fueron expuestas al metal plomo que al cadmio en las raíces, tallos y hojas. Se apreciaron deformaciones extremas en paredes celulares de las células del córtex y en la endodermis de la raíz; en las hojas los daños fueron notorios para ambos metales sobre todo en el parénquima clorofílico y en la deformación de paredes de la epidermis tanto en haz como envés; en los tallos aparecieron deformaciones de las células del parénquima de relleno cuando ocurre bioacumulación intensa de plomo. Estos resultados sugieren que la bioconcentración en los tejidos vegetales ocasiona trastornos histológicos, que pueden involucrar una red trófica y por consiguiente consecuencias en la Salud Pública. (Peláez y Casierra, 2014, p. 1)

2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.2.1. CONTAMINACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ACUATICOS CONTINENTALES

Para la definición de contaminación de los ecosistemas, Fernández y Leiva (2003), mencionan que:

Es 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. (p. 34)

2.2.2. BIOINDICADORES

Respecto a la definición de bioindicadores De la Lanza et al. (2000), mencionan que: Existe un consenso general sobre lo siguiente: la información biológica no reemplaza los registros físicos y químicos para definir la calidad del agua, especialmente asociada al crecimiento poblacional y su industrialización. Un indicador es característico de un medio ambiente, que cuando mide, cuantifica la magnitud del estrés, las características del hábitat y el grado de exposición del estresor o el grado de respuesta ecológica a la exposición. (párr. 2).

Respecto a los bioindicadores, Roldan (1992) menciona que:

El empleo de bioindicadores en diversos países está enfocado no solo para medir la salud del ecosistema acuático, sino también para determinar el impacto potencial al ámbito humano, especialmente el económico. Con base a este último, se deben asociar al desarrollo sustentable, y por lo tanto la elección de un indicador necesariamente debe tener una escala amplia. Un indicador es, pues, un organismo selecto por el grado de sensibilidad o tolerancia a diversos tipos de contaminación o sus efectos. Los insectos acuáticos se pueden utilizar a distintas escalas dentro del monitoreo biológico, que, de acuerdo con el tipo de análisis, permite llegar a conclusiones que establezcan los destinos y usos del agua. (p. 116)

2.2.3. SUELOS CONTAMINADOS

Suelos contaminados son aquellos que presentan concentración de un elemento que excede su capacidad amortiguadora y puede tener efectos perjudiciales en la estructura y función del ecosistema al que pertenece (Díez, 2006).

2.2.4. TOXICIDAD

La toxicidad se define como los efectos adversos que los contaminantes producen en los organismos.

a. La Toxicidad Crónica

Es causada por la ingestión de dosis muy bajas de compuestos tóxicos o aguas residuales, en caso transcurra mayor cantidad de tiempo la gravedad también resulta ser mayor incluso llega a ser letal. Los efectos subletales pueden ocurrir a nivel bioquímico, fisiológico o conductual (Núñez, M., & Hurtado, 2005).

b. Toxicidad Aguda

Por lo general, es causado por la exposición a grandes cantidades de compuestos tóxicos en un corto período de tiempo. Efectos rápidos en los organismos vivos, que por lo general resultan en la muerte. Esto se puede utilizar para determinar concentraciones letales de compuestos o efluentes a lo largo del tiempo (Núñez, M., & Hurtado, 2005).

2.2.5. CONCENTRACIÓN DE INHIBICIÓN MEDIA (CE₅₀-192)

Para Sánchez (2009), se refiere a una prueba estática de toxicidad aguda (192 h de exposición) que evalúa los efectos fitotóxicos de compuestos puros o mezclas complejas durante los primeros días de propagación durante la germinación de semillas y el desarrollo de plántulas. La inhibición de la germinación y la inhibición de la elongación de la raíz y del hipocótilo se determinan como puntos finales para la evaluación de los efectos fitotóxicos.

2.2.6. EFECTO ADVERSO NO OBSERVABLE

Spain (2003) indica el nivel (concentración) de exposición a una sustancia que se observa en estudios de toxicidad sin causar mortalidad ni efectos observables en el organismo de prueba. Este valor o concentración generalmente se determina mediante pruebas estadísticas comparativas con una práctica de tratamiento de control (sin sustancias tóxicas), teniendo en cuenta la cantidad de contaminante que es segura para el organismo de prueba.

2.2.7. METALES PESADOS

Los metales pesados incluyen elementos como plomo, cadmio, cromo, mercurio, zinc, cobre y plata, algunos de los cuales son esenciales para las células y por lo tanto constituyen un grupo muy importante, pero en altas concentraciones Organismos, organismos del suelo, animales y plantas que pueden ser tóxico para la vida (Spain, 2003).

2.2.8. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS: PLOMO Y MERCURIO

El plomo y el mercurio son altamente tóxicas y se acumulan en los organismos que las ingieren. Estos están relacionados con ceguera, pérdida de memoria, raquitismo y debilidad muscular, enfermedades o incluso la muerte si los humanos los ingieren a través de agua o alimentos contaminados con mercurio o compuestos de plomo, y se convierte en un contaminante en la cadena alimentaria (Carrasco, 2001).

Los metales pesados son constituyentes naturales de la corteza terrestre. No se puede degradar ni descartar. Pequeñas cantidades ingresan al cuerpo a través de los alimentos, el agua y el aire.

Para J. & Iannacone & Alvariño (2005), algunos metales pesados (cobre, selenio, zinc, etc.) son oligoelementos esenciales para mantener el metabolismo del organismo. Sin embargo, altas concentraciones pueden causar envenenamiento. El envenenamiento por metales pesados puede resultar, por ejemplo, de la contaminación del agua potable (tuberías de plomo), altas concentraciones en el aire cerca de la fuente o absorción a través de la cadena alimentaria. El término metal pesado se refiere a elementos químicos metálicos que son relativamente densos y tóxicos o tóxicos en concentraciones bajas o altas. Los ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), el cromo (Cr), el talio (Tl) y el plomo (Pb).

2.2.8.1 Plomo

Respecto al plomo, Lenntech (2009) menciona que es un metal escaso, se calcula en un 0,00002 % de la corteza terrestre, tiene un punto normal de fusión de 327,4 °C, un punto normal de ebullición de 1770 °C y una densidad de 11,35 g/ml. Forma compuestos con los

estados de oxidación de +2 y +4, siendo los más comunes los del estado de oxidación +2. Se encuentra en minerales como la galena (sulfuro de plomo, PbS) que se utiliza como fuente de obtención del plomo, la anglosita (sulfato de plomo II, PbSO₄) y la cerusita (carbonato de plomo, PbCO₃).

En el estudio de contaminación de agua por metales Rainer (2000), menciona que:

Las dos principales vías de acceso de los compuestos de plomo al organismo son el tracto gastrointestinal y los pulmones. Cerca del 10 % del plomo ingerido es excretado en la orina y en menor cantidad en el sudor, en el pelo y en las uñas. El 90 % del plomo que se encuentra en el cuerpo humano se deposita en el esqueleto óseo y es relativamente inerte, y el que pasa a través del torrente sanguíneo puede depositarse en los tejidos. Los signos más comunes de intoxicación por plomo son los gastrointestinales y sus síntomas comprenden anorexia, náusea, vómito, diarrea y constipación, seguida de cólicos. El plomo puede afectar la síntesis de la hemoglobina y el tiempo de vida media de los glóbulos rojos, así como, al sistema nervioso central y periférico. Todos los compuestos de plomo son tóxicos en diferente grado, dependiendo de su naturaleza química y grado de solubilidad de cada compuesto, los más tóxicos son los compuestos orgánicos. (p. 2)

Según Rainer (2000) “el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos, los compuestos de plomo les originan la formación de una película coagulante y les provoca alteraciones hematológicas” (p. 25).

Rainer (2000) también menciona que: La Organización Mundial de la Salud recomienda que para los niños el nivel de plomo en sangre no debe rebasar los 30 mg/100 mL de sangre y tomar medidas drásticas cuando el nivel de plomo en la sangre de los adultos alcanza los 40 mg/100 mL de sangre. Limitan la exposición a compuestos inorgánicos de plomo a 50 mg/m³ de aire durante un tiempo promedio de 8 horas para un trabajador sin mascarilla para respirar. (p. 2)

a. Efectos del plomo en el medio ambiente

En los seres humanos, la exposición al plomo puede provocar una variedad de efectos biológicos, según el nivel y la duración de la exposición. Se produce una amplia gama de efectos en un amplio rango de dosis, y los fetos en desarrollo y los bebés son más sensibles que los adultos, efectos y daño agudo o crónico al sistema nervioso. El plomo en el aire contribuye a los niveles de plomo en los alimentos al depositar el polvo cargado de metales y la lluvia en los cultivos y el suelo (Rainer, 2000; Ramírez P, 2008).

b. Emisión del plomo

El plomo ambiental proviene de fuentes naturales y antropogénicas. La exposición puede ocurrir a través del agua potable, los alimentos, el aire, el suelo y el polvo de la pintura vieja con plomo. El plomo es uno de los metales no ferrosos reciclados y la producción secundaria aumenta constantemente a pesar de la caída de los precios del plomo. Sus propiedades físicas y químicas se utilizan en las industrias manufacturera, de la construcción y química. Es fácilmente maleable y maleable y elástico. Hay ocho categorías de uso amplias: baterías, aditivos de gasolina, productos laminados y extruidos, aleaciones, pigmentos y compuestos, cubiertas de cables, perdigones y municiones (Rainer, 2000).

2.2.8.2 El Mercurio

Hill (1999), en su libro de química para un nuevo milenio, con referente al mercurio menciona que:

Es el único metal líquido en condiciones ambientales. El mercurio líquido no es venenoso pero sus vapores y sus compuestos son muy tóxicos, por lo que en la Edad Media se utilizaban como agentes de asesinato y de suicidio. Como el mercurio y sus compuestos son casi insolubles en agua no eran considerados, durante mucho tiempo, como contaminantes y mucho menos como contaminantes potenciales. El mercurio se utilizaba como componente de las amalgamas dentales. Los investigadores encontraron que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados (formar metilmercurio, $H_3C-Hg-CH_3$, es muy venenoso) por bacterias anaerobias en el lodo del fondo de los lagos y también por los peces y los mamíferos. Por lo que, los desechos que contienen mercurio o sus derivados que

se han ido acumulando en los fondos fangosos de los lagos constituyen fuentes potenciales de contaminación y por procesos bioquímicos pueden incorporarse a las diversas cadenas alimenticias. Además, los compuestos de mercurio son del tipo de sustancias acumulables en los organismos y pueden llegar a alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para ser venenosos, la extracción de oro y de plata por el método de amalgamación y por las refinerías del petróleo. Estos desechos contienen mercurio y siguen el curso del agua hasta llegar a los lagos, ríos y hasta el mar, donde pueden incorporarse a las diferentes cadenas alimenticias, reaccionar y transformarse en metil-mercurio. (p. 279)

a. Efectos del Mercurio en el Medio Ambiente

Ramírez (2008), en los diferentes ensayos que realizó, con diferentes sustancias químicas, menciona que el mercurio:

Es una sustancia tóxica que no tiene una función conocida en la bioquímica o fisiología humana y no se produce de forma natural in vivo. La intoxicación por mercurio inorgánico se asocia con temblores, gingivitis y/o cambios psicológicos menores, abortos espontáneos y malformaciones congénitas. (p. 1)

“El monometilmercurio daña el cerebro y el sistema nervioso central, pero la exposición fetal y posnatal ha provocado abortos espontáneos, defectos de nacimiento y cambios en el desarrollo de los niños pequeños” (Lenntech, 2009, p. 5).

b. Emisión del Mercurio

En los diferentes ensayos que realizó, con diferentes sustancias químicas, Ramírez (2008) menciona que:

El mercurio es un contaminante global con propiedades químicas y físicas complejas e inusuales. Las principales fuentes naturales de mercurio son la desgasificación de la corteza terrestre, las emisiones de los volcanes y la evaporación del agua de las superficies naturales. La minería global de metales conduce a aportes indirectos a la atmósfera. El mercurio se utiliza en procesos industriales y diversos productos (pilas,

lámparas, termómetros). También se utiliza en odontología como empastes de amalgama y en la industria farmacéutica. (p. 7)

“Formas de mercurio: monomethyl de mercurio y dimethyl de mercurio sea altamente tóxico, causando desórdenes neurotoxicológica. El camino principal para el mercurio a los seres humanos está a través de la cadena de alimento y no por la inhalación” (Lenntech, 2009, p. 5).

2.2.9. BIOENSAYOS

En el estudio realizado por Nuñez y Hurtado (2005) titulado “Bioensayos de toxicidad aguda utilizando *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado”, menciona que:

Los bioensayos son experimentos que se realizan bajo condiciones controladas de laboratorio con el propósito de evaluar cualitativamente y cuantitativamente el efecto que los agentes xenobióticos producen sobre organismos vegetales o animales cuidadosamente seleccionado estandarizadas. Los bioensayos de toxicidad son una herramienta intensamente utilizada en países desarrollados, con el objeto de evaluar en forma efectiva y eficiente los efectos tóxicos agudos y crónicos de la contaminación en los organismos vivos. En la práctica esta técnica cuantifica la relación concentración - efecto de compuestos químicos conocidos o mezclas complejas, por medio de respuestas biológicas medidas bajo condiciones controladas y estandarizadas. (p. 1)

2.2.10. ORGANISMOS DE PRUEBA EN LOS BIOENSAYOS

2.2.10.1 *Lactuca sativa* L. “lechuga”

a. Descripción botánica

Saavedra (2017) menciona que la lechuga es una planta anual auto polinizada con una raíz pivotante relativamente gruesa en la corona que se estrecha gradualmente y puede alcanzar profundidades de 60 cm o más. La densidad máxima de raíces laterales está cerca de la superficie. Por lo tanto, la absorción de nutrientes y agua tiene lugar principalmente en las capas superiores del suelo.

Saavedra (2017) también menciona que las hojas sésiles están dispuestas en espiral en rosetas densas alrededor de tallos cortos. El desarrollo de rosetas continúa a lo largo de la temporada de crecimiento de la planta, como en la lechuga de hoja, o forma cabezas redondeadas, como en la escarola y la lechuga, o cabezas alargadas, como en las costinas o la lechuga romana. Existe una variación considerable en los diferentes tipos y formas de lechuga en términos de color, forma, tipo de superficie, bordes y textura. Los tonos verdes de las hojas varían de oscuro a claro, pero la calidad del verde varía con un tinte amarillento. Además, las antocianinas pueden estar presentes a lo largo de las hojas o en los sectores que les dan diferentes tonalidades.

Para consolidar, Saavedra (2017) menciona que después de la temporada de crecimiento, el tronco crece y alcanza una altura de 1 m antes de entrar en la temporada de reproducción. Un tallo simple termina en una inflorescencia. La inflorescencia es una densa panícula corimbosa compuesta de muchas partes parietales, cada una compuesta de múltiples flores con un número diferente que va de 12 a 20. Todas estas flores son radiales, llenas y fértiles, rodeadas por 3 a 4 hileras de brácteas. Cada flor consta de un solo pétalo dentado amarillo con cinco dientes. La parte inferior es tubular y rodea los genitales. Cada flor tiene un carpelo doble que consta de un estilo alargado y un estigma dividido.

b. Clasificación taxonómica

La lechuga es autógama, diploide con $2n= 18$ cromosomas, una planta anual perteneciente a la Familia Asteraceae y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L.(Vega, 2013).

Dominio	: Eukarya
Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Asteridae
Orden	: Asterales
Familia	: Asteraceae

Género : Lactuca
Especies : *Lactuca sativa* L.

2.2.10.2 *Allium cepa* L. “cebolla”

a. Descripción botánica

Con respecto a la raíz crece de manera vertical, pudiendo llegar a una profundidad de 25 a 30 cm y 15 cm en lateral. Este sistema radicular deficiente reduce la absorción de nutrientes y agua, lo que lo hace menos competitivo frente a las malas hierbas (Almeyda, 2018).

Respecto al tallo, Medina (2008), menciona que la cebolla tiene dos tipos de raíces uno en la base de la planta o bulbo, el cual está compuesto por un disco sub cónico de entrenudos muy cortos, y otro tallo es constituido por los escapos florales, desarrollados sobre la yema central o yemas axilares.

Almeyda (2018) menciona que respecto al follaje de la cebolla crecen hasta que las condiciones externas favorecen la formación de bulbos. El bulbo puede formar de 4 a 7 hojas, de 40 a 65 cm de largo. Por otro lado, bajo condiciones de riego Majes de septiembre a diciembre, las cebollas tienen un promedio de 8 hojas de 50-60 cm de largo bajo diferentes sistemas de siembra y niveles de fertilizante.

Brewsler (2001) menciona que las ramas que dan lugar a múltiples meristemas, como las que se encuentran en centros dobles o múltiples de macizos y bulbos, no son fundamentalmente diferentes de las ramas axilares de los típicos tallos alargados. Pueden desarrollarse nuevos puntos de crecimiento lateral en las axilas de las hojas entre las puntas de los brotes originales y las hojas más jóvenes.

Respecto al tallo floral Brewsler (2001) menciona que es conocido también como escapo, no tiene hojas, lo que si se observa es una espata, que cumple la función de proteger la inflorescencia.

b. Clasificación taxonómica

Es comúnmente conocida como cebolla, es una planta herbácea bienal perteneciente a la familia de las Amarilidáceas (Brewster, 2001).

Dominio	: Eukarya
Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Subclase	: Liliidae
Orden	: Asparagales
Familia	: Amaryllidaceae
Género	: Allium
Especies	: <i>Allium cepa</i> L.

2.2.10.3 *Beta vulgaris* “betarraga”

a. Descripción botánica

Tiene raíces carnosas y peludas, el color de piel varía de acuerdo a la variedad de color rojo brillante o rosa, amarillo rojizo y blanco en unos y otros. Los tallos son herbáceos, con tallos alternados y estípulas verdes, con hojas elípticas, lacnadas, delicadas de color verde pálido con venas rojas y pecíolos largos y anchos. Las inflorescencias se agrupan en racimos, con pequeñas flores verdosas, sinclinales, 5 sépalos libres, 5 anteras globosas, dehiscencia longitudinal, nacidas de la base del ovario y enfrentadas a las hojas del sépalo, de estilo simple, los tres estigmas son sésiles y el superior el ovario es hueco. Los frutos son mononucleados o multinucleados con pequeñas semillas negras (Robles, 1985).

Plantas herbáceas alogénicas, únicas, bienales o perennes con auto tolerancia parcial. Raíces en su mayoría engrosadas. Tronco ramificado y acanalado. Las hojas basales son rosetas, ovadas-cordadas a romboides-cuneadas y rombo-cuneadas. pecíolos jugosos. Flores en cimas, inflorescencias axilares o terminales, 6 o más flores por ápice. Segmentos del periantio de hasta 3mm en su máximo desarrollo. $2n=18$, existiendo cultivares triploides ($2n=27$) y tetraploides ($2n = 36$) obtenidos artificialmente. Se cultiva por su raíz sacarífera,

forrajera o comestible o por sus hojas y peciolo comestibles o forrajeros. Multiplica por semilla. Regiones templadas y frías (Flores, 2014).

b. Clasificación taxonómica

Linneo, citado por Solano et al., (1998) indica la siguiente clasificación taxonómica (Solano, 1998).

Dominio	: Eukarya
Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Caryophyllidae
Orden	: Caryophyllales
Familia	: Amaranthaceae
Género	: Beta
Especies	: <i>Beta vulgaris</i> L.

2.2.10.4 *Raphanus sativus* L. “rábano”

a. Descripción botánica

Es una hortaliza anual o bienal perteneciente a la familia de las crucíferas. Las hojas son enteras o segmentadas y tienen un tallo ramificado con pelos rígidos en el envés donde las hojas se agrupan desde el ápice de la raíz, y las hojas suelen ser lanceoladas y brotan en el ápice con hendiduras más o menos pronunciadas. Las flores se agrupan en racimos anchos y alargados. La corona es blanquecina, a veces morada o amarillenta. Propagar por semillas. La cosecha tiene lugar de 3 a 6 semanas después de la siembra. Se puede cultivar en cualquier lugar, el clima y el suelo proporcionan suficiente sol, agua y nutrientes (L. Flores, 2015).

El fruto es cerrado, seco, simple, cilíndrico, de 3-10 cm de largo, bilobulado y compuesto de dos partes. La parte inferior es atrófica y tiene una o dos semillas globulares, de color rosa a marrón claro, y la parte superior contiene semillas acorchadas, cónicas y

oblongas. 12-14 semillas rodeadas de una sustancia esponjosa. Estas semillas son redondas, de color marrón amarillento a marrón rojizo y de tamaño pequeño a mediano. Produce raíces redondas, fusiformes, oblongas, ovadas y cónicas, blancas, rojas, amarillas, negras, gruesas, carnosas, comestibles, esféricas y de 2 a 6 centímetros de diámetro (L. Flores, 2015).

b. Clasificación taxonómica

Dominio	: Eukarya
Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Dilleniidae
Orden	: Brassicales
Familia	: Brassicaceae
Género	: Raphanus
Especies	: <i>Raphanus sativus</i> L.

2.3 MARCO LEGAL

México

En la guía de evaluación de riesgos ambientales del Ministerio del ambiente MINAM (2009), respecto a las experiencias internacionales indican que: El Artículo 170 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) indica que:

Cuando exista un riesgo inminente de desequilibrio ambiental o casos de contaminación con repercusiones peligrosas para los ecosistemas, sus componentes, o la salud pública, la Secretaría (en este caso la de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) podrá intervenir como medida de seguridad. Por otro lado, el 9 de enero de 1996, el diario oficial de la Federación publicó la norma oficial que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales (NOM – 048 - SSA1 - 1993). Dicha norma es producto de la necesidad de contar con un instrumento útil que permita a la autoridad sanitaria valorar

el grado de riesgo de una población determinada. Es decir, la LGEEPA permite intervenir si existe un riesgo en salud pública y, por otro lado, la NOM-048 de la SSA indica cómo debe determinarse un riesgo en salud. (p. 11)

Chile

En la guía de evaluación de riesgos ambientales del MINAM (2009), con respecto a las experiencias internacionales indican que:

La CONAMA ente rector de los aspectos ambientales, también ha realizado su parte, destacando diversas acciones ambientales, una de estas, es el desarrollo de una metodología de implementación de un catastro priorizado de sitios contaminados con COPs y su correspondiente análisis de la legislación vigente sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. La CONAMA a través del proyecto GEF-UNEP desde el 2004, ha desarrollado el Plan Nacional de Implementación para la Gestión de Contaminantes Orgánicos Persistentes en Chile 2006-2010, además tiene a cargo la agenda sobre los diversos agentes químicos, físicos y biológicos, a fin de evitar episodios críticos. (p. 11)

Colombia

En la guía de evaluación de riesgos ambientales del MINAM (2009), con respecto a las experiencias internacionales indican que:

El Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, formuló recientemente un sistema de indicadores de riesgo y gestión del riesgo para las Américas, con el apoyo de BID, con el fin de iniciar un monitoreo de la gestión del riesgo en la región. Este sistema incluyó entre sus indicadores el Índice de Gestión del Riesgo (IGR), mediante el cual se hizo una primera “medición” del desempeño y la efectividad de la gestión del riesgo. (p.12)

Perú

En la guía de evaluación de riesgos ambientales del MINAM (2009), con respecto al avance en el ámbito nacional indica que:

El Ministerio de la Producción ha elaborado la Guía de Prevención de la Contaminación para la Industria Manufacturera, en la que se incorpora el principio de prevención en la gestión ambiental, la cual promueve prácticas ambientales como la reducción o eliminación de elementos o sustancias contaminantes en la fuente generadora y la implementación de cambios en los procesos de producción, operación, uso de energía y de materias primas en general, este instrumento fue aprobado por Resolución Ministerial N° 198-2006-PRODUCE. (p. 12)

En la guía de evaluación de riesgos MINAM (2009), con respecto al avance en el ámbito nacional indica que:

El año 2001, el aquel entonces Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales - MITINCI, en su condición de autoridad competente encargado de la implementación de los instrumentos de gestión ambiental para el sector, propuso el estudio, evaluación, ejecución y aprobación de la Guía de Matriz de Riesgo Ambiental con Resolución Ministerial N° 133-2001-ITINCI-DM. (p. 12)

En la guía de evaluación de riesgos MINAM (2009), con respecto al avance en el ámbito nacional indica que:

En el ámbito nacional el Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo y Contaminantes Orgánicos Persistentes (PNI-COP Perú), el cual viene siendo abordado por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud por el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) del Ministerio de Agricultura y el Ministerio del Ambiente; el Gobierno del Perú firmó dicho convenio el 23 de mayo del 2001, y cuya ratificación fue el 10 de agosto del 2005, entrando oficialmente en vigor el 13 de diciembre del 2005. (p. 12)

2.3.1. LEY GENERAL DEL AMBIENTE (LEY N° 28611)

Como se indica en la Ley General del ambiente Ley N° 28611, por MINAM (2005) menciona que:

En el Artículo 98 de la conservación de ecosistemas; menciona que la conservación de los ecosistemas se orienta a conservar los ciclos y procesos ecológicos, a prevenir procesos de su fragmentación por actividades antrópicas y a dictar medidas de recuperación y rehabilitación, dando prioridad a ecosistemas especiales o frágiles. (p. 57)

Como se indica en la Ley General del ambiente Ley N° 28611, por MINAM (2005) menciona que:

En el Artículo 114 del agua para consumo humano; se menciona que el acceso al agua para consumo humano es un derecho de la población. Corresponde al Estado asegurar la vigilancia y protección de aguas que se utilizan con fines de abastecimiento poblacional, sin perjuicio de las responsabilidades que corresponden a los particulares. En caso de escasez, el Estado asegura el uso preferente del agua para fines de abastecimiento de las necesidades poblacionales, frente a otros usos. (p. 61)

Como se indica en la Ley General del ambiente Ley N° 28611, por MINAM (2005) menciona que:

El artículo 120, de la protección de la calidad de las aguas; menciona que 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 reúso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán. (p. 61)

Como se indica en la Ley General del ambiente Ley N° 28611, por MINAM (2005) menciona que:

En el Artículo 121, del vertimiento de aguas residuales; menciona que el Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento 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 ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

2.3.2. LEY DE RECURSOS HÍDRICOS (LEY N° 29338)

En el artículo I de la ley de recursos hídricos Ley N° 29338 (2013), con referente al contenido se menciona que:

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 y 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. (p. 9)

En el artículo 5. El agua comprendida en la ley; de la ley de recursos hídricos Ley N° 29338 (2013), menciona que el agua comprende lo siguiente:

Los ríos y sus afluentes, desde su origen natural, la que discurre por cauces artificiales, la acumulada en forma natural o artificial, la que se encuentra en las ensenadas y esteros, la que se encuentra en los humedales y manglares, la que se encuentra en los manantiales, la de los nevados y glaciares, la residual, la subterránea, la de origen minero medicinal, la geotermal, la atmosférica y la proveniente de la desalación. (p. 12)

2.3.2.1 Clases de usos de agua y orden de prioridad

Se ciñe el siguiente orden, ley de recursos hídricos Ley N° 29338 (2013), menciona que:

Uso primario: que consiste en la utilización directa y efectiva del agua en sus fuentes naturales y cauces públicos con el fin de satisfacer necesidades humanas primarias, comprendiendo su uso para la preparación de alimentos, consumo directo y el aseo

personal, así como su uso en ceremonias culturales, religiosas y rituales. No requiere autorización administrativa.

La ley de recursos hídricos Ley N° 29338 (2013), con respecto al agua de uso poblacional menciona que:

Uso poblacional: Consiste en la captación del agua de una fuente o red pública, debidamente tratada, con el fin de satisfacer las necesidades humanas básicas (preparación de alimentos y aseo personal), se ejerce mediante derechos de uso de agua otorgado por la Autoridad Nacional.

La ley de recursos hídricos Ley N° 29338 (2013), con respecto al agua de uso productivo menciona que:

Uso productivo: Consiste en el uso del agua en procesos de producción o previos a los mismos, se ejerce mediante derechos de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional. También menciona que hay tipos de agua para uso productivo, los tipos de uso de agua son agrario (pecuario y agrícola), acuícola y pesquero, energético, industrial, medicinal, minero, recreativo, turístico y transporte. (p. 28)

2.3.2.2 Protección del agua

En la ley de recursos hídricos Ley N° 29338 (2013), con respecto a la protección del agua menciona que:

La Autoridad Nacional en coordinación con el Consejo de Cuenca e instituciones públicas competentes correspondientes, en el lugar sea en sus cauces naturales y artificiales controla supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA agua). (p.42)

2.3.3. ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA (DECRETO SUPREMO 004-2017-MINAM)

Con respecto al documento donde aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias D.S N° 004-2017-MINAM, menciona que:

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 ECA 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 también obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental (p. 10).

Las categorías de los ECA para el agua son las siguientes:

Categoría 1. Poblacional y recreacional

En el D.S. N° 004-2017-MINAM, menciona que las “aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, incluye las aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección; las que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional y las que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado” (p. 10).

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

En el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, menciona que se clasifican en subcategorías:

Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras, Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras, Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras, Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas (p. 11).

Categoría 3. Riego de vegetales y bebidas de animales

En el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, menciona que se clasifican en subcategorías “Subcategoría D1: Riego de vegetales (agua de riego no restringido, agua para riego restringido), Subcategoría D2: Bebida de animales” (p. 11).

Categoría 4. Conservación del ambiente acuático.

En el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, menciona que se clasifican en subcategorías que son “lagunas y lagos, ríos, ecosistemas costeros y marinos” (p. 11).

2.4 MARCO CONCEPTUAL

2.4.1. TOXICIDAD

Gutiérrez y López (2001), con respecto al concepto de toxicidad refiere que “se denomina toxicidad a la actividad específica asociada a la estructura química de sustancias exógenas al organismo (xenobióticos) a través de la interacción con moléculas endógenas” (p. 31).

Hill (1999) menciona que la toxicidad “es una 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” (p. 48).

Hill (1999) indica que “la toxicidad aguda es una respuesta de los organismos sometidos a la acción de metales pesados, la que se mide en número de especímenes y también puede ser expresado en porcentaje” (p. 51).

2.4.2. METALES PESADOS

Rainer (2000) menciona que un metal pesado es parte de un grupo vagamente definido de elementos que tienen propiedades metálicas. Estos son principalmente metales de transición, algunos semimetales, lantánidos y actínidos. Se han propuesto muchas definiciones diferentes, basadas en la densidad, algunas en el número atómico o la masa atómica, y algunas en las propiedades químicas o de toxicidad.

De acuerdo a Rainer (2000) los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, el plomo, el cadmio y el arsénico, y en raras ocasiones, algún no metal como el selenio.

2.4.3. CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL₅₀)

Menéndez (2009) refiere que la “concentración de la sustancia tóxica que genera el 50% de mortalidad de los organismos sometidos a su acción, se expresa en mg de sustancia por litro, y un tiempo determinado de exposición” (p. 87).

2.4.4. TIEMPO DE EXPOSICIÓN

Se refiere a la duración del tiempo en el cual un organismo o especie es sometida a algún agente extraño o composición química dañina, con el objetivo de observar alguna respuesta.

2.4.5. RIESGO AMBIENTAL

El MINAM (2009) lo define como la probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Botánica y Taxonomía Vegetal de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga – Ayacucho, 2021.

3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

Región : Ayacucho
 Departamento : Ayacucho
 Provincia : Huamanga
 Distrito : Ayacucho
 Lugar : Laboratorio de la FCB – UNSCH

3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

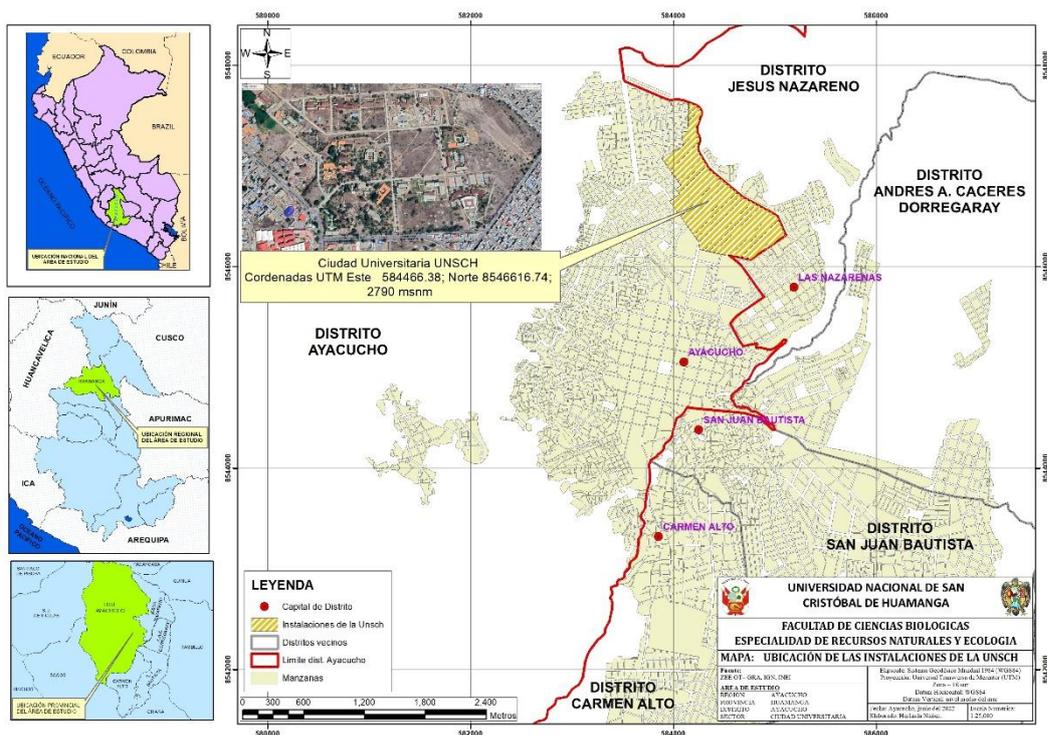
El laboratorio de Taxonomía Vegetal y Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, se encuentra ubicado en la Ciudad Universitaria “Los Módulos” en la Av. Independencia N° 57 - Ayacucho (GPS, eTrex Vista Cx con margen de error $\pm 3m$).

3.1.2.1 Coordenadas Geográficas

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

3.1.2.2. Coordenadas (UTM)

Zona : 18L
 Este : 584401.90
 Norte : 8546637.32
 Altitud : 2795 m.s.n.m.
 Zona de Vida : Estepa espinosa – Montano Bajo Subtropical (ee – MBS)



Elaboración propia

Figura 1. Mapa de ubicación de los Laboratorios de la FCB “Los Módulos”

3.1.3. ÁREA DE ESTUDIO

Para la obtención de las semillas de *Allium cepa* (cebolla), *Beta vulgaris* (beterraga), *Lactuca sativa* (lechuga) y *Raphanus. sativus* (rábano) se obtuvieron en sobres de 2 g. de semilla con un aproximado de 200 semillas distribuidos por la empresa Sierra SEEDS S.A., Lima - Perú, en marzo de 2020. Las semillas de *A. cepa*, pertenecían a la variedad cebolla roja arequipeña. Las semillas de *L. sativa*, pertenecía a la variedad GREEN LEAF. Las semillas de *B. vulgaris*, pertenecía a la variedad EARLY WONDER y las semillas de *R. Sativus*, pertenecía a la variedad CRIMSON GIANT.

Dichas semillas fueron certificadas con la Constancia de venta N° 013-2019-INIA-Cede Central.

3.2 TIPO DE ESTUDIO

La investigación es tipo Básica

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Experimental

3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se empleó el análisis de varianza ajustado al modelo factorial A x B (donde A representa los dos tipos de metales pesados y B las cinco concentraciones).

3.5 POBLACIÓN DE ESTUDIO

Las cuatro especies utilizadas como modelos de bioensayo en las pruebas de germinación.

- *Allium cepa* (cebolla)
- *Beta vulgaris* (betarraga)
- *Lactuca sativa* (lechuga)
- *Raphanus. sativus* (rábano)

3.6 MUESTRA

- 20 semillas: *Allium cepa* (cebolla)
- 20 semillas: *Beta vulgaris* (betarraga)
- 20 semillas: *Lactuca sativa* (lechuga)
- 20 semillas: *Raphanus. sativus* (rábano)

3.7 CANTIDAD DE MUESTRA

Placas Petri de 100x100x80mm, conteniendo 20 unidades por cada especie.

- 600 semillas de *Allium cepa* (cebolla)
- 600 semillas de *Beta vulgaris* (betarraga)
- 600 semillas de *Lactuca sativa* (lechuga)
- 600 semillas de *Raphanus sativus* (rábano)

3.8 MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos, se utilizó el método visual, con el cual se cuantifico el número de semillas germinadas de *Allium cepa* (cebolla), *Beta vulgaris* (betarraga), *Lactuca sativa* (lechuga) y *Raphanus. sativus* (rábano) respectivamente a los 08 días o 192 horas de

exposición a las soluciones de diferentes concentraciones de los dos metales pesados: cloruro de mercurio (HgCl_2) y nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$).

a. Bioensayo de las semillas

Por recomendación de Wang (1991), para el ensayo ecotoxicológico Las semillas se mantuvieron en condiciones de oscuridad y a temperaturas de 6°C para inhibir su germinación y mantener su fertilidad, según el criterio propuesto por Wang (1991).

Wang (1991) recomienda para la desinfección de las semillas se realizó un pretratamiento con una solución de hipoclorito de sodio al 5,25% (Clorox® tradicional, Callao, Perú) diluida al $3,33 \text{ g OCl}^- \text{ L}^{-1}$ (2,5%), durante 7 a 20 min. y cuatro enjuagues en agua destilada.

Se empleó placas Petri de $100 \times 100 \times 80 \text{ mm}$, para los bioensayos, los cuales se desinfectaron con solución de hipoclorito de sodio por 30 minutos, luego se enjuagaron con agua destilada y se secaron en estufa a 30°C por 20 minutos. De la misma manera, el papel absorbente (Tissue®) previamente cortado en trozos de $3,5 \text{ cm}^2$, fue esterilizado por 15 min en una estufa a 60°C .

b. Análisis de la Toxicidad

Para Sobre y Ronco (2004) se determinó que:

A través de la evaluación del desarrollo de la radícula con relación a su elongación permitiendo ponderar el efecto tóxico del plomo y mercurio en las semillas de las 4 especies utilizadas, debido a que dichas concentraciones pueden inhibir completamente los procesos de elongación en los primeros días de la germinación y crecimiento de estas semillas, de esta manera se constituye en un indicador sub-lethal y sensible en la evaluación de los efectos fisiológicos.

Luego del periodo de incubación de 192 horas (8 días) se midió el porcentaje de germinación y la elongación radicular de los organismos contaminados con respecto al control, y ésta última se utilizó para calcular el índice de toxicidad (It), que estima la inhibición normalizada de la elongación radicular (%) con respecto al control, por medio de la siguiente expresión:

$$I_t = 100 * \frac{E_C - E_M}{E_C}$$

Donde:

I_t = Índice de Toxicidad

E_M = Elongación obtenida en cada tratamiento

E_C = Elongación obtenida en el control (agua destilada) (Sarria, 2013).

Los valores del I_t pueden variar desde < 0 hasta 100 (máxima toxicidad), y con ellos se establecerán los siguientes cinco rangos de toxicidad:

- $< 0\%$ toxicidad nula, indica la estimulación de la elongación radicular (mayor elongación en el tratamiento que en el agua destilada)
- 0 a 25% toxicidad baja,
- >25 a 50% toxicidad moderada,
- >50 a 75% toxicidad alta; y
- >75 a 100% toxicidad muy alta (Sarria, 2013).

Para medir la elongación de la radícula de cada semilla germinada, se utilizó un Vernier Digital y con la ayuda de una pinza a cada semilla germinada se puso sobre el papel de fondo negro y se determinó la elongación de esta parte (radícula) de la plántula en crecimiento.

3.9 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES PARA DETERMINAR LAS CONCENTRACIONES DE LOS DOS METALES PESADOS

CLORURO DE MERCURIO ($HgCl_2$) Y NITRATO DE PLOMO ($Pb(NO_3)_2$)

Para la determinación de las soluciones se tuvo que realizar varias pruebas de diferentes concentraciones, para contar con pruebas adecuadas para la ecotoxicidad. Para ello se realizó pruebas piloto con concentraciones altas hasta encontrar la concentración que causó el 50% de la inhibición de las semillas, las concentraciones que se trabajó en el presente estudio se muestran en la Tabla 1.

Para lo cual se determinó cinco concentraciones crecientes de cada uno de los metales pesados (nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y cloruro de mercurio (HgCl_2)), más dos blancos.

Tabla 1. Disposición de las placas de Petri con diferentes concentraciones de metales pesados para las semillas de *Allium cepa* (cebolla), *Beta vulgaris* (betarraga), *Lactuca sativa* (lechuga) y *Raphanus. sativus* (rábano).

Placas de Petri	Número de semillas	Concentraciones de metales pesados (g/L)	
		Nitrato de plomo	Cloruro de mercurio
		($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$)	(HgCl_2)
Blanco	20	0	0
1	20	0,00750	0,000375
2	20	0,01500	0,000750
3	20	0,03000	0,001500
4	20	0,06000	0,003000
5	20	1,02000	0,006000

Elaboración propia

3.10 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los datos obtenidos fueron utilizados para la elaboración de una matriz de datos en el software Excel, ser exportados a SPSS 21 y Minitab 16, a partir de ellos se crearon tablas y figuras en los que se presentan datos estadísticos de tendencia central y de dispersión.

Debido a que los datos no mostraron distribución normal y con la finalidad de comparar las cuatro especies de semillas no germinadas en los tratamientos (dos metales pesados probados en cinco concentraciones crecientes) más un blanco, se empleó el análisis de Kruskal-Wallis.

Para la estimación de la Concentración Letal Media (CL50), se empleó la metodología de Probit para el cual se empleó el software Minitab 16 para realizar los análisis estadísticos señalados.

IV. RESULTADOS

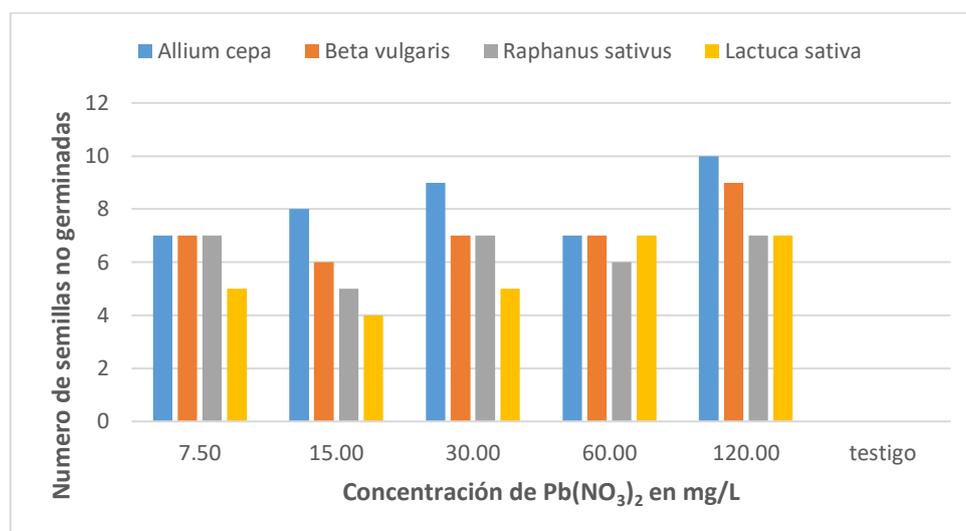


Figura 2. Efecto Toxicológico agudo medido como semillas no germinadas de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), sometidos a la acción de cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$), Ayacucho 2021.

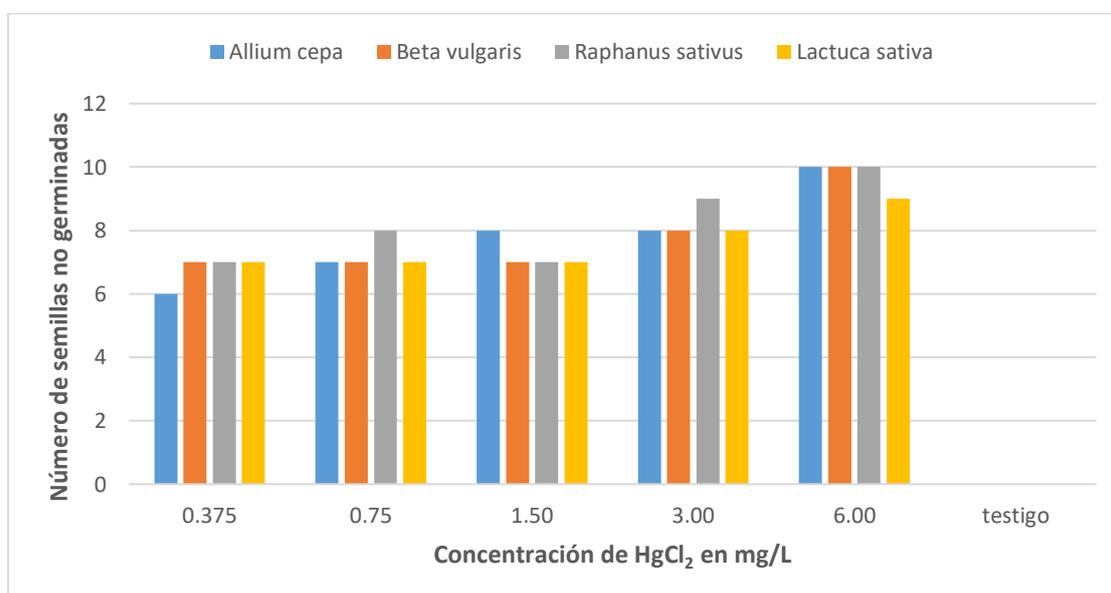


Figura 3. Efecto Toxicológico agudo medido como semillas no germinadas de *Lactuca sativa* (lechuga), *Allium cepa* (cebolla), *Raphanus sativus* (rábano) y *Beta vulgaris* (betarraga), sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio ($HgCl_2$), Ayacucho 2021.

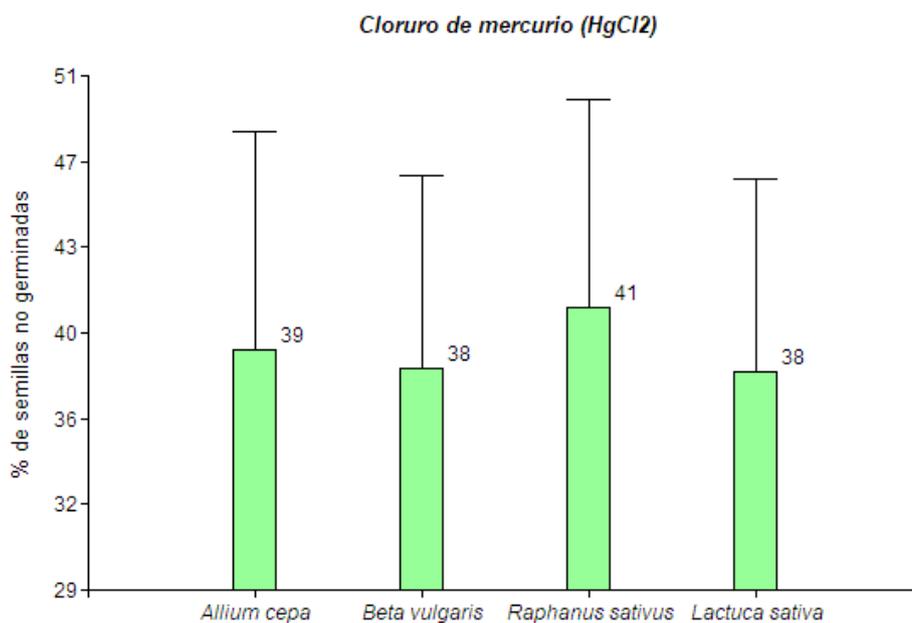


Figura 4. Porcentaje de semillas no germinadas de las cuatro especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl₂) en mg/L, Ayacucho 2021.

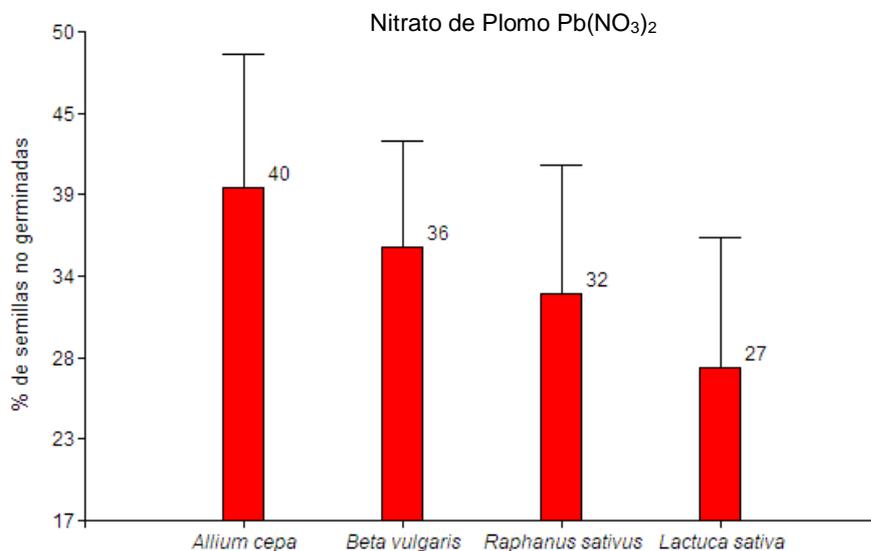


Figura 5. Porcentaje de semillas no germinadas de las cuatro especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo (Pb(NO₃)₂) en mg/L, Ayacucho 2021.

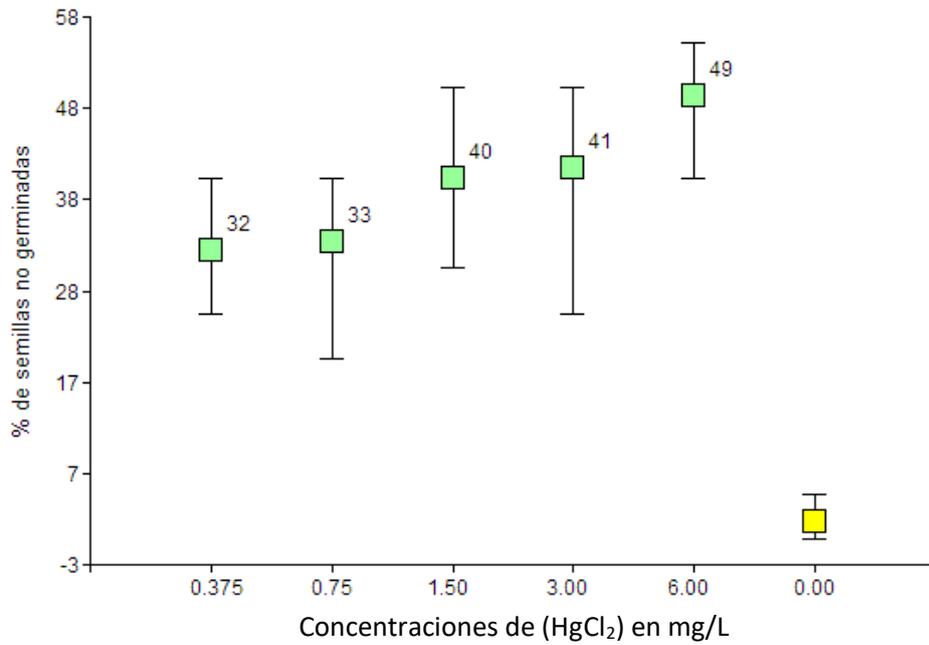


Figura 6. Porcentaje de semillas no germinadas de *Allium cepa*, sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl₂) en mg/L, Ayacucho 2021.

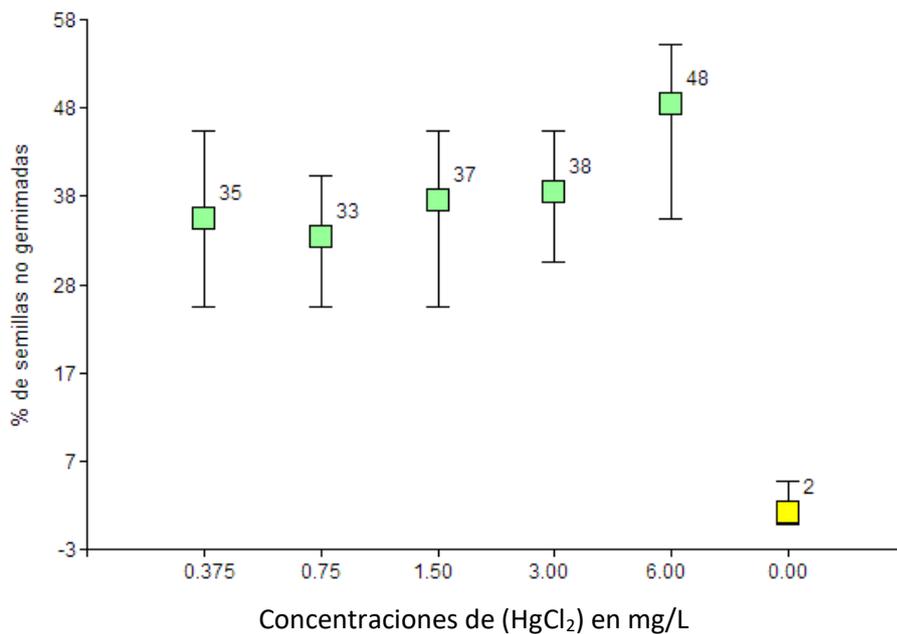


Figura 7. Porcentaje de semillas no germinadas de *Beta vulgaris*, sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl₂) en mg/L, Ayacucho 2021.

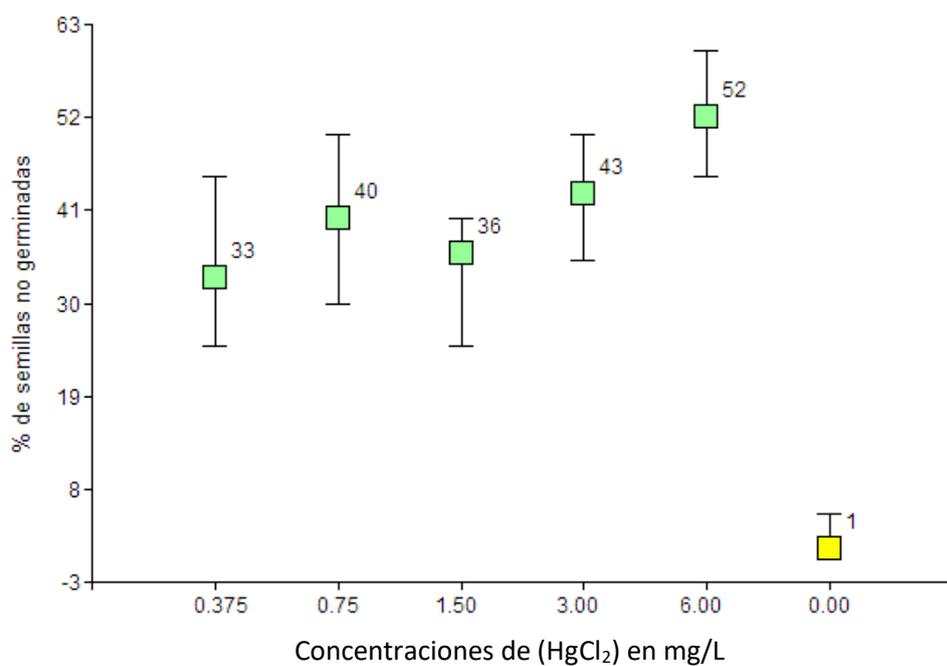


Figura 8. Porcentaje de semillas no germinadas de *Raphanus sativus* sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl₂) en mg/L, Ayacucho 2021.

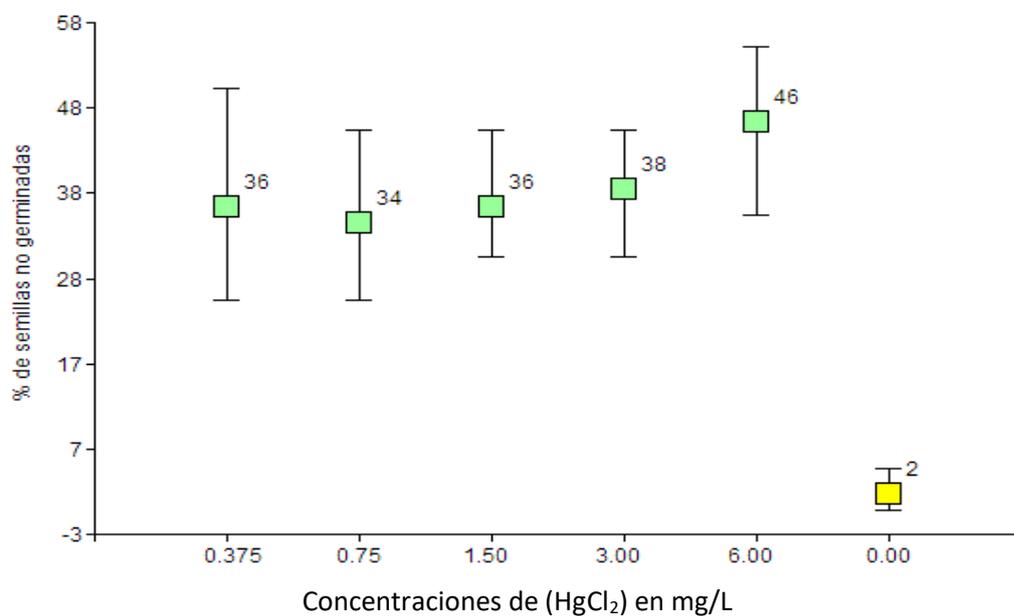


Figura 9. Porcentaje de semillas no germinadas de *Lactuca sativa*, sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl₂) en mg/L, Ayacucho 2021.

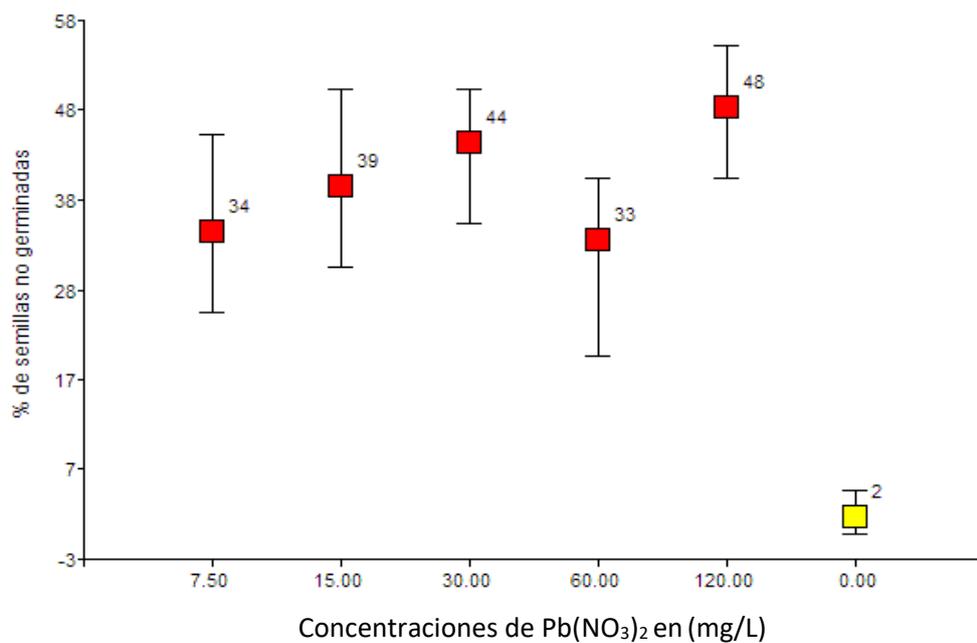


Figura 10. Porcentaje de semillas no germinadas de *Allium cepa*, sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.

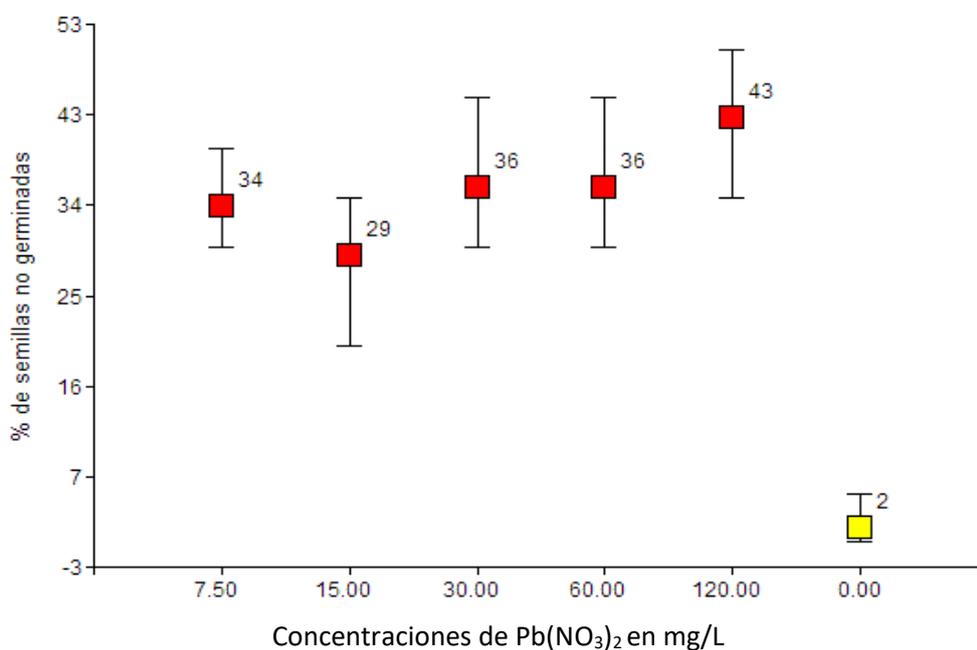


Figura 11. Porcentaje de semillas no germinadas de *Beta vulgaris*, sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.

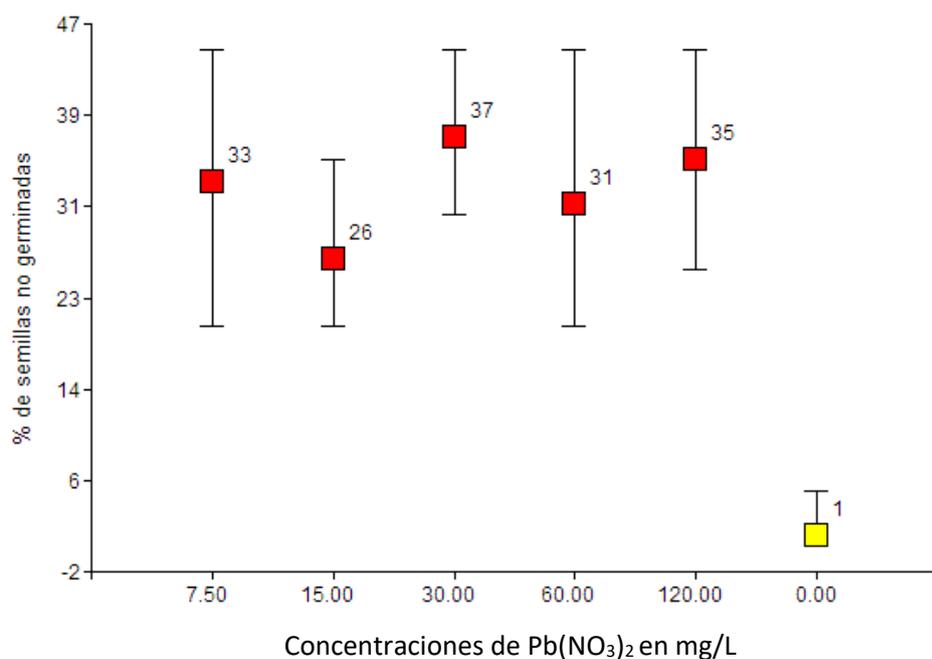


Figura 12. Porcentaje de semillas no germinadas de *Raphanus sativus*, sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.

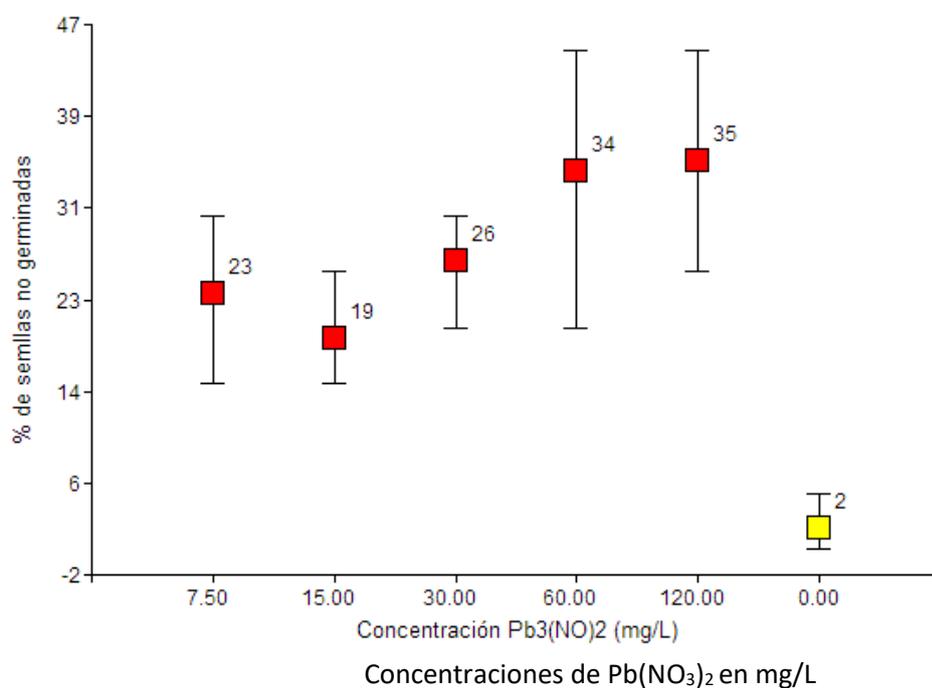


Figura 13. Porcentaje de semillas no germinadas de *Lactuca sativa*, sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.

Tabla 2. Índice de Toxicidad (It) del nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) en la germinación de las semillas de *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*, sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes, Ayacucho 2021.

Concentración de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mg/L)	% de It <i>Allium cepa</i>	% It <i>Beta vulgaris</i>	% It <i>Raphanus sativus</i>	% It <i>Lactuca sativa</i>
7.50	Toxicidad moderada	Toxicidad baja	Toxicidad baja	Toxicidad moderada
15.00	Toxicidad alta	Toxicidad moderada	Toxicidad moderada	Toxicidad alta
30.00	Toxicidad alta	Toxicidad alta	Toxicidad moderada	Toxicidad alta
60.00	Toxicidad muy alta	Toxicidad muy alta	Toxicidad alta	Toxicidad muy alta
120.00	Toxicidad muy alta	Toxicidad muy alta	Toxicidad muy alta	Toxicidad muy alta

Fuente: Análisis de toxicidad por Sobrero, M. & Ronco, 2004.

Tabla 3. Índice de Toxicidad (It) del cloruro de mercurio (HgCl_2) en la germinación de las semillas de *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*, sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes, Ayacucho 2021.

Metal pesado HgCl₂(mg/L)	% de It <i>Allium cepa</i>	% It <i>Beta vulgaris</i>	% It <i>Raphanus sativus</i>	% It <i>Lactuca sativa</i>
0.375	Toxicidad baja	Toxicidad baja	Toxicidad baja	Toxicidad baja
0.750	Toxicidad moderada	Toxicidad moderada	Toxicidad moderada	Toxicidad moderada
1.50	Toxicidad moderada	Toxicidad alta	Toxicidad moderada	Toxicidad alta
3.00	Toxicidad alta	Toxicidad alta	Toxicidad alta	Toxicidad alta
6.00	Toxicidad alta	Toxicidad muy alta	Toxicidad alta	Toxicidad muy alta

Fuente: Análisis de toxicidad por Sobrero, M. & Ronco, 2004.

Figura 14. Promedio del tamaño de la radícula en (mm) de las cuatro especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a las cinco concentraciones crecientes de HgCl_2 (mg/L), Ayacucho 2021.

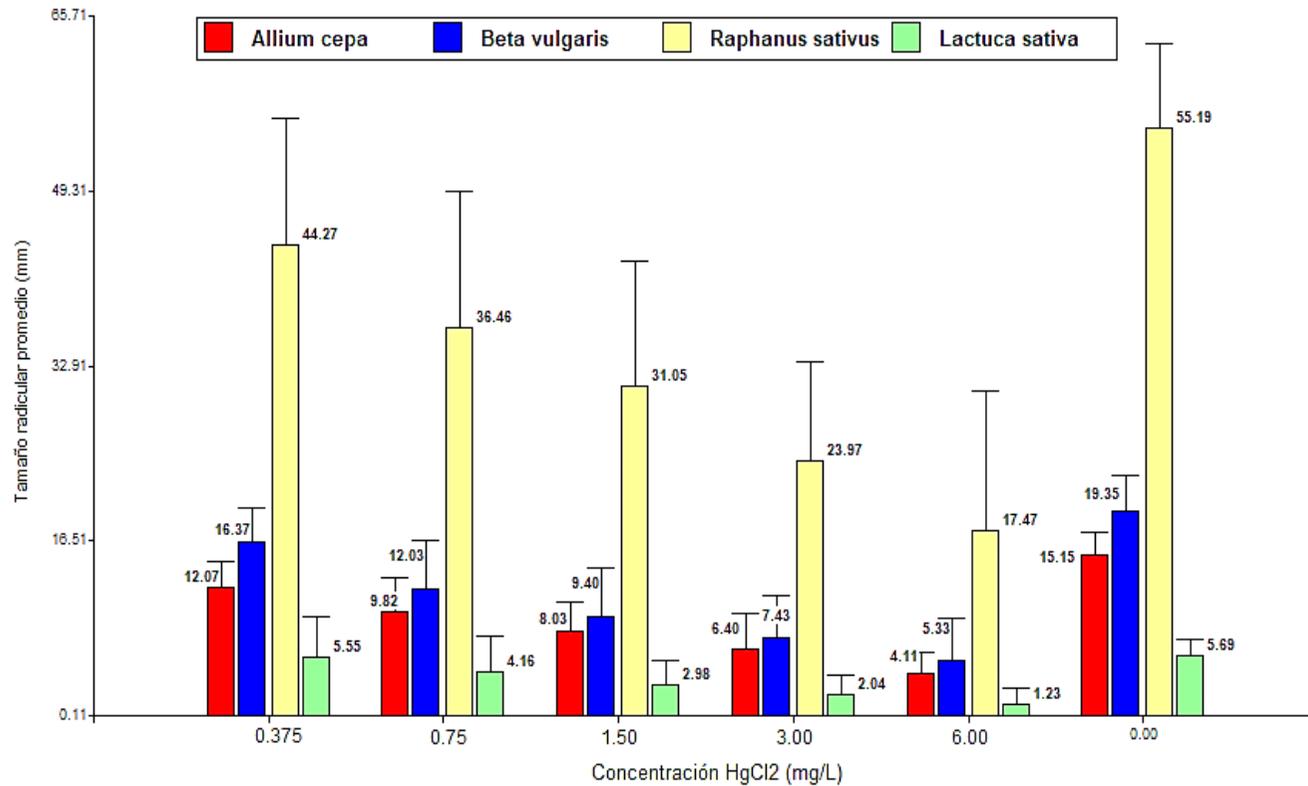


Figura 15. Promedio del tamaño de la radícula en (mm) de las cuatro especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ en (mg/L), Ayacucho 2021.

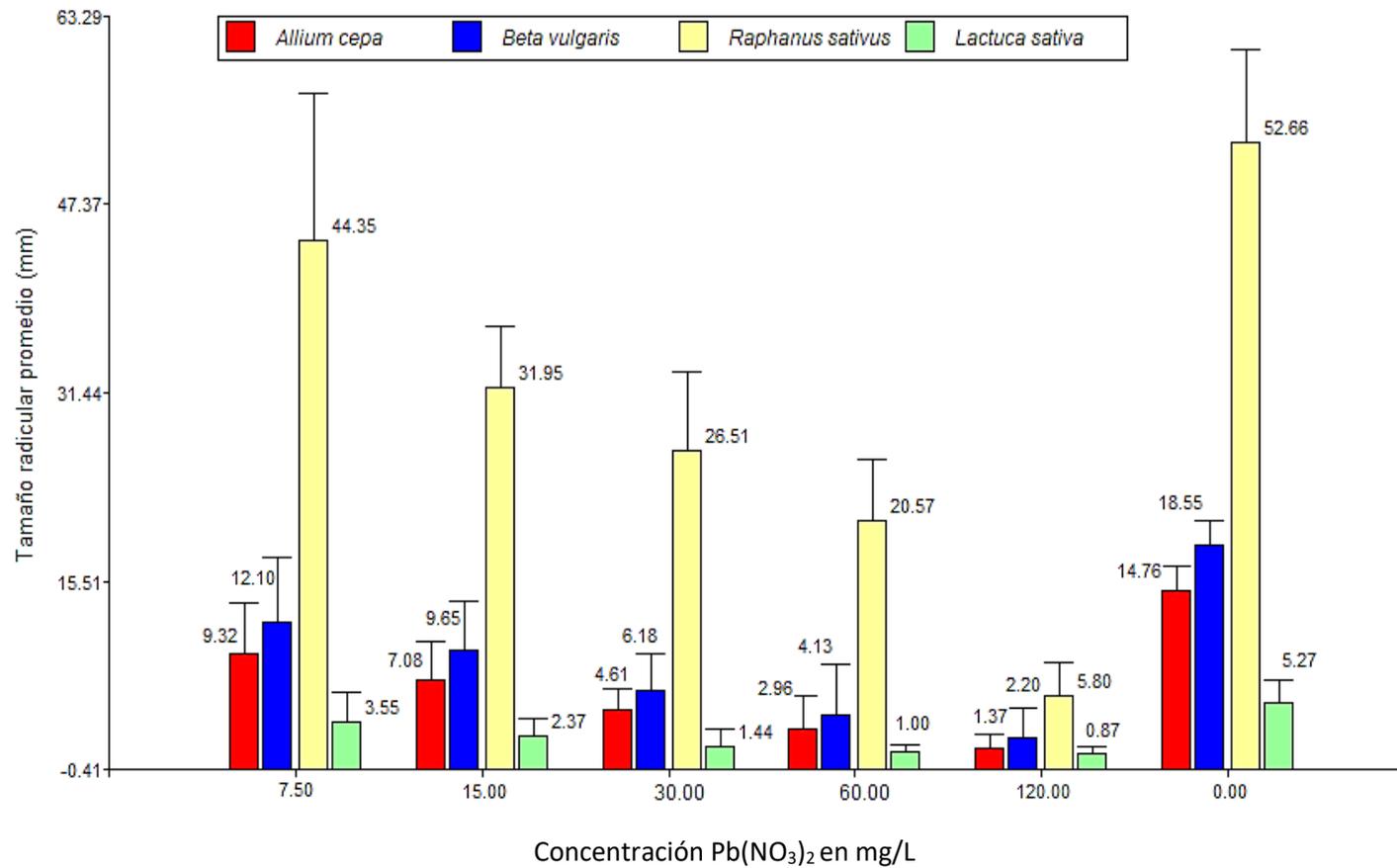


Figura 16. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de *Allium cepa* (cebolla) en función de las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.

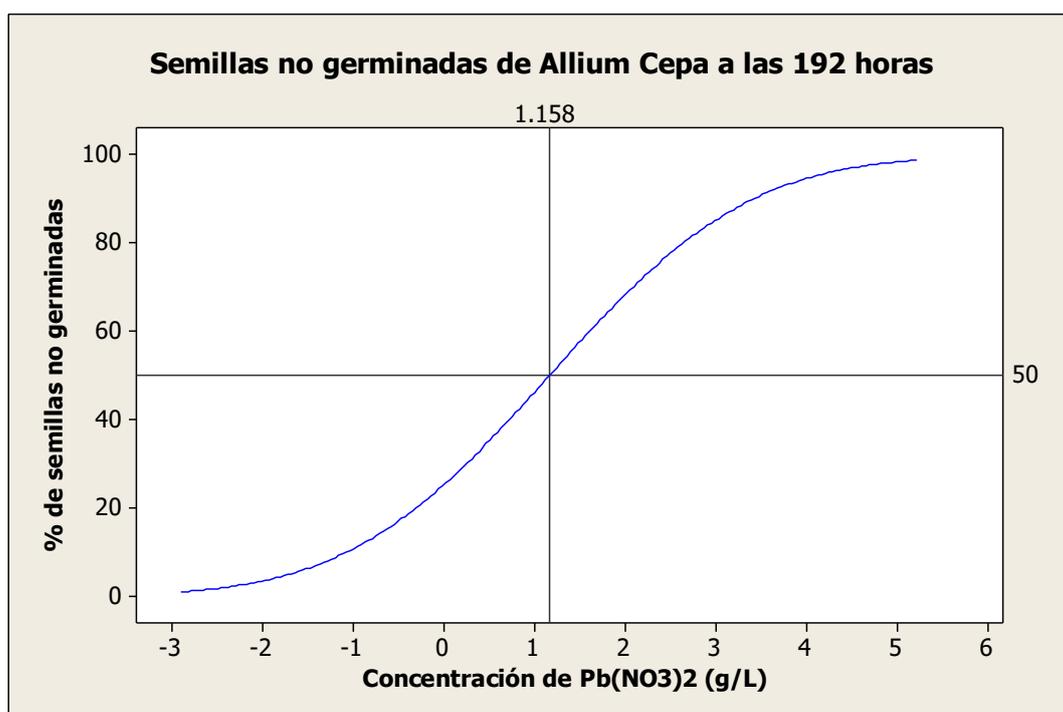


Tabla 4. Percentiles (concentración letal media en g/L) de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en semillas de *Allium cepa* (cebolla) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC Fiducial de 95,0%	
			Inferior	Superior
1	-2.90339	0.746987	-5.49933	-1.88172
2	-2.42744	0.641609	-4.65442	-1.54881
3	-2.12546	0.574935	-4.11871	-1.33723
4	-1.89829	0.524915	-3.71599	-1.17779

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC Fiducial de 95,0%	
			Inferior	Superior
5	-1.71351	0.484341	-3.38864	-1.04788
6	-1.55623	0.449908	-3.11021	-0.937101
7	-1.41833	0.419815	-2.86627	-0.839777
8	-1.29486	0.392964	-2.64804	-0.752447
9	-1.18256	0.368640	-2.44977	-0.672834
10	-1.07919	0.346346	-2.26744	-0.599357
20	-0.311080	0.186903	-0.925260	-0.0407351
30	0.242782	0.100915	-0.0213943	0.426013
40	0.716038	0.115356	0.526323	1.04943
50	1.15838	0.190914	0.882972	1.78742
60	1.60072	0.281297	1.20760	2.55743
70	2.07397	0.382657	1.54542	3.39075
80	2.62784	0.503578	1.93620	4.37058
90	3.39595	0.672986	2.47475	5.73284
91	3.49932	0.695867	2.54706	5.91633
92	3.61161	0.720740	2.62558	6.11569
93	3.73509	0.748107	2.71189	6.33494
94	3.87299	0.778689	2.80825	6.57984
95	4.03027	0.813590	2.91810	6.85920
96	4.21505	0.854619	3.04712	7.18745
97	4.44221	0.905092	3.20566	7.59106
98	4.74419	0.972233	3.41632	8.12769
99	5.22015	1.07814	3.74819	8.97364

Figura 17. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de *Allium cepa* (cebolla) en función de las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.

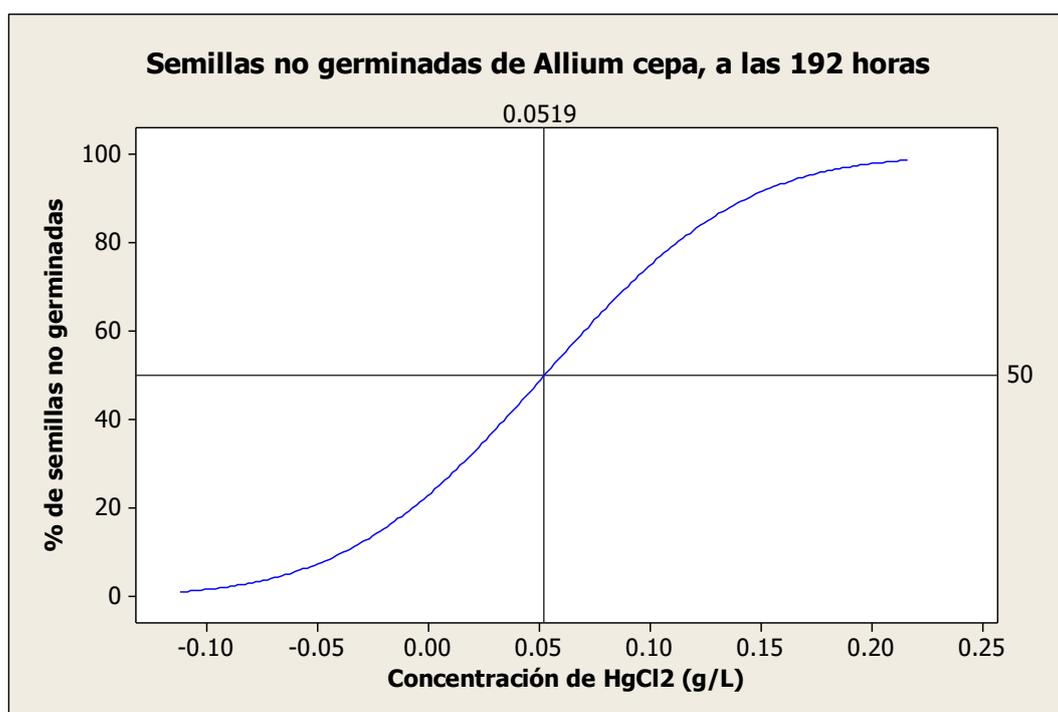


Tabla 5. Percentiles (concentración letal media en g/L) de cloruro de mercurio (HgCl_2) en semillas de *Allium cepa* (cebolla) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC Fiducial de 95,0%	
			Inferior	Superior
1	- 0.112297	0.0245183	-0.186613	-0.0767089
2	- 0.0930515	0.0210705	-0.156818	-0.0624203
3	- 0.0808407	0.0188924	-0.137933	-0.0533360
4	- 0.0716551	0.0172608	-0.123740	-0.0464888

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC Fiducial de 95,0%	
			Inferior	Superior
5	- 0. 0641832	0. 0159393	-0.112206	-0.0409077
6	- 0. 0578235	0. 0148197	-0.102400	-0.0361471
7	- 0. 0522472	0. 0138429	-0.0938107	-0.0319633
8	- 0. 0472544	0. 0129731	-0.0861298	-0.0282077
9	- 0. 0427136	0. 0121867	-0.0791538	-0.0247827
10	- 0. 0385338	0. 0114677	-0.0727421	-0.0216204
20	- 0. 0074744	0. 0064240	-0.0257041	0.0024850
30	0. 0149217	0. 0039661	0.0056747	0.0224055
40	0. 0340582	0.0044893	0.0263511	0.0455626
50	0. 0519447	0. 0067938	0.0414991	0.0713847
60	0. 0698312	0. 0096585	0.0554614	0.0983923
70	0. 0889678	0. 0129270	0.0699866	0.127701
80	0. 1113640	0. 0168587	0.0867733	0.162213
90	0. 1424230	0. 0223931	0.109891	0.210238
91	0. 1466030	0. 0231419	0.112995	0.216709
92	0. 1511440	0. 0239562	0.116364	0.223741
93	3. 8351000	0. 0248524	0.120068	0.231474
94	0. 1617130	0. 0258541	0.124202	0.240112
95	0. 1680730	0. 0269977	0.128915	0.249966
96	0. 1755450	0. 0283426	0.134450	0.261546
97	0.1847300	0. 0299975	0.141252	0.275785
98	0. 1969410	0. 0321996	0.150288	0.294717
99	0. 2161870	0. 0356748	0.164523	0.324566

Figura 18. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de *Beta vulgaris* (betarraga) en función de las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.

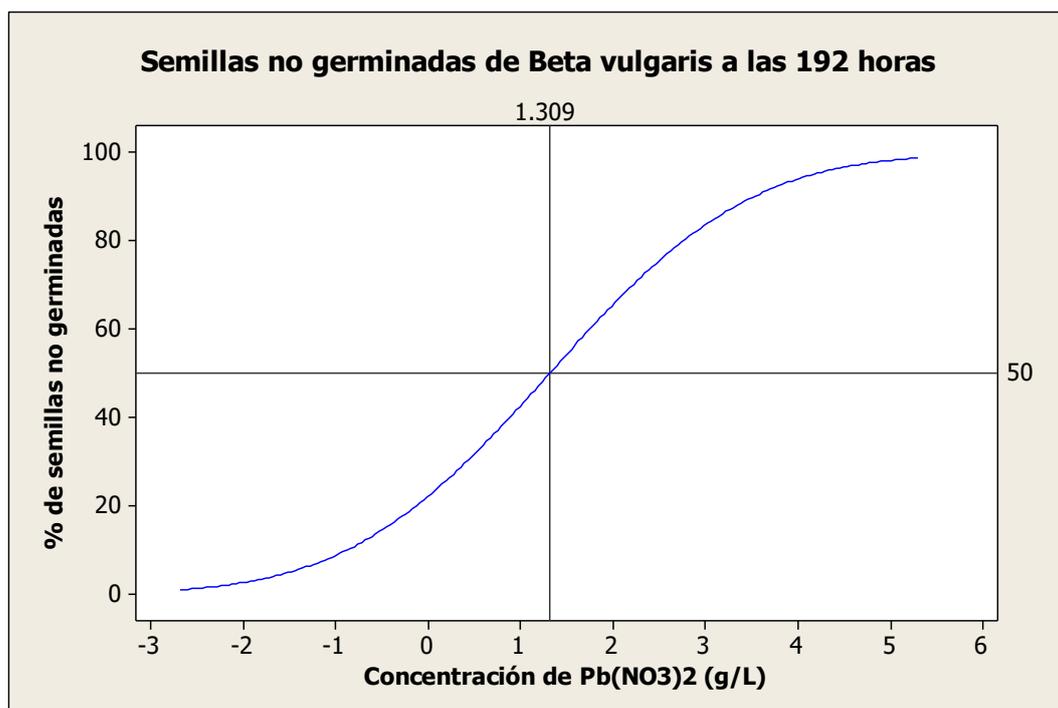


Tabla 6. Percentiles (concentración letal media en g/L) de nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) en semillas de *Beta vulgaris* (betarraga) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
1	-2.67236	0.690455	-5.05131	-1.72451
2	-2.20580	0.588394	-4.23005	-1.39684
3	-1.90978	0.523865	-3.70943	-1.18850

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
4	-1.68710	0.475490	-3.31812	-1.03144
5	-1.50597	0.436284	-3.00010	-0.903401
6	-1.35179	0.403045	-2.72968	-0.794160
7	-1.21661	0.374027	-2.49282	-0.698125
8	-1.09557	0.348170	-2.28099	-0.611886
9	-0.985494	0.324782	-2.08860	-0.533201
10	-0.884166	0.303386	-1.91177	-0.460504
20	-0.131214	0.153701	-0.616922	0.0988410
30	0.411717	0.0932319	0.206684	0.612238
40	0.875632	0.137015	0.664714	1.29663
50	1.30924	0.217314	0.999270	2.02987
60	1.74285	0.306700	1.31476	2.78217
70	2.20677	0.405633	1.64564	3.59371
80	2.74970	0.523206	2.02931	4.54704
90	3.50265	0.687682	2.55858	5.87197
91	3.60398	0.709888	2.62966	6.05041
92	3.71406	0.734026	2.70686	6.24429
93	3.83510	0.760582	2.79171	6.45751
94	3.97028	0.790257	2.88644	6.69566
95	4.12445	0.824121	2.99445	6.96732
96	4.30559	0.863930	3.12130	7.28653
97	4.52827	0.912900	3.27718	7.67901
98	4.82429	0.978038	3.48432	8.20084
99	5.29085	1.08078	3.81065	9.02345

Figura 19. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de *Beta vulgaris* (betarraga) en función de las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.

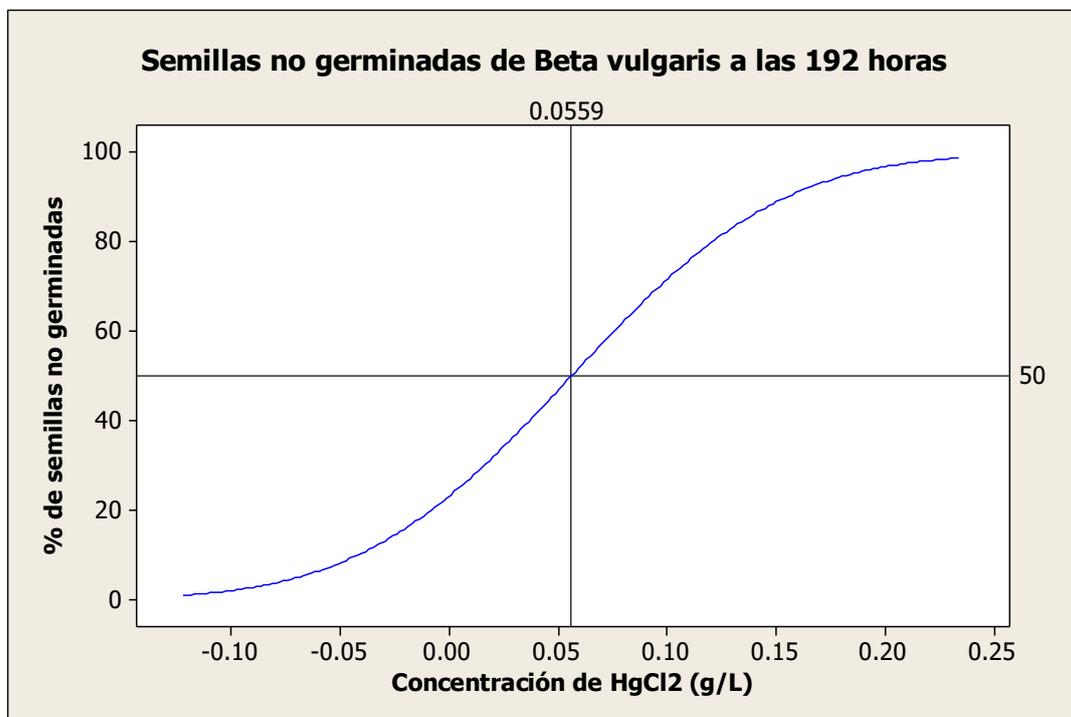


Tabla 7. Percentiles (concentración letal media en g/L) de cloruro de mercurio (HgCl_2) en semillas de *Beta vulgaris* (betarraga) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
1	-0.121960	0.0283989	-0.212149	-0.0816176
2	-0.101115	0.0243513	-0.178334	-0.0664711
3	-0.0878900	0.0217930	-0.156900	-0.0568417
4	-0.0779410	0.0198758	-0.140789	-0.0495836
5	-0.0698482	0.0183223	-0.127697	-0.0436677

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
6	-0.0629600	0.0170055	-0.116564	-0.0386215
7	-0.0569204	0.0158562	-0.106813	-0.0341865
8	-0.0515126	0.0148322	-0.0980926	-0.0302055
9	-0.0465945	0.0139061	-0.0901717	-0.0265746
10	-0.0420674	0.0130588	-0.0828910	-0.0232219
20	-0.0084269	0.0070989	-0.0294734	0.0023753
30	0.0158302	0.0042496	0.0058684	0.0240087
40	0.0365570	0.0051453	0.0280173	0.0505430
50	0.0559298	0.0080231	0.0439310	0.0801324
60	0.0753027	0.0114579	0.0586650	0.110901
70	0.0960295	0.0153299	0.0740293	0.144220
80	0.120287	0.0199643	0.0918050	0.183420
90	0.153927	0.0264710	0.116300	0.237940
91	0.158454	0.0273505	0.119588	0.245285
92	0.163372	0.0283068	0.123159	0.253266
93	0.168780	0.0293591	0.127084	0.262042
94	0.174820	0.0305353	0.131466	0.271846
95	0.181708	0.0318777	0.136462	0.283030
96	0.189801	0.0334561	0.142328	0.296172
97	0.199750	0.0353981	0.149538	0.312331
98	0.212975	0.0379819	0.159117	0.333816
99	0.233820	0.0420584	0.174206	0.367687

Figura 20. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de *Raphanus sativus* (rábano) en función de las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.

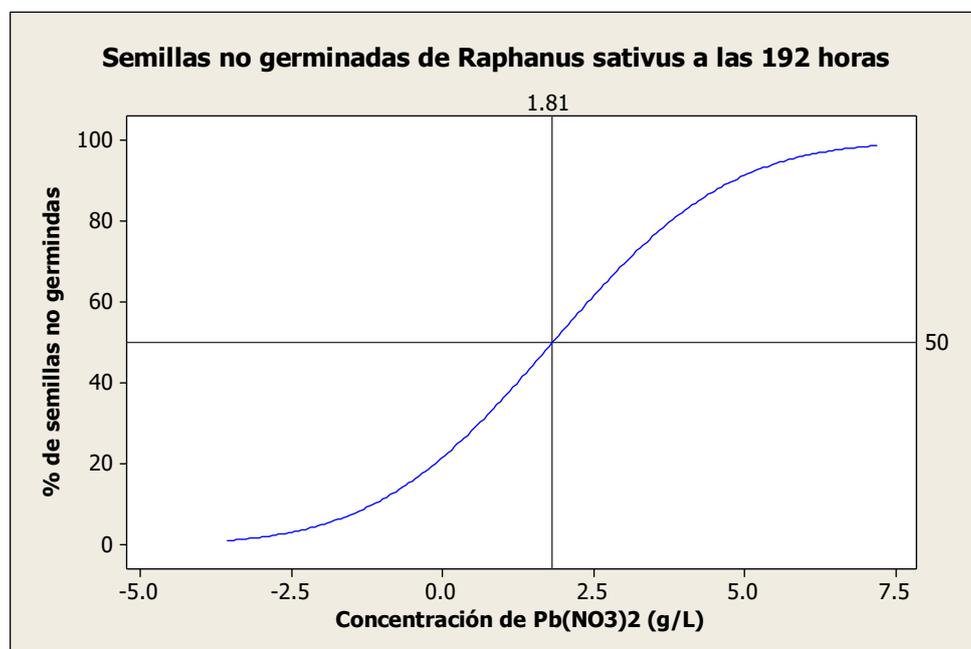


Tabla 8. Percentiles (concentración letal media en g/L) de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) en semillas de *Raphanus sativus* (rábano) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
0.1	-5.32632	1.74347	-13.7124	-3.17804
1	-3.56137	1.21139	-9.37817	-2.06617
2	-2.93154	1.02202	-7.83249	-1.66837
3	-2.53192	0.902154	-6.85235	-1.41544
4	-2.23131	0.812190	-6.11544	-1.22475
5	-1.98679	0.739193	-5.51639	-1.06928

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
6	-1.77866	0.677234	-5.00684	-0.936610
7	-1.59617	0.623078	-4.56041	-0.819943
8	-1.43277	0.574760	-4.16102	-0.715134
9	-1.28417	0.530999	-3.79817	-0.619449
10	-1.14738	0.490910	-3.46455	-0.530981
20	-0.130930	0.209615	-1.02079	0.161716
30	0.602005	0.138876	0.348903	1.05363
40	1.22827	0.276020	0.864712	2.47028
50	1.81363	0.440829	1.25730	3.88391
60	2.39898	0.612568	1.63551	5.31193
70	3.02525	0.798932	2.03487	6.84502
80	3.75818	1.01852	2.49930	8.64220
90	4.77463	1.32429	3.14096	11.1370
91	4.91142	1.36550	3.22719	11.4729
92	5.06003	1.41028	3.32083	11.8378
93	5.22342	1.45954	3.42378	12.2390
94	5.40591	1.51457	3.53872	12.6872
95	5.61404	1.57734	3.66978	13.1983
96	5.85856	1.65111	3.82372	13.7989
97	6.15918	1.74183	4.01291	14.5373
98	6.55879	1.86247	4.26433	15.5190
99	7.18862	2.05268	4.66046	17.0663

Figura 21. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de *Raphanus sativus* (rábano) en función de las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.

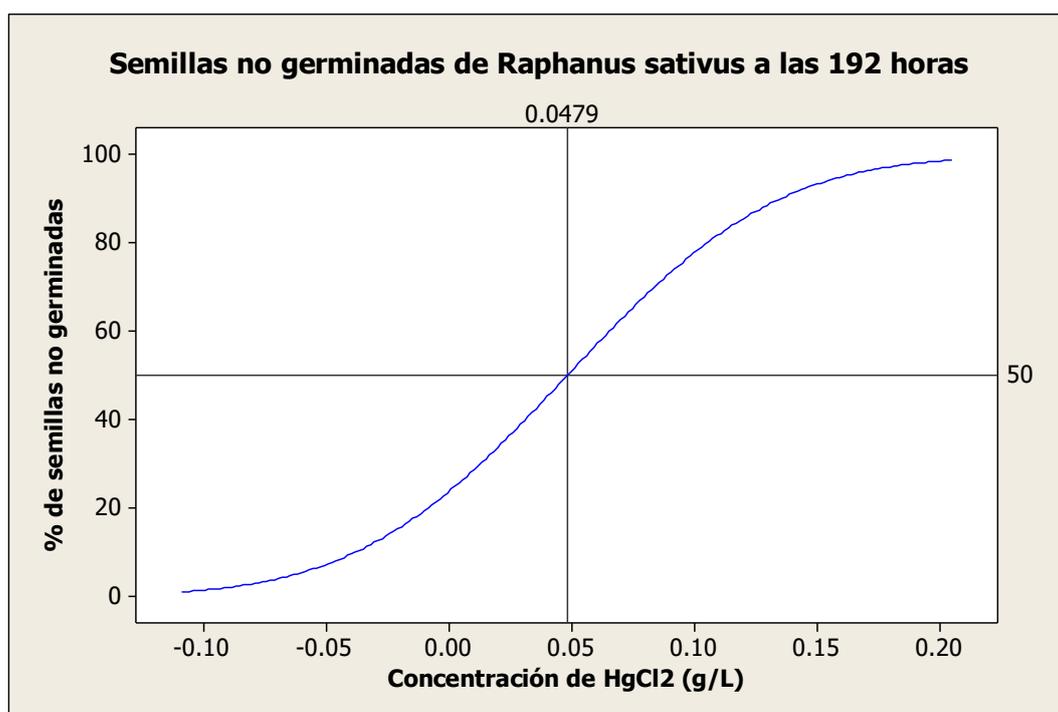


Tabla 9. Percentiles (concentración letal media en g/L) de cloruro de mercurio (HgCl_2) en semillas de *Raphanus sativus* (rábano) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
0.1	-0.160029	0.0315045	-0.253256	-0.113816
1	-0.108624	0.0226913	-0.175631	-0.0752688
2	-0.0902797	0.0195642	-0.147965	-0.0614778

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
3	-0.0786408	0.0175889	-0.130429	-0.0527106
4	-0.0698854	0.0161092	-0.117250	-0.0461029
5	-0.0627635	0.0149109	-0.106540	-0.0407177
6	-0.0567017	0.0138956	-0.0974337	-0.0361248
7	-0.0513866	0.0130098	-0.0894578	-0.0320889
8	-0.0466276	0.0122209	-0.0823248	-0.0284669
9	-0.0422995	0.0115076	-0.0758460	-0.0251645
10	-0.0383155	0.0108553	-0.0698907	-0.0221161
20	-0.0087108	0.0062620	-0.0261511	0.0010490
30	0.0126362	0.0038841	0.0034082	0.0197327
40	0.0308765	0.0040114	0.0237225	0.0406403
50	0.0479252	0.0059199	0.0386195	0.0642724
60	0.0649739	0.0084501	0.0521941	0.0892269
70	0.0832142	0.0113832	0.0662577	0.116385
80	0.104561	0.0149319	0.0824849	0.148401
90	0.134166	0.0199408	0.104816	0.192975
91	0.138150	0.0206191	0.107813	0.198982
92	0.142478	0.0213569	0.111067	0.205509
93	0.147237	0.0221689	0.114643	0.212688
94	0.152552	0.0230768	0.118635	0.220707
95	0.158614	0.0241133	0.123186	0.229855
96	0.165736	0.0253324	0.128530	0.240606
97	0.174491	0.0268328	0.135097	0.253826
98	0.186130	0.0288296	0.143822	0.271404
99	0.204474	0.0319813	0.157565	0.299119

Figura 22. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de *Lactuca sativa* (lechuga) en función de las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.

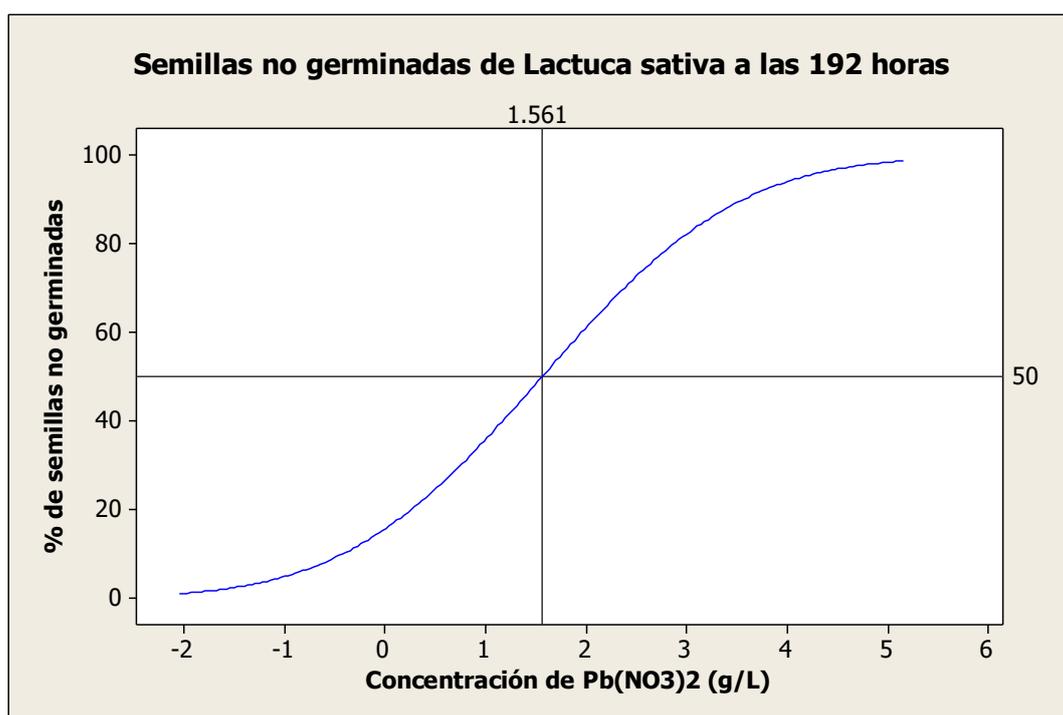


Tabla 10. Percentiles (concentración letal media en g/L) de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) en semillas de *Lactuca sativa* (lechuga) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
1	-2.03633	0.521102	-3.74476	-1.30543
2	-1.61485	0.435386	-3.03856	-1.00260

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
3	-1.34744	0.381362	-2.59121	-0.809742
4	-1.14628	0.341003	-2.25525	-0.664106
5	-0.982649	0.308425	-1.98247	-0.545141
6	-0.843374	0.280938	-1.75077	-0.443400
7	-0.721257	0.257080	-1.54810	-0.353707
8	-0.611916	0.235969	-1.36715	-0.272890
9	-0.512475	0.217035	-1.20312	-0.198848
10	-0.420939	0.199896	-1.05272	-0.130103
20	0.259249	0.0967024	0.0122572	0.433349
30	0.749712	0.109016	0.568509	1.05131
40	1.16879	0.174306	0.911449	1.71169
50	1.56050	0.247551	1.20585	2.35507
60	1.95221	0.324545	1.49262	3.00608
70	2.37129	0.408676	1.79592	3.70609
80	2.86175	0.508257	2.14866	4.52757
90	3.54194	0.647360	2.63587	5.66879
91	3.63348	0.666134	2.70133	5.82247
92	3.73292	0.686541	2.77242	5.98945
93	3.84226	0.708991	2.85056	6.17308
94	3.96438	0.734077	2.93781	6.37819
95	4.10365	0.762704	3.03729	6.61215
96	4.26728	0.796355	3.15413	6.88706
97	4.46844	0.837750	3.29771	7.22507
98	4.73586	0.892812	3.48852	7.67447
99	5.15733	0.979664	3.78912	8.38291

Figura 23. Tendencia de semillas no germinadas (mortalidad) teórica (Probit) de las semillas de *Lactuca sativa* (lechuga) en función de las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas de exposición. Ayacucho, 2021.

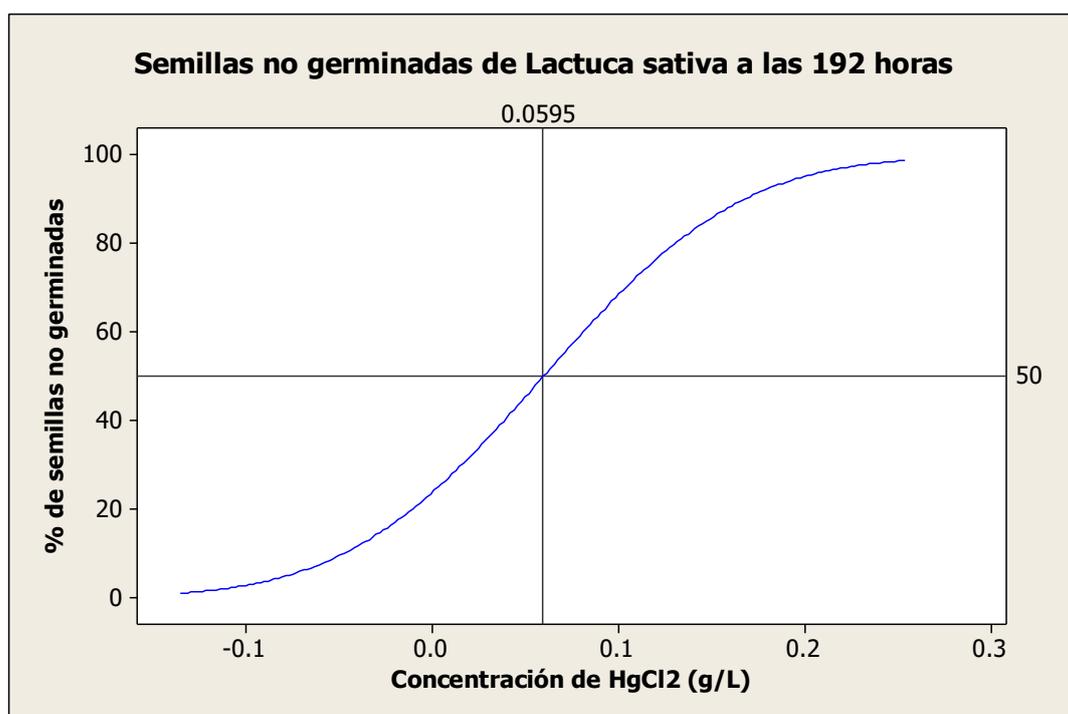


Tabla 11. Percentiles (concentración letal media en g/L) de cloruro de mercurio (HgCl_2) en semillas de *Lactuca sativa* (lechuga) sometidas a 192 horas de exposición, obtenidos mediante el análisis Probit.

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
1	-0.134723	0.0336600	-0.248080	-0.0880947
2	-0.111964	0.0288318	-0.208926	-0.0719686
3	-0.0975239	0.0257784	-0.184104	-0.0617174

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC fiducial de 95.0%	
			Inferior	Superior
4	-0.0866611	0.0234888	-0.165446	-0.0539913
5	-0.0778251	0.0216326	-0.150282	-0.0476944
6	-0.0703043	0.0200583	-0.137386	-0.0423237
7	-0.0637100	0.0186833	-0.126089	-0.0376040
8	-0.0578056	0.0174574	-0.115984	-0.0333676
9	-0.0524358	0.0163478	-0.106805	-0.0295042
10	-0.0474928	0.0153318	-0.0983662	-0.0259371
20	-0.0107629	0.0081394	-0.0363889	0.0012978
30	0.0157221	0.0046345	0.0045478	0.0246893
40	0.0383524	0.0058577	0.0289057	0.0552975
50	0.0595045	0.0094274	0.0458062	0.0897726
60	0.0806566	0.0135856	0.0614551	0.125499
70	0.103287	0.0182343	0.0777922	0.164128
80	0.129772	0.0237781	0.0967060	0.209543
90	0.166502	0.0315456	0.122779	0.272682
91	0.171445	0.0325949	0.126280	0.281186
92	0.176815	0.0337355	0.130082	0.290427
93	0.182719	0.0349904	0.134261	0.300589
94	0.189313	0.0363929	0.138927	0.311940
95	0.196834	0.0379934	0.144245	0.324888
96	0.205670	0.0398751	0.150492	0.340103
97	0.216533	0.0421899	0.158168	0.358811
98	0.230973	0.0452693	0.168368	0.383684
99	0.253732	0.0501269	0.184437	0.422895

Tabla 12. Valores de la Concentración Letal Media (CL_{50}) y los intervalos de confianza a las 192 horas sometidos a metales pesados: nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y cloruro de mercurio ($HgCl_2$), en *Allium cepa*. Ayacucho, 2021.

Tratamientos (metales pesados)	Tiempo de exposición (horas)	CL_{50}	Intervalos de confianza (95%)	
			Inferior	Superior
Nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$)	192	1.15838	0.882972	1.78742
Cloruro de mercurio ($HgCl_2$)	192	0.0519447	0.0414991	0.0713847

Tabla 13. Valores de la Concentración Letal Media (CL_{50}) y los intervalos de confianza a las 192 horas sometidos a metales pesados: nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y cloruro de mercurio ($HgCl_2$), en *Beta vulgaris*. Ayacucho, 2021.

Tratamientos (metales pesados)	Tiempo de exposición (horas)	CL_{50}	Intervalos de confianza (95%)	
			Inferior	Superior
Nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$)	192	1.30924	0.999270	2.02987
Cloruro de mercurio ($HgCl_2$)	192	0.0559298	0.0439310	0.0801324

Tabla 14. Valores de la Concentración Letal Media (CL₅₀) y los intervalos de confianza a las 192 horas sometidos a metales pesados: nitrato de plomo (Pb(NO₃)₂) y cloruro de mercurio (HgCl₂), en *Raphanus sativus*. Ayacucho, 2021.

Tratamientos (metales pesados)	Tiempo de exposición (horas)	CL ₅₀	Intervalos de confianza (95%)	
			Inferior	Superior
Nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂)	192	1.81363	1.25730	3.88391
Cloruro de mercurio (HgCl ₂)	192	0.0479252	0.0386195	0.0642724

Tabla 15. Valores de la Concentración Letal Media (CL₅₀) y los intervalos de confianza a las 192 horas sometidos a metales pesados: nitrato de plomo (Pb(NO₃)₂) y cloruro de mercurio (HgCl₂), en *Lactuca sativa*. Ayacucho, 2021.

Tratamientos (metales pesados)	Tiempo de exposición (horas)	CL ₅₀	Intervalos de confianza (95%)	
			Inferior	Superior
Nitrato de plomo (Pb(NO ₃) ₂)	192	1.56050	1.20585	2.35507
Cloruro de mercurio (HgCl ₂)	192	0.0595045	0.0458062	0.0897726

V. DISCUSIONES

En la figura 2, y la figura 4 se observa la mortalidad de las semillas *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*, bajo la forma de semillas no germinadas registradas a las 192 horas de exposición, a las concentraciones de 7.5, 15.0, 30, 60 y 120 mg/L de $Pb(NO_3)_2$ presentan valores semejantes las cuatro variedades, los valores promedio de *Allium cepa* 7, 8, 9, 7 y 10 así como como se manifiesta los valores porcentuales en la figura 4; *Beta vulgaris* 7, 6, 7, 7 y 9; *Raphanus sativus* 7, 5, 7, 6 y 7 y *Lactuca sativa* 5, 4, 5, 7 y 7 respectivamente de acuerdo a los valores de concentración crecientes. En el testigo, no se registró ninguna mortalidad, ya que todas las semillas germinaron en su totalidad. Al realizar la prueba de Kruskal-Wallis (las semillas no germinadas, no presentan una distribución normal, para realizar las comparaciones a los datos de las 4 especies se realizó la estadística no paramétrica), en el Anexo 4 se observa significancia estadística ($p < 0,05$) del porcentaje de semillas no germinadas por cada concentración de $Pb(NO_3)_2$, son estadísticamente diferentes quiere decir que tiene mayor susceptibilidad a las concentraciones crecientes de $Pb(NO_3)_2$ el *Allium Cepa*, mientras que la *Lactuca sativa* es menos susceptible. Generalmente se observa que cuanto mayor es la concentración de nitrato de plomo, mayor es el porcentaje de semillas sin germinar, esto se debe a que el plomo es tóxico para todos los organismos vivos, ya que puede afectar su capacidad para sobrevivir, aprender y reproducirse, retrasa el crecimiento y generalmente causa numerosos trastornos metabólicos. Además, tiene la capacidad de almacenarse persistentemente en organismos vivos, bioacumulándose cada vez más en la cadena alimentaria hasta llegar a los humanos Duffus (1983). Punto de vista que es compartida por Nureña y Padilla (2013), también agrega que la ingesta de raíces vegetales afecta la cadena alimenticia, y como sucede con algunas plantas comestibles como el *Raphanus sativus* y la *Beta vulgaris*, estas son las mismas que satisfacen el consumo general. (Nureña, B. & Padilla, 2013). En la investigación realizada por Rico (2017), se observaron efectos tóxicos agudos y crónicos sobre semillas, de *Beta vulgaris* “acelga”, *Lactuca sativa* “lechuga” en los diferentes experimentos de exposición, causando

efectos tóxicos sobre la germinación y crecimiento de semillas con un porcentaje de germinación inferior al 90%, en la dosis de 0,2 mg/L de plomo en la acelga (Rico, 2017).

En la figura 3 y 4 se observa la mortalidad de las semillas *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*, bajo la forma de semillas no germinadas registradas a las 192 horas de exposición, a las concentraciones de 0.375, 0.75, 1.50, 3.0 y 6.0 mg/L de HgCl₂, a medida que incrementa las concentraciones, el porcentaje de semillas no germinadas sigue la misma tendencia, presentan valores promedios en *Allium cepa* 6, 7, 8, 8 y 10; en *Beta vulgaris* 7, 7, 7, 8 y 10; en *Raphanus sativus* 7, 8, 7, 9 y 10; en *Lactuca sativa* 7, 7, 7, 8 y 9, de igual forma se puede observar el porcentaje de semillas no germinadas en la figura 4, presentan valores promedios de 39, 38, 41 y 38% de semillas no germinadas de acuerdo a las concentraciones crecientes de HgCl₂. Cabe señalar que en el blanco (testigo) todas las semillas de las cuatro variedades germinaron al 100%, en su totalidad. por lo que el porcentaje de semillas no germinadas registrada está dado por la presencia del nitrato de plomo. Al efectuar el método estadística de Kruskal-Wallis para comparar la fitotoxicidad en las diferentes concentraciones, se observó que dichas diferencias no son significativas estadísticamente ($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 4, quiere decir que las cuatro especies son igualmente afectadas por el cloruro de mercurio HgCl₂, ya que inhibe la germinación de las semillas, afectando o causando daños a nivel del sistema embrionario conllevando a la muerte; así mismo Huertas (2010) en su trabajo de investigación sobre fitotoxicidad obtuvo como resultado la inhibición de la germinación de *Phaseolus vulgaris* conforme aumentó la dosis de Hg, con respecto a la raíz reportó inhibición en su desarrollo a partir de 0.1g/L/HgCl₂ (Huerta, 2010).

En la figura 6 se observa el porcentaje de semillas no germinadas de *Allium cepa* registradas a las 192 horas de exposición, a las concentraciones de 0.375, 0.75, 1.50, 3.0 y 6.0 mg/L de HgCl₂, al incremento de las concentraciones, el porcentaje de semillas no germinadas sigue la misma tendencia, presentan valores promedios de 32, 33, 40, 41 y 49% de semillas no germinadas de acuerdo a las concentraciones crecientes de HgCl₂. Cabe señalar que en el blanco (testigo) todas las semillas germinaron al 100%, en su totalidad, por

lo que el porcentaje de semillas no germinadas se debió a causa del cloruro de mercurio. Al efectuar la prueba estadística de Kruskal-Wallis para comparar la fitotoxicidad registrada en las diferentes concentraciones, se observó que dichas diferencias son significativas estadísticamente ($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 5, quiere decir que en comparación con las cinco concentraciones se observa que la mayor concentración de cloruro de mercurio inhibe en la germinación de *Allium cepa* en 49%, afectando o causando daños a nivel del sistema embrionario conllevando a la muerte.

En la figura 7 se muestra el porcentaje de semillas no germinadas de *Beta vulgaris*, el cual fue cometido a 192 horas sometidas a concentraciones crecientes de cloruro de mercurio $HgCl_2$: 0.375, 0.75, 1.50, 3.00 y 6.00 mg/L, se observa que a medida que incrementa las concentraciones, el porcentaje de semillas no germinadas sigue la misma tendencia, presentan valores promedios de 35, 33, 37, 38 y 48% de semillas que no lograron germinar por el efecto del cloruro de mercurio, ya que en comparación con el blanco (testigo) se observa que lograron germinar al 100% en su totalidad. Al efectuar la prueba estadística de Kruskal-Wallis para comparar la fitotoxicidad registrada en las diferentes concentraciones, se observó que dichas diferencias son significativas estadísticamente ($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 6, quiere decir que en comparación con las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio, estadísticamente se puede observar que existe diferencia es significativa ya que en comparación con el blanco se puede ver que con las diferentes concentraciones de cloruro de mercurio afectan en la germinación de las semillas notándose que a mayor concentración la inhibición en la germinación de las semillas es mayor. Por ello Prieto y col. (2008), menciona que los altos niveles de los metales pesados como el plomo níquel, magnesio, cadmio y mercurio presentes en los suelos y agua negra, utilizadas para el riego agrícola radican principalmente, que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura y por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodiversidad puede resultar peligroso (Prieto, J.& col. Prieto, 2008). De igual forma en el trabajo de investigación realizado por Ticeran (2019), encontró que Pb, Cd y Hg inhiben la actividad de fosfatasa ácida en la concentración de

10mg/L, a las 24, 12 y 48 horas respectivamente, obteniendo que cadmio y el mercurio son los metales pesados que tuvieron mayor efecto inhibitorio durante la actividad enzimática de fosfatasa ácida (Ticeran, 2019).

En la figura 8 se observa el porcentaje de semillas no germinadas de *Raphanus sativus*, sometidos a 192 horas de exposición a las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio $HgCl_2$, a las concentraciones de: 0.375, 0.75, 1.50, 3.00 y 6.00 mg/L, se observa que a medida que incrementa las concentraciones, el porcentaje de semillas no germinadas sigue la misma tendencia, presentan valores promedios de 33, 40, 36, 43 y 52% de semillas que no lograron germinar por el efecto del cloruro de mercurio, ya que en comparación con el blanco (testigo) se observa que lograron germinar al 100% en su totalidad. Al efectuar la prueba estadística de Kruskal-Wallis para comparar la fitotoxicidad registrada en las diferentes concentraciones, se observó que dichas diferencias son significativas estadísticamente ($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 7, quiere decir que en comparación con las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio; estadísticamente se puede observar que la diferencia es significativa ya que en comparación con el blanco se puede ver que las diferentes concentraciones de cloruro de mercurio afectan en la germinación de las semillas notándose que a mayor concentración la inhibición en la germinación es mayor directamente proporcional ya que se observa que ha concentración de 3.00 y 6.00 mg/L de $HgCl_2$, presenta mayor porcentaje de semillas no germinadas de *Raphanus sativus*, a comparación con las concentraciones de 0.375, 0.75 y 1.50 mg/L siendo estas tres últimas similares entre ellas; Cousillas (2012), indica que el cloruro de mercurio ($HgCl_2$), es muy tóxico y peligroso por su gran solubilidad en agua (71,5 g/L a 25°C). Los compuestos de mercurio son muy tóxicos a ciertas concentraciones. Indica también que la toxicidad del mercurio es frecuente que se observe la muerte de peces en ríos o lagos ante un vertido de cierta importancia ocasionan alteraciones en los epitelios branquiales y dérmicos y hasta la muerte. En este caso, el mercurio inhibe la germinación de las semillas (Cousillas, 2002).

En la figura 9 se observa el porcentaje de semillas no germinadas de *Lactuca sativa*, los cuales fueron sometidos a 192 horas de exposición a las cinco concentraciones crecientes de HgCl_2 , valores promedio de: 0.375, 0.75, 1.50, 3.00 y 0.60 mg/L, se observa que a medida que incrementa las concentraciones, el porcentaje de semillas no germinadas sigue la misma tendencia, presentan valores promedios de 36, 34, 36, 38 y 46% de semillas que no lograron germinar por el efecto del cloruro de mercurio, ya que en comparación con el blanco (testigo) se observa que lograron germinar al 98% casi en su totalidad. Al realizar la prueba de Kruskal-Wallis, tal como se observa en el anexo 8, se halló significancia estadística ($p < 0,05$) por lo que la mortalidad generada por cada una de las cinco concentraciones, son estadísticamente diferentes, siempre en comparación con el blanco este tiene valores promedio menores mientras que con las cinco concentraciones crecientes de mercurio se observa que los valores promedio son ligeramente iguales y crecientes, de mayor concentración 0.060 mg/L presenta mayor porcentaje de semillas no germinadas 46%, con ello viéndose claramente que las concentraciones de mercurio son los que afectan en el proceso de germinación de las semillas. La tolerancia y la capacidad acumuladora de *B. dictyoneura* podrían ser utilizadas para fitoremediación en sitios contaminados por mercurio.

En la figura 10, se observa el porcentaje de semillas no germinadas de *Allium cepa*, los cuales fueron sometidos a 192 horas de exposición en cinco concentraciones crecientes de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, valores promedio de: 7.50, 15.00, 30.00, 60.00 y 120.00 mg/L, en el cual se observa que a medida que incrementa las concentraciones, el porcentaje de semillas no germinadas sigue la misma tendencia, presentan valores promedios 34, 39, 44, 33 y 48% de semillas que no lograron germinar por el efecto del nitrato de plomo, ya que en comparación con el blanco (testigo) se observa que lograron germinar al 98% casi en su totalidad. Al efectuar la prueba estadística de Kruskal-Wallis para comparar la fitotoxicidad registrada en las diferentes concentraciones, se observó que dichas diferencias son significativas estadísticamente ($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 9, quiere decir que en comparación con las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio, estadísticamente se puede observar que la diferencia es significativa ya que en comparación

con el blanco este tiene un valor promedio menor, mientras que con las cinco concentraciones crecientes de plomo se observa que los valores promedio son ligeramente iguales y crecientes, el de mayor concentración 120.00mg/L presenta un valor promedio de 29.90, quiere decir que en las 5 concentraciones de plomo el *Allium cepa* se comporta de manera semejante pero es totalmente diferente en comparación con el blanco lo que quiere decir que el plomo está afectando en la germinación de las semillas, sea en cualquiera de sus concentraciones. El plomo es altamente reactivo y consecuentemente puede ser tóxico para las células vivas de plantas y humanos, en el trabajo de investigación realizada por Isaza (2013), el plomo en una concentración de 5 g l⁻¹ afectó el proceso de absorción en ambos cultivos, pero fue más pronunciado en el frijol (Isaza, 2013).

En la figura 11 se observa el porcentaje de semillas no germinadas de *Beta vulgaris*, los cuales fueron sometidos a 192 horas de exposición a las cinco concentraciones crecientes de Pb(NO₃)₂, valores promedio de: 7.50, 15.00, 30.00, 60.00 y 120.00 mg/L, presentan valores promedios de 34, 29, 36, 36 y 43% de semillas no germinadas, cuando incrementa las concentraciones, el porcentaje de semillas no germinadas sigue la misma tendencia, pero en comparación con el blanco se evidencia que germinaron casi en su totalidad, por ello se puede afirmar que las concentraciones de plomo afectan en la germinación de las semillas de *Beta vulgaris*, Al efectuar la prueba estadística de Kruskal-Wallis para comparar la fitotoxicidad registrada en las diferentes concentraciones, se observó que dichas diferencias son significativas estadísticamente ($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 10, quiere decir que en comparación con las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo, estadísticamente se puede observar que la diferencia es significativa ya que en comparación con el blanco este tiene un valor promedio de 1.5 y la que presenta mayor concentración tiene 43, el porcentaje de semillas no germinadas (mortalidad) es directamente proporcional ya que a medida que la concentración de nitrato de plomo aumenta, también aumenta la mortalidad de las semillas que no logran germinar. En el trabajo de investigación realizada por Arqueros (2015) que el aluminio y el plomo influyen significativamente en la

germinación de las semillas de *Triticum aestivum*. lo cual está relacionado directamente con las concentraciones de plomo.

En la figura 12 se observa el porcentaje de semillas no germinadas de *Raphanus sativus*, sometidas a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo en valores promedio de: 7.50, 15.00, 30.00, 60.00 y 120.00 mg/L, sometidos a 192 horas de exposición en condiciones de laboratorio, los cuales muestran valores promedio de: 33, 26, 37, 31 y 35% de semillas que no lograron germinar por la acción del nitrato de plomo ya que en comparación con el testigo (blanco) estos lograron germinar en 99% lo que indica que el nitrato de plomo inhibe en la germinación de las semillas de *Raphanus sativus*, Al efectuar la prueba estadística de Kruskal-Wallis para comparar la fitotoxicidad registrada en las diferentes concentraciones, se observó que dichas diferencias son significativas estadísticamente ($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 11, quiere decir que en comparación con las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo, estadísticamente se puede observar que la diferencia es significativa en comparación con el blanco o testigo, ya que los resultados de las cinco concentraciones de nitrato de plomo se comportan de manera semejante y se observa que los resultados son directamente proporcional.

En la figura 13 se observa el porcentaje de semillas no germinadas de *Lactuca sativa*, sometidas a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo con valores promedio de: 7.50, 15.00, 30.00, 60.00 y 120.00 mg/L, los cuales estaban expuestos a 192 horas (5 días) registrándose la lectura con valores promedio de: 23, 19, 26, 34 y 35% de semillas no germinadas y en el tratamiento del testigo (blanco) las semillas no lograron germinar solo el 2% lo que indica claramente que las concentraciones de nitrato de plomo afecta o inhibe la germinación de las semillas de *Lactuca sativa*. Al efectuar la prueba estadística de Kruskal-Wallis para comparar la fitotoxicidad registrada en las diferentes concentraciones, se observó que dichas diferencias son significativas estadísticamente ($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 12, quiere decir que, en comparación con las cinco concentraciones

crecientes de nitrato de plomo, estadísticamente se puede observar que la diferencia es significativa en comparación con el blanco o testigo ya que el blanco tiene como promedio media de 2.0 mientras que las cinco concentraciones de nitrato de plomo presentan valores semejantes entre 23.0 y 35.0, se observa que la relación es directamente proporcional a mayor concentración mayor porcentaje de semillas no germinadas.

En la Tabla 02 se observa el cuadro de Índice de Toxicidad del nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) en la germinación de las semillas de *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*, sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo, estos resultados fueron hallados con los datos del tamaño de la raíz en (mm) de las semillas que lograron germinar, para comprobar la influencia de las concentraciones de plomo sobre las semillas que lograron germinar es así que con las concentraciones de 7.50, 15.00, 30.00, 60.00 y 120.00mg/L, *Beta vulgaris*, y *Raphanus sativus* presentan un índice de toxicidad creciente a medida que aumenta la concentración y siendo de Toxicidad muy alta a la mayor concentración (120.00mg/L), mientras que *Allium cepa* y *Lactuca sativa*, son los más sensibles a las diferentes concentraciones de nitrato de plomo y presentan un Índice de toxicidad muy alta desde la concentración 60.00mg/L, de igual forma Mora y Herrera (2019), en su trabajo de investigación encontró que para los tratamientos con Cd, el índice de toxicidad fue alto toxicidad en concentraciones mayores de $0,004 \text{ mg Cd L}^{-1}$. Para el Pb, una muy alta toxicidad a partir de la concentración de $0,5 \text{ mg Pb L}^{-1}$ (Mora, K. & Herrera, 2019). De igual forma Isaza (2013), menciona que el plomo es altamente reactivo y consecuentemente puede ser toxico para las células vivas de plantas y humanos. Este metal pesado es un contaminante para el ambiente ya que altera los ciclos naturales; en su trabajo de investigación encontró que el plomo redujo el porcentaje de germinación en el frijol, pero no afectó a las semillas de maíz. El crecimiento de los órganos de raíz, tallo y hoja en ambas especies con presencia de plomo se produjo coincidiendo con Nureña y Padilla (2013).

En la tabla 3 se puede observar el cuadro de Índice de Toxicidad del cloruro de mercurio (HgCl_2) en la germinación de las semillas de *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*, sometidos a 08 días (192 horas) sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo, estos resultados fueron hallados con los datos del tamaño de la raíz en (mm) de las semillas que lograron germinar, para comprobar la influencia de las concentraciones de plomo sobre las semillas que lograron germinar es así que con las concentraciones de: 0.375, 0.75, 1.50, 3.00 y 6.00 mg/L, presentan una toxicidad baja las cuatro especies a la concentración menor, mientras a la mayor concentración presentan una toxicidad muy alta *Beta vulgaris* y *Lactuca sativa*, verificándose así que estas dos especies son los más sensibles al cloruro de mercurio, mientras que las especies *Allium cepa* y *Raphanus sativus*, presentan toxicidad alta a la mayor concentración de cloruro de mercurio, de esta forma se podría afirmar que estas dos especies son más resistentes al cloruro de mercurio. En el trabajo de investigación se verificó la toxicidad del mercurio sobre las semillas de *Phaseolus vulgaris* donde los resultados obtenidos mostraron una notable inhibición de la germinación conforme aumentó la dosis de mercurio (Huerta, 2010). También la raíz reveló claramente inhibición en su desarrollo a partir de 0.1 g/L/ HgCl_2 .

En la figura 14, se observa el promedio del tamaño radicular en (mm) de las cuatro especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a las cinco concentraciones crecientes de HgCl_2 (mg/L) con valores promedio de: 0.375, 0.75, 1.50, 3.00 y 6.00 mg/L, presentan valores promedio del tamaño radicular en *Allium cepa*: 12.07, 9.82, 8.03, 6.40 y 4.11(mm), *Beta vulgaris* 16.37, 12.03, 9.40, 7.43 y 5.33(mm), *Raphanus sativus* 44.27, 36.46, 31.05, 23.97 y 17.47(mm) y *Lactuca sativa* 5.55, 4.16, 2.98, 2.04 y 1.23(mm) en tamaño radicular, en este caso se puede ver claramente que el mercurio afecta en el crecimiento radicular a *Lactuca sativa* seguido por *Allium cepa*, mientras que el más resistente o no influye en su crecimiento radicular es al *Raphanus sativus* ya que sus raíces presenta mayor tamaño. Al efectuar la prueba estadística de Kruskal-Wallis para comparar la inhibición en el crecimiento radicular registrada en las diferentes concentraciones, se observó que dichas diferencias son significativas estadísticamente

($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 14, quiere decir que, en comparación al tamaño radicular que presentan las cuatro especies sometidas a las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio, estadísticamente existe diferencia significativa, verificándose que la *Lactuca sativa* y el *Allium cepa* son las más sensibles seguido por *Beta vulgaris* y finalmente el más resistente el *Raphanus sativus*; en comparación con el blanco (testigo) se puede ver claramente cómo es que el cloruro de mercurio inhibe el crecimiento radicular de las cuatro especies en especial a *Lactuca Sativa* seguido por *Allium cepa*, *Beta vulgaris* y el más resistente a las diferentes concentraciones de cloruro de mercurio *Raphanus sativus*. Los primeros efectos fitotóxicos ocurren en las raíces, ya que son la parte fundamental de la planta en cuanto a la absorción de nutrientes y son las primeras en mostrar cambios (inhibición) en presencia de sustancias tóxicas, tal como cita Barrera (2013), los resultados obtenidos en el presente trabajo son muy similares a los resultados que se obtuvo, cuando se determinaron sus resultados de toxicidad, afirmaron que los metales pesados (Hg, As, Cd, Pb) eran tóxicos en varias diluciones que inhibían el crecimiento de la raíz y el hipocótilo de *Lactuca sativa* 91.67% para raíces, 69.42% para hipocotilos (Barrera, 2013).

En la figura 15 se observa el promedio del tamaño radicular en (mm) de las cuatro especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a las cinco concentraciones crecientes de $Pb(NO_3)_2$ (mg/L) con valores promedio de: 7.50, 15.00, 30.00, 60.00 y 120.00 mg/L, presentan valores promedio del tamaño radicular en *Allium cepa*: 9.32, 7.08, 4.61, 2.96 y 1.37 (mm), *Beta vulgaris* 12.10, 9.65, 6.18, 4.13, 2.20 (mm), *Raphanus sativus* 44.35, 31.95, 26.51, 20.57 y 5.80 (mm) y *Lactuca sativa* 3.55, 2.37, 1.44, 1.00 y 0.87 (mm) en tamaño radicular, en este caso se puede ver claramente que el nitrato de plomo inhibe en el crecimiento radicular de las cuatro especies, en especial a *Lactuca sativa*, seguido por *Allium cepa* y *Beta vulgaris*, mientras el *Raphanus sativus* resulta ser la especie más resistente ya que presenta un mayor promedio en el tamaño radicular. En comparación con el blanco (testigo) se puede afirmar que las cinco concentraciones de plomo inhiben el crecimiento radicular de las cuatro especies. Al efectuar la prueba estadística de Kruskal-Wallis para comparar la inhibición en el crecimiento radicular

registrada en las cinco concentraciones, se observó que dichas diferencias son significativas estadísticamente ($p < 0,05$), la misma que se puede observar en el anexo 15, quiere decir que, en comparación al tamaño radicular que presentan las cuatro especies sometidas a las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio, estadísticamente existe diferencia significativa, las cuatro especies son afectados por las cinco concentraciones de nitrato de plomo ya que a medida que incrementa la concentración de plomo se puede observar que el tamaño radicular se reduce y el más sensible al plomo en este caso es la *Lactuca sativa*, seguido por el *Allium cepa* y *Beta vulgaris*, pero de manera contrario se puede observar que las diferentes concentraciones de plomo no inhiben en mayor porcentaje al *Raphanus sativus*, de ahí que se puede decir que es la especie más resistente al plomo. En el trabajo de investigación que realizó Arqueros (2015), investigo la toxicidad del Aluminio y el plomo en la germinación de las semillas de *Triticum aestivum*, obtuvo como resultado la reducción del crecimiento de la radícula en dirección directa a las concentraciones, del mismo modo el efecto letal del plomo es a una concentración de 0.05 mg/ml (Arqueros, 2015),. Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Rico (2017), quien evaluó la fitotoxicidad del plomo en las plantas de acelga y lechuga, encontrando el efecto toxico nocivo sobre el crecimiento radicular de ambas especies (Rico, 2017). De igual forma en el trabajo de investigación de Nureña y Padilla (2013), evidencio que las diferentes concentraciones de plomo inhiben el crecimiento radicular de *Raphanus sativus* y *Beta vulgaris*, a medida que aumenta las concentraciones (Nureña, B. & Padilla, 2013).

En la figura 16, muestra la mortalidad acumulada teórica (Probit) de la “cebolla” *Allium cepa*, en función de las cinco concentraciones del nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y el valor de la concentración letal media (CL_{50}) a las 192 horas sometidas, las menores concentraciones, las semillas no germinadas (mortalidad) es mínima el cual se va incrementando. Así mismo, también se observa que teóricamente a una concentración de 1.158 g/L de nitrato de plomo, el 50% de las semillas de *Allium cepa* sometidos a la acción de dicho metal, no llegan a germinar (inhibición) a las 192 horas de exposición, dicho valor es denominado como CL_{50} . En la tabla 4, se muestra (CL_{50}), que causan mortalidad o en este caso la inhibición de las

semillas en un rango de 1% al 99%, similar trabajo de investigación realizo (Pinto, 2009b), teniendo como resultado que la concentración de inhibición media (CE50) para el cromo hexavalente es 11,22 ppm, lo que indica que los metales pesados si causan inhibición en la germinación de las semillas.

En la figura 17, muestra la tendencia de mortalidad acumulada teórica (Probit) de la "cebolla" *Allium cepa*, en función de las cinco concentraciones del cloruro de mercurio (HgCl_2) y la CL_{50} a las 192 horas de exposición. En el cual se puede visualizar que, a menores concentraciones, las semillas no germinadas (mortalidad) es mínima el cual se va incrementando a medida que la concentración se incrementa. Así mismo, también se observa que teóricamente a una concentración de 0.0519 g/L de cloruro de mercurio, el 50% de las semillas de *Allium cepa* sometidos a la acción de dicho metal, no llegan a germinar (inhibición) a las 192 horas de exposición, dicho valor es denominado como concentración letal media (CL_{50}). En la tabla 5, se muestra los valores de las CL_{50} , que causan mortalidad o en este caso la inhibición de las semillas que varían en un rango del 1% al 99% calculados según la técnica estadística de Probit, lo que indica que los metales pesados si causan inhibición en la germinación de las semillas.

En la figura 18, muestra tendencia de mortalidad acumulada teórica (Probit) de la "betarraga" *Beta vulgaris*, en función de las cinco concentraciones del nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y el valor de CL_{50} a las 192 horas de exposición. En el cual podemos visualizar que a menores concentraciones las semillas no germinadas (mortalidad) es mínima el cual se va incrementando a medida que la concentración se incrementa. Así mismo, también se observa que teóricamente a una concentración de 1.309 g/L de nitrato de plomo, el 50% de las semillas de *Beta vulgaris*, sometidos a la acción de dicho metal, no llegan a germinar (inhibición) a las 192 horas de exposición, dicho valor es denominado como concentración letal media (CL_{50}). En la tabla 6, se muestra los valores de CL_{50} , que causan mortalidad o en este caso la inhibición de las semillas que varían en un rango de 1% al 99% calculados según la técnica estadística de Probit, lo que indica que los metales pesados si causan inhibición en la germinación de las semillas.

En la figura 19, muestra la tendencia de mortalidad acumulada teórica (Probit) de la “betarraga” *Beta vulgaris*, en función de las cinco concentraciones del cloruro de mercurio (HgCl_2) y el valor de CL_{50} a las 192 horas de exposición. En el cual a menores concentraciones las semillas no germinadas (mortalidad) es mínima el cual se va incrementando a medida que la concentración se incrementa. Así mismo, también se observa que teóricamente a una concentración de 0.0559 g/L de cloruro de mercurio, el 50% de las semillas de *Beta vulgaris*, sometidos a la acción de dicho metal, no llegan a germinar (inhibición) a las 192 horas de exposición, dicho valor es denominado como concentración letal media (CL_{50}). Por otro lado, en la tabla 7, se muestra los valores de las concentraciones letales medias, que causan mortalidad o en este caso la inhibición de las semillas que varían de un rango de 1% al 99% calculados según la técnica estadística de Probit, lo que indica que los metales pesados si causan inhibición en la germinación de las semillas.

En la figura 20, se muestra la tendencia de mortalidad acumulada teórica (Probit) de la “rábano” *Raphanus sativus*, en función de las cinco concentraciones del nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y el valor de CL_{50} a las 192 horas de exposición. A menores concentraciones, las semillas no germinadas (mortalidad) es mínima el cual se va incrementando a medida que la concentración se incrementa. Pero en comparación con las 4 especies de semillas el *Raphanus sativus* resulto ser más tolerante. Así mismo, también se observa que teóricamente a una concentración de 1.81 g/L de nitrato de plomo, el 50% de las semillas de *Raphanus sativus*, sometidos a la acción de dicho metal, no llegan a germinar (inhibición) a las 192 horas de exposición, dicho valor es denominado como concentración letal media (CL_{50}). En la tabla 8, se muestra los valores CL_{50} , que causan mortalidad o en este caso la inhibición de las semillas que varían en un rango del 1% al 99% calculados según la técnica estadística de Probit, lo que indica que los metales pesados si causan inhibición en la germinación de las semillas.

En la figura 21, se muestra la tendencia de mortalidad acumulada teórica (Probit) de la “rábano” *Raphanus sativus*, en función de las cinco concentraciones del cloruro de mercurio (HgCl_2) y el valor de CL_{50} a las 192 horas de exposición. A menores concentraciones, las

semillas no germinadas (mortalidad) es mínima el cual se va incrementando a medida que la concentración se incrementa. Pero en comparación con las 4 especies de semillas el *Raphanus sativus* resulto ser más tolerante. Así mismo, también se observa que teóricamente a una concentración de 0.0479 g/L de cloruro de mercurio, el 50% de las semillas de *Raphanus sativus*, sometidos a la acción de dicho metal, no llegan a germinar (inhibición) a las 192 horas de exposición, dicho valor es denominado como concentración letal media (CL₅₀). En la tabla 9, muestra los valores de las concentraciones letales medias, que causan mortalidad o en este caso la inhibición de las semillas que varían en un rango del 1% al 99% calculados según la técnica estadística de Probit, lo que indica que los metales pesados si causan inhibición en la germinación de las semillas.

En la figura 22, muestra la tendencia de mortalidad acumulada teórica (Probit) de la "lechuga" *Lactuca sativa*, en función de las cinco concentraciones del nitrato de plomo (Pb(NO₃)₂) y el valor de CL₅₀ a las 192 horas de exposición. A menores concentraciones, las semillas no germinadas (mortalidad) es mínima el cual se va incrementando a medida que la concentración se incrementa. Pero en comparación con las 4 especies de semillas el *Lactuca sativa*, resulto ser el más sensible a la acción del plomo. Así mismo, también se observa que teóricamente a una concentración de 1.561g/L de nitrato de plomo, el 50% de las semillas de *Lactuca sativa*, sometidos a la acción de dicho metal, no llegan a germinar (inhibición) a las 192 horas de exposición, dicho valor es denominado como concentración letal media (CL₅₀). En la tabla 10, indica los valores de CL₅₀, que causan mortalidad o en este caso la inhibición de las semillas que varían en un rango del 1% al 99% calculados según la técnica estadística de Probit, lo que indica que los metales pesados si causan inhibición en la germinación de las semillas.

En la figura 23, muestra la tendencia de mortalidad acumulada teórica (Probit) de la "lechuga" *Lactuca sativa*, en función de las cinco concentraciones del cloruro de mercurio (HgCl₂) y el valor de la CL₅₀ a las 192 horas de exposición, a menores concentraciones, las semillas no germinadas (mortalidad) es mínima el cual se va incrementando a medida que la concentración se incrementa. Pero en comparación con las 4 especies de semillas el *Lactuca*

sativa, resultado ser el más sensible a la acción del mercurio. Así mismo, también se observa que teóricamente a una concentración de 0.0595g/L de cloruro de mercurio, el 50% de las semillas de *Lactuca sativa*, sometidos a la acción de dicho metal, no llegan a germinar (inhibición) a las 192 horas de exposición, dicho valor es denominado como concentración letal media (CL_{50}). En la tabla 11, se muestra los valores de CL_{50} , que causan mortalidad o en este caso la inhibición de las semillas que varían en un rango del 1% al 99% calculados según la técnica estadística de Probit, lo que indica que los metales pesados si causan inhibición en la germinación de las semillas.

En la tabla 12, se puede observar los valores de CL_{50} y los intervalos de confianza a las 192 horas de exposición para los metales pesados: nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y cloruro de mercurio ($HgCl_2$), en semillas de *Allium cepa*, De acuerdo a los valores hallados se puede apreciar que para el cloruro de mercurio ($HgCl_2$) las concentraciones letales medias presentan valores inferiores en comparación con el nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$), a las 192 horas de exposición; así para nitrato de plomo es 1.15838 g/L y para cloruro de mercurio 0.0519447 g/L; donde los metales pesados a mayor concentración y mayor tiempo de exposición originan la inhibición de las semillas, por lo que se afirma que cuando menor sea el valor de la CL_{50} , mayor toxicidad origina, tal es el caso del cloruro de mercurio; también es de resaltar que a mayor concentración del metal pesado es mayor la inhibición de germinación de las semillas (esta tendencia se observa en los dos metales pesados). Los resultados obtenidos se comparan con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para las aguas (Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM) para las cuales según el uso de agua de riego pertenece a la Categoría 3 que es para riego de vegetales y bebida de animales, en los cuales la ECA establece valores para nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y cloruro de mercurio ($HgCl_2$), son valores muy elevados a comparación con la ECA que presentan valores para mercurio de 0,001 mg/L para riego y de 0,01 mg/L para bebida de animales y los valores de CL_{50} hallados de cloruro de mercurio es 0.0519447 g/l, demostrando que el valor es muy alto a comparación de la ECA, de la misma forma los valores para plomo según la normativa presentan valores de 0,05 mg/L tanto para riego de vegetales y bebida de animales y los valores del CL_{50} para nitrato

de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) es 1.15838 g/l, siendo valores muy elevados en comparación con los valores de las ECA. Así mismo en la Tabla referida se muestra los valores de los intervalos de confianza calculados con un nivel de confianza al 95% ($\alpha = 0,05$). Estudios realizados por Mora y Herrera (2019) determinó la CE_{50} a 192 horas para la lechuga (*Lactuca sativa*) en 0.5 mg/L de una solución acuosa de Pb^{2+} (Mora, K. & Herrera, 2019), como se puede observar los investigadores señalan que como estrategia de remediación de suelos contaminados con plomo u otros metales pesados se adhiera: cal, fosfatos y materia orgánica para la inmovilización de estos metales pesados en el suelo.

En la tabla 13, se puede observar los valores de CL_{50} y los intervalos de confianza a las 192 horas de exposición para los metales pesados: nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y cloruro de mercurio (HgCl_2), en semillas de *Beta vulgaris*, de acuerdo a los valores hallados se puede apreciar que para el cloruro de mercurio (HgCl_2) las concentraciones letales medias presentan valores inferiores en comparación con el nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), a las 192 horas de exposición; así para nitrato de plomo es 1.30924 g/L y para cloruro de mercurio 0.0559298g/L; donde los metales pesados a mayor concentración y mayor tiempo de exposición originan la inhibición de las semillas, por lo que se afirma que cuando menor sea el valor de la CL_{50} , mayor toxicidad origina, tal es el caso del cloruro de mercurio; también es de resaltar que a mayor concentración del metal pesado es mayor la inhibición de germinación de las semillas (esta tendencia se observa en los dos metales pesados). Los resultados obtenidos se comparan con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para las aguas (Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM) para las cuales según el uso de agua de riego pertenece a la Categoría 3 que es para riego de vegetales y bebida de animales, en los cuales la ECA establece valores para nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y cloruro de mercurio (HgCl_2), son valores muy elevados a comparación con la ECA que presentan valores para mercurio de 0,001 mg/L para riego y de 0,01 mg/L para bebida de animales y los valores de CL_{50} hallados de cloruro de mercurio es 0.0559298 g/L, demostrando que el valor es muy alto a comparación de la ECA, de la misma forma los valores para plomo según la normativa presentan valores de 0,05 mg/L tanto para riego de vegetales y bebida de animales y los valores del CL_{50} para nitrato

de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) es 1.30924 g/L, siendo valores muy elevados en comparación con los valores de las ECA. Así mismo en la Tabla referida se muestra los valores de los intervalos de confianza calculados con un nivel de confianza al 95% ($\alpha = 0,05$). En la investigación realizado por Iannacone (2005) sobre la Inhibición en el crecimiento radicular (CI_{50}) en mg/L, de cuatro especies de semillas *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Oriza sativa* y *Raphanus sativus* sometidas a concentraciones crecientes de cromo, mercurio y plomo, resulto que el mercurio es el metal pesado que presenta mayor inhibición en el crecimiento radicular de las cuatro especies de semillas, seguido por cromo y plomo (Iannacone, O. & Alvarino, 2005). De igual forma en el trabajo de investigación realizado por Pinto (2019), se determinó que la concentración de inhibición media (CE_{50}) para el cromo hexavalente es 11.22 mg/L (Pinto, 2009b).

En la tabla 14, se puede observar los valores de CL_{50} y los intervalos de confianza a las 192 horas de exposición para los metales pesados: nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y cloruro de mercurio (HgCl_2), en semillas de *Raphanus sativus*, de acuerdo a los valores hallados se puede apreciar que para el cloruro de mercurio (HgCl_2) las concentraciones letales medias presentan valores inferiores en comparación con el nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), a las 192 horas de exposición; así para nitrato de plomo es 1.81363 g/L y para cloruro de mercurio 0.0479252 g/L; los resultados hallados son congruentes con lo manifestados anteriormente, donde los metales pesados a mayor concentración y mayor tiempo de exposición originan la inhibición de las semillas, por lo que se afirma que cuanto menor sea el valor de la CL_{50} , mayor toxicidad origina, tal es el caso del cloruro de mercurio; también es de resaltar que a mayor concentración del metal pesado es mayor la inhibición de germinación de las semillas (esta tendencia se observa en los dos metales pesados). Los resultados obtenidos se comparan con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para las aguas (Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM) para las cuales según el uso de agua de riego pertenece a la Categoría 3 que es para riego de vegetales y bebida de animales, en los cuales la ECA establece valores para nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y cloruro de mercurio (HgCl_2), son valores muy elevados a comparación con la ECA que presentan valores para mercurio de 0,001 mg/L

para riego y de 0,01 mg/L para bebida de animales y los valores de CL_{50} hallados de cloruro de mercurio es 0.0479252 g/L, demostrando que el valor es muy alto a comparación de la ECA, de la misma forma los valores para plomo según la normativa presentan valores de 0,05 mg/L tanto para riego de vegetales y bebida de animales y los valores del CL_{50} para nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) es 1.81363 g/L, siendo valores muy elevados en comparación con los valores de las ECA. Así mismo en la Tabla referida se muestra los valores de los intervalos de confianza calculados con un nivel de confianza al 95% ($\alpha = 0,05$). En el trabajo de investigación realizado por Huanca (2016) sobre la Influencia del arseniato de sodio en la germinación de la *Lactuca sativa*, el cual resulta que la concentración media (CE_{50-96}) del arseniato de sodio en la germinación de *Lactuca sativa* (lechuga) fue de 16.72 mg/L, la CE_{50-96} para el crecimiento de la radícula fue de 0.96 mg/L, concluyendo que, a mayor concentración de arsénico, mayor será el efecto toxico en vegetales (Huanca, 2016). En la investigación realizado por Iannacone (2005) sobre la Inhibición en el crecimiento radicular (CI_{50}) en mg/L, de cuatro especies de semillas *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Oriza sativa* y *Raphanus sativus* sometidas a concentraciones crecientes de cromo, mercurio y plomo, resulto que el mercurio es el metal pesado que presenta mayor inhibición en el crecimiento radicular de las cuatro especies de semillas, seguido por cromo y plomo (Iannacone, J. & Albariño, 2005).

En la tabla 15, se puede observar los valores de CL_{50} y los intervalos de confianza a las 192 horas de exposición para los metales pesados: nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$) y cloruro de mercurio ($HgCl_2$), en semillas de *Lactuca sativa*, de acuerdo a los valores hallados se puede apreciar que para el cloruro de mercurio ($HgCl_2$) las concentraciones letales medias presentan valores inferiores en comparación con el nitrato de plomo ($Pb(NO_3)_2$), a las 192 horas de exposición; así para nitrato de plomo es 1.56050 g/L y para cloruro de mercurio 0.0595045 g/L; donde los metales pesados a mayor concentración y mayor tiempo de exposición originan la inhibición de las semillas, por lo que se afirma que cuanto menor sea el valor de la CL_{50} , mayor toxicidad origina, tal es el caso del cloruro de mercurio; también es

de resaltar que a mayor concentración del metal pesado es mayor la inhibición de germinación de las semillas (esta tendencia se observa en los dos metales pesados). Los resultados obtenidos se comparan con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para las aguas (Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM) para las cuales según el uso de agua de riego pertenece a la Categoría 3 que es para riego de vegetales y bebida de animales, en los cuales la ECA establece valores para nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y cloruro de mercurio (HgCl_2), son valores muy elevados a comparación con la ECA que presentan valores para mercurio de 0,001 mg/L para riego y de 0,01 mg/L para bebida de animales y los valores de CL_{50} hallados de cloruro de mercurio es 0.0595045 g/L, demostrando que el valor es muy alto a comparación de la ECA, de la misma forma los valores para plomo según la normativa presentan valores de 0,05 mg/L tanto para riego de vegetales y bebida de animales y los valores del CL_{50} para nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) es 1.56050 g/L, siendo valores muy elevados en comparación con los valores de las ECA. Así mismo en la Tabla referida se muestra los valores de los intervalos de confianza calculados con un nivel de confianza al 95% ($\alpha = 0,05$). En el trabajo de investigación realizado por Pinto (2009) sobre la determinación de la concentración de Inhibición media CE_{50} de cromo para la semilla de *Lactuca sativa*, Se determinó que la concentración de inhibición media (CE_{50}) para el cromo hexavalente es 11,22 ppm concluyendo que, a mayor concentración de arsénico, mayor será el efecto toxico en vegetales (Pinto, 2009). En la investigación realizado por Iannacone (2005) sobre la Inhibición en el crecimiento radicular (CI_{50}) en mg/L, de cuatro especies de semillas *Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Oriza sativa* y *Raphanus sativus* sometidas a concentraciones crecientes de cromo, mercurio y plomo, resulto que el mercurio es el metal pesado que presenta mayor inhibición en el crecimiento radicular de las cuatro especies de semillas, seguido por cromo y plomo (Iannacone, O. & Alvarino, 2005).

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó el efecto toxicológico agudo del nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y cloruro de mercurio (HgCl_2), resultando más sensibles las semillas de “cebolla” *Allium cepa* y “lechuga” *Lactuca sativa*; y las más resistentes “betarraga” *Beta vulgaris* seguido por el “rábano” *Raphanus sativus*, sometidas a cinco concentraciones crecientes, con un tiempo de exposición de 192 h.
2. Se determinó el porcentaje de semillas no germinadas de las cuatro especies de semillas sometidas a la acción de las cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) y cloruro de mercurio (HgCl_2), resultando estadísticamente diferentes ($p < 0,05$),
3. Se determinó el Índice de toxicidad (It), resultando más tóxico el nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) para las semillas de *Allium cepa* y *Lactuca sativa*, a una concentración de 1,5mg/L y para *Beta vulgaris* y *Raphanus sativus* a una concentración de 3,0 mg/L; mientras que el cloruro de mercurio (HgCl_2), resulta ser más tóxico a una concentración de 1,5mg/L en las semillas de *Beta vulgaris* y *Lactuca sativa*, mientras que para las semillas de *Allium cepa* y *Raphanus sativus* presentan una toxicidad alta a la concentración de 3,0mg/L.
4. Se determinó la Concentración Letal Media (CL_{50}), siendo el cloruro de mercurio (HgCl_2) el que causó más efecto toxicológico, a las 192 horas de exposición. En el que se encontraron diferencias en valores de porcentaje de semillas no germinadas hallándose significancia estadística ($p < 0,05$), así mismo se determinó que dichos valores de CL_{50} es inferior en comparación con el nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$).

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomiendan realizar trabajos de investigaciones con las cuatro especies de hortalizas y que demuestren la acumulación de plomo y mercurio en diversos cultivos de la región de Ayacucho, las cuales son regadas con elevadas concentraciones de estos dos metales, por ser estas hortalizas un medio de ingesta directa para el hombre.
2. Se recomienda realizar otros bioensayos de toxicidad con el plomo y mercurio en otras especies de plantas. Así mismo el estudio de diversos afluentes, aguas residuales, aguas contaminadas por estos dos metales que generan toxicidad en los organismos, para evaluar la importancia de su efecto toxico y el impacto que este puede generar al medio ambiente.
3. Realizar trabajos de investigación del contenido de los metales pesados en los principales ríos de la región que permitan la elaboración de informes fehacientes, incidiendo directamente sobre la calidad del agua facilitando así una mejor identificación y control de dichos contaminantes y que las instancias puedan tomar decisiones para el control y la mejora de dichos recursos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. & Barberis, R. (2002). Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles., 2002.
- Almeyda, D. (2018). Grosor de plántula en la producción y calidad de cebolla (*Allium cepa* L.) cv. Santa Rita, (511), 7995788.
- Angelova V., Ivanova, R., Delibaltova, V. & Ivanov, K. (2004). Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products.*, 19: 197 – 205.
- Apha. (1995). Standard methods for examination of water and wastewater. APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation), 1–4.
- Arenas, S.; Hernández A. & Morales, E. (2012). *Fitotoxicidad del cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) en la Especie Brassica nigra*. Retrieved from http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/122/41122006.pdf
- Arqueros, T. (2015). Influencia del Aluminio y Plomo sobre la germinación de *Triticum aestivum*, en condiciones de laboratorio. Universidad Nacional de Trujillo.
- Arroyave, C., Araque, P. & Pelaez, C. (2010). De Cadmio Y Mercurio En Pasto Llanero.
- Barrera, W. (2013). Efectos fitotóxicos de mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb), arsénico (As) y cobre (Cu), sobre el crecimiento radicular de lechuga (*Lactuca sativa*) para fines de biomonitorio en cuerpos de agua. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- Brewster, J. (2001). Las cebollas y otros Alliums.
- Carrasco, C. (2001). Composición estructural de la comunidad de los macro invertebrados Acuáticos y su Relación con las características Físico Químicas en el río Alameda, UNSCH. Ayacucho – Perú. 2001., 2001.
- Cortés, L.; Martin, F. & Sarria, M. (2017). Evaluación de la toxicidad de metales pesados en dos suelos agrícolas de Colombia mediante bioensayos. *Temas Agrarios*, 22(2),43–53. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/943/1175>

- Cousillas, A. (2002). "Contaminación del agua", informe toxicológico anteproyecto avanzado muelle multipropósito "C". HYTSA.
- De la Lanza, G., Hernández, S., & Carbajal, J. (2000). Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores). Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.
- Menéndez, F. (2009). Higiene industrial 9.a ed. Lex Nova; 2009. 635 p.
- Díez, M. (2006). Valores de fondo de elementos traza en suelos de la provincia de Granada. *Tesis Doctoral, UG, 200.*
- Duffus, J. (1983). Toxicología ambiental (Omega). Malaga - España: 1983.
- FAO. (1993). Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Santiago.
- Fernandez R, Leiva, M. (2003). Ecología para la agricultura. España.
- Flores, J. (2014). Efecto del distanciamiento entre plantas en la producción de dos variedades de remolacha forrajera (*beta vulgaris* l. ssp. *vulgaris* var *crassa*) Puno. Universidad Nacional Del Altiplano, 1–81. Retrieved from http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2218/Flores_Flores_Josefina_Elizabeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Flores, L. (2015). Efecto de las enmiendas orgánicas TERRAMAR®, HUMAX® 90 Y KORIPACHA – BIO®, sobre algunas propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo de rabanito (*Raphanus sativus* L.), (March), 2015.
- Gutiérrez & López (2001). Fundamentos de Ciencia Toxicológica. Ediciones Díaz de Santos, 372.
- Hill JW, K. D. (1999). Química para el nuevo milenio. Pearson Educación.
- Huanca, S. (2016). Determinación de concentración de la inhibición media (CE50, 96) y el efecto fitotóxico del arseniato de sodio en *Lactuca sativa* mediante biosensayos. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Huerta, J. . et. a. (2010). Determinación de la toxicidad de mercurio en tres variedades de *Phaseolus vulgaris* L. endémicas de Zacatecas. Universidad Autónoma de Zacatecas, (Cd), 6.

- Iannacone, J. & Albariño, L. (2005). Efecto ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares, (May 2014). <https://doi.org/10.4067/S0365-28072005000200009>
- Iannacone, O. & Albariño, L. (2005). Efecto Ecotoxicológico de tres Metales Pesados Sobre el Crecimiento Radicular de Cuatro Plantas Vasculares. *Agricultura Técnica*, 65(2), 198–203. <https://doi.org/10.4067/s0365-28072005000200009>
- Iannacone, J. & Albariño, L. (2005). Efecto Ecotoxicológico de tres Metales Pesados Sobre el Crecimiento Radicular de Cuatro Plantas Vasculares. *Agricultura Técnica*, 65(2), 2005. <https://doi.org/10.4067/s0365-28072005000200009>
- Iannacone, José, & Albariño, L. (2004). Variabilidad de un ensayo ecotoxicológico con *Chironomus calligraphus* Goeldi (Diptera: Chironomidae) para evaluar cobre., (JANUARY), 125–130.
- Isaza, G. (2013). Effect of lead on imbibition, germination, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *Zea mays* L., 13(3), 161–167.
- Lenntech. (2009). Aguas residuales, 2009.
- Medina J. Cebolla: Guía Técnica. Santo Domingo - República Dominicana; 2008. 64pp p. (2008), 2008.
- MINAM, M. (2009). Guía riesgos ambientales, 2009.
- Mora, K. & Herrera, J. (2019). Determinación de la Concentración de Inhibición Media (CE120) de cadmio y plomo en *Lactuca sativa* L. lechuga batavia mediante bioensayos de toxicidad, para la evaluación de suelos contaminados. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Munzuroglu, O. & Geckil, H. (2002). (2002) Efectos de la germinación de semillas de metales, elongación de raíces y crecimiento de coleóptilos e hipocotilos en *Triticum aestivum* y *Cucumis sativus*. *Archivos de Contaminación Ambiental y Toxicología*, 43, 61-73., 4, 43.
- Norman, G.R., y D. L. S. (1996). *Bioestadística*. 260 p. Ed. Mosby/Doyma Libros, México. (y D. L. S. Norman, G.R., Ed.). Editorial Mosby.

- Núñez, M., & Hurtado, J. (2005). Bioensayos de toxicidad aguda utilizando *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado Acute toxicity bioassays using *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Daphniidae), 12(3), 321–325.
- Nureña-Velásquez & Padilla, S. (2013). Efecto ecotoxicológico del plomo sobre la germinación y crecimiento radicular de *Raphanus sativus* y *Beta vulgaris* en condiciones de laboratorio. *Sciéndo*, 16(1), 28–36.
- Patra, M. & S. A. M. (2000). Mercury toxicity in plants.
- Peláez, M. & Casierra-Posada, G. (2014). Toxicidad de cadmio y plomo en pasto Tanner grass *Brachiaria arrecta*. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 31(2), 5. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104127>
- Pinto, L. (2009). Determinación de la Concentración de Inhibición Media (CE 50) de Cromo para la semilla *Lactuca sativa* mediante ensayos de toxicidad, para la evaluación de suelos contaminados. Universidad La Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 133. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1064&context=ing_ambienta_l_sanitaria
- Prieto, J. & col. Prieto, F. (2008). Plant Contamination and Phytotoxicity Due To Heavy Metals From Soil and Water. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 19–44. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/25>
- Rainer, G.-C. (2000). Química Inorgánica Descriptiva. México (Vol. Segunda ed).
- Ramírez P, M. A. (2008). Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo. Exp en México .
- Rico, K. (2017). Evaluación de rasgos fitotóxicos y bioacumulación de plomo en acelgas (*Beta vulgaris*) y lechugas (*Lactuca sativa L.*) y su efecto generado en la interacción plantas - microorganismos rizosféricos. Universidad Nacional de Colombia Facultad de medicina.
- Robles, R. (1985). Producción de Granos y Forrajes. (R. Robles, Ed.) (4ta ed.). Limusa.

- Roldan, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. Colombia: Editorial de Antioquia; 1992. Universidad, 1992.
- Saavedra, G. (2017). Manual de producción de lechuga. Journal of Chemical Information and Modeling, 21(2), 1689–1699. Retrieved from [https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance Notebook 2.6 Smoke.pdf](https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance%20Notebook%202.6%20Smoke.pdf)
- Sánchez, K; Sánchez, L. (2009). Determinación De La Concentración De Inhibición Media (Ce50-120) Del Bario, Hierro Y Manganeso Mediante Bioensayos De Toxicidad Acuática Sobre Semillas De Lechuga (*Lactuca sativa L.*). Universidad de La Salle, 220 p. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14913/T41.09S55de.pdf?sequence=1>
- Sarria, M. (2013). Evaluación del comportamiento de arsénico, cromo, plomo y zinc en suelos afectados por el vertido de la mina de Aznalcóllar (Sevilla, España). Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias agropec, 2013.
- Sobrero, M. & Ronco, A. (2004). Estudio de la fitotoxicidad de metales pesados y del herbicida glifosato en ambientes acuáticos. Bioensayo con plantas vasculares como organismos diagnostico. *Imta*, 55–67. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/5246/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Solano, M. (1998). Botánica Sistemática. (M. Solano, Ed.). Puno - Perú.
- Spain, A. (2003). Implications of Microbial Heavy Metal Tolerance in the Environment, 2, 1–6.
- Ticeran, A. (2019). Efecto del plomo, cadmio y mercurio sobre la actividad de fosfatasa ácida en el proceso de germinación de semillas de *Raphanus sativus*. Universidad Nacional de Trujillo. Retrieved from <http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.06.00>
- Vega, A. (2013). Efecto del Ácido Salicílico y Estrés Hídrico en la Calidad de Lechugas (*Lactuca stiva L.*) Producidas en Invernadero., 2013.
- Velásquez, N., Sagástegui, B. & P. S. (2014). Efecto ecotoxicológico del plomo sobre la germinación y crecimiento radicular de *Raphanus sativus* y *Beta vulgaris* en

condiciones de laboratorio, 16(1), 634. Retrieved from <https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/saglikli-beslenme-hareketli-hayat-db/Yayinlar/kitaplar/diger-kitaplar/TBSA-Beslenme-Yayini.pdf>

Wang, W. (1991). Literature review on higher plants for toxicity testing. *Water Air Soil Pollut.* (p. 500).

WWAP. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. Unesco (Vol. 8).

Zar, J. H. (1996). *Biostatistical analysis*. New Jersey, USA: 3ra Edición.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Determinación del tipo de distribución de los datos de semillas no germinadas de las cuatro especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*) a través de la prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov)

Variable	Ajuste	media	varianza	n	Estadístico	
					D	p-valor
<i>Allium cepa</i> (%)	Normal (0,1)	33.08	267.03	60	0.90	<0.0001
<i>Beta vulgaris</i> (%)	Normal (0,1)	31.00	228.64	60	0.88	<0.0001
<i>Raphanus sativus</i> (%)	Normal (0,1)	30.67	258.87	60	0.87	<0.0001
<i>Lactuca sativa</i> (%)	Normal (0,1)	27.58	218.21	60	0.90	<0.0001

Anexo 2. Determinación del tipo de Distribución de los datos del tamaño de la radícula de las cuatro especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*) a través de la prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov).

Variable	Ajuste	media	varianza	n	Estadístico D	p-valor
<i>Allium cepa</i>	Normal (0,1)	6.93	14.05	517	0.89	<0.0001
<i>Beta vulgaris</i>	Normal (0,1)	8.93	23.61	517	0.93	<0.0001
<i>Raphanus sativus</i>	Normal (0,1)	29.39	171.53	516	1.00	<0.0001
<i>Lactuca sativa</i>	Normal (0,1)	2.65	2.97	519	0.73	<0.0001

Anexo 3. Cuadro de comparación del porcentaje de semillas no germinadas de las cuatro especies: *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus*, *Allium cepa* y *Lactuca sativa*, con los tratamientos de cloruro de mercurio (HgCl₂) respectivamente.

Metal pesado	Variable	Especie	N	Medias	H	p
HgCl ₂	(%)	<i>Allium cepa</i>	25	39.00	1.46	0.6814
HgCl ₂	(%)	<i>Beta vulgaris</i>	25	38.20		
HgCl ₂	(%)	<i>Lactuca sativa</i>	25	38.00		
HgCl ₂	(%)	<i>Raphanus stivus</i>	25	40.80		

Anexo 4. Cuadro de comparación del porcentaje de semillas no germinadas de las cuatro especies: *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus*, *Allium cepa* y *Lactuca sativa*, con los tratamientos de nitrato de plomo $Pb(NO_3)_2$ respectivamente.

Metal pesado	Variable	Especie	N	Medias	H	p
$Pb(NO_3)_2$	(%)	<i>Allium cepa</i>	25	39.60	20.71	0.0001
$Pb(NO_3)_2$	(%)	<i>Beta vulgaris</i>	25	35.60		
$Pb(NO_3)_2$	(%)	<i>Lactuca sativa</i>	25	27.40		
$Pb(NO_3)_2$	(%)	<i>Raphanus sativus</i>	25	32.40		

Tratamiento	Ranks			
<i>Lactuca sativa</i>	31.60	A		
<i>Raphanus sativus</i>	46.54	A	B	
<i>Beta vulgaris</i>	56.32		B	C
<i>Allium cepa</i>	67.54			C

“Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)”.

Anexo 5. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de *Allium cepa*, sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl₂) registrados a las 192 horas de exposición.

Variable	Concentración (mg/L).	N	Medias	H	p
<i>Allium cepa</i> (%)	0.00	10	2.00	26.36	0.0001
<i>Allium cepa</i> (%)	0.375	5	32.00		
<i>Allium cepa</i> (%)	0.75	5	33.00		
<i>Allium cepa</i> (%)	1.50	5	40.00		
<i>Allium cepa</i> (%)	3.00	5	41.00		
<i>Allium cepa</i> (%)	6.00	5	49.00		

Tratamiento	Ranks			
0.00	5.50	A		
0.375	17.20		B	
0.75	18.50		B	C
1.50	23.70		B	C
3.00	25.00		B	C
6.00	30.60			C

“Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)”.

Anexo 6. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de *Beta vulgaris*, sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) registrados a las 192 horas de exposición.

Variable	Concentración (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Beta vulgaris</i> (%)	0.00	10	1.50	24.80	0.0001
<i>Beta vulgaris</i> (%)	0.375	5	35.00		
<i>Beta vulgaris</i> (%)	0.75	5	33.00		
<i>Beta vulgaris</i> (%)	1.50	5	37.00		
<i>Beta vulgaris</i> (%)	3.00	5	38.00		
<i>Beta vulgaris</i> (%)	6.00	5	48.00		

Tratamiento	Ranks	
0.00	5.50	A
0.75	18.30	B
0.375	20.50	B
1.50	22.60	B
3.00	23.20	B
6.00	30.40	B

"Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)".

Anexo 7. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de *Raphanus sativus*, sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) registrados a las 192 horas de exposición.

Variable	Concentración (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Raphanus sativus</i> (%)	0.00	10	1.00	27.32	<0.0001
<i>Raphanus sativus</i> (%)	0.375	5	33.00		
<i>Raphanus sativus</i> (%)	0.75	5	40.00		
<i>Raphanus sativus</i> (%)	1.50	5	36.00		
<i>Raphanus sativus</i> (%)	3.00	5	43.00		
<i>Raphanus sativus</i> (%)	6.00	5	52.00		

Tratamiento	Ranks			
0.00	5.50	A		
0.375	16.80		B	
1.50	19.00		B	
0.75	22.40		B	C
3.00	25.00		B	C
6.00	31.80			C

"Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)".

Anexo 8. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de *Lactuca sativa*, sometidos a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) registrados a las 192 horas de exposición.

Variable	Concentración (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Lactuca sativa</i> (%)	0.00	10	2.00	23.81	0.0002
<i>Lactuca sativa</i> (%)	0.375	5	36.00		
<i>Lactuca sativa</i> (%)	0.75	5	34.00		
<i>Lactuca sativa</i> (%)	1.50	5	36.00		
<i>Lactuca sativa</i> (%)	3.00	5	38.00		
<i>Lactuca sativa</i> (%)	6.00	5	46.00		

Tratamiento	Ranks	
0.00	5.50	A
0.75	19.50	B
0.375	21.30	B
1.50	21.40	B
3.00	23.10	B
6.00	29.70	B

"Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)".

Anexo 9. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de *Allium cepa*, sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) registrados a las 192 horas de exposición.

Variable	Concentración (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Allium cepa</i> (%)	0.00	10	2.00	26.03	0.0001
<i>Allium cepa</i> (%)	7.50	5	34.00		
<i>Allium cepa</i> (%)	15.00	5	39.00		
<i>Allium cepa</i> (%)	30.00	5	44.00		
<i>Allium cepa</i> (%)	60.00	5	33.00		
<i>Allium cepa</i> (%)	120.00	5	48.00		

Tratamiento	Ranks	
0.00	5.50	A
60.00	18.00	B
7.50	18.20	B
15.00	22.30	B
30.00	26.60	B
120.00	29.90	B

“Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)”.

Anexo 10. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de *Beta vulgaris*, sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) registrados a las 192 horas de exposición.

Variable	Concentración (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Beta vulgaris</i> (%°)	0.00	10	1.50	25.23	0.0001
<i>Beta vulgaris</i> (%°)	0.75	5	34.00		
<i>Beta vulgaris</i> (%°)	15.00	5	29.00		
<i>Beta vulgaris</i> (%°)	30.00	5	36.00		
<i>Beta vulgaris</i> (%°)	60.00	5	36.00		
<i>Beta vulgaris</i> (%°)	120.00	5	43.00		

Tratamiento	Ranks			
0.00	5.50	A		
15.00	17.00		B	
7.50	21.30		B	C
60.00	23.20		B	C
30.00	23.20		B	C
120.00	30.30			C

“Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)”.

Anexo 11. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de *Raphanus sativus*, sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) registrados a las 192 horas de exposición.

Variable	Concentración (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Raphanus sativus</i> (%)	0.00	10	1.00	23.21	0.0002
<i>Raphanus sativus</i> (%)	0.75	5	33.00		
<i>Raphanus sativus</i> (%)	15.00	5	26.00		
<i>Raphanus sativus</i> (%)	30.00	5	37.00		
<i>Raphanus sativus</i> (%)	60.00	5	31.00		
<i>Raphanus sativus</i> (%)	120.00	5	35.00		

Tratamiento	Ranks	
0.00	5.50	A
15.00	17.60	B
60.00	21.90	B
7.50	23.50	B
120.00	25.20	B
30.00	26.80	B

“Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)”.

Anexo 12. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el porcentaje de semillas no germinadas de *Lactuca sativa*, sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) registrados a las 192 horas de exposición.

Variable	Concentración (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Lactuca sativa</i> (%)	0.00	10	2.00	27.14	<0.0001
<i>Lactuca sativa</i> (%)	7.50	5	23.00		
<i>Lactuca sativa</i> (%)	15.00	5	19.00		
<i>Lactuca sativa</i> (%)	30.00	5	26.00		
<i>Lactuca sativa</i> (%)	60.00	5	34.00		
<i>Lactuca sativa</i> (%)	120.00	5	35.00		

Tratamiento	Ranks			
0.00	5.50	A		
15.00	15.50	A	B	
7.50	19.60		B	C
30.00	22.60		B	C
60.00	28.10		B	C
120.00	29.20			C

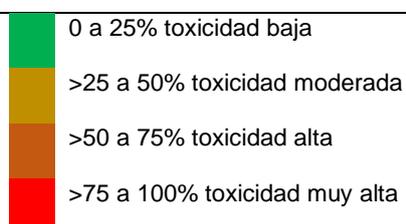
“Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)”.

Anexo 13. Cuadro de Índice de Toxicidad de las cuatro especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*) sometidas a las cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) y nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) por 192 horas de exposición.

Concentración HgCl_2 (mg/L)	% de It <i>Allium cepa</i>	% It <i>Beta vulgaris</i>	% It <i>Raphanus sativus</i>	% It <i>Lactuca sativa</i>
0.375	32	16	30	28
	68	84	70	72
0.75	60	72	64	64
	20	12	36	16
	20	16		20
1.50	66	42	64	28
	34	58	34	68
			2	4
3.00	16	14	24	8
	82	76	76	54
	2	10		38
6.00	62	48	78	18
	38	52	18	82
			4	

	0 a 25% toxicidad baja
	>25 a 50% toxicidad moderada
	>50 a 75% toxicidad alta
	>75 a 100% toxicidad muy alta

Metal pesado Pb(NO ₃) ₂ (mg/L)	% de It cebolla	% It betarraga	% It rabanito	% It Lechuga
7.50	62	58	92	32
	12	40	8	46
	26	2		22
15.00	58	6	12	6
	36	82	80	36
	16	12	8	48
30.00	80	18		46
	18	2	54	2
	2	80	46	52
60.00	28	50		86
	72	50	100	14
120.00	100	100	100	96
				4

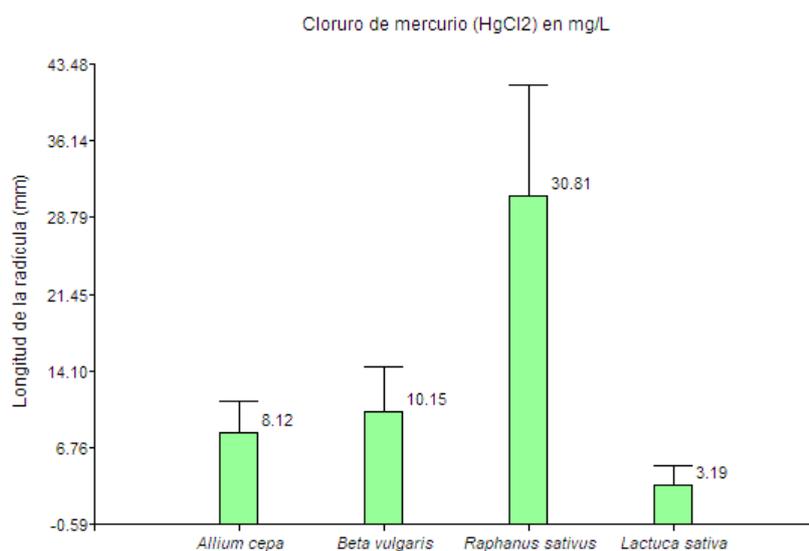


Anexo 14. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el tamaño de la radícula en (mm) de las cuatro variedades (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*), sometidos a cinco concentraciones crecientes de Cloruro de mercurio (HgCl_2) registrados a las 192 horas de exposición.

Concent.	Variable (mm)	Especies	N	Medias	H	p
HgCl_2	Radícula	<i>Allium cepa</i>	248	8.12	763.32	<0.0001
HgCl_2	Radícula	<i>Beta vulgaris</i>	248	10.15		
HgCl_2	Radícula	<i>Lactuca sativa</i>	250	3.19		
HgCl_2	Radicular	<i>Raphanus sativus</i>	247	30.81		

Tratamiento	Ranks	
<i>Lactuca sativa</i>	158.36	A
<i>Allium cepa</i>	446.83	B
<i>Beta vulgaris</i>	522.70	C
<i>Raphanus sativus</i>	864.33	D

“Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)”.

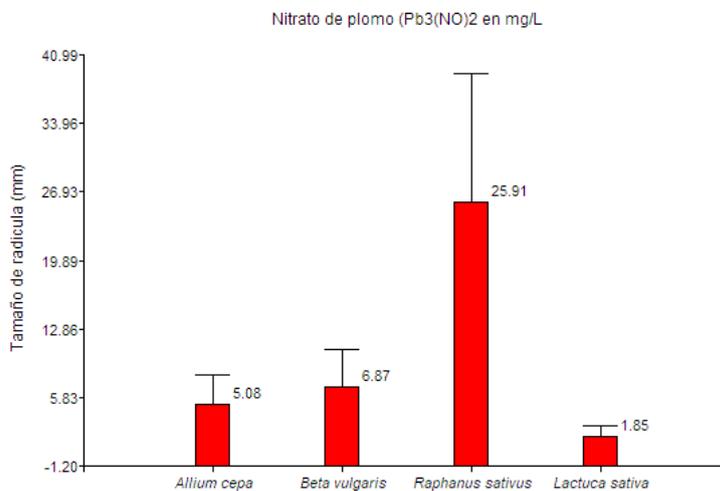


Anexo 15. Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el tamaño de la radícula en (mm) de las cuatro variedades (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*), sometidos a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo $Pb(NO_3)_2$ y registrados a las 192 horas de exposición.

Concent.	Variable	Especies	N	Medias	H	p
$Pb(NO_3)_2$	Radícula (mm)	<i>Allium cepa</i>	249	5.08	617.74	<0.0001
$Pb(NO_3)_2$	Radícula (mm)	<i>Beta vulgaris</i>	249	6.87		
$Pb(NO_3)_2$	Radícula (mm)	<i>Lactuca sativa</i>	249	1.85		
$Pb(NO_3)_2$	Radícula (mm)	<i>Raphanus sativus</i>	249	25.91		

Tratamiento	Ranks	
<i>Lactuca sativa</i>	190.88	A
<i>Allium cepa</i>	444.31	B
<i>Beta vulgaris</i>	534.02	C
<i>Raphanus sativus</i>	824.80	D

"Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)".

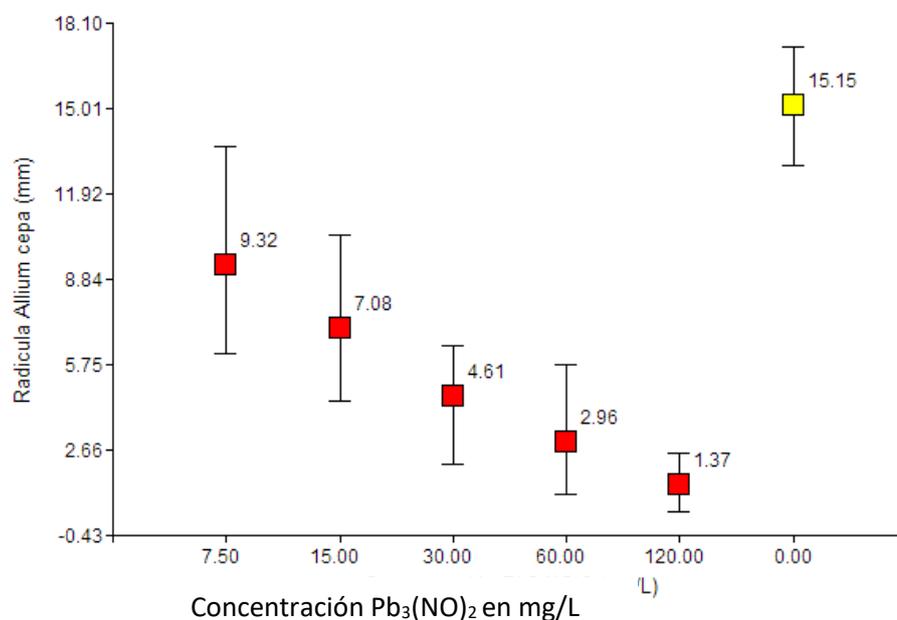


Anexo 16. Cuadro comparativo del tamaño radicular (mm) de las 4 especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*), con las 5 concentraciones crecientes de nitrato de plomo $Pb(NO_3)_2$, registrados a las 192 horas de exposición.

Concentración $Pb(NO_3)_2$ en mg/L	Variable	n	Media	D.E.
0.00	<i>Allium cepa</i>	20	15.15	1.31
0.00	<i>Beta vulgaris</i>	20	19.35	1.71
0.00	<i>Raphanus sativus</i>	20	55.19	5.42
0.00	<i>Lactuca sativa</i>	20	5.69	0.82
7.50	<i>Allium cepa</i>	50	9.32	1.67
7.50	<i>Beta vulgaris</i>	50	12.10	2.35
7.50	<i>Raphanus sativus</i>	50	44.35	4.59
7.50	<i>Lactuca sativa</i>	50	3.55	0.88
15.00	<i>Allium cepa</i>	50	7.08	1.25
15.00	<i>Beta vulgaris</i>	50	9.65	1.75
15.00	<i>Raphanus sativus</i>	50	31.95	3.59
15.00	<i>Lactuca sativa</i>	50	2.37	0.59
30.00	<i>Allium cepa</i>	50	4.61	1.07
30.00	<i>Beta vulgaris</i>	50	6.18	1.26
30.00	<i>Raphanus sativus</i>	50	26.51	4.11
30.00	<i>Lactuca sativa</i>	50	1.44	0.42
60.00	<i>Allium cepa</i>	50	2.96	0.90
60.00	<i>Beta vulgaris</i>	50	4.13	1.47
60.00	<i>Raphanus sativus</i>	50	20.57	2.37
60.00	<i>Lactuca sativa</i>	50	1.00	0.19
120.00	<i>Allium cepa</i>	49	1.37	0.51
120.00	<i>Beta vulgaris</i>	49	2.20	0.94

Concentración Pb(NO₃)₂ en mg/L	Variable	n	Media	D.E.
120.00	<i>Raphanus sativus</i>	49	5.80	1.20
120.00	<i>Lactuca sativa</i>	49	0.87	0.21

Anexo 17. Tamaño de la longitud radicular de *Allium cepa* (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.



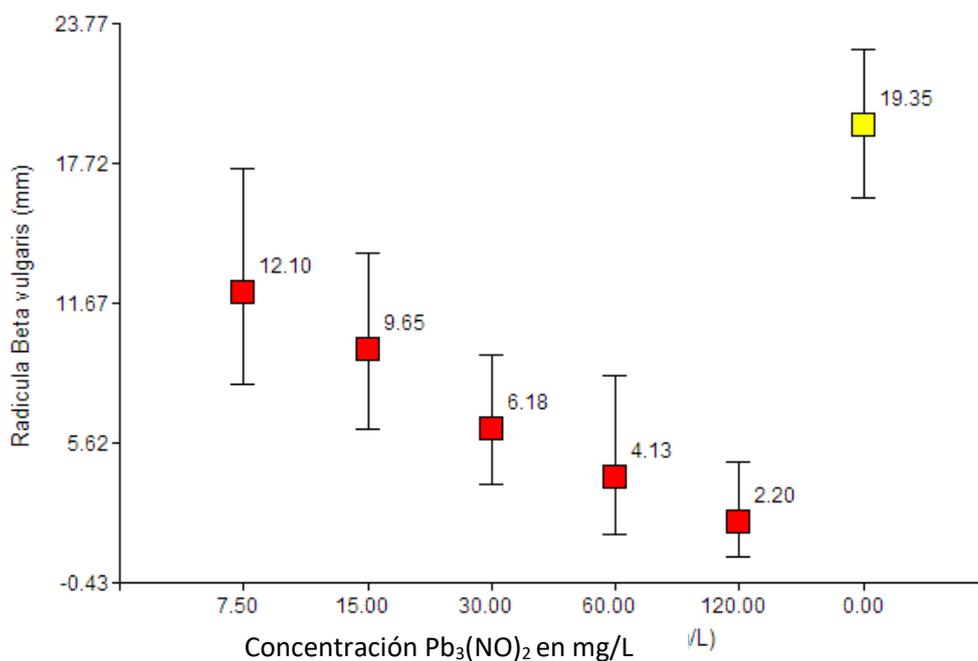
Variable	Concentración $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Allium cepa</i>	0.00	20	15.15	244.12	<0.0001
<i>Allium cepa</i>	7.50	50	9.32		
<i>Allium cepa</i>	15.00	50	7.08		
<i>Allium cepa</i>	30.00	50	4.61		
<i>Allium cepa</i>	60.00	50	2.96		
<i>Allium cepa</i>	120.00	49	1.37		

Tratamiento	Ranks	
120.00	27.74	A
60.00	78.67	B

Tratamiento	Ranks			
30.00	120.44	C		
15.00	178.97		D	
7.50	217.27			E
0.00	259.40			F

"Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)".

Anexo 48. Tamaño de la longitud radicular de *Beta vulgaris* (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.



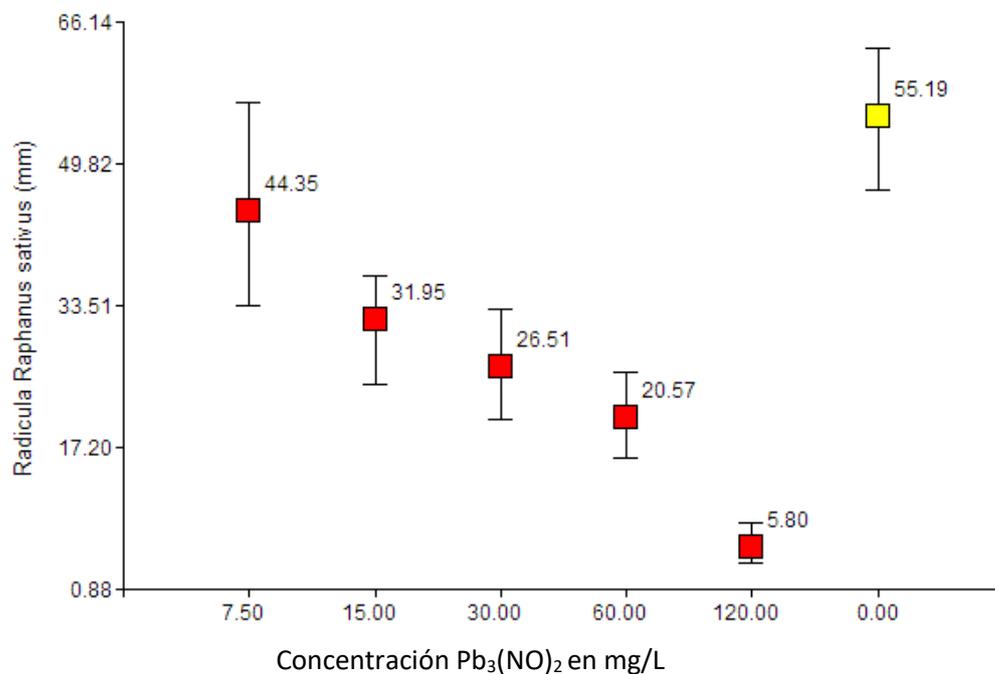
Variable	Concentración $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Beta vulgaris</i>	0.00	20	19.35	238.56	<0.0001
<i>Beta vulgaris</i>	7.50	50	12.10		
<i>Beta vulgaris</i>	15.00	50	9.65		
<i>Beta vulgaris</i>	30.00	50	6.18		
<i>Beta vulgaris</i>	60.00	50	4.13		
<i>Beta vulgaris</i>	120.00	49	2.20		

Tratamiento	Ranks	
120.00	31.62	A
60.00	75.45	B
30.00	120.15	C

15.00	181.83	D	
7.50	214.18		E
0.00	259.25		F

"Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)".

Anexo 19. Tamaño de la longitud radicular de *Raphanus sativus* (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.



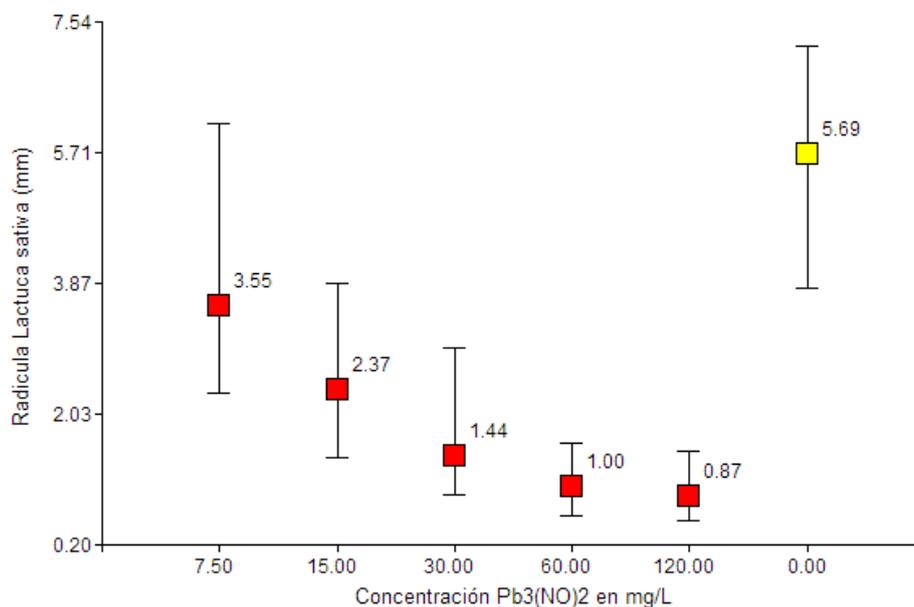
Variable	Concentración $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Raphanus sativus</i>	0.00	20	55.19	246.82	<0.0001
<i>Raphanus sativus</i>	7.50	50	44.35		
<i>Raphanus sativus</i>	15.00	50	31.95		
<i>Raphanus sativus</i>	30.00	50	26.51		
<i>Raphanus sativus</i>	60.00	50	20.57		
<i>Raphanus sativus</i>	120.00	49	5.80		

Tratamiento	Ranks	
120.00	25.00	A
60.00	80.48	B

30.00	127.27	C	
15.00	166.31		D
7.50	225.52		E
0.00	255.55		E

“Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)”.

Anexo 20. Tamaño de la longitud radicular de *Lactuca sativa* (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) en mg/L, Ayacucho 2021.



Variable	Concentración $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mg/L)	N	Medias	H	p
<i>Lactuca sativa</i>	0.00	20	5.69	229.35	<0.0001
<i>Lactuca sativa</i>	7.50	50	3.55		
<i>Lactuca sativa</i>	15.00	50	2.37		
<i>Lactuca sativa</i>	30.00	50	1.44		
<i>Lactuca sativa</i>	60.00	50	1.00		
<i>Lactuca sativa</i>	120.00	49	0.87		

Tratamiento	Ranks	
120.00	43.66	A
60.00	66.72	A

30.00	119.28	B	
15.00	175.68		C
7.50	218.92		D
0.00	257.28		D

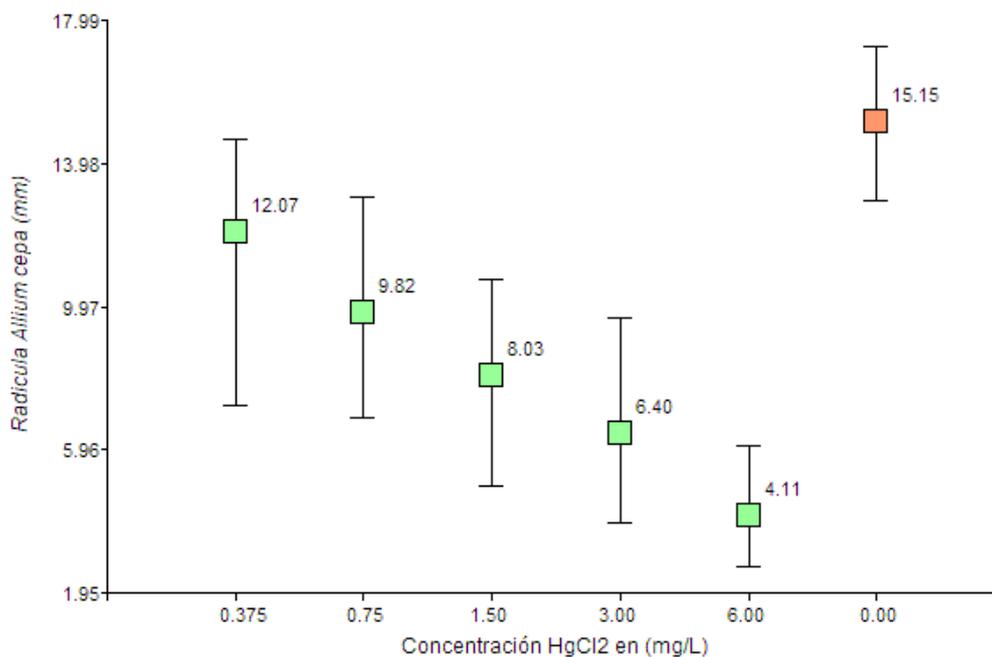
“Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)”.

Anexo 21. Cuadro comparativo del tamaño radicular (mm) de las 4 especies (*Allium cepa*, *Beta vulgaris*, *Raphanus sativus* y *Lactuca sativa*), con las 5 concentraciones crecientes de cloruro de mercurio $HgCl_2$, registrados a las 192 horas de exposición.

Concentración ($HgCl_2$) (mg/L)	Variable	n	Media	D.E.
0.00	<i>Allium cepa</i>	20	15.15	1.31
0.00	<i>Beta vulgaris</i>	20	19.35	1.71
0.00	<i>Raphanus sativus</i>	20	55.19	5.42
0.00	<i>Lactuca sativa</i>	20	5.69	0.82
0.375	<i>Allium cepa</i>	50	12.07	1.79
0.375	<i>Beta vulgaris</i>	50	16.37	1.98
0.375	<i>Raphanus sativus</i>	50	44.27	5.60
0.375	<i>Lactuca sativa</i>	50	5.55	1.19
0.75	<i>Allium cepa</i>	50	9.82	1.66
0.75	<i>Beta vulgaris</i>	50	12.03	2.55
0.75	<i>Raphanus sativus</i>	50	36.46	6.21
0.75	<i>Lactuca sativa</i>	50	4.16	1.05
1.50	<i>Allium cepa</i>	50	8.03	1.53
1.50	<i>Beta vulgaris</i>	50	9.40	2.15
1.50	<i>Raphanus sativus</i>	50	31.05	6.11
1.50	<i>Lactuca sativa</i>	50	2.98	0.85
3.00	<i>Allium cepa</i>	50	6.40	1.10
3.00	<i>Beta vulgaris</i>	50	7.43	1.79
3.00	<i>Raphanus sativus</i>	50	23.97	4.16
3.00	<i>Lactuca sativa</i>	50	2.04	0.79
6.00	<i>Allium cepa</i>	48	4.11	0.73

6.00	<i>Beta vulgaris</i>	48	5.33	1.77
6.00	Raphanus sativus	47	17.47	3.51
6.00	<i>Lactuca sativa</i>	50	1.23	0.54

Anexo 22. Tamaño de la longitud radicular de *Allium cepa* (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) en mg/L, Ayacucho 2021.



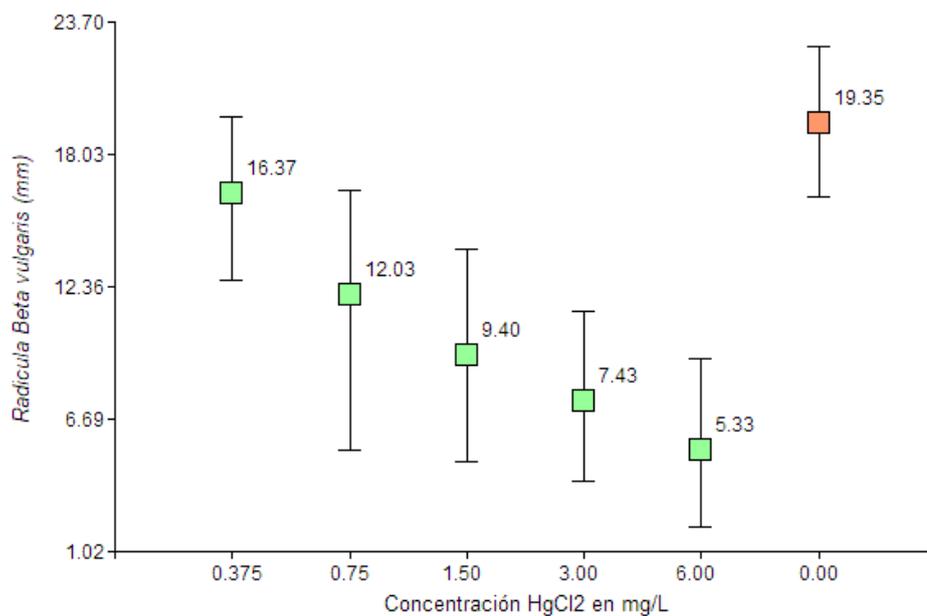
Variable	Concentración (HgCl_2)	N	Medias	H	p
<i>Allium cepa</i>	0,00	20	15,15	223,82	<0,0001
<i>Allium cepa</i>	0.375	50	12,07		
<i>Allium cepa</i>	0.75	50	9,82		
<i>Allium cepa</i>	1.50	50	8,03		
<i>Allium cepa</i>	3,00	50	6,40		
<i>Allium cepa</i>	6,00	48	4,11		

Tratamiento	Ranks	
6,00	26,75	A
3,00	84,09	B

1.50	127,18	C		
0.75	169,09		D	
0.375	212,83			E
0,00	255,13			F

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

Anexo 23. Tamaño de la longitud radicular de *Beta vulgaris* (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) en mg/L, Ayacucho 2021.



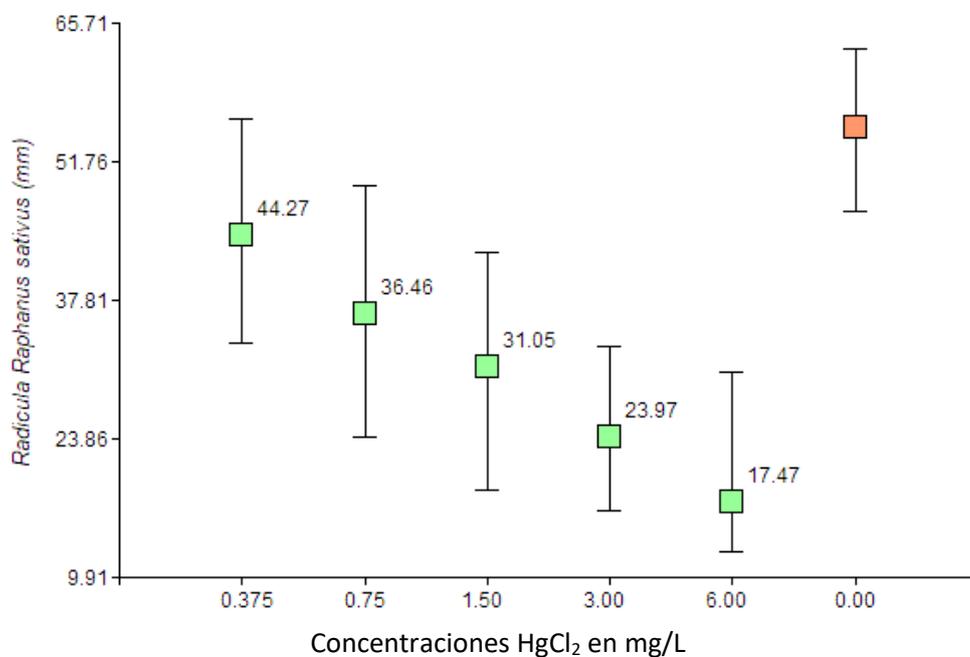
Variable	Concentración (HgCl_2)	N	Medias	H	p
<i>Beta vulgaris</i>	0,00	20	19,35	214,63	<0,0001
<i>Beta vulgaris</i>	0.375	50	16,37		
<i>Beta vulgaris</i>	0.75	50	12,03		
<i>Beta vulgaris</i>	1.50	50	9,40		
<i>Beta vulgaris</i>	3,00	50	7,43		
<i>Beta vulgaris</i>	6,00	48	5,33		

Tratamiento	Ranks	
6,00	39,30	A
3,00	80,39	B

1.50	118,19	C	
0.75	161,96		D
0.375	222,05		E
0,00	251,50		E

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

Anexo 24. Tamaño de la radícula de *Raphanus sativus* (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) en mg/L, Ayacucho 2021.



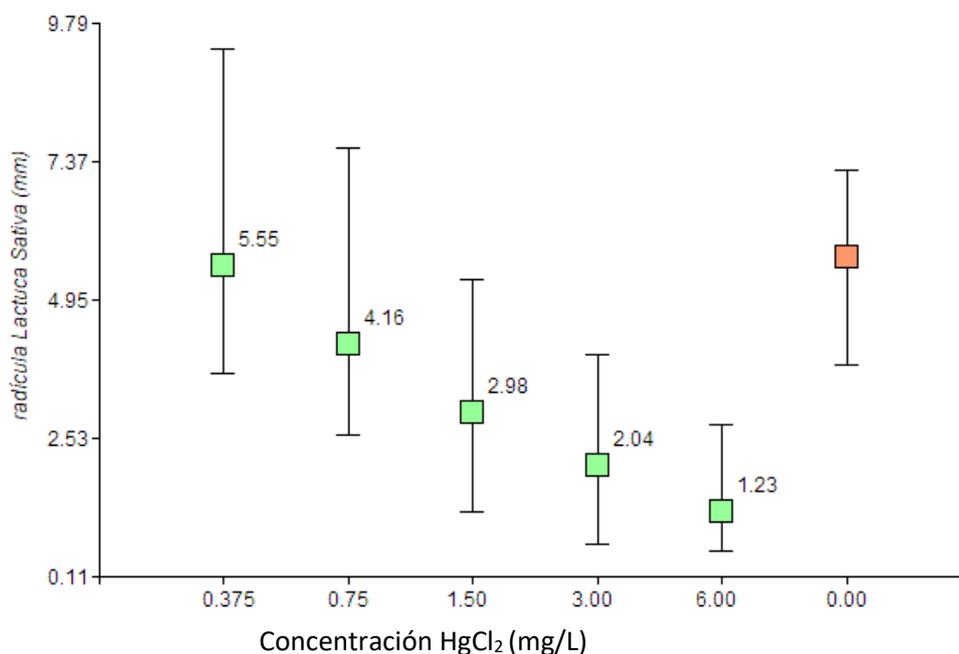
Variable	Concentración (HgCl_2) en mg/L	N	Medias	H	p
<i>Raphanus sativus</i>	0,00	20	55,19	216,49	<0,0001
<i>Raphanus sativus</i>	0.375	50	44,27		
<i>Raphanus sativus</i>	0.75	50	36,46		
<i>Raphanus sativus</i>	1.50	50	31,05		
<i>Raphanus sativus</i>	3,00	50	23,97		
<i>Raphanus sativus</i>	6,00	47	17,47		

Tratamiento	Ranks	
6,00	30,66	A
3,00	79,01	B

1.50	128,96	C		
0.75	165,56		D	
0.375	212,19			E
0,00	252,55			F

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

Anexo 25. Tamaño de la longitud radicular de *Lactuca sativa* (mm) sometidos a 08 días (192 horas) de exposición a cinco concentraciones crecientes de cloruro de mercurio (HgCl_2) en mg/L, Ayacucho 2021.



Variable	Concentración (HgCl_2) en mg/L	N	Medias	H	p
<i>Lactuca sativa</i>	0.00	20	5,69	215,55	<0,0001
<i>Lactuca sativa</i>	0.375	50	5,55		
<i>Lactuca sativa</i>	0.75	50	4,16		
<i>Lactuca sativa</i>	1.50	50	2,98		
<i>Lactuca sativa</i>	3.00	50	2,04		
<i>Lactuca sativa</i>	6.00	50	1,23		

Tratamiento	Ranks	
6.00	37,04	A
3.00	78,34	B
1.50	124,09	C

0.75	175,13	D	
0.375	223,53		E
0.00	233,93		E

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

Anexo 26. Secuencias fotográficas

Foto N° 01. Pesado de las cinco diferentes concentraciones de los metales pesados (nitrato de plomo y cloruro de mercurio).



Foto N° 02. Determinación de las concentraciones de los metales pesados (nitrato de plomo y cloruro de mercurio)



Foto N° 03. Incubación de las semillas con las cinco diferentes concentraciones de nitrato de plomo y cloruro de mercurio.



Foto N° 04. Conteo de semillas germinadas a los 8 días o 192 horas de incubación sometidos a cinco concentraciones diferentes de nitrato de plomo y cloruro de mercurio.



Foto N° 05. Medición digital del tamaño de la radícula de las plántulas germinadas a las 192 horas de exposición y a cinco diferentes concentraciones del nitrato de plomo y cloruro de mercurio.

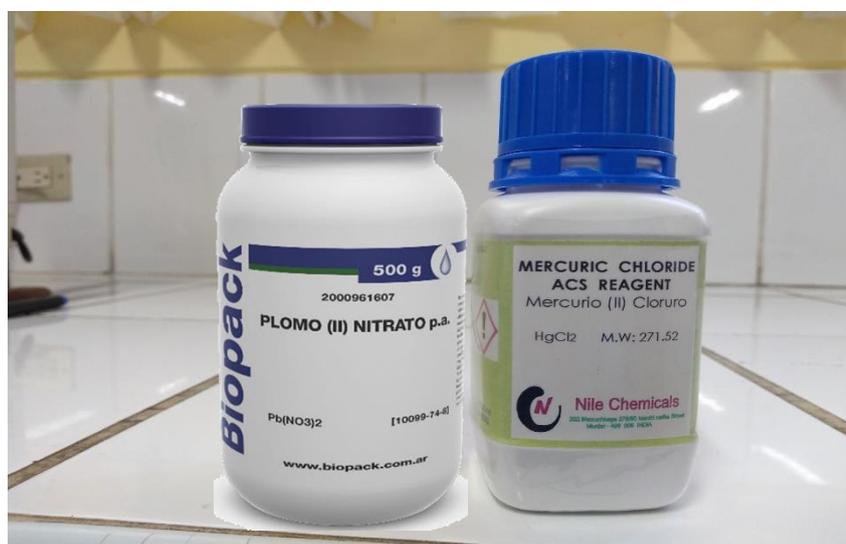


Foto N° 06. Metales pesados utilizados para el tratamiento.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Efecto toxicológico agudo del mercurio y plomo sobre <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga)					
PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL: ¿Cuál es el efecto toxicológico agudo del mercurio y plomo sobre <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), en la ciudad de Ayacucho?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS: a. ¿Cuál es el efecto toxicológico agudo medido como semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), sometidos a la acción del mercurio y plomo? b. ¿Cuál es el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), frente al mercurio y plomo? c. ¿Cuál es el Índice de toxicidad del mercurio y plomo en la germinación de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga)? d. ¿Cuál es la concentración letal media (CL₅₀) del mercurio y plomo, determinado en la germinación de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), analizadas mediante bioensayo?</p>	<p>OBJETIVOS GENERALES: Evaluar el efecto toxicológico agudo del mercurio y plomo sobre <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga).</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS: a. Determinar el efecto toxicológico agudo medido como semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), sometidos a la acción del mercurio y plomo. b. Determinar el porcentaje de semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), frente al mercurio y plomo. c. Determinar el Índice de toxicidad del mercurio y plomo en la germinación de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga). d. Calcular la concentración letal media (CL₅₀) del mercurio y plomo, determinado en la germinación de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), analizadas mediante bioensayo.</p>	<p>Contaminación de los ecosistemas acuáticos continentales. Suelos contaminados. Metales pesados Bioindicadores Efecto de la contaminación sobre los Organismos. Bioensayos. Dosis letal media Determinación de la DL₅₀ y CL₅₀ Metal pesado: Plomo. <i>Lactuca sativa</i> (lechuga). <i>Allium cepa</i> (cebolla). <i>Raphanus sativus</i> (rábano). <i>Beta vulgaris</i> (betarraga)</p>	<p>HIPÓTESIS GENERALES: A mayor concentración del mercurio y plomo mayor es el efecto toxicológico agudo sobre <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga).</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS: a. El efecto toxicológico agudo medido como semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), sometidos a la acción del mercurio y plomo en concentraciones crecientes. b. El porcentaje de semillas no germinadas de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), es mayor a medida que las concentraciones se incrementan del mercurio y plomo. c. El Índice de toxicidad del mercurio y plomo en la germinación de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga) son diferentes. d. La concentración letal media (CL₅₀) del mercurio y plomo, determinado en la germinación de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga), <i>Allium cepa</i> (cebolla), <i>Raphanus sativus</i> (rábano) y <i>Beta vulgaris</i> (betarraga), analizadas mediante bioensayo.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE • Metal pesado: Pb Indicador: Concentraciones del plomo • mercurio: Indicador: Concentración • Tiempo de exposición al plomo y mercurio Indicador: horas (120 horas)</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE • Efecto toxicológico Indicadores: Inhibición o mortalidad (%). Concentración letal media (CL₅₀) medida como g/L. índice de Toxicidad (%).</p>	<p>Tipo de investigación Básica</p> <p>Nivel de investigación Experimental básica</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Muestreo: Aleatorio</p> <p>Técnicas: Observación Determinación</p> <p>Instrumentos: Observación</p>

**UNSCH**ESCUELA DE
POSGRADO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD 108-2023-UNSCH-EPG/EGAP

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado - UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral N^º 198-2021-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

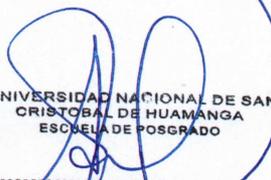
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR:	Bach. HERLINDA NUÑEZ ROMERO
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS:	MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA:	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO:	MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA, MENCIÓN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE
TÍTULO DE TESIS:	EFFECTO TOXICOLÓGICO AGUDO DEL MERCURIO Y PLOMO SOBRE LACTUCA SATIVA (lechuga), ALLIUM CEPA (cebolla), RAPHANUS SATIVUS (rábano) Y BETA VULGARIS (betarraga), AYACUCHO 2020
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD:	23% de similitud
Nº DE TRABAJO:	2130553736
FECHA:	13-jul.-2023

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia, a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 13 de julio del 2023.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Ing. Edith Geovana Asto Peña
Responsable Área Académica

EFECTO TOXICOLÓGICO
AGUDO DEL MERCURIO Y
PLOMO SOBRE LACTUCA
SATIVA (lechuga), ALLIUM CEPA
(cebolla), RAPHANUS SATIVUS
(rábano) Y BETA VULGARIS
(betarraga), AYACUCHO 2020

por Herlinda Nuñez Romero

Fecha de entrega: 13-jul-2023 07:42a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2130553736

Nombre del archivo: TESIS_HERLINDA_PRIMERA_REV_11JUL2023.docx (4.95M)

Total de palabras: 29392

Total de caracteres: 159784

EFFECTO TOXICOLÓGICO AGUDO DEL MERCURIO Y PLOMO SOBRE LACTUCA SATIVA (lechuga), ALLIUM CEPA (cebolla), RAPHANUS SATIVUS (rábano) Y BETA VULGARIS (betarraga), AYACUCHO 2020

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	9%
2	repositorio.uceva.edu.co Fuente de Internet	1%
3	revista.ibp.co.cu Fuente de Internet	1%
4	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	sired.udenar.edu.co Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	1%
8	revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
10	Submitted to Universidad de Murcia Trabajo del estudiante	<1 %
11	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
12	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
13	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	amarlavida.com Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
17	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
18	repositorioinstitucional.uabc.mx Fuente de Internet	<1 %
19	www.bioline.org.br Fuente de Internet	<1 %
20	worldwidescience.org	

Fuente de Internet

<1 %

21

www.revistas.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

22

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

fedcoseeds.com

Fuente de Internet

<1 %

24

repositorio.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

25

repositorio.upeu.edu.pe:8080

Fuente de Internet

<1 %

26

www.scielo.org.pe

Fuente de Internet

<1 %

27

cio.mx

Fuente de Internet

<1 %

28

www.afigp.fgov.be

Fuente de Internet

<1 %

29

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

30

Nikaan B. Andersen, M.D.. "THE EFFECT OF CNS DEPRESSANTS ON MITOSIS", Acta Anaesthesiologica Scandinavica, 09/1966

Publicación

<1 %

31	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	www.agroes.es Fuente de Internet	<1 %
33	www.scielo.cl Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to ipn Trabajo del estudiante	<1 %
35	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
36	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	<1 %
39	repositorio.uoosevelt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	aleph.org.mx Fuente de Internet	<1 %
41	lookformedical.com Fuente de Internet	<1 %
42	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	<1 %

43 vinculacion.dgire.unam.mx <1 %
Fuente de Internet

44 Submitted to Universidad Cesar Vallejo <1 %
Trabajo del estudiante

45 docs.bvsalud.org <1 %
Fuente de Internet

46 repositorio.ulead.edu.ec <1 %
Fuente de Internet

47 repositorio.utea.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN EN GERENCIA DE
PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 00295-2023-UNSCH-EPG/D**

Siendo las 12:00 m. de 18 de Mayo de 2023 se reunieron en el auditorium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de tesis, presidido por el **Dr. Emilio Germán RAMÍREZ ROCA** director de la Escuela de Posgrado, el director **Dr. Jaime Alberto HUAMÁN MONTES** director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, por los siguientes miembros: **Dr. Indalecio QUISPE RODRIGUEZ** y **Mtro. Jaime Leonardo BENDEZÙ PRADO**; para la sustentación oral y pública de la tesis intitulado, **EFFECTO TOXICOLÒGICO AGUDO DEL MERCURIO Y PLOMO SOBRE LACTUCA SATIVA (lechuga), ALLIUM CEPA (cebolla), RAPHANUS SATIVUS (rábano) Y BETA VULGARIS (beterraga), AYACUCHO 2020**. En la Ciudad de Ayacucho del 2023, presentada por la **Bach. Herlinda NUÑEZ ROMERO**. Teniendo como asesor al **Mg. Cipriano MENDOZA ROJAS**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar al Grado Académico de **MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**, Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por la graduada.

A continuación el Jurado Examinador y Calificador de tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: 21645815 (16)

CALIFICACION (*)

Aprobado por unanimidad	X
Aprobado por Mayoría	~
Desaprobada por Unanimidad	~
Desaprobada por mayoría	~

(*) Marcar con aspa

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue a la **Bach. Herlinda NUÑEZ ROMERO** el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**. Siendo las 13.50 pm hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las 13.30 pm hrs. Del 18 de mayo 2023.

.....
Dr. Emilio Germán RAMÍREZ ROCA
Director de la Escuela de Posgrado

.....
Dr. Jaime Alberto HUAMÁN MONTES
Director de la Unidad de Posgrado – FIMGC

.....
Dr. Indalecio QUISPE RODRIGUEZ
Miembro

.....
Mtro. Jaime Leonardo BENDEZÙ PRADO
Miembro

.....
Dr. Marco Rolando ARONES JARA
Secretario Docente

Observaciones:

.....

.....