



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS.
MAESTRÍA EN CIENCIAS ÁREA TOXICOLOGÍA

**"ESTUDIOS DE LA RELACIÓN DE LA
TOXICIDAD DEL PLOMO CON EL pH,
DUREZA Y ALCALINIDAD DEL
AGUA."**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN TOXICOLOGÍA

PRESENTA:
I.Q. Diana Marcela Santos Martell

Comité Tutorial:
Dr. Roberto Rico Martínez
Dr. Francisco Javier Avelar González
Dra. Elsa Marcela Ramírez López

Aguascalientes, Ags., Junio 2011



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Centro de Ciencias Básicas

I.Q. DIANA MARCELA SANTOS MARTELL
ALUMNO (A) DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS
ÁREA DE TOXICOLOGÍA
P R E S E N T E .

Estimado (a) alumno (a) Santos:

Por medio de este conducto me permito comunicar a Usted que habiendo recibido los votos aprobatorios de los revisores de su trabajo de tesis y/o caso práctico titulado: **"ESTUDIOS DE LA RELACIÓN DE LA TOXICIDAD DEL PLOMO CON EL pH, DUREZA Y ALCALINIDAD DEL AGUA"**, hago de su conocimiento que puede imprimir dicho documento y continuar con los trámites para la presentación de su examen de grado.

Sin otro particular me permito saludarle muy afectuosamente.

A T E N T A M E N T E
Aguascalientes, Ags., 27 de junio de 2011
"SE LUMEN PROFERRE"
LA DECANO


M. en C. MARTHA CRISTINA GONZÁLEZ DÍAZ



c.c.p.- Archivo
MCGD,mjda



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

M. en C. Martha Cristina González Díaz
Decano del Centro de Ciencias Básicas
PRESENTE

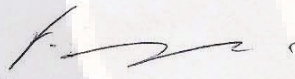
Estimada M. en C. Martha Cristina González Díaz:

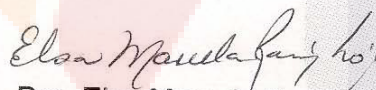
Por medio de este mensaje doy el visto bueno para que la tesis de maestría titulada **"ESTUDIOS DE LA RELACIÓN DE LATOXICIDAD DEL PLOMO CON EL pH, DUREZA Y ALCALINIDAD DEL AGUA"**, de la I. Q. Diana Marcela Santos Martell, quien es alumna regular de nuestro programa de Maestría en Ciencias del área de Toxicología, sea impresa. Dicho trabajo ya fue revisado por los dos codirectores de la tesis y por la asesora y Sandra ya hizo los cambios que se le propusieron.

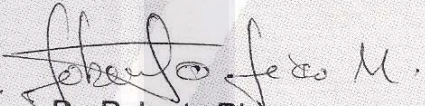
Sin otro asunto que tratar, no me resta sino enviarle un afectuoso saludo.

ATENTAMENTE

Aguascalientes, Ags., a 24 de junio de 2011
"SE LUMEN PROFERRE"


Dr. Francisco Javier Avelar
González
Co-director de tesis
E-mail: fjavelar@correo.uaa.mx


Dra. Elsa Marcela Ramírez
López
Asesora
E-mail: emramir@correo.uaa.mx


Dr. Roberto Rico
Martínez
Co-director de tesis
E-mail: rrico@correo.uaa.mx

AGRADECIMIENTOS

Hay tantas personas a las que quiero agradecerles, que no sabría por quién empezar, porque todas son igual de importantes.

A mis padres, Antonio y Amanda, por su apoyo, comprensión y paciencia a lo largo de mi vida, tanto en lo escolar como lo personal. Gracias por hacerme la persona que soy, por ser mi ejemplo a seguir. ¡Los Quiero!

A mis Hermanas, Nelly y Rocío, por acompañarme a lo largo de mi vida, por ser mis amigas y por apoyarme en todo.

A Marcel, por ser mi compañero en el largo camino de la vida que hemos recorrido y que todavía nos falta recorrer. Por ser comprensivo, paciente y por todo su apoyo.

A mis amigos que siempre me acompañaron, soportaron y sufrieron junto conmigo. ¡Son los mejores!

Especialmente a Laurita, Moni, Romelia y Marthita por ayudarme durante la tesis.

- Y por último, pero no menos importantes, a los Doctores:
- Roberto Rico Martínez, por apoyarme, comprender y sobretodo por confiar en mi, se lo agradezco de corazón.
 - Francisco Javier Avelar González, por su tiempo y apoyo durante la tesis.
 - Elsa Marcela Ramírez López, por su tiempo y comprensión.
 - Samanta Ramos Gómez, todo el apoyo y comprensión tanto en el trabajo de laboratorio como fuera de el.

DEDICATORIA

"A mis padres y hermanas
por su apoyo y amor"

"A Marcel, por estar conmigo siempre,
en las buenas y en las malas"

RESUMEN

El Río San Pedro es el principal cuerpo de agua del Estado de Aguascalientes y el que contiene mayor contaminación, las principales causas de esta contaminación son la mancha urbana y empresas que anteriormente se asentaron a las orillas del río. Para tratar de remediarlo, el Gobierno del Estado puso en marcha más de cien planta de tratamiento, pero a pesar de este esfuerzo el agua sigue conteniendo contaminantes que afectan a la biota acuática del río, causando muerte o afectando la cadena alimentaria, complicando aún más los efectos. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del plomo (total y disuelto) en la toxicidad de una especie modelo tanto en muestras de campo como en condiciones de laboratorio. La calidad del agua del río, fue analizada en tres sitios fundamentales y que su agua proviene de alguna planta tratadora, los sitio están ubicados aguas debajo de las plantas de tratamiento de la Presa El Niágara, el PIVA y de Jesús María. Si bien en los tres sitios de colecta no se encontraron concentraciones de este metal, es altamente probable que sea convertido en uno mucho más tóxico, ya que la concentración de algunas sales y las variaciones en el pH, hacen que se potencialice su efecto, por lo que el estudio se basó en la hipótesis de que existe un efecto, aumento o disminución, de la toxicidad del plomo. Para lograr esta relación se midió la dureza, alcalinidad y el plomo disuelto en diferentes tratamientos que contenían diferentes concentraciones de plomo (0.1, 0.3, 0.5 y 0.8 mg/L) y carbonato de calcio (50, 125, 200 y 300 mg/L) y variando el pH (3, 5, 7 y 10); además se realizaron pruebas toxicológicas con el rotífero dulceacuícola *Lecane quadridentata* y se detectaron las concentraciones letales donde se ve afectado el 50% de los rotíferos (CL_{50}). Se caracterizó las muestras encontrando que el sitio denominado PIVA es el más contaminado y el que posee más influencia tóxica para el agua del río. Se encontró que el pH 3 y 10 afectó a los animales de prueba mucho antes que el plomo, por el cálculo de las CL_{50} no se logró detectar; a pH 7 la mortalidad no sobrepasó el 50%, pero se calcularon las CL_{50} que servirán de referencia. A pH 5 se logró obtener la CL_{50} en diferentes condiciones de la de alcalinidad, dureza y el plomo disuelto que poseen todas las muestras a este pH.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema hidrológico del Río San Pedro, Aguascalientes, México.	1
1.2 Tratamiento de aguas residuales	2
1.3 Pruebas de toxicidad con Rotíferos: organismo dulceacuícolas	5
1.4 El plomo, uno de los metales más contaminantes	5
1.5 Alcalinidad, Dureza y pH, variables importantes	9
en la calidad del Agua	9
II. JUSTIFICACIÓN	13
III. HIPÓTESIS	14
IV. OBJETIVOS	14
V. METODOLOGÍA	15
5.1 Caracterización del agua residual	15
5.2 Experimento 1: Enriquecimiento de control y muestras de agua residual	16
5.3 Experimento 2: Pruebas Letales de Toxicidad (CL ₅₀)	17
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
6.1 Caracterización de las muestras de agua residual	18
6.2 Alcalinidad y Dureza en los tratamientos	23
6.2.1 Planta de Tratamiento de Jesús María	23
6.2.2 Presa el Niágara	30
6.2.3 Planta de tratamiento del PIVA	37
6.3 Pruebas de Toxicidad	44
6.3.1 Jesús María	45
6.3.1.1 pH 5 y 50 mg/L de CaCO ₃	45
6.3.1.2 pH 5 y 125 mg/L de CaCO ₃	46
6.3.1.3 pH 5 y 200 mg/L de CaCO ₃	48
6.3.1.4 pH 5 y 300 mg/L de CaCO ₃	49
6.3.1.5 pH 7 y 50, 125, 200 y 300 mg/L CaCO ₃	51
6.3.1.6 pH 10 y 50, 125, 200 y 300 mg/L CaCO ₃	53
6.3.2 Presa el Niágara	53
6.3.2.1 pH 5 y 50 mg/L de CaCO ₃	54

6.3.2.2 pH 5 y 125 mg/L de CaCO ₃	56
6.3.2.3 pH 5 y 200 mg/L de CaCO ₃	57
6.3.2.4 pH 5 y 300 mg/L de CaCO ₃	58
6.3.2.5 pH 7 y 50 y 300 mg/L de CaCO ₃	60
6.3.2.6 pH 7 y 125 mg/L de CaCO ₃	61
6.3.2.7 pH 7 y 200 mg/L de CaCO ₃	63
6.3.2.8 pH 10 y 50, 125, 200 y 300 mg/L de CaCO ₃	63
6.3.3 Planta de Tratamiento del PIVA	63
6.3.3.1 pH 5 y 50 mg/L de CaCO ₃	64
6.3.3.2 pH 5 y 125 y 200 mg/L de CaCO ₃	66
6.3.3.3 pH 5 y 300 mg/L de CaCO ₃	67
6.3.3.4 pH 7 y 50, 125 y 200 mg/L de CaCO ₃	68
6.3.3.5 pH 7 y 300 mg/L de CaCO ₃	70
6.3.4 Control (agua desionizada)	70
6.3.4.1 pH 5 y 50 mg/L de CaCO ₃	70
6.3.4.2 pH 5 y 125 mg/L de CaCO ₃	71
6.3.4.3 pH 5 y 200 mg/L de CaCO ₃	72
6.3.4.4 pH 5 y 300 mg/L de CaCO ₃	74
6.3.4.5 pH 7 y 50, 125, 200 y 300 mg/L de CaCO ₃	74
VII. CONCLUSIÓN	80
VIII. GLOSARIO	81
IX. BIBLOGRAFÍA	82
Anexo A CUADROS DE RESULTADOS	89
Anexo B GRÁFICAS DE RESULTADOS	110

I. INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA HIDROLÓGICO DEL RÍO SAN PEDRO, AGUASCALIENTES, MÉXICO.

En los ríos del país escurren aproximadamente 400 Km³ de agua anualmente, incluyendo las importaciones de otros países y excluyendo las exportaciones. Aproximadamente el 87% de este escurrimiento se presenta en los 39 ríos principales del país y cuyas cuencas ocupan el 58% de la extensión territorial continental. (CNA, 2005). Uno de estas cuencas es la "Lerma-Chapala-Santiago" que abarca parcialmente el territorio de nueve entidades federativas: Estado de México, Michoacán, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, Durango y Nayarit y es considerada como una región estratégica para el país, de ahí la importancia y la necesidad de abordar su problemática hídrica.

Algunos de los problemas hídricos que enfrenta la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, según la CNA en su "Programa Hidráulico Regional: Lerma-Santiago-Pacífico 2000-2006" son la sobre-explotación, la contaminación progresiva de sus cuerpos de agua y uso ineficiente.

El Estado de Aguascalientes se provee de agua gracias a esta cuenca, la cual representa el 98% de la superficie estatal (INEGI, 2009). De esta cuenca se desprenden algunos ríos, uno de los ellos es el río San Pedro (RSP) el cuales es el más importante de la entidad.

Debido a la extensión territorial del RSP que abarca la mayor parte de la entidad, se han desarrollado actividades productivas a su alrededor, por lo que el río recibe aguas residuales domésticas e industriales, principalmente de las ciudades de Jesús María y Aguascalientes (Santos-Medrano *et al.*, 2007), lo que han provocado un cambio en la calidad del agua en el cauce del río, y además existen zonas que son utilizadas como basureros de desechos sólidos y escombros, situación que lo convierte en un gran foco de infección.

El gobierno del Estado de Aguascalientes reporta que las principales razones por las que el RSP esta contaminado, son las ladrilleras que comenzaron a asentarse en los márgenes del Río, el encuentro de la mancha

urbana ante el margen oriente del Río, descargas clandestinas y por la falta de consciencia para derivar las aguas negras de las pluviales (IMAE, 2010).

Santos-Medrano *et al.* (2007), reportó que para 1896 el Río empezó a recibir descargas contaminantes tanto de “La Fundición de los Guggenheim”, del a empresa de aceite vegetal “La Perla” y de los Talleres del Ferrocarril Central Mexicano, sin embargo la contaminación comenzó a ser muy importante en 1960 debido a que el RSP se convirtió en reservorio de aguas residuales, y para 1962 los efectos de la contaminación comenzaron a manifestarse.

En 1982 comienza la muerte masiva de peces en el vaso de la Presa del Niágara y para 1987 muere una considerable cantidad de ganado y aves acuáticas silvestres, registrándose sobre el lecho del Río la presencia de metales pesados (Gobierno del Estado de Aguascalientes, 2010).

1.2 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

En 1993 de acuerdo al plan de desarrollo estatal se pusieron en operación plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de contrarrestar la contaminación del río. Actualmente operan 110 plantas en todo el estado, que tratan el 82 % de las aguas residuales a nivel estatal, de las cuales dos plantas de tratamiento son las más importantes, la planta de tratamiento de aguas de la Ciudad de Aguascalientes con capacidad de 2,000 L/s y que permite tratar el 100% de las aguas residuales generadas en la Ciudad Capital y la Planta de Tratamiento del Municipio de Jesús María que trata en promedio 300 L/s. (Godínez-Antillón, 1998)

Para mantener un control de la calidad del agua proveniente de las descargas de las plantas de tratamiento, se han establecido parámetros específicos que permiten determinar si el tratamiento realizado es el adecuado, dos de estos parámetros son, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), la DQO es la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte (NMX-AA-030-SCFI-2001), y la DBO la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales (NMX-AA-028-SCFI-2001).

Otros parámetros importantes son los sólidos, los cuales muestran la cantidad de materia orgánica e inorgánica contenida en las aguas residuales; para su mejor estudio, se dividen en tres grandes grupos, los Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos (SS) y Sólidos Disueltos (SD); a su vez cada grupo se divide en dos subgrupos, los Volátiles (materia orgánica) y Fijos (materia inorgánica) (Cuadro 1)

Cuadro 1. Tipos de Sólidos y su característica general (APHA-AWWA-WPCF, 2004, 2004)

Sólidos	Característica	Subgrupo
Totales	Muestra en general la naturaleza de los sólidos contenidos.	Fijos (materia inorgánica) Volátiles (materia orgánica)
Suspendidos	Muestra los sólidos que quedan suspendidos en una membrana, sólidos que son fáciles de remover	Fijos (materia inorgánica) Volátiles (materia orgánica)
Disueltos	Muestra los sólidos que sobrepasan el filtrado de la membrana, este tipo son los más peligrosos para la vida acuática.	Fijos (materia inorgánica) Volátiles (materia orgánica)

Para una mejor regulación a nivel nacional de las aguas residuales existen principalmente tres Normas Oficiales que regulan las descargas, que son la NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1996), la NOM-002-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1996) y la NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT, 1996).

Sin embargo, en normas solo se evalúan parámetros microbiológicos, físicos y químicos, y no evalúan la influencia que puede tener la contaminación de agua con los aspectos tóxicos de los contaminantes, es decir, solo

determinan si el agua está o no está contaminada pero no relacionan el tipo de contaminante y su influencia con los seres vivos que habitan en el agua y mucho menos el daño causado a la cadena trófica.

Es por eso la importancia de una evaluación directa de la toxicidad, que representa un parámetro integrador, para incluir la información sobre los efectos tóxicos de los compuestos que pueden generar esta respuesta y que están presentes en el agua analizada.

El propósito de las pruebas de toxicidad es obtener información útil para lograr la protección de los organismos acuáticos de una especie determinada o, de todas las comunidades que integran la biota de un ecosistema, de los peligros ocasionados por las sustancias peligrosas arrojadas al ambiente por el hombre. (Jaramillo-Juárez *et al.*, 2009).

Existen exposiciones a concentraciones de compuestos que producen la muerte en 96 horas o menos, se les denomina exposiciones agudas o letales, mientras que las exposiciones de mayor duración a concentraciones de compuestos tóxicos se les denomina exposiciones subletales o crónicas. Como resultado de la evaluación de los efectos tóxicos agudos, se determina la Concentración Letal Media (CL₅₀), que se define como la concentración de un compuesto, mezcla o producto que induce al 50% de mortalidad en los organismos de prueba, en el tiempo de exposición establecido. (Jaramillo-Juárez *et al.*, 2009).

En México la realización de las pruebas de toxicidad aguda no es obligatoria, si embargo existen tres principales normas técnicas que regulan la realización de estas pruebas, estas son la NMX-AA-087-SCFI-1995 (Evaluación de la Toxicidad aguda con *Daphnia magna Straus*), la NMX-AA-110-SCFI-1995 (Evaluación de la Toxicidad aguda con *Artemia franciscana kellog*) y la NMX-AA-112-SCFI-1995 (Evaluación de la Toxicidad aguda con *Photobacterium phosphoreum*).

El organismo acuático más utilizado es la *Daphnia magna Straus*, sin embargo Santos-Medrano *et al.* (2007) se demostró que existe un organismo mucho más sensible a la toxicidad en el río San Pedro, el cual es el rotífero dulceacuícola *Lecane quadridentata*.

1.3 PRUEBAS DE TOXICIDAD CON LOS ROTÍFEROS: ORGANISMOS DULCEACUÍCOLAS.

Los rotíferos son un grupo pequeño de invertebrados microscópicos, acuáticos o semiacuáticos, que abarcan más de 1,800 especies. (Wallace *et al.*, 2006). Antoni Van Leeuwenhoek los describió por primera vez en 1702. Aunque son un grupo pequeño, son importantes en el ambiente dulceacuícola porque su ritmo de reproducción es muy rápido, y porque forman un vínculo especial con las redes tróficas. En general, los rotíferos son pequeños, con una longitud de 50-200 μm y sirven como comida para algunos predadores invertebrados, los cuales son consumidos por peces que poseen importancia económica (acuicultura) y son el principal alimento de los camarones y cangrejos, ya que tienen un alto nivel nutricional. (Wallace *et al.*, 2006)

Varios trabajos han utilizado las pruebas de toxicidad aguda para muchas especies de rotíferos con el fin de cuantificar los efectos de los plaguicidas, metales pesados y herbicidas. Como por ejemplo, Gamma-Flores *et al.* (2004) realizó pruebas de toxicidad aguda y crónica utilizando el pesticida metilparatión con el rotífero *Brachionus angularis*.

Sin embargo, existen pocos estudios en donde se desarrollen pruebas de toxicidad aguda con rotíferos para determinar la relación de la toxicidad del algún contaminante, en especial los metales, con variables ambientales; uno de esos trabajos es el realizado por Arnold *et al.* (2010), donde investigó la relación tóxica entre el rotífero *Brachionus plicatilis* y el cobre como metal, utilizando agua marina y estuarina.

1.4 EL PLOMO, UNO DE LOS METALES MÁS CONTAMINANTES

Uno de los principales contaminantes del RSP es el plomo, el estudio realizado por Rubio-Francini *et al.* (2008) mostró que las concentraciones de plomo en el RSP en agua no contaminada varía de 0.29 a 5 $\mu\text{g/L}$, incrementándose el agua contaminada, alcanzando un rango de 30 a 10620 $\mu\text{g/L}$, el cual puede causar daños importantes a través de la cadena alimentaria.

El plomo debido a su ductilidad, alta densidad y poca reactividad química, así como su fácil extracción, relativa abundancia y bajo costo, lo

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

hicieron materia prima o componente fundamental en diversos procesos tecnológicos (Garza *et al.*, 2005). Aproximadamente un 40% del plomo se utiliza en forma metálica, un 25% en aleaciones y un 35 % en compuestos químicos. (Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, 2000).

Se ha usado en la elaboración de medicinas, pinturas, tuberías, enseres diversos, municiones, vitrificado de cerámicas y, en épocas más recientes, en aleaciones para soldaduras, almacenaje de reactivos químicos, baterías eléctricas, protección contra radiaciones ionizantes y como aditivo antidetonante en gasolinas. Dado lo anterior no sorprende que, a raíz de la actividad humana, haya aumentado en forma importante la concentración de este metal en el medio ambiente. (Garza *et al.*, 2005)

El plomo ha sido enlistado por la USEPA como número 3 de entre 129 contaminantes prioritarios. Número 2 en la lista del 2003 de las sustancias más peligrosas de la ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry); el plomo tiene efectos adversos sobre todos los organismos, incluyendo en la sobrevivencia, el crecimiento, el aprendizaje, la reproducción, el desarrollo y el metabolismo. (Rubio-Franchini *et al.*, 2008)

Garza *et al.* (2005) menciona que se absorbe a través de la circulación pulmonar y que en el organismo humano el plomo inorgánico no se metaboliza, sino que se absorbe. La incapacidad del organismo para manejar y eliminar de sus tejidos el plomo en forma efectiva propicia que este metal se acumule en su interior.

La cantidad de plomo absorbida en el tracto gastrointestinal de los adultos suele estar comprendida entre el 10 y el 15 % de la cantidad ingerida; en los niños y las mujeres embarazadas, la cantidad absorbida puede aumentar hasta en un 50 % (Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, 2000).

Se ha observado que la deficiencia de hierro y calcio aumentan la absorción de plomo a nivel intestinal. Evidencias experimentales indican que el cerebro fetal tiene una gran sensibilidad al plomo, y que durante la gestación puede provocar abortos espontáneos, malformaciones esqueléticas, retardando el crecimiento, retardo en la migración neuronal y espinas dendríticas, causando retraso mental, ataxia y convulsiones. (Bueno-Bitro *et al.*, 2005)

El plomo se distribuye en tres compartimentos: la sangre, los tejidos blandos (riñón, médula ósea, hígado y cerebro) y el tejido mineralizado (huesos y dientes). Una vez en el torrente sanguíneo, el plomo se une a proteínas eritrocitarias o plasmáticas (Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, 2000).

Las acciones tóxicas del plomo se atribuyen a su afinidad y sustitución de los sitios de acción molecular de diversos cationes polivalentes (calcio, zinc y manganeso), estableciendo diferencias importantes en varios eventos regulatorios intracelulares. (Sanín *et al.*, 1998)

El plomo se concentra y produce daños en la mitocondria, reduciendo el metabolismo energético celular y favoreciendo la generación de radicales libres. También inhibe la captura mitocondrial del calcio citoplásmico a la vez que favorece la liberación del calcio contenido en este organelo. Al promover la apertura del poro de transición mitocondrial, con la consiguiente liberación de citocromo C al citoplasma, induce la muerte celular por apoptosis. El plomo inhibe el funcionamiento de ATPasas de calcio del retículo endoplásmico, lo que incrementa la concentración citoplásmica del calcio. Otro importante blanco nuclear del plomo son los sistemas de reparación del ADN. La nucleasa Ape1 forma parte del sistema de localización y escisión de daños en el genoma celular al eliminar residuos apurínicos/apirimidínicos del ADN, una alteración muy común. El plomo se une a la nucleasa Ape1 e inhibe su funcionamiento, lo que permite la acumulación de daños mutagénicos en el genoma. (Garza *et al.*, 2005)

La enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo (2000), menciona que algunos efectos del plomo en el organismo pueden ser, disminución en la agudeza auditiva: inhibe la capacidad del organismo para producir hemoglobina al interferir con varios pasos enzimáticos en la vía metabólica del grupo hemo; también menciona que la exposición prolongada al plomo tiene efectos directos con la nefropatía, debido a que altera la función de los túbulos proximales. Además menciona que existe una correlación inversa entre los niveles de plomo en sangre y los niveles de vitamina D, debido a que en el sistema endócrino la vitamina D es responsable en gran parte del mantenimiento de la homeostasis de calcio intra y extracelular, y el plomo impide el crecimiento y la

maduración celular y el desarrollo de huesos y dientes. También existen pruebas de una asociación entre la exposición al plomo y la hipertensión, un efecto que puede estar mediado por mecanismos renales.

Con respecto a la intervención del plomo en el medio ambiente, Mora-Silva *et al.* (2007) menciona que el plomo se encuentra principalmente en forma de óxidos o carbonatos, y que en función a su tamaño y densidad se depositan por gravedad, ya sea en suelo o en agua.

Adriano (1986) menciona que en general el plomo puede ser encontrado en forma de sulfuros (PbS), carbonatos (PbCO₃) y sulfatos (PbSO₄).

El plomo es un metal poco móvil y tiende a absorberse en zonas no saturadas de los ríos. Por el material arcillosos y la materia orgánica y con el aumento de pH puede precipitar como Pb(OH)₂; en presencia de iones sulfato, la solubilidad del plomo a pH inferior a 5.4 se encuentra limitada por la precipitación de sulfato de plomo, mientras que a pH superior a este valor es la formación de precipitados de carbonatos y bicarbonatos lo que determina el plomo soluble (Mora-Silva, 2007)

En cuanto a la toxicidad del plomo para los organismos acuáticos, este es uno de los metales pesados más tóxicos para los organismos acuáticos (Rubio-Franchini *et al.*, 2008). En un estudio realizado por Díaz *et al.* (2008) encontró que moluscos, crustáceos y otros invertebrados marinos que habitan ambientes contaminados, y que se ocupan como fuentes de alimento humano, son acumuladores de metales pesados y metaloides en sus tejidos, debido a que estos invertebrados son consumidos como alimentos y constituyen una vía efectiva para la ingesta de tóxicos, los cuales pueden causar efectos negativos en la salud humana.

Tacon (1995) menciona que el plomo puede causar escoliosis, lordosis, anemia y degradación del contenido de calcio en los huesos, erosión de las aletas, en la especie *Oncorhynchus mykiss*, (trucha arcoíris) una especie de pez que habita en la península de Baja California.

Anteriormente se mencionó que algunos predadores invertebrados son alimentados por rotíferos, estos a su vez son consumidos por algunos peces de importancia comercial (acuacultura), y debido a que el plomo es un metal

bioacumulable, puede ocasionar efectos a corto o largo plazo, al consumirse este alimento por los humanos.

En general, ninguna sustancia química es pura, y el agua no es la excepción, toda sustancia que no se agua, es un contaminante o impureza. Generalmente, las aguas de desecho contienen un cierto número de sustancias impuras, la composición depende del tipo de operaciones industriales y domésticas a través de las cuales ha pasado el agua hasta convertirse en desecho (Kermmer *et al.*, 1999).

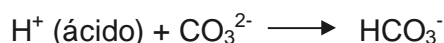
1.5 ALCALINIDAD, DUREZA Y pH, VARIABLES IMPORTANTES EN LA CALIDAD DEL AGUA.

Existen algunos parámetros que muestran la calidad del agua, algunos de ellos anteriormente mencionados como la DBO, DQO, y los sólidos, otros, para el caso de los cuerpos de agua superficial (ríos) son la alcalinidad, la dureza y el pH, los cuales deben ser los adecuados para la sobrevivencia de los organismos acuáticos.

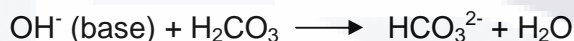
La alcalinidad y la dureza son componentes importantes en la calidad del agua, sin embargo, estos dos aspectos de la química del agua son comúnmente confundidos. La confusión se basa en que ambos términos se reportan en ppm (mg/L) de CaCO_3 . La alcalinidad total indica la cantidad de bases en el agua (bicarbonatos, carbonatos, fosfatos, hidroxilos, etc.) y la dureza representa la concentración total de sales divalentes (calcio, magnesio, hierro, etc.) pero esta no identifica cuales de estos elementos son los causantes de la dureza (Wurts *et al.*, 1992).

El sistema de alcalinidad tiene interacciones importantes con los procesos de fotosíntesis y respiración celular. La alcalinidad se define entonces como la medición de la cantidad total de bases presentes e indica una habilidad de los estanques, ríos, lagos, océanos, etc. para resistir los grandes cambios de pH, es también llamada "capacidad amortiguadora. El nivel deseado de la alcalinidad total para las especies acuáticas es entre 50 y 200 mg/L CaCO_3 . (Wurts *et al.*, 1992). Kermmer *et al.* (1999) mencionan que el sistema de alcalinidad actúa de la siguiente forma:

Si añadimos un ácido, este es neutralizado de acuerdo a las siguientes reacciones:



Si añadimos una base, ésta será neutralizada de acuerdo a las siguientes reacciones:



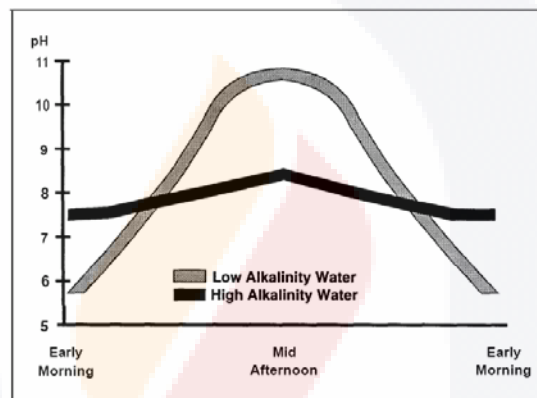
La dureza, como ya se definió, es la medición de la cantidad de iones divalentes como el calcio, magnesio y hierro en el agua. La dureza puede ser una mezcla de las sales divalentes, sin embargo, el calcio y el magnesio son las fuentes principales de la dureza del agua. A bajos valores de dureza de CaCO_3 indica que la concentración de Ca es baja. Animales acuáticos pueden tolerar un rango borde de la dureza del calcio, con rangos deseados desde 75 a 200 mg/L CaCO_3 (Wurts, 2002; Wurts *et al.*, 1992).

El pH, para cuerpos de agua dulce naturales debe ser igual a 7 unidades, la determinación de si el agua es ácida, neutra o básica es definida con el pH. Siendo más precisos, el pH indica la concentración del ión hidrógeno o hidronios en el agua y se define como el logaritmo negativo de la concentración molar de hidrógeno. El pH del agua normalmente fluctúa entre 6,5 y 9. En aguas con baja alcalinidad, el pH puede llegar a tener niveles peligrosamente bajos (debido al CO_2 y el ácido carbónico por la alta respiración) o altos (por la rápida fotosíntesis) (Figura 1). En aguas con alcalinidad alta el pH puede tener cercanos a la neutralidad cuando la respiración es alta (Wurts, 2002).

Navarro *et al.* (2006) menciona que el pH juega un rol muy importante en la adsorción de iones metálicos. Los metales de transición, entre los cuales se encuentran la mayoría de los metales pesados, se caracterizan por su habilidad en la formación de complejos de coordinación con ligandos que poseen pares

de electrones libres, en busca de la estabilización de sus vacantes o parcialmente llenos orbitales “d”. La molécula de agua es catalogada como un excelente ligando y la formación de acuacomplejos con cationes metálicos en solución acuosa es inevitable. A mayor número de ligandos rodeando un catión metálico, mayor será su radio iónico y volumen, convirtiendo al catión en una especie estéricamente impedida para una eficiente interacción con la superficie del adsorbente. La formación de complejos con el agua es regulada por el pH, ya que a altos valores de pH, la concentración de iones oxhidrilo aumenta en la solución y es capaz de formar los acuacomplejos.

Figura 1. Cambios en el pH en agua con alta y baja alcalinidad (Wurts, 2002)



Los metales como el cobre y el zinc son comúnmente usados en ambientes acuáticos. Estos metales empiezan a solubilizarse en ambientes ácidos. Las formas libres de los iones de estos metales son tóxicas para los peces. La alcalinidad alta incrementa el pH y las bases disponibles forman complejos o formas insolubles del cobre y del zinc, que son menos tóxicos. Es decir, a altas concentraciones de calcio y magnesio se bloquean el efecto del cobre y del zinc en sus sitios de acción tóxica. Sin embargo, el cobre y el zinc son más tóxicos para los peces en aguas blandas y ácidas con baja alcalinidad total (Wurts, 2002).

Mendoza-Rodríguez (2009) en su trabajo realizado con sulfato de cobre y su toxicidad, encontró que el grado de toxicidad del cobre depende en gran medida de la dureza, alcalinidad y salinidad presentes en el agua.

Arnold *et al.* (2010) realizó un estudio con el rotífero *Brachionus plicatilis* donde observó al toxicidad letal del cobre con respecto a la salinidad, pH y

materia orgánica disuelta, y encontró que la toxicidad del metal está relacionada solamente con la materia orgánica disuelta, no así con los otros parámetros. Sin embargo, ambos trabajos no fueron realizados con agua de río, y no muestran la peligrosidad de los metales para los organismos acuáticos y como pueden llegar a causar efectos graves en la cadena alimentaria, además no trabajaron con el plomo, el cual como ya se mencionó, es uno de los elementos más tóxicos.



II. JUSTIFICACIÓN

El Río San Pedro (RSP) recibe enormes cargas de aguas residuales tanto de tipo industrial como domésticas, por esta razón el agua que lleva el cauce no es apta para utilizarse en actividades agrícolas. Las descargas de las plantas de tratamiento Ciudad de Aguascalientes y la de Jesús María al no siempre cumplen con los parámetros establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Todo río para la sobrevivencia acuática posee concentraciones de salinidad el cual indica ciertos niveles de alcalinidad y dureza y un pH determinado, pero si los efluentes de las plantas de tratamiento no cumplen con lo establecido, alteran las condiciones idóneas para la sobrevivencia de los animales acuáticos, pudiendo provocar daños irreparables para la biota y fracturar la cadena alimentaria del ecosistema.

Ahora bien, si el agua residual no afectara de manera inmediata a la biota acuática, puede afectar las concentraciones de los tóxicos presentes en el cause del río, convirtiéndolos en un peligro latente para los organismos. Uno de los tóxicos más peligrosos que existen es el plomo, sin embargo se desconoce si este metal, en particular, puede ser afectado por la variación de la salinidad, variando así la alcalinidad, la dureza y del pH en conjunto.

Por lo precedentemente expuesto, es de suma importancia caracterizar el agua residual y determinar si los parámetros cumplen con los valores permitidos por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996. Así como establecer la interacción entre la alcalinidad, la dureza y el pH con la toxicidad del plomo. Estableciendo esta relación entre las variables, se podrá predecir si algún cambio en estas, además de afectar individualmente al bienestar de la vida acuática, puede incrementar o disminuir la toxicidad de dicho metal.

III. HIPÓTESIS

La alteración de los niveles de alcalinidad, dureza y pH tienen un efecto sobre la toxicidad de plomo.

IV. OBJETIVOS

General

- Determinar la relación entre la alcalinidad, dureza y el pH con la toxicidad del plomo en una muestra compuesta de agua, utilizando estándares de absorción atómica de plomo.

Particulares

- Caracterizar la calidad del agua.
- Determinar la concentración de plomo Total y Disuelto, en muestras de agua colectadas en el Río San Pedro y de los Tratamientos.
- Realizar pruebas de toxicidad aguda con *Lecane quadridentata* y obtener valores CL_{50} tanto de las muestras colectadas en campo como los controles de agua dura sintética realizados en laboratorio.

V. METODOLOGÍA

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Las muestras de agua se colectaron de tres lugares representativos de la ciudad:

- a. Aguas abajo de la Presa el Niágara (Hacienda Cieneguillas)
 Latitud 21° 46' 1.1568"; Longitud -102° 21' 41.076"
- b. Aguas abajo de la Planta de Tratamiento de la Ciudad de Jesús María
 Latitud 21° 56' 27.0456"; Longitud -102° 19' 53.8566"
- c. Aguas abajo de la Planta de Tratamiento del Parque Industrial del Valle de Aguascalientes (Descarga a Margaritas-Jesús Gómez Portugal)
 Latitud 21° 58' 48.576"; Longitud -102° 17' 32.2218"

El agua residual caracterizada fue a partir de una muestra compuesta dtomándose durante 24 horas, es decir, se tomó en la mañana y en la noche, con el fin de tener una mejor representación del agua del río. Las muestras se colectaron el 5 de agosto, 14 de octubre y 9 de diciembre de 2009.

Cuadro 2. Parámetros y métodos analizados la muestras de agua residual

Parámetro	Método
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	NMX-AA-028-SCFI-2001 APHA-AWWA-WPCF; 210B
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	NMX-030-SCFI-2001
Sólidos Totales (ST), fijos (F) y volátiles (SV)	NMX-AA-034-SCFI-2001 APHA-AWWA-WPCF; 540B
Sólidos Suspendidos (SS), fijos (F) y volátiles (V)	NMX-AA-034-SCFI-2001 APHA-AWWA-WPCF;2540B
Sólidos Disueltos (SD), fijos (F) y volátiles (V)	NMX-AA-034-SCFI-2001 APHA-AWWA-WPCF;2540C
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
Plomo Total y Plomo Disuelto	NMX-AA-051-SCFI-2001 APHA-AWWA-WPCF;3030B

Los parámetros analizados en las muestras de agua se enlistan en la Cuadro 2, así también se mencionan los métodos o técnicas utilizadas para la determinación de ellos, conforme a las normas mexicanas y al Standard Methods (2004). Todas las mediciones de los parámetros se realizaron por triplicado

5.2 EXPERIMENTO 1: ENRIQUECIMIENTO DE CONTROL Y MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL

Para determinar la relación que existe entre la alcalinidad, la dureza y el pH en la toxicidad del plomo en las muestras compuestas de agua residual, se realizaron diferentes tratamientos, en los cuales se variaba la cantidad de salinidad, el plomo y pH. El modelo del experimento es tipo matriz, realizando todas las combinaciones posibles, en el Cuadro 2 se mencionan las concentraciones de plomo y CaCO_3 utilizados en la investigación y el cambio de pH.

Cuadro 3. Concentraciones de Pb y CaCO_3 y pH utilizados para el experimento tipo matriz

Plomo (1ppm Pb / HNO_3)	Salinidad (CaCO_3)	pH
C1: 0.1 mg/L	C1: 50 mg/L	3
C2: 0.3 mg/L	C2: 125 mg/L	5
C3: 0.5 mg/L	C3: 200 mg/L	7
C4: 0.8 mg/L	C4: 300 mg/L	10

A cada tratamiento o combinación se determinó la alcalinidad según la NMX-AA-036-SFCI-2001 y el método APHA-AWWA-WPCF-2320B, el cuál consisten en una titulación con HCl 0.02N; y la dureza del agua por el método titulométrico con EDTA descrito en APHA-AWWA-WPCF-2340C. Al igual que a las muestras del río, a los tratamientos se le determinó el plomo disuelto según el APHA-AWWA-WPCF-3030B y la NMX-AA-051-SCFI-2001 por absorción atómica modalidad horno de grafito. A las muestras control (realizadas con agua desionizada) se realizaron las mismas combinaciones y determinaciones por los mismos métodos.

5.3 EXPERIMENTO 2: PRUEBAS LETALES DE TOXICIDAD (CL₅₀)

Las pruebas letales de toxicidad se realizaron con el rotífero dulceacuícola *Lecane quadridenta*, mediante la metodología establecida por Rico-Martínez y Pérez-Legaspi (2000), y atendiendo las recomendaciones establecidas por la American Society for the Testing of Materials International (ASTM)

El Cuadro 4 muestra un resumen de las condiciones recomendadas por la ASTM y las condiciones experimentales reales realizadas en las pruebas de toxicidad letal con el rotífero *L. quadridentata*. Las pruebas de toxicidad se realizaron para el control y cada uno de los tratamientos, el cálculo de las CL₅₀, se realizó mediante el software STATISTICA 7.

Cuadro 4: Resumen de las condiciones recomendadas por la ASTM y las utilizadas en el experimento, basando en la metodología establecida por Rico-Martínez y Pérez-Legaspi (2000)

Parámetro	Condiciones recomendaciones por la ASTM	Condiciones utilizadas en el experimento
Salinidad	15 mg/L	50, 125, 200 y 300 mg/L CaCO ₃
Intensidad de la luz en la cámara bioclimática	1000 - 3000 luxes	1000 - 4000 luxes
Duración	24 h	48 h
Temperatura	25 +/- 1°C	25 +/- 1°C
pH	8 pH	3, 5, 7 y 10 pH
Foto período	Continua oscuridad	16 luz- 8 oscuridad
Volumen final del tóxico	1 ml	1 ml
No. de Réplicas por concentración	3	3
No. de neonatos por concentración	30	30
Aceptabilidad de la prueba	<= 10% mortalidad en control	<= 10% mortalidad en control

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL.

Los promedios de los resultados obtenidos de la caracterización de los muestreos realizados el 5 de agosto (1°), 14 de octubre (2°) y 9 de diciembre (3°), se muestran en las Cuadros 5, 6 y 7.

La Comisión Nacional del Agua (CNA), recomienda un valor de menor a igual a 40 mg/L de DQO para considerar la muestra de agua con una contaminación aceptable, y con capacidad de autodepurarse; para el primer muestreo se observa que los tres sitios sobrepasan el nivel aceptado, haciendo notar que la muestra proveniente del PIVA (Cuadro 5) es considerada como fuertemente contaminada (>200mg/L), indicando que el efluente de la planta no es el adecuado ya que su influente es principalmente de naturaleza industrial y por lo tanto posee materia altamente tóxica. Para el segundo muestreo, los valores obtenidos nuevamente sobrepasan los valores recomendados. Sin embargo la muestra proveniente del Niágara (Cuadro 6), no es considerada como fuertemente contaminante. Para el tercer y último muestreo las muestras nuevamente sobrepasan los niveles adecuados, cabe destacar la muestra del PIVA, ya que posee 900 mg/L y es considerada como fuertemente contaminada.

Cuadro 5. Caracterización muestra PIVA

	Muestreo	1°	2°	3°
		DBO (mg/L)	60.60	67.34
	DQO (mg/L)	217.50	185.50	900.00
ST (mg/L)	T	1303.33	1344.44	1450.00
	F	392.22	356.11	580.00
	V	911.11	988.33	870.00
SS (mg/L)	T	183.33	196.67	405.00
	F	91.67	110.00	353.33
	V	91.67	86.67	51.67
SD (mg/L)	T	1120.00	1147.78	1045.00
	F	300.56	246.11	226.67
	V	819.44	901.67	818.33

Para el mes de noviembre, la planta del PIVA tuvo problemas en su funcionamiento, por lo que las descargas fueron directas, es decir el influente no recibió ningún tipo de tratamiento, es por eso, que el valor obtenido en la medición del parámetro fue muy alto. Esto es de suma importancia, debido al gran impacto que podrían presentarse para la biota acuática.

En las colectas 1°, 2° y 3°, las muestras de agua provenientes del PIVA, registraron una concentración de 60, 67 y 42 mg/L de DBO, respectivamente, rebasando más del 40 % del límite máximo permisible (LMP) de 30 mg/L promedio mensual, que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996. Los resultados del segundo y tercer muestreo de agua de la presa El Niágara y el efluente de la planta de tratamiento de Jesús María reportaron una DBO menor a 5 mg/L. Con el fin de evitar las interferencias por materia orgánica a las muestras de la segunda y tercer colecta se les adicionó un agente anti-clorante y para una detección más adecuada de la materia orgánica biodegradable presente, las muestras se colocaron en aireación, los resultados obtenidos mostraron que no sobrepasaron los límites establecidos por la norma oficial mexicana.

Haciendo una relación de la materia orgánica (Cuadro 5), es decir entre la DQO y la DBO₅, contenida en la muestra del PIVA del primer muestreo, el 27.8% es materia de fácil degradación con actividad microbiana y el 72.2% es materia no es biodegradable y que posiblemente causa la toxicidad de la muestra.

Para el segundo muestreo la relación es de 36.3% de materia biodegradable contra el 63.7%; y para el tercer muestreo es de 4.7% contra 95.3%. En los tres muestreos, la materia orgánica no biodegradable contiene un mayor porcentaje, ahora para determinar que tipo de compuestos contiene el agua, se tendría que analizar por métodos precisos.

Para las muestras del Niágara la relación de la materia orgánica (Cuadro 6), para el primer muestreo es de 7.7% de materia orgánica degradable por actividad microbiana contra 92.3%; para el segundo muestreo es de 1.5% contra 98.5% y para el tercer muestreo la relación de 3% contra 97%.

Cuadro 6. Caracterización muestra Niágara

	Muestreo	1°	2°	3°
		ND	1.30	2.00
	DBO (mg/L)			
	DQO (mg/L)	64.80	86.45	64.80
ST (mg/L)	T	930.00	555.00	673.33
	F	200.00	100.00	116.67
	V	730.00	455.00	556.67
SS (mg/L)	T	42.22	22.22	45.00
	F	15.78	12.22	13.33
	V	26.44	10.00	31.67
SD (mg/L)	T	887.78	532.77	628.33
	F	184.22	87.77	103.33
	V	703.56	445.00	525.00

ND = No determinado.

Si bien, este sitio no posee gran cantidad de materia orgánica, es importante señalar este porcentaje, ya que es posible que la toxicidad del agua se deba a la DQO y no al plomo (Cuadro 8), ya que las concentraciones de dicho metal fueron muy bajas, además esta materia orgánica pudiera intervenir con los variables ambientales en el río y provocar la muerte de los animales a prueba.

Cuadro 7. Caracterización muestra Jesús María

	Muestreo	1°	2°	3°
		ND	1.35	1.05
	DBO (mg/L)			
	DQO (mg/L)	40.60	118.05	40.55
ST (mg/L)	T	1080.00	1000.00	816.67
	F	230.00	145.00	106.67
	V	850.00	855.00	710.00
SS (mg/L)	T	27.78	40.00	51.67
	F	15.56	28.57	13.33
	V	12.22	11.43	38.33
SD (mg/L)	T	1052.22	960.00	765.00
	F	214.45	116.43	93.33
	V	837.77	843.57	671.67

ND: No Determinado

Y Finalmente para Jesús María, la relación para el primer muestreo es de 12.3% contra 87.7%; para el segundo muestreo es de 1.1% contra 98.9%; y para el tercer muestreo es de 2.6% contra 97.4% (Cuadro 7)

En cuanto los sólidos totales del PIVA (Cuadro 5), para los tres muestreos, la mayoría de ellos son de naturaleza orgánica (STV), estos sólidos son materia orgánica que se volatiliza a 100°C, ahora bien, sabiendo que la DQO también relaciona la materia orgánica, y en condiciones naturales la temperatura del río no llega a temperaturas tan elevadas, la relación entre estos dos parámetros es posible, teniendo entonces que la mayoría de la materia orgánica contenida en la muestra de agua del PIVA es no degradable por microorganismos.

Así mismo en la cantidad de sólidos fijos (STF) nos muestra que la posible cantidad de materiales inorgánicos en el agua, tales como los metales en este caso el analizado es el plomo, es baja, haciendo poco probable que la toxicidad del agua se deba a este metal, y nuevamente se confirma que la posible toxicidad del agua es debida a la materia orgánica.

Los sólidos suspendidos (SS) en el efluente del PIVA, efluente de la planta de Jesús María y aguas debajo de la presa El Niágara fueron superiores a 40 mg/L (Cuadros 5,6 y 7) rebasando la NOM-001-SEMARNAT-1996, y la Ley Federal de Derechos de la CNA, que establecen el LMP de 40 mg/L, (exceptuado el 2° muestro de la presa El Niágara y el 1° muestreo del efluente de Jesús María) por lo que las determinaciones realizadas para los tres muestreos superan este límite. De éstos, la mayoría son de naturaleza inorgánica (SSF).

Como se observa en la cuadros 5, los sólidos presentes en el efluente del PIVA, su mayoría se encuentran de manera disuelta (SD), sobrepasando los 1000 mg/L, siendo los más peligrosos, ya que se encuentran con mayor biodisponibilidad para los organismos acuáticos, sin embargo, no se reportan LMP tanto en la NOM-001-SEMARNAT-1996 como la Ley de Derechos de la CNA. De estos sólidos en su mayoría son de tipo orgánico (SDV), entre 800 y 900 mg/L, por lo que la toxicidad del agua no se podría ser debida a presencia de metales (que se encuentran en los SDF).

Para determinar la naturaleza de los sólidos, se debe de tomar en cuenta que la materia orgánica se volatiliza aproximadamente a 100°C y la inorgánica necesita más de 500°C, entonces se les llama fijos debido a la dificultad en su remoción.

Con respecto a los resultados de la caracterización del agua, aguas debajo de la presa El Niágara, los ST más elevados se encontraron en el primer muestreo con más de 900 mg/L, en el cuadro 6, se observa que la mayoría son sólidos de tipo orgánico (STV) para los tres muestreos, teniendo un rango de 450 a 750 mg/L. Los ST en su mayoría se encuentran de manera disuelta lo que conllevaría a la muerte de la vida acuática, ya que como antes se mencionó presentarán mayor biodisponibilidad. Para el 1°, 2° y 3° muestreo, la mayoría de los sólidos disueltos son de tipo orgánico (SDV), teniendo valores de 703, 445 y 525 mg/L respectivamente.

En cuanto a la muestra colectada del efluente de la planta de Jesús María, el reporte de las muestras, indicaron que el mayor contenido de los sólidos totales lo posee el 1° muestreo, con 1080 mg/L, además se observa que en los tres muestreos la abundancia de sólidos fue de tipo orgánico (STV) con rango desde 710 hasta 855 mg/L.

Ahora bien, si se comparan los SST y los SDT del 1° muestreo, se observa (cuadro 7) que poseen un 2.5% y 97.5% respectivamente, del total de los sólidos, lo cual informa que la toxicidad del agua podría deberse a los SD, haciendo notar que esta posible toxicidad se relaciona con la materia orgánica disuelta (SDV) ya que del 97.5% el 77.6% son disueltos. Haciendo una comparación con los 40 mg/L que marca el LMP y la norma para SS, solo el 3° muestreo sobrepasa este límite con 51.67 mg/L.

El cuadro 8 muestra el promedio de los resultados obtenidos de plomo total en las tres muestras, ninguna sobrepasan los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 marca como límite máximo permisible 0.2 mg/L de plomo total promedio mensual para descargas, por lo que las concentraciones presentes en esta agua, probablemente no afectarán a la sobrevivencia de la vida acuática. Para plomo disuelto, no hay ningún parámetro establecido, pero como ninguna concentración de plomo total sobrepasa el límite y el plomo disuelto depende del total, tampoco representará un problema.

Para el 1° muestreo, se observa que en las muestras del PIVA y Niágara se encontró mayor cantidad de plomo disuelto que de total, posiblemente se debe al posible error en el lavado en el material utilizado, sin embargo, ya que

son cantidades muy pequeñas no son de gran significancia. Para el efluente de la planta de Jesús María en el 1° muestreo el 90% del plomo total se encuentra de manera disuelta, en el 2° muestreo el 63.11% y en el 3° muestreo el 95.91% (Cuadro 8). Para el agua proveniente del PIVA, el en 2° muestreo el 66.3% es disuelto y en el 3° muestreo el 47%. Y Finalmente en el agua, aguas de bajo de la presa El Niágara, en el 2° muestreo es plomo disuelto equivale al 79.72% del total y en el 3° muestreo el 95.91% total.

Cuadro 8. Caracterización Plomo Total y disuelto en muestras de PIVA, Jesús María y Niágara

SITIO DE MUESTREO	PLOMO		Muestreo
	TOTAL $\mu\text{g/L}$	DISUELTO $\mu\text{g/L}$	
PIVA	6.824	7.428	1°
Jesús María	3.694	3.327	
Niágara	3.932	4.365	
PIVA	8.75	5.85	2°
Jesús María	11.25	7.1	
Niágara	11.74	9.36	
PIVA	15.3	7.2	3°
Jesús María	9.8	9.4	
Niágara	3.10	2.1	

El plomo, como todos los metales, si se encuentran de manera disuelta en el agua, como en PbCO_3 , PbS o PbSO_4 (Mora-Silva, 2007), son más tóxicos, es decir, la absorción de este es mucho mayor, lo cual lo convierte en un peligro latente para todos los organismos acuáticos. los metales buscan su estabilidad, pueden llegar a romper los enlaces de los compuestos orgánicos, ayudados por la variación del pH, la alcalinidad y la dureza, pudiendo formas así compuestos altamente tóxicos (Navarrol *et al.* 2006)

6.2 ALCALINIDAD, DUREZA Y PLOMO DISUELTO EN LOS TRATAMIENTOS.

6.2.1 Planta de Tratamiento de Jesús María

Las determinaciones de dureza, alcalinidad y plomo disuelto se encuentran en los cuadros 9 al 12 (Anexo B) y en las Figuras 2 a la 37. En el primer muestreo, la alcalinidad no se detecta a pH de 3, ya que el método señala que

la determinación de esta comienza a partir de 4.5 unidades de pH, debido a que en este nivel comienza el rompimiento de los enlaces entre iones de Ca^{2+} y $(\text{CO}_3)^{2-}$. Los resultados encontrados a pH 7 indicaron que la concentración de CaCO_3 y por lo tanto los niveles de alcalinidad alcanzan los niveles óptimos necesarios para la sobrevivencia de la vida acuática (Wurts, 2002)

Con respecto a la Dureza, esta fue mayor a pH 3 y mayor concentración de CaCO_3 , se observa que existe variación debido a que el rompimiento del Ca^{2+} con el $(\text{CO}_3)^{2-}$, es intermitente que es imposible determinar con exactitud la concentración de los iones que determinan la dureza en el agua, además el método utilizado existe interferencia con el ión de Pb, por lo que es posible este se detecte debido a la similitud química entre estos iones.

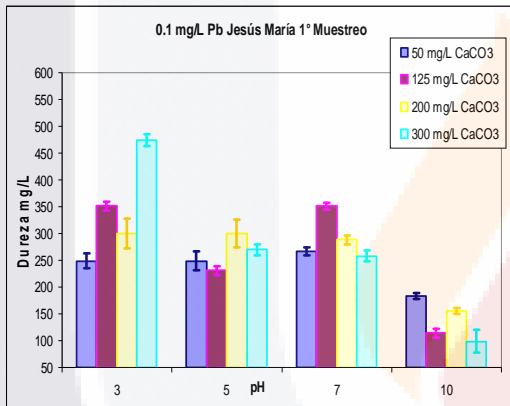


Figura 2. Dureza en Jesús María 1° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo

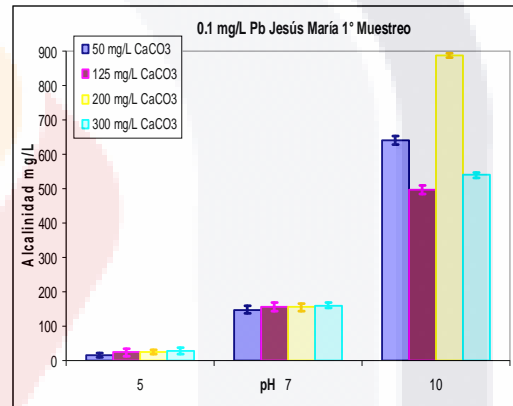


Figura 3. Alcalinidad en Jesús María 1° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo

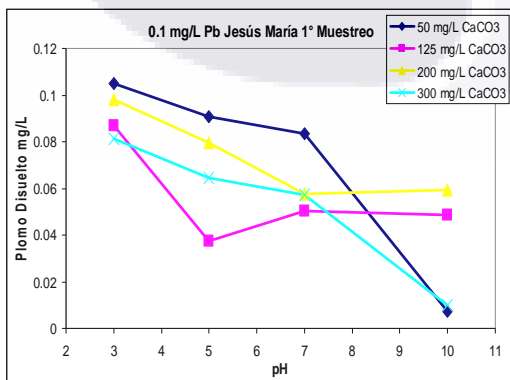


Figura 4. Plomo disuelto en Jesús María 1° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo

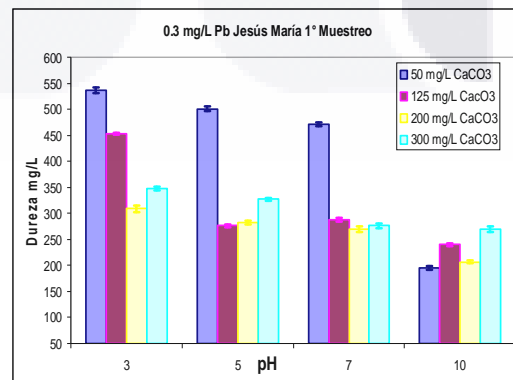


Figura 5. Dureza en Jesús María 1° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo

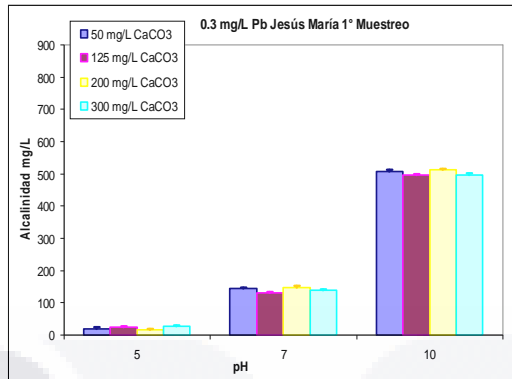


Figura 6. Alcalinidad en Jesús María 1° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo

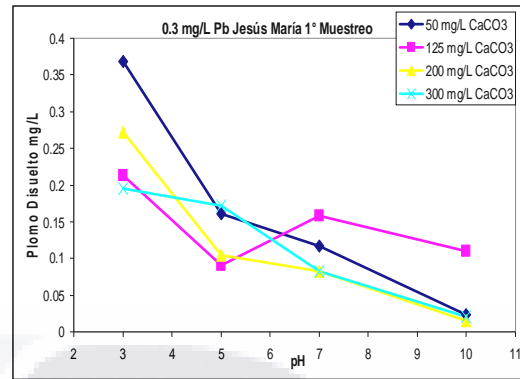


Figura 7. Plomo disuelto en Jesús María 1° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo

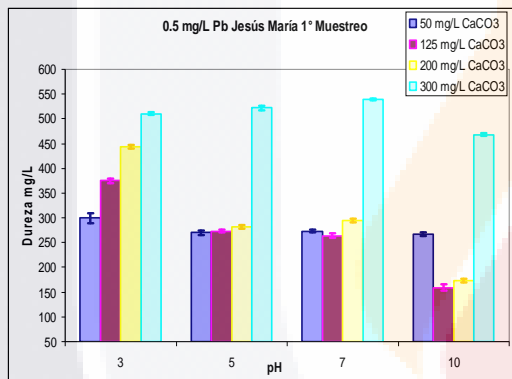


Figura 8. Dureza en Jesús María 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo

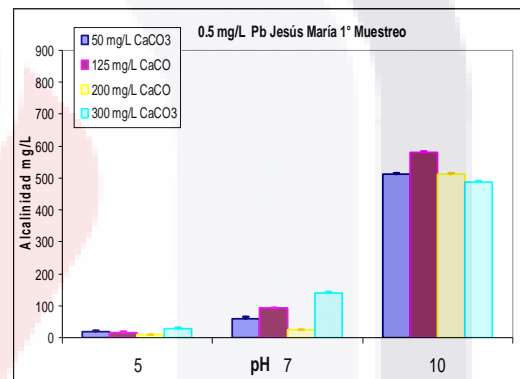


Figura 9. Alcalinidad en Jesús María 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo

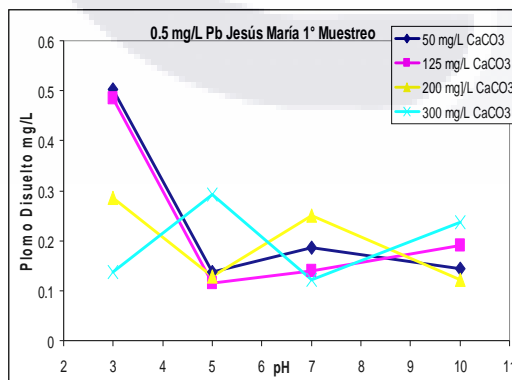


Figura 10. Plomo disuelto en Jesús María 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo

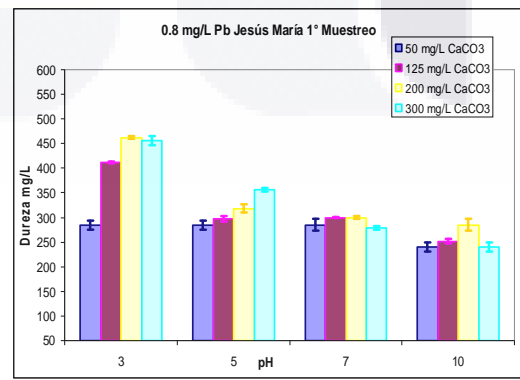


Figura 11. Dureza en Jesús María 1° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo

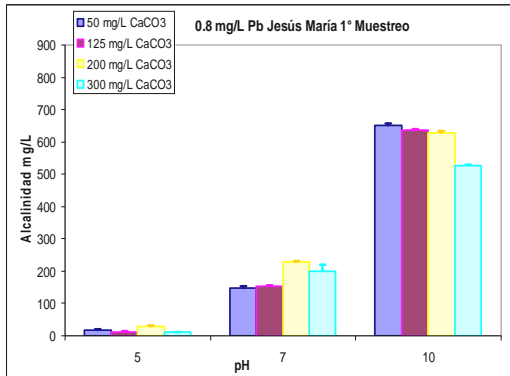


Figura 12. Alcalinidad en Jesús María 1° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo

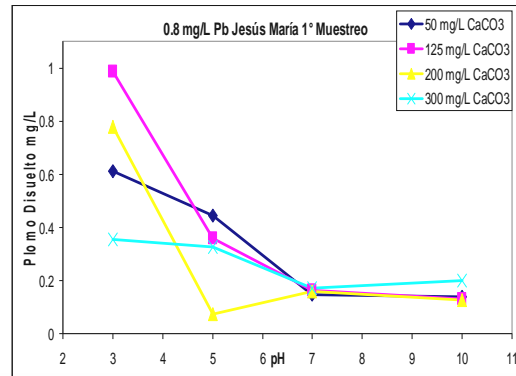


Figura 13. Plomo disuelto en Jesús María 1° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo

El plomo disuelto encontrado fue mayor a pH 3 que a 5, 7 y 10, detectando en este último su nivel más inferior, debido a la formación de complejos con el agua (Navarro *et al.*, 2006). Por lo que se espera que en este sitio, la toxicidad sea menor en comparación con el PIVA y el Niágara, la toxicidad se analizará mas adelante, esto va de la mano con la caracterización realizada, ya que este sitio fue el que obtuvo menor contaminación de tipo orgánico (DQO).

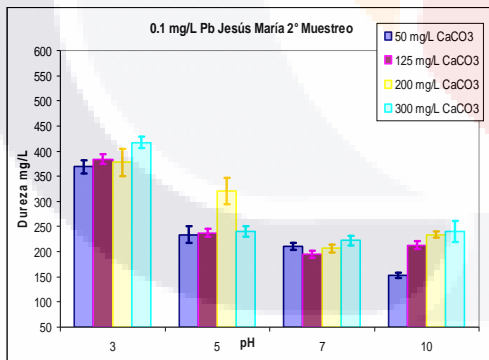


Figura 14. Dureza en Jesús María 2° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo

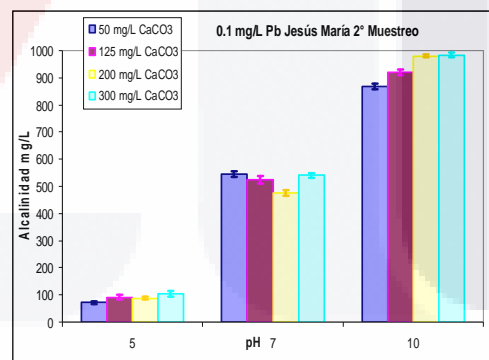


Figura 15. Alcalinidad en Jesús María 2° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo

Con respecto al segundo y tercer muestreo, el comportamiento de la dureza y la alcalinidad fue de manera esperada, es decir, mayor dureza a pH 3 y mayor alcalinidad a pH 10, en cuanto al Pb disuelto en el segundo muestreo se observa un comportamiento es normal, según (Wurts, 2002) a pH 3 mayor

disolución del plomo que a pH 5, 7 y 10, excepto a 0.3 mg/L de plomo total, 50, 125 y 200 mg/L CaCO_3 y pH de 5, se observa un aumento, posiblemente se debe a errores de medición o a la preparaciones de las muestras, aún así, se observa una tendencia a disminuir.

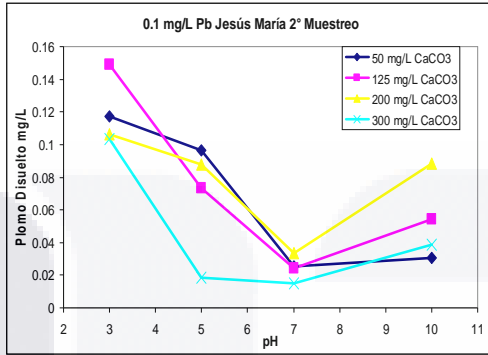


Figura 16. Plomo disuelto en Jesús María 2° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo

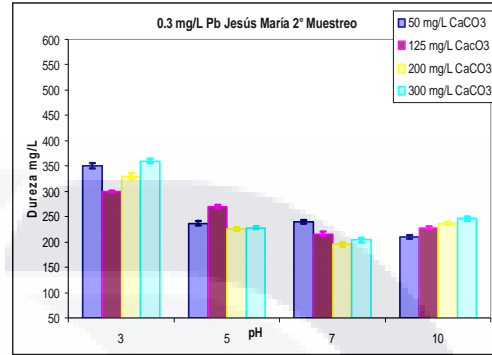


Figura 17. Dureza en Jesús María 2° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo

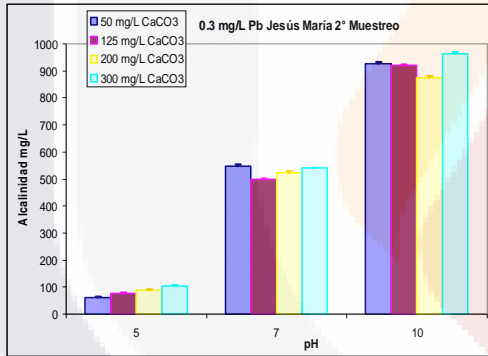


Figura 18. Alcalinidad en Jesús María 2° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo

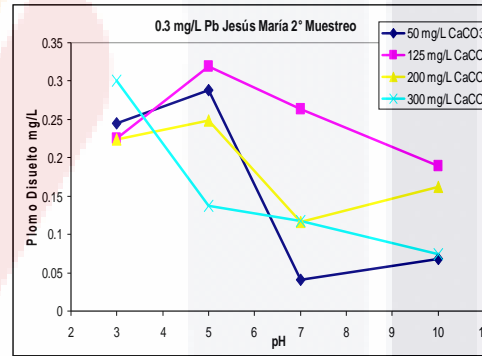


Figura 19. Plomo disuelto en Jesús María 2° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo

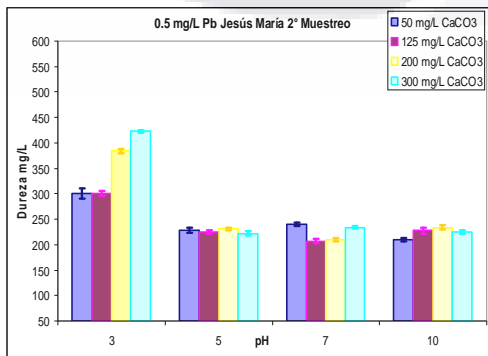


Figura 20. Dureza en Jesús María 2° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

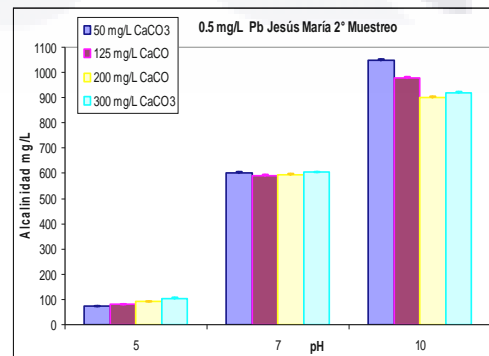


Figura 21. Alcalinidad en Jesús María 2° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

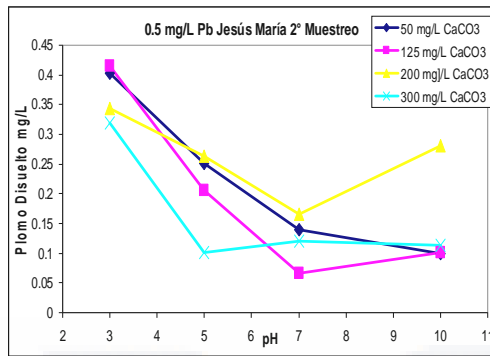


Figura 22. Dureza en Jesús María 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

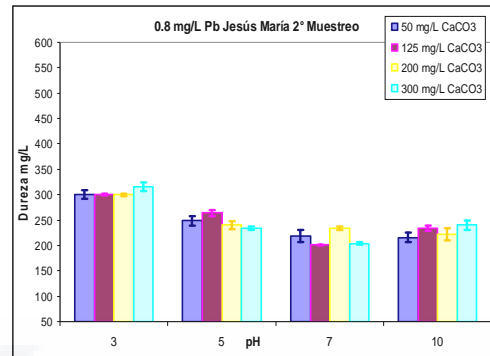


Figura 23. Dureza en Jesús María 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

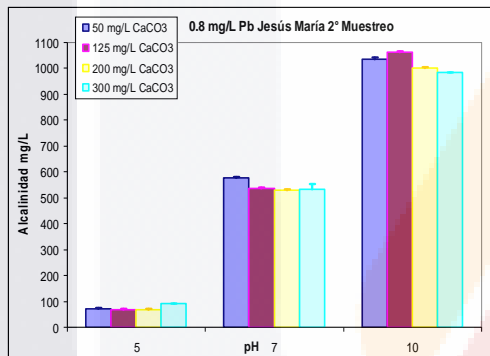


Figura 24. Alcalinidad en Jesús María 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

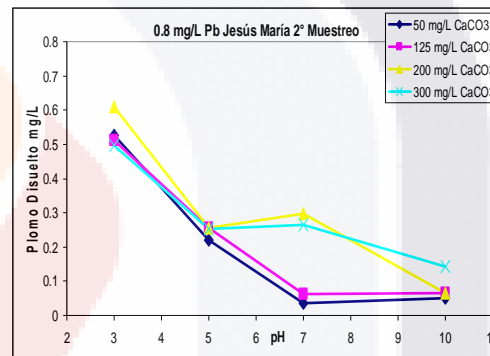


Figura 25. Plomo disuelto en Jesús María 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

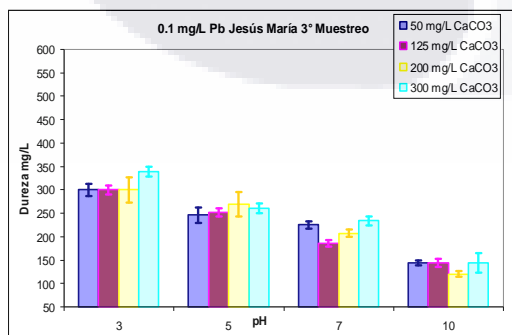


Figura 26. Dureza en Jesús María 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

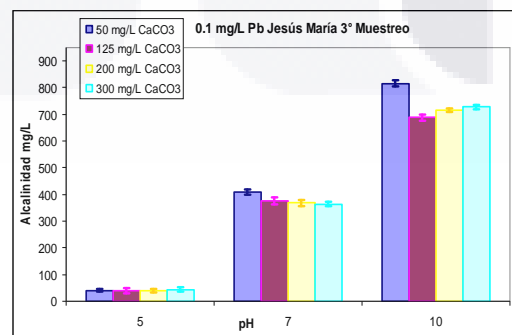


Figura 27. Alcalinidad en Jesús María 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

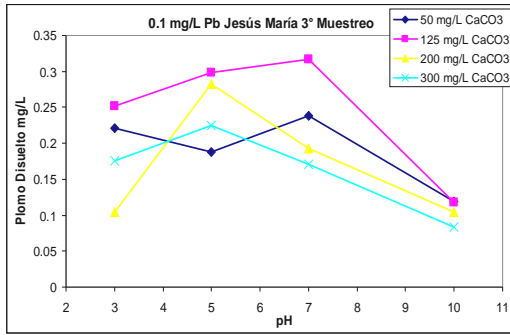


Figura 28. Plomo disuelto en Jesús María 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

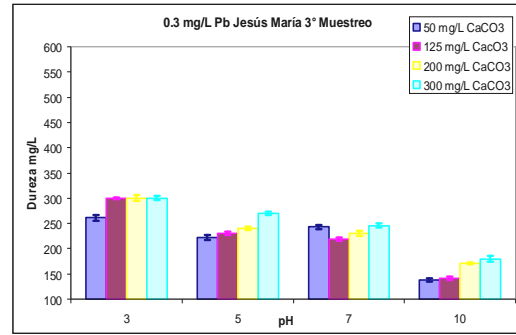


Figura 29. Dureza en Jesús María 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

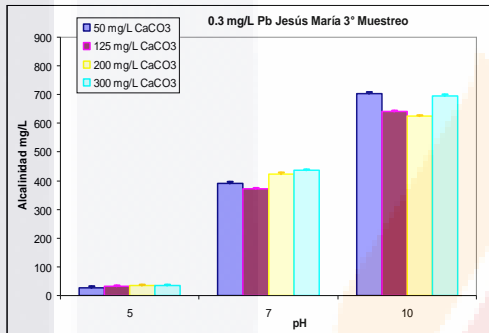


Figura 30. Alcalinidad en Jesús María 3° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

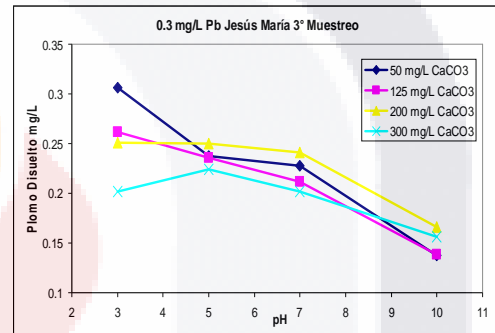


Figura 31. Plomo disuelto en Jesús María 3° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

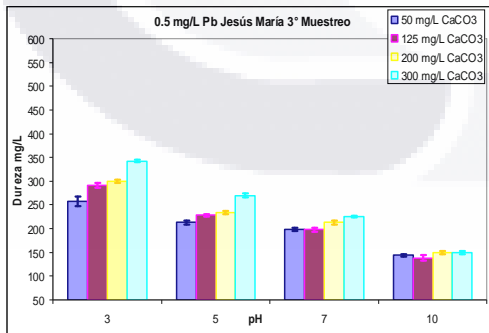


Figura 32. Dureza en Jesús María 3° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

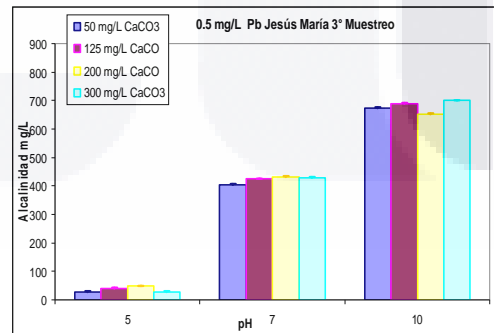


Figura 33. Alcalinidad en Jesús María 3° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

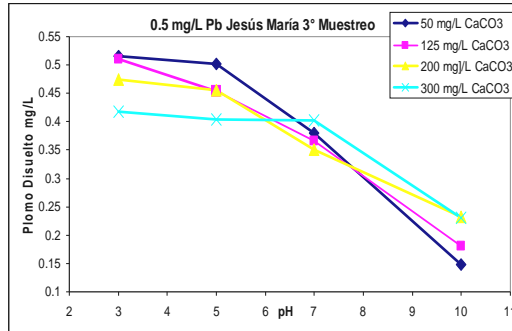


Figura 34. Plomo disuelto en Jesús María 3° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

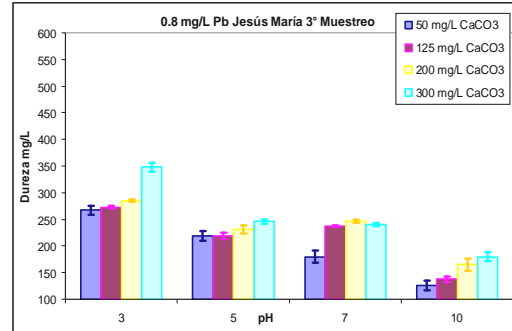


Figura 35. Dureza en Jesús María 3° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

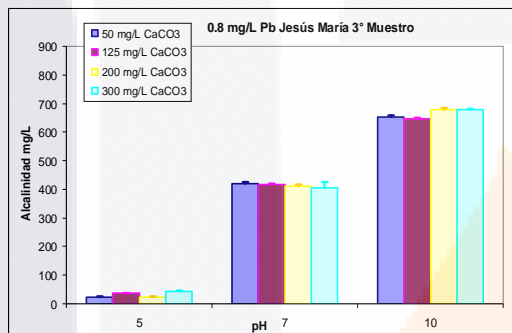


Figura 36. Alcalinidad en Jesús María 3° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

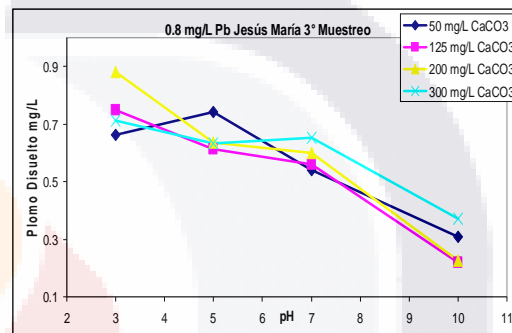


Figura 37. Plomo disuelto en Jesús María 3° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

6.2.2 Presa El Niágara

Los cuadros 13 al 16 y las figuras 38 a la 49 de muestran los resultados obtenidos de las determinaciones de dureza, alcalinidad y plomo disuelto del Niágara para el 1° muestreo; los cuadros 25 al 28 y las figuras 50 a la 60 muestran los resultados del 2° muestreo; y finalmente los cuadros 37 al 40 y las figuras 61 a la 72 señalan los datos obtenidos para el 3° muestreo.

En el primer muestreo, la dureza a 0.1 y 0.3 mg/L hay ligeros cambios, independientemente del pH, por lo que a estas dos concentraciones el Pb no interfiere con la medición de este parámetro, es decir, no hay interferencia con el método, por lo que se concluye que a concentraciones pequeñas, en esta muestra, no hay disponibilidad del plomo, y por lo tanto no afectará la os organismo acuáticos en el cause del río. Para las concentraciones de 0.5 y 0.8 mg/L existe variación de valores de dureza debido a que a estas altas

concentraciones si existe una detección de Pb junto con el Ca, independientemente del pH.

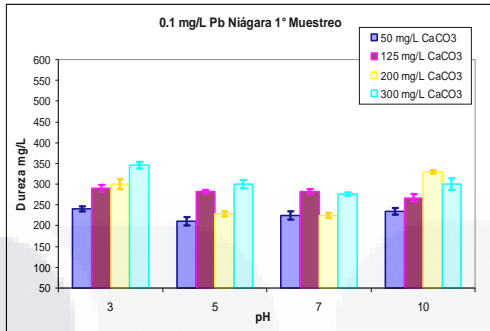


Figura 38. Dureza en Niágara 1° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

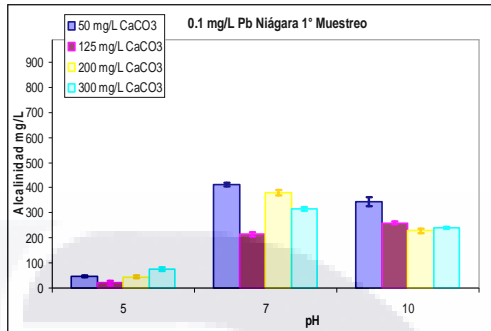


Figura 39. Alcalinidad en Niágara 1° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

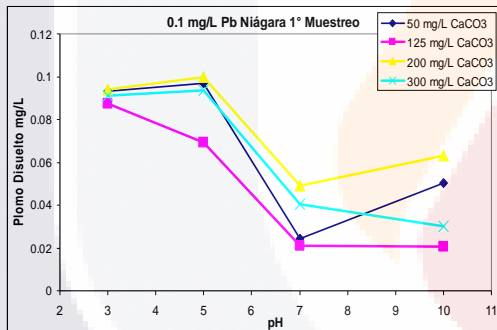


Figura 40. Plomo disuelto en Niágara 1° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

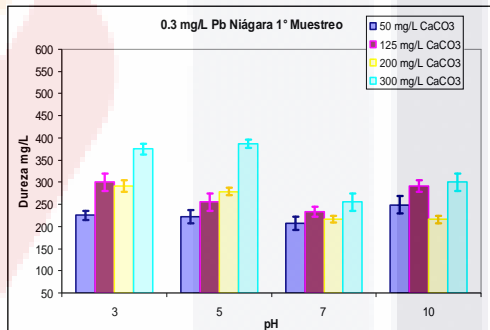


Figura 41. Dureza en Niágara 1° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

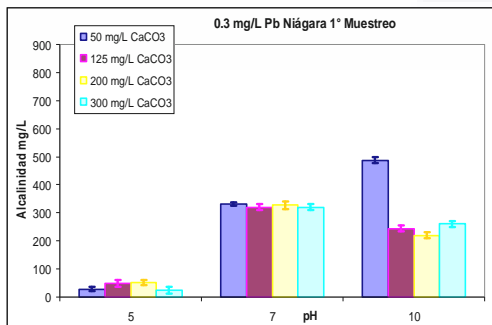


Figura 42. Alcalinidad en Niágara 1° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

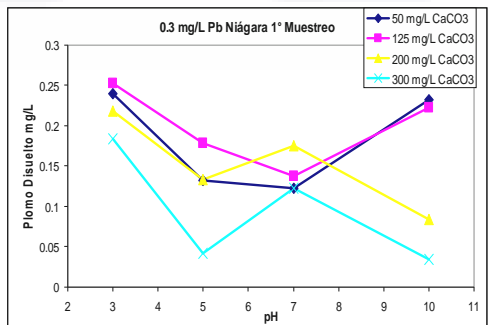


Figura 43. Plomo disuelto en Niágara 1° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

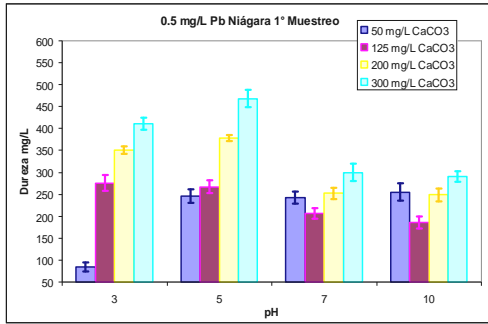


Figura 44. Dureza en Niágara 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

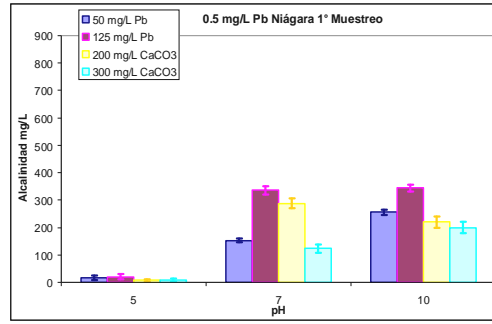


Figura 45. Alcalinidad en Niágara 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

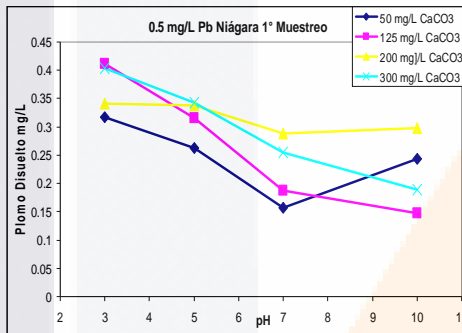


Figura 46. Plomo disuelto en Niágara 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

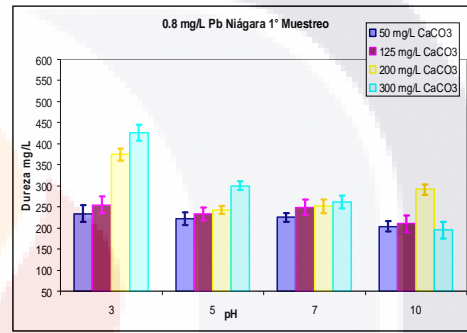


Figura 47. Dureza en Niágara 1° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

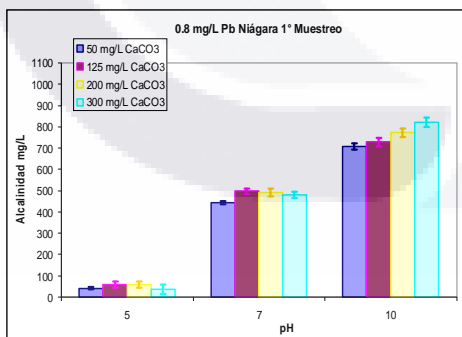


Figura 48. Alcalinidad en Niágara 1° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

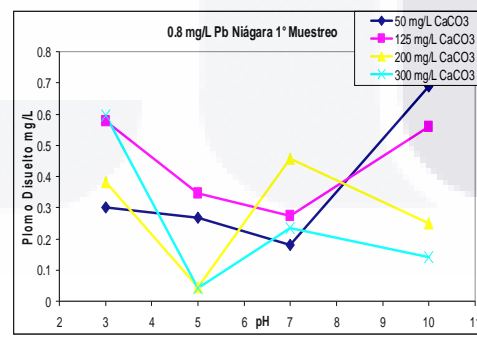


Figura 49. Plomo disuelto en Niágara 1° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

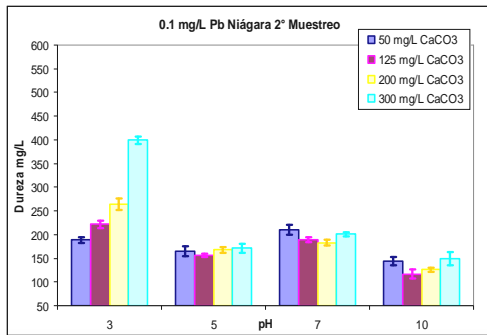


Figura 50. Dureza en Niágara 2° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

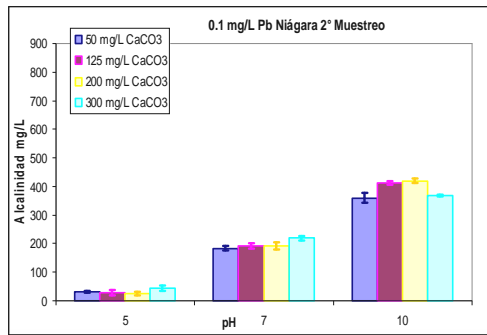


Figura 51. Alcalinidad en Niágara 2° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

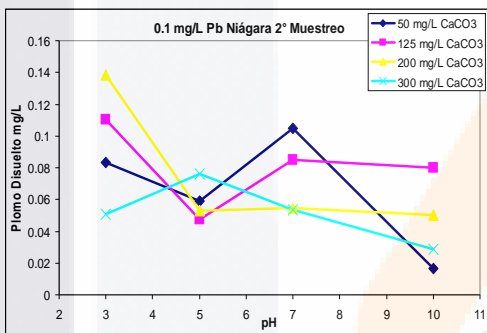


Figura 50. Plomo disuelto en Niágara 2° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

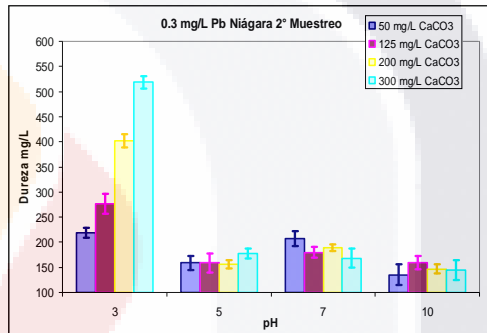


Figura 52. Dureza en Niágara 2° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

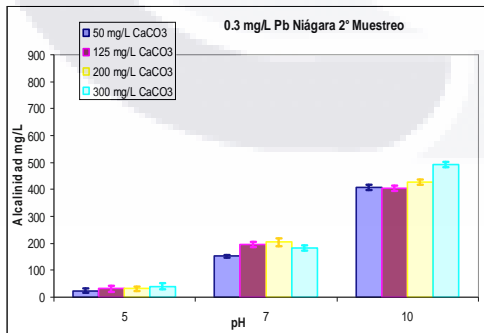


Figura 53. Alcalinidad en Niágara 2° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

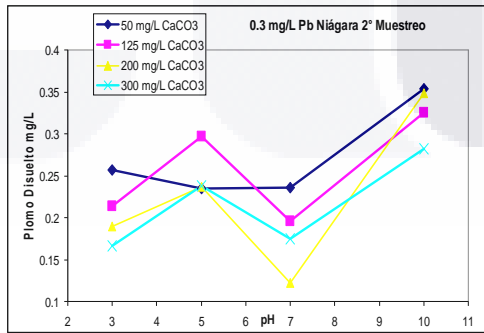


Figura 54. Plomo disuelto en Niágara 2° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

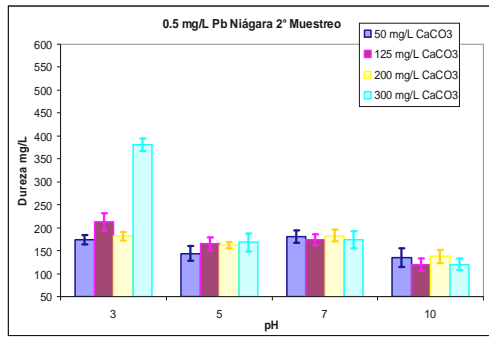


Figura 55. Dureza en Niágara 2° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

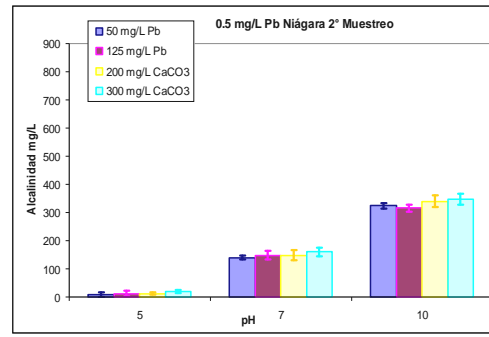


Figura 56. Alcalinidad en Niágara 2° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

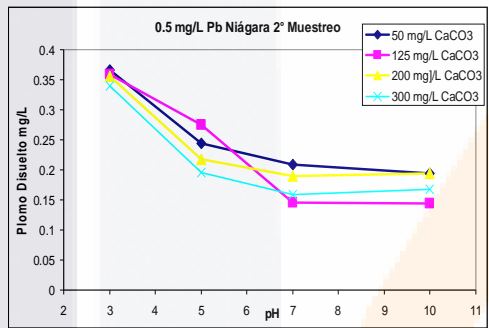


Figura 57. Plomo disuelto en Niágara 2° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

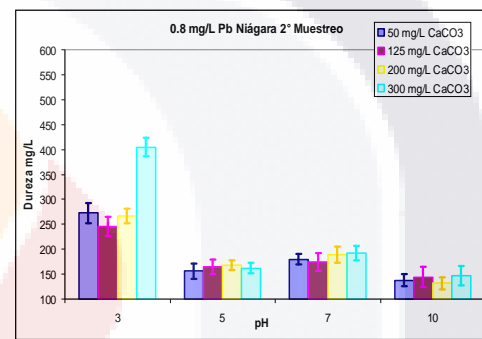


Figura 58. Dureza en Niágara 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

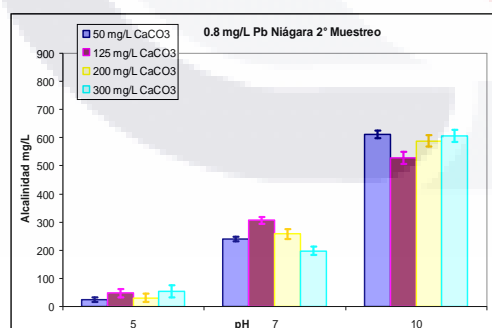


Figura 59. Alcalinidad en Niágara 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

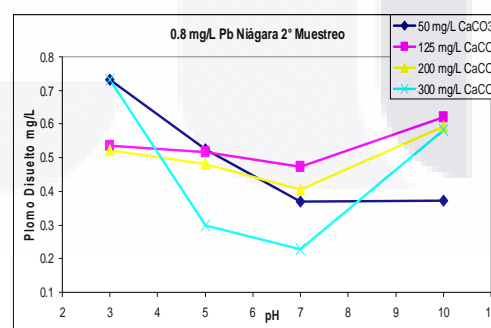


Figura 60. Plomo disuelto en Niágara 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

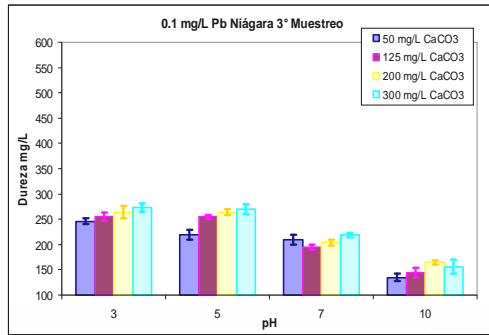


Figura 61. Dureza en Niágara 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

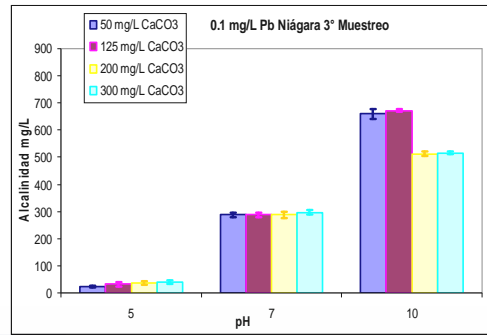


Figura 62. Alcalinidad en Niágara 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

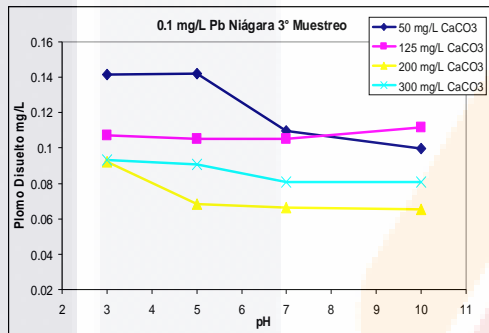


Figura 63. Plomo disuelto en Niágara 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

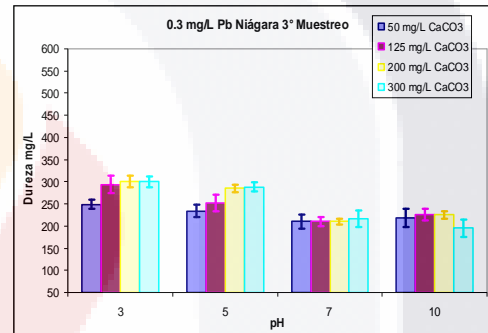


Figura 64. Dureza en Niágara 3° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

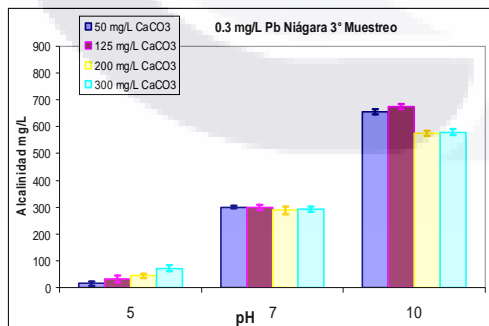


Figura 65. Alcalinidad en Niágara 3° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

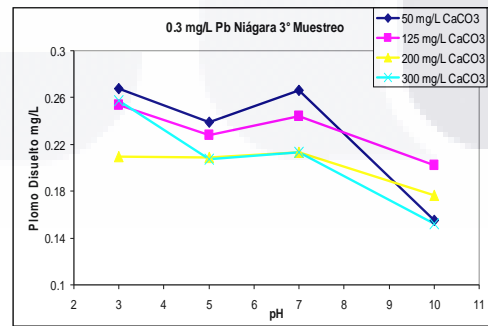


Figura 66. Plomo disuelto en Niágara 3° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

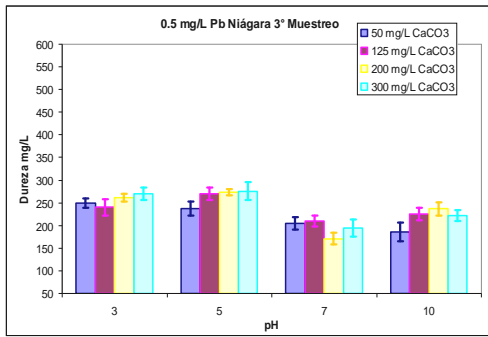


Figura 67. Dureza en Niágara 3° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

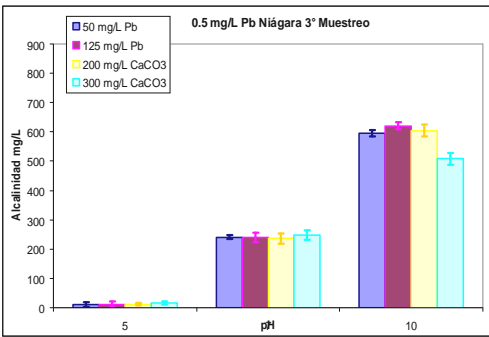


Figura 68. Alcalinidad en Niágara 3° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

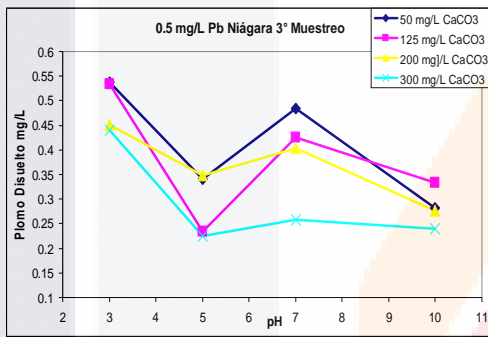


Figura 69. Plomo disuelto en Niágara 3° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

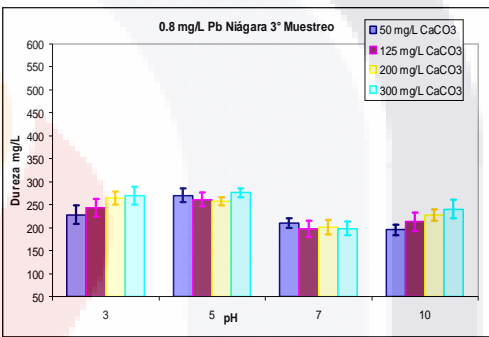


Figura 70. Dureza en Niágara 3° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

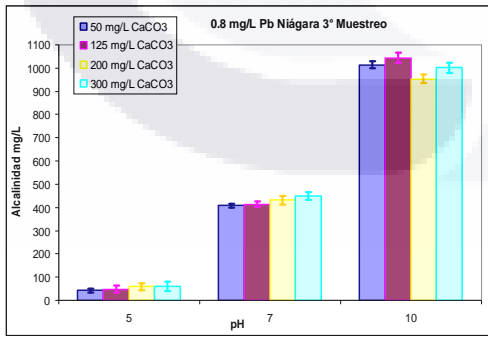


Figura 71. Alcalinidad en Niágara 3° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

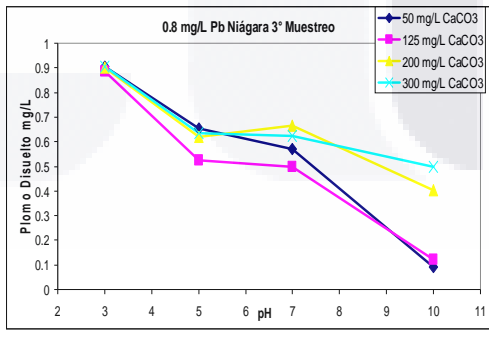


Figura 72. Plomo disuelto en Niágara 3° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

Para la alcalinidad 0.1, 0.3 y 0.5 mg/L hay ligeros cambios, no así a 0.8 mg/L el comportamiento es normal. En cuanto al plomo disuelto a pH 3 es mayor, se observa un aumento a pH 10, debido al posible intercambio catiónico con el Ca, ya que son químicamente iguales, por lo que se forma una nueva sal el $PbCO_3$ (Mora-Silva, 2007) el cual es una sal encontrada en los ríos, y es un compuesto común del suelo. Se observan también algunos cambio, según (Arnold, 2010) la materia orgánica interfiere con la medición del plomo ya que sirva como quelante.

Para el segundo y tercer muestreo, la dureza y la alcalinidad, muestran un comportamiento esperado, es decir, la dureza es mayor a pH 3 y a 300 mg/L de $CaCO_3$, y la alcalinidad a pH 10 e independiente de la concentración de $CaCO_3$. El plomo disuelto en el segundo muestreo tiene a disminuir, pero se detectó un ligero aumento a pH 10. Tercer muestro, tendencia a disminuir y no aumentar, por en este muestreo, se espera una toxicidad menor, el analisis de toxicidad se hará mas adelante.

6.2.3 Planta de tratamiento del PIVA

Para la muestra del PIVA, los cuadros 17 al 20 (Anexo A) y las figuras 73 a la 84 muestran los resultados obtenidos de las determinaciones de dureza, alcalinidad y plomo disuelto para el primer muestreo; los cuadros 29-32 y las figuras 85 a la 96 muestran los resultados del segundo muestreo; y finalmente los cuadros 41 al 44 y las figuras 97 a la 107 señalan los datos obtenidos para el tercer muestreo.

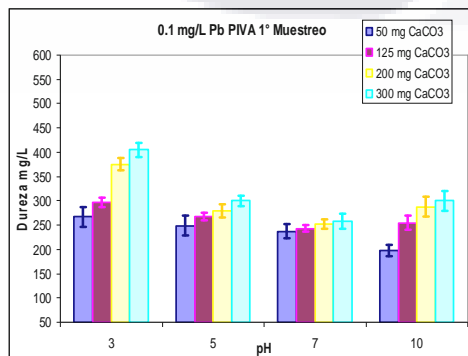


Figura 73. Dureza en PIVA 1° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

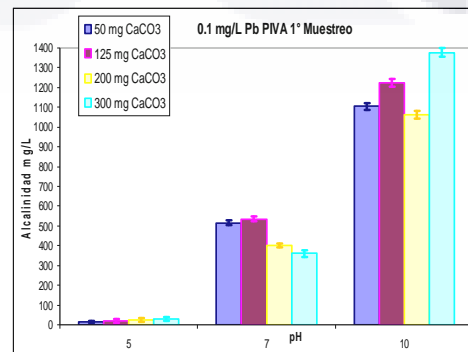


Figura 74. Alcalinidad en PIVA 1° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

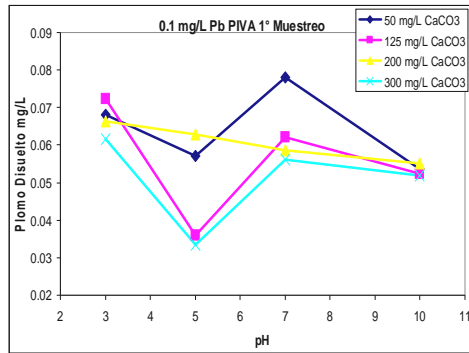


Figura 75. Plomo disuelto en PIVA 1° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

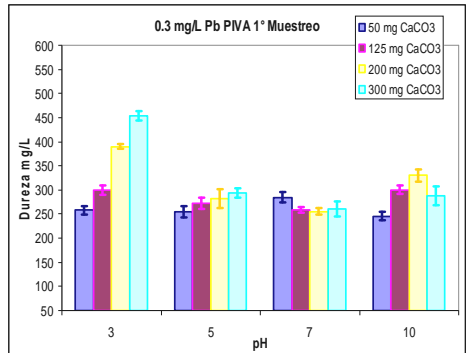


Figura 76. Dureza en PIVA 1° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

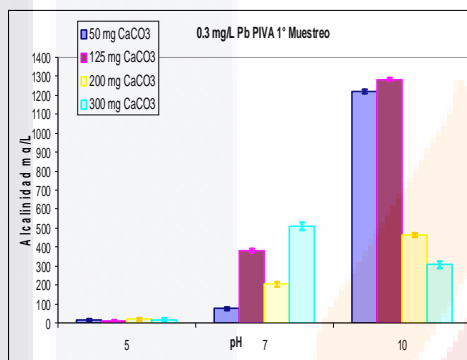


Figura 77. Alcalinidad en PIVA 1° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

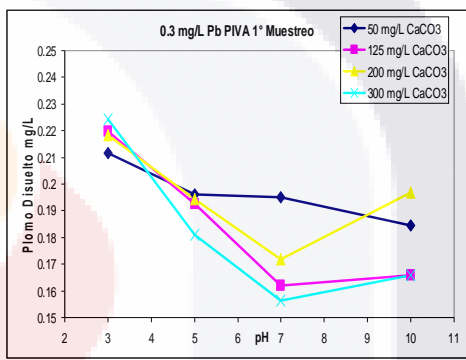


Figura 78. Plomo disuelto en PIVA 1° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

En el primer muestreo, la dureza, al igual que en los otros dos sitios, es mayor a pH 3, sin embargo, no hay gran diferencia entre los otros pH, por lo que se deduce que a partir del pH 5 la cantidad de Ca y Pb se estabiliza, por la cantidad tan grande de materia orgánica independientemente de la concentración de plomo inicial (Arnold, 2010).

La alcalinidad tiene un comportamiento normal, es mayor a pH 10, estas determinaciones aunadas con la gran cantidad de materia orgánica (DQO) y la estabilidad de la dureza, confirman que rompimiento de CaCO₃, y la formación de un complejo de quelación del calcio con la materia orgánica, y como el Pb es químicamente igual al Ca, este ya no se encuentra completamente disuelto y al momento de las filtración con la membrana de nitrocelulosa es desechado, por lo que la toxicidad posiblemente encontrada (el análisis se hará más

adelante) no se deba al plomo, sino a la gran cantidad de materia orgánica presente en la muestra.

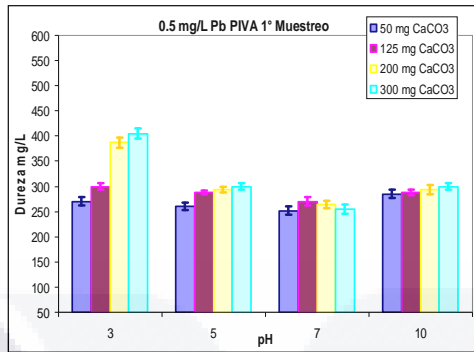


Figura 79. Dureza en PIVA 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

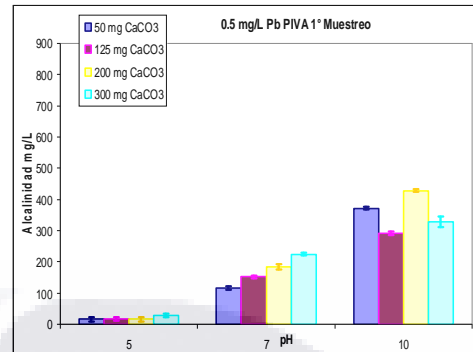


Figura 80. Alcalinidad en PIVA 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

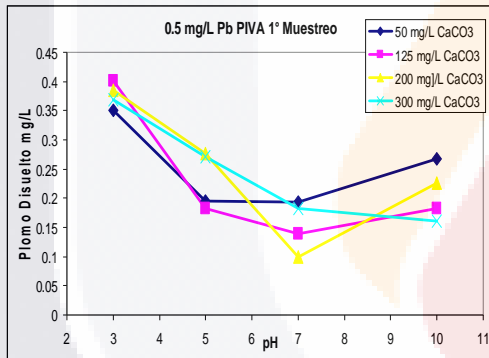


Figura 81. Plomo disuelto en PIVA 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

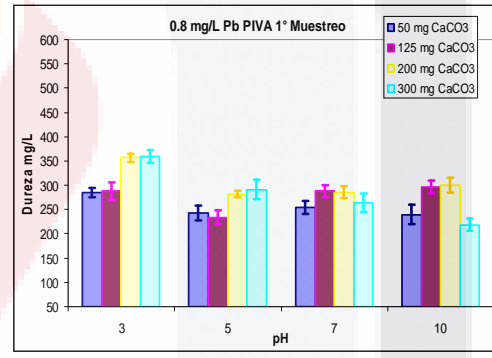


Figura 82. Dureza en PIVA 1° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

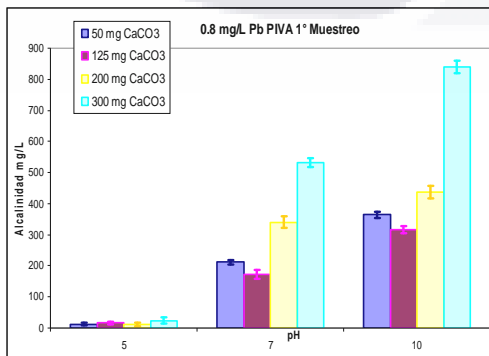


Figura 83. Alcalinidad en PIVA 1° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

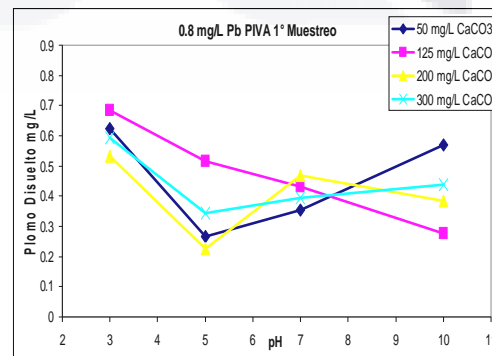


Figura 84. Plomo disuelto en PIVA 1° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

En el segundo y el tercer muestro la alcalinidad encontrada tienen un comportamiento normal; la dureza en el segundo muestro es mayor a pH 5 que a pH 3, tiene una explicación similar a la encontrada en el primer muestro, para el tercer muestro, ocurre el mismo fenómeno que le primer muestro.

El plomo disuelto, en el segundo y tercer muestro, tiene un comportamiento similar, en ambos, la disolución del plomo es mayor a pH 3, sin embargo, se observa también un aumento a pH 10, sin alcanzar los valores encontrados a pH, 3, fenómeno anteriormente explicado.

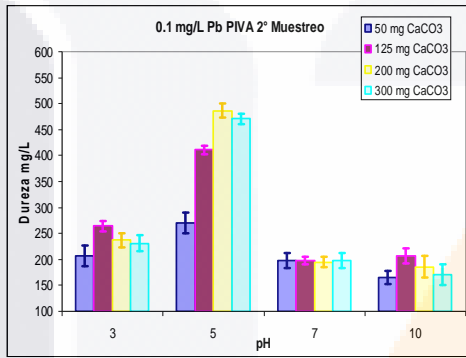


Figura 85. Dureza en PIVA 2° muestro a 0.1 mg/L de Plomo.

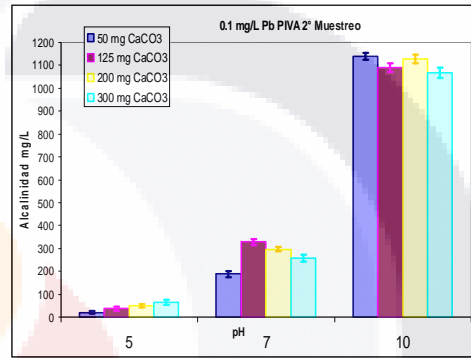


Figura 86. Alcalinidad en PIVA 2° muestro a 0.1 mg/L de Plomo.

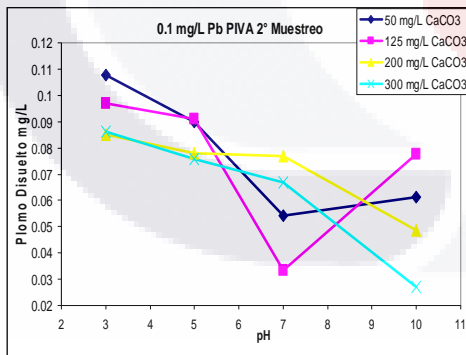


Figura 87. Plomo disuelto en PIVA 2° muestro a 0.1 mg/L de Plomo.

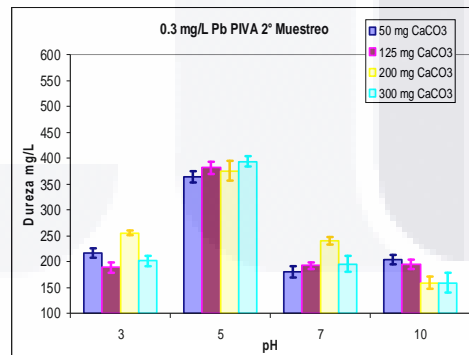


Figura 88. Dureza en PIVA 2° muestro a 0.1 mg/L de Plomo.

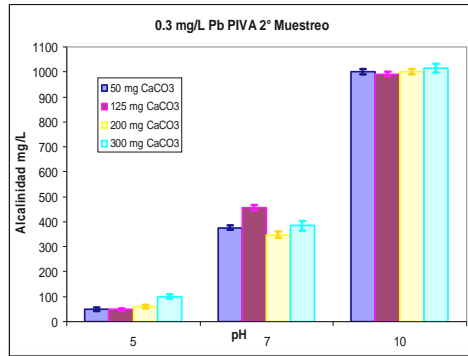


Figura 89. Alkalinidad en PIVA 2° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

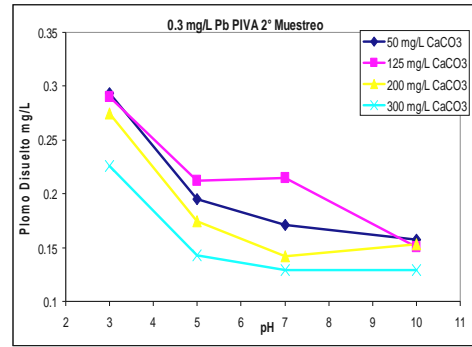


Figura 90. Plomo disuelto en PIVA 2° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

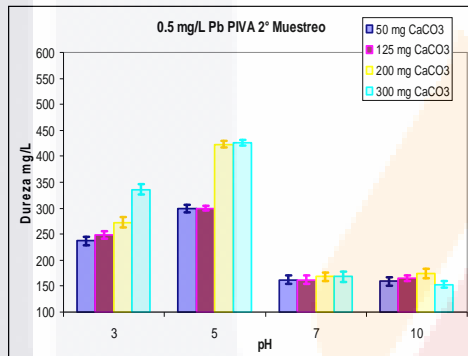


Figura 91. Dureza en PIVA 2° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

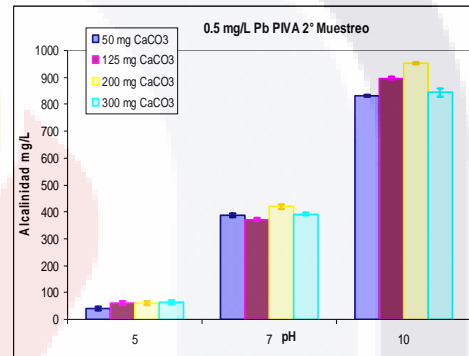


Figura 92. Alkalinidad en PIVA 2° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

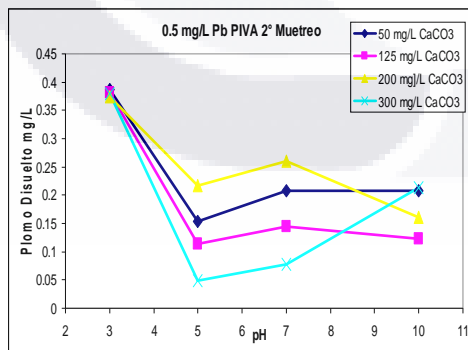


Figura 93. Plomo disuelto en PIVA 2° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

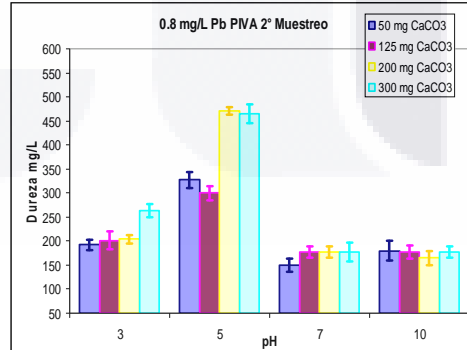


Figura 94. Dureza en PIVA 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

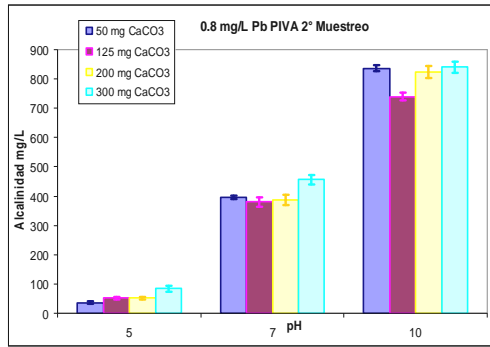


Figura 95. Alcalinidad en PIVA 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

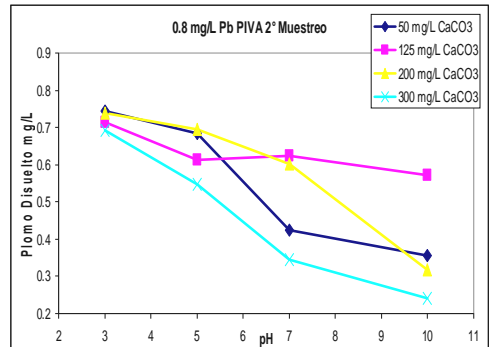


Figura 96. Plomo disuelto en PIVA 2° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

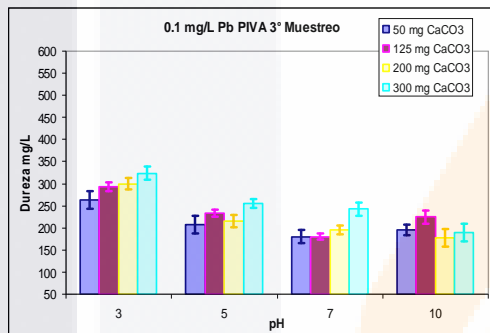


Figura 97. Dureza en PIVA 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

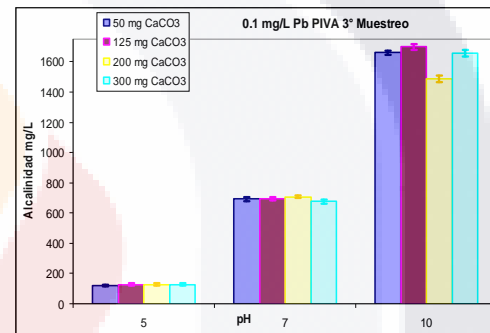


Figura 98. Alcalinidad en PIVA 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

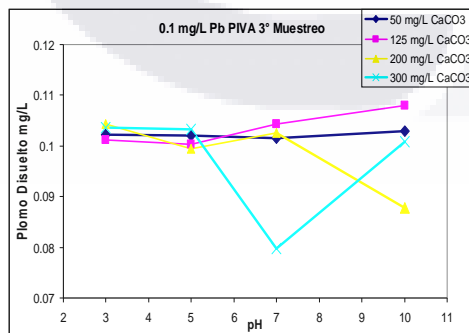


Figura 99. Plomo disuelto en PIVA 3° muestreo a 0.1 mg/L de Plomo.

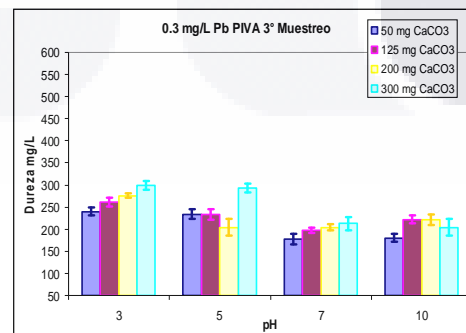


Figura 100. Dureza en PIVA 3° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

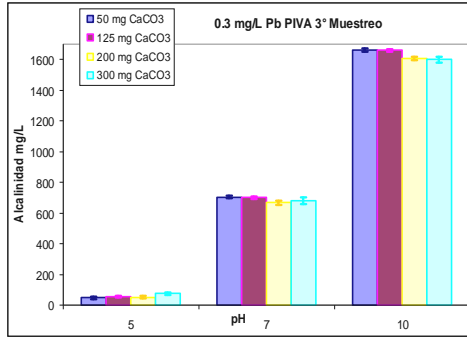


Figura 101. Alkalinidad en PIVA 3° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

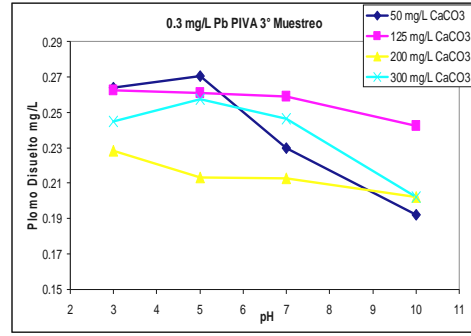


Figura 102. Plomo disuelto en PIVA 3° muestreo a 0.3 mg/L de Plomo.

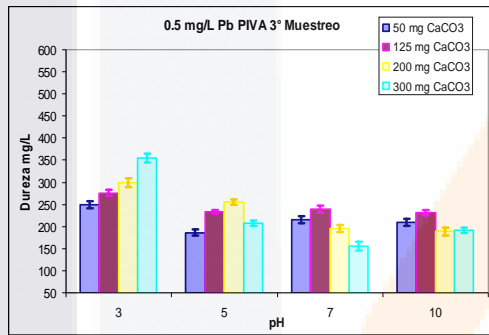


Figura 103. Dureza en PIVA 3° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

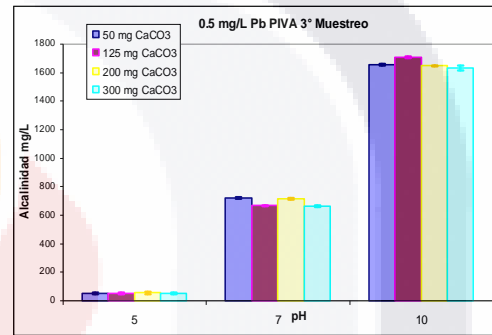


Figura 104. Alkalinidad en PIVA 3° muestreo a 0.5 mg/L de Plomo.

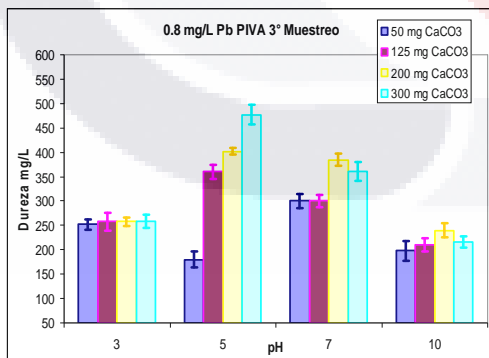


Figura 105. Dureza en PIVA 3° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

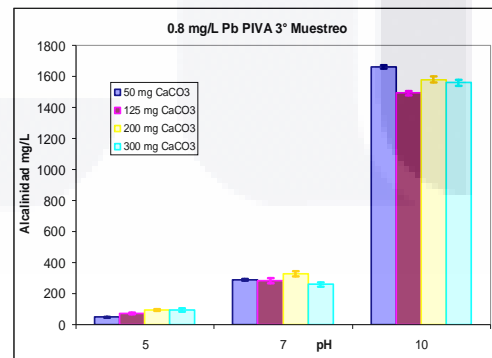


Figura 106. Alkalinidad en PIVA 3° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

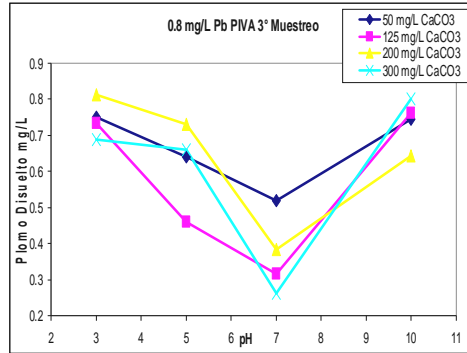


Figura 107. Plomo disuelto en PIVA 3° muestreo a 0.8 mg/L de Plomo.

Las figuras con los resultados de alcalinidad, dureza y plomo disuelto de los tratamientos con el agua control, se encuentran en el Anexo B.

6.3 PRUEBAS DE TOXICIDAD

Las pruebas toxicológicas se llevaron a cabo según la metodología mostrada anteriormente, sin embargo, para los tratamientos con pH 3, no se lograron realizar las pruebas, ya que los animales se morían automáticamente por efecto del pH y no por la toxicidad del plomo, que es lo que se desea detectar.

Además sólo se realizaron con las aguas del primer muestreo, ya que en los otros dos se tuvieron problemas con la lluvia, y se decidió no realizarlas debido a que esta diluyó la muestra y el efecto del plomo real no sería detectado con exactitud; y con la descompostura de la planta del PIVA, lo que contaminó en exceso la muestra.

Para poder englobar todos los resultados y analizarlos en el STATISTICA 7, se colocaron códigos, que abarcan las diferentes concentraciones de plomo, manteniendo como constantes las de CaCO₃, y el pH.

El código 0 comprende 0 mg/L de plomo, es decir, el control

El código 1 comprende 0.1 mg/L de plomo

El código 2 comprende 0.3 mg/L de plomo

El código 3 comprende 0.5 mg/L de plomo

El código 4 comprende 0.8 mg/L de plomo

Los códigos se graficaron en el eje X y el porcentaje de mortalidad en el eje Y. Ahora bien, para encontrar el valor de las CL_{50} se utilizó la ecuación de la recta para obtener el valor de entre que códigos se encuentra el 50% de la mortalidad, ya teniendo este, se interpoló con los resultados de plomo disuelto, alcalinidad y dureza y así se encontró las condiciones ambientales.

6.3.1 Jesús María

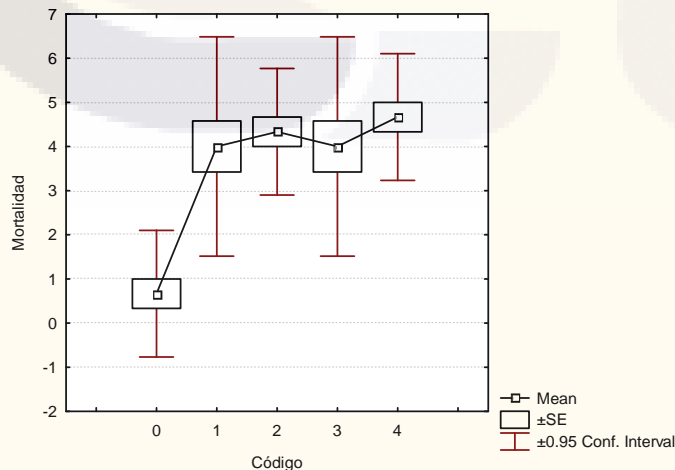
En los cuadros 10, 11 y 12 se muestran los resultados de las pruebas de toxicidad agua con el rotífero *Lecane quadridentata*.

6.3.1.1 pH 5 y 50 mg/L $CaCO_3$

Para el pH 5 y 50 $CaCO_3$ se observa en la Figura 122 que no hay diferencia significativa entre los tratamientos con los códigos 1 y 3 con respecto al control (código 0), no así con los tratamientos con los códigos 2 y 3.

El código 0 es el control, es decir no contiene ni plomo ni $CaCO_3$.
 El código 1 contiene 50 mg/L de $CaCO_3$, pH 5 y 0.1 mg/L de Plomo.
 El código 2 contiene 50 mg/L de $CaCO_3$, pH 5 y 0.3 mg/L de Plomo.
 El código 3 contiene 50 mg/L de $CaCO_3$, pH 5 y 0.5 mg/L de Plomo.
 El código 4 contiene 50 mg/L de $CaCO_3$, pH 5 y 0.8 mg/L de Plomo.

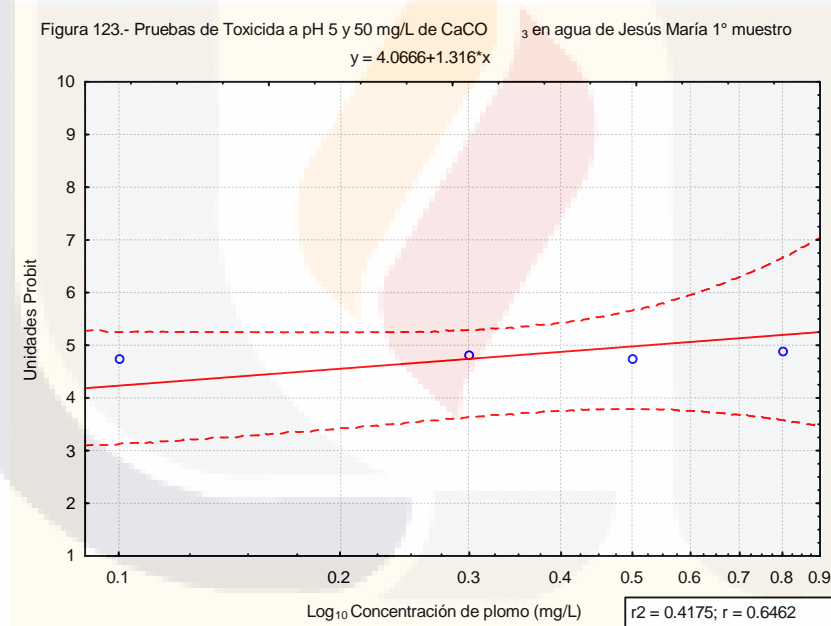
Figura 122. Medias de las pruebas de toxicidad a pH 5; 50 $CaCO_3$ en agua de Jesús María 1° muestreo



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

La figura 123 se observa el diagrama de dispersión de estos datos, ahí se observa el valor de r^2 , el cual nos indica la linealidad de los resultados, sin embargo, para obtener el valor de la CL_{50} se necesita que en las pruebas toxicológicas se mueran mas del 50% de rotíferos por tratamiento y en esta Figura se muestra que no es así, sin embargo se puede calcular este valor solo para una referencia futura, ya que las condiciones del río cambian constantemente.

Utilizando la ecuación de la recta, tenemos que el valor del 50% de mortalidad o 5 unidades probit, se tiene que una CL_{50} de 0.7 mg/L de plomo, y para sus condiciones ambientales, se interpoló con los resultados mostrados en la tabla 10, dando como resultado: 16.68 mg/L de alcalinidad; 282.45 mg/L de dureza y 0.3932 mg/L de plomo disuelto.



6.3.1.2 pH 5 y 125 mg/L $CaCO_3$

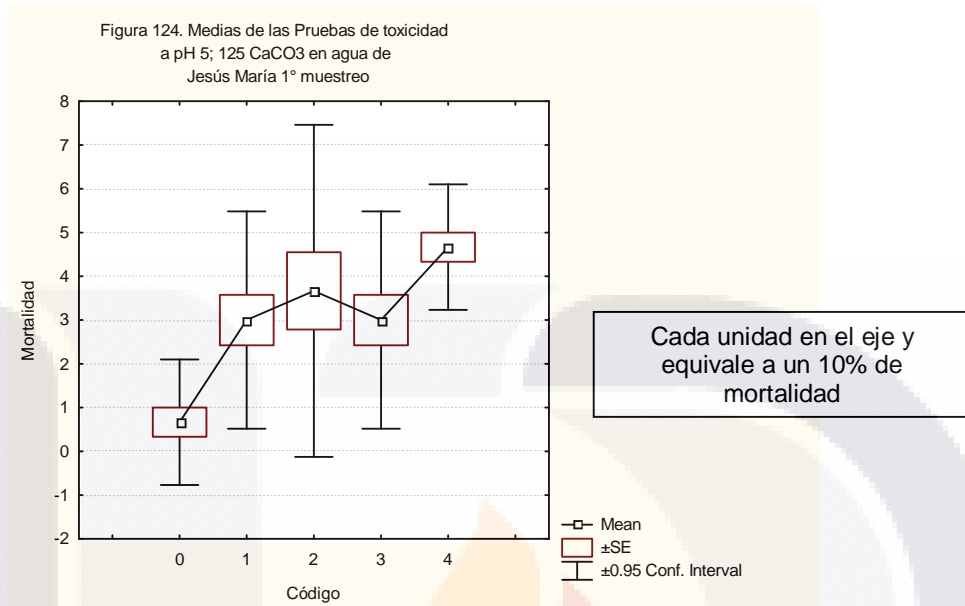
Para el análisis de los resultados obtenidos a pH 5 y 125 $CaCO_3$ se observa en las Figuras 124 y 125. Los códigos utilizados para el análisis de estos datos, son los siguientes:

El código 0 es el control, es decir no contiene ni plomo ni $CaCO_3$.

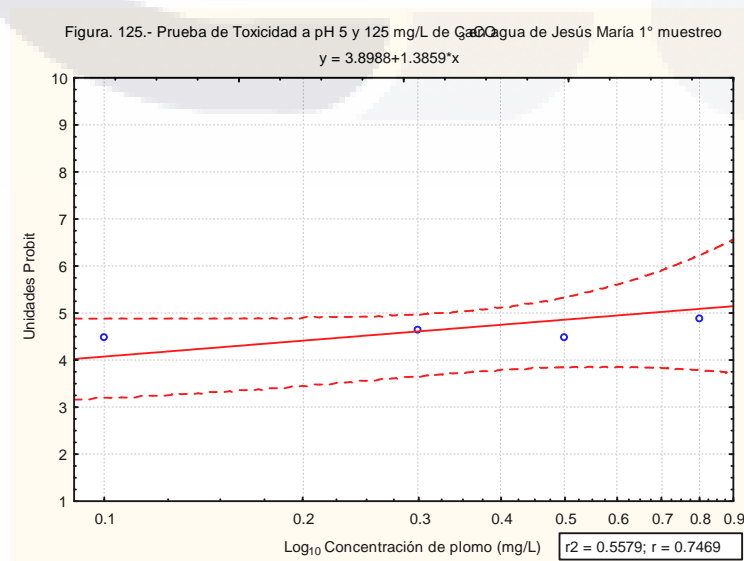
El código 1 contiene 125 mg/L de $CaCO_3$, pH 5 y 0.1 mg/ de Plomo.

El código 2 contiene 125 mg/L de $CaCO_3$, pH 5 y 0.3 mg/ de Plomo.

El código 3 contiene 125 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.5 mg/ de Plomo.
 El código 4 contiene 125 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.8 mg/ de Plomo.



En la figura 124 se observa que no hay diferencia entre las medias de los resultados obtenidos datos y el control, y al igual que en los datos anteriores, no se podría calcular la CL₅₀, ya que no se murieron en ningún caso el 50 % de los animales. Con la Figura 125, se realizó una determinación de las CL₅₀ para detectar la posible afectación del plomo en el río, y se obtiene lo siguiente: concentración de plomo de 0.8 mg/L; alcalinidad de 12 mg/L; dureza de 297 mg/L y un plomo disuelto de 0.3571 mg/L



6.3.1.3 pH 5 y 200 mg/L CaCO₃

Las figuras 126 y 127 muestran el análisis de los resultados obtenidos a pH 5 y 200 CaCO₃, los códigos utilizados para el análisis de estos datos, son los siguientes:

El código 0 es el control, es decir no contiene ni plomo ni CaCO₃.

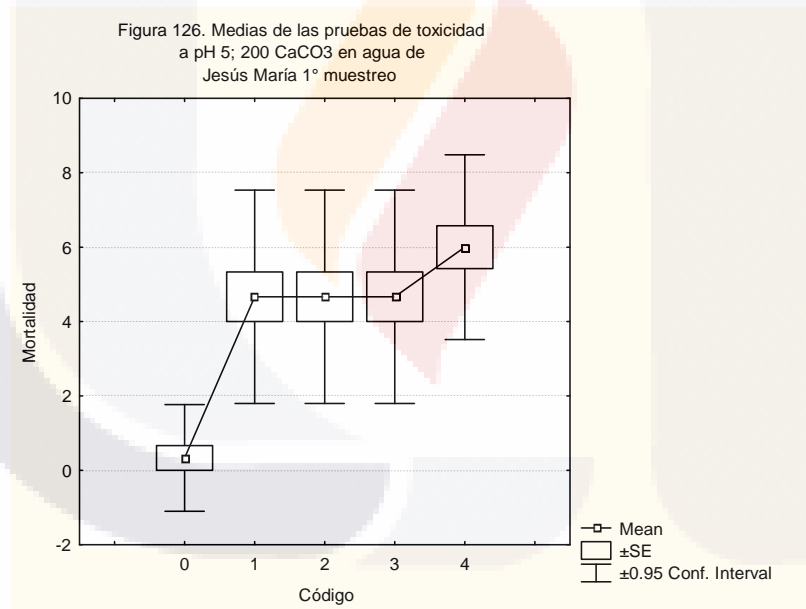
El código 1 contiene 200 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.1 mg/ de Plomo.

El código 2 contiene 200 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.3 mg/ de Plomo.

El código 3 contiene 200 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.5 mg/ de Plomo.

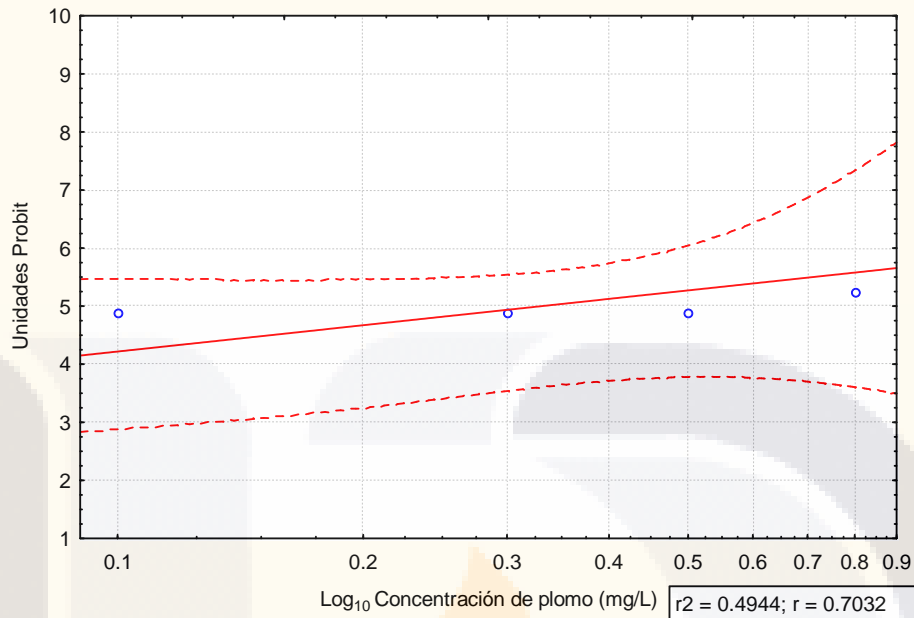
El código 4 contiene 200 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.8 mg/ de Plomo.

Para estos datos, se muestra que si existe diferencia entre los datos obtenidos y si hubo muerte de más del 50 % de los rotíferos, por lo que el valor de CL₅₀ se calculó utilizando la ecuación de la recta, por lo que se tiene una CL₅₀ de 0.5mg/L, condicionada por 8 mg/l de alcalinidad, 282 mg/L de dureza y 0.1281 mg/L de plomo disuelto.



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

Figura 127.- Pruebas de toxicidad a pH 5 y 200 mg/L de CaCO₃ en agua de Jesús María 1° muestreo
 $y = 3.9817 + 1.8597 * x$



6.3.1.4 pH 5 y 300 mg/L CaCO₃

Los códigos utilizados son:

El código 0 es el control, es decir no contiene ni plomo ni CaCO₃.

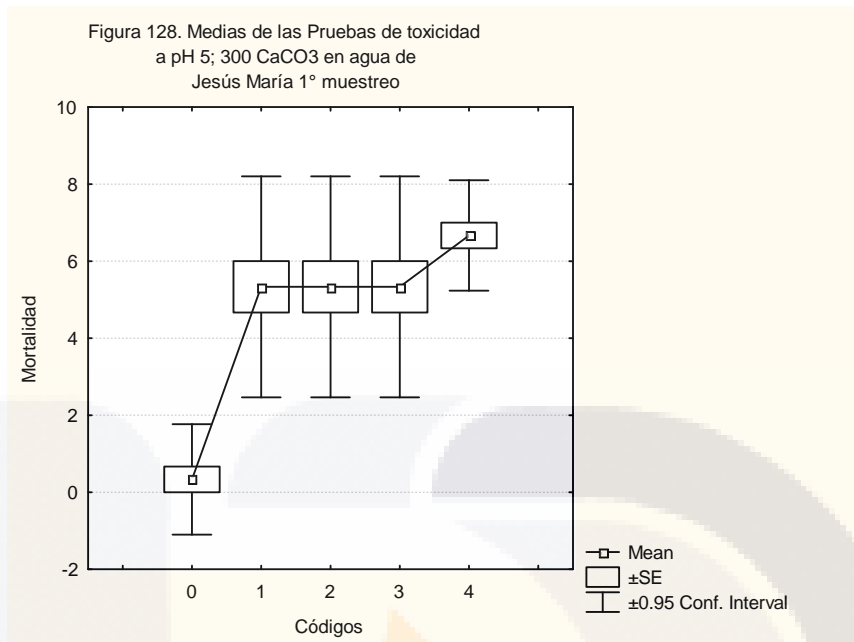
El código 1 contiene 300 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.1 mg/ de Plomo.

El código 2 contiene 300 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.3 mg/ de Plomo.

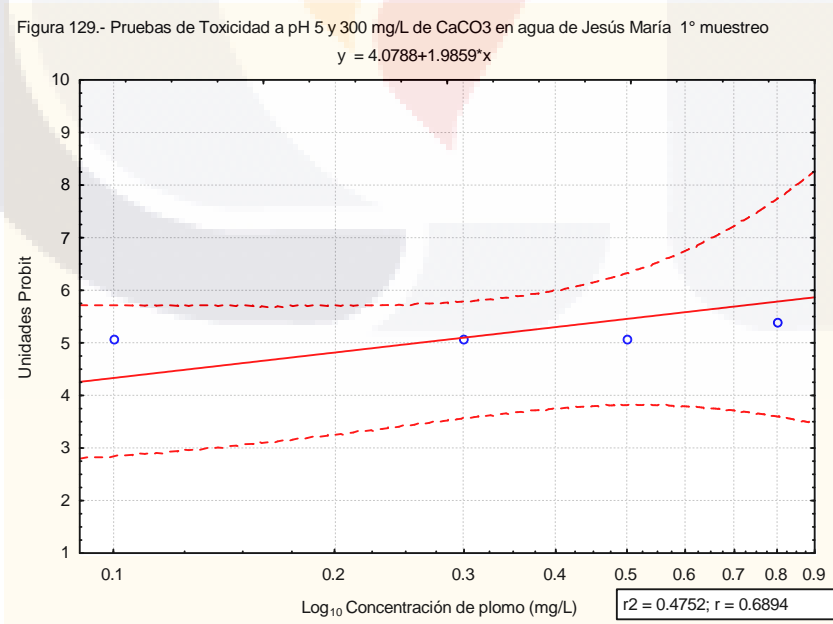
El código 3 contiene 300 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.5 mg/ de Plomo.

El código 4 contiene 300 mg/L de CaCO₃, pH 5 y 0.8 mg/ de Plomo

Las figuras 128 y 129 muestran el análisis de los resultados para estos tratamientos. Se observa que si hay diferencia entre las medias de los tratamientos y el control, por lo que si hay efecto en la toxicidad del plomo. Los resultados de la concentración de plomo total donde se mueren el 50% de los animales de prueba (CL₅₀) es 0.4 mg/L; dependiente de una alcalinidad de 28 mg/L, 424.5 mg/L de dureza y con un plomo disuelto de 0.2324 mg/L



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad



6.3.1.5 pH 7 y 50, 125, 200 y 300 mg/L CaCO₃

Para estas combinaciones no se logró detectar el 50% de mortalidad de los animales (Cuadro 11), por lo que no se podría calcular ninguna CL₅₀. Sin embargo, se hará el cálculo para obtener CL₅₀ que servirán como predicción para la toxicidad del plomo en el río. En las figuras 130, 131, 132 y 133, se muestran las gráficas de la dispersión de los datos para cada uno de los tratamientos.

Figura 130.- Pruebas de Toxicidad a pH 7 y 50 mg/L de CaCO₃ en agua de Jesús María 1° muestreo
 $y = 2.1894 + 3.5252 * x$

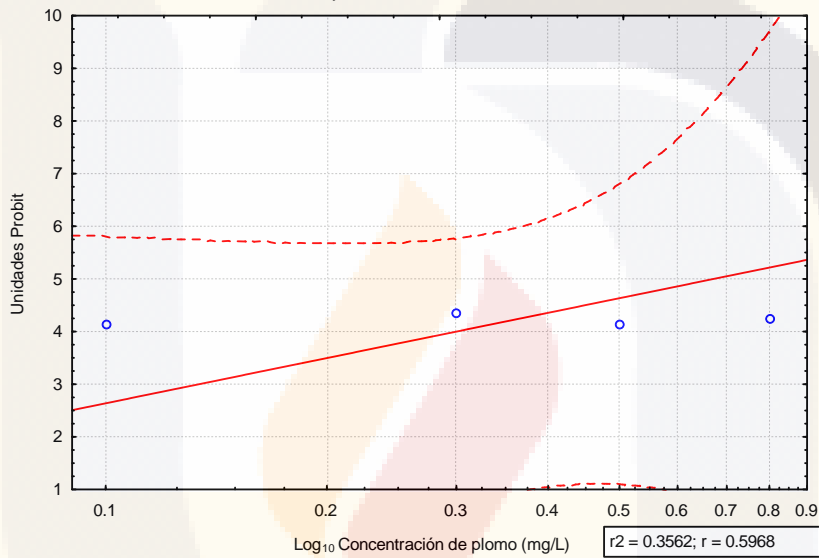
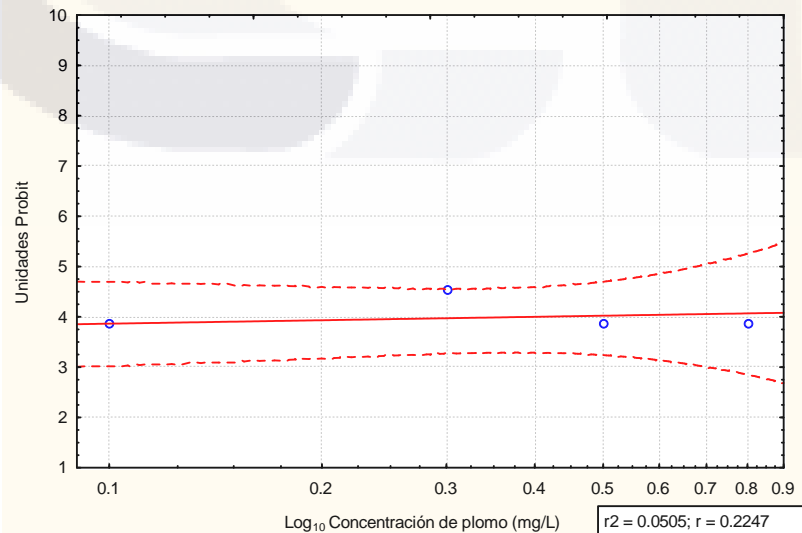
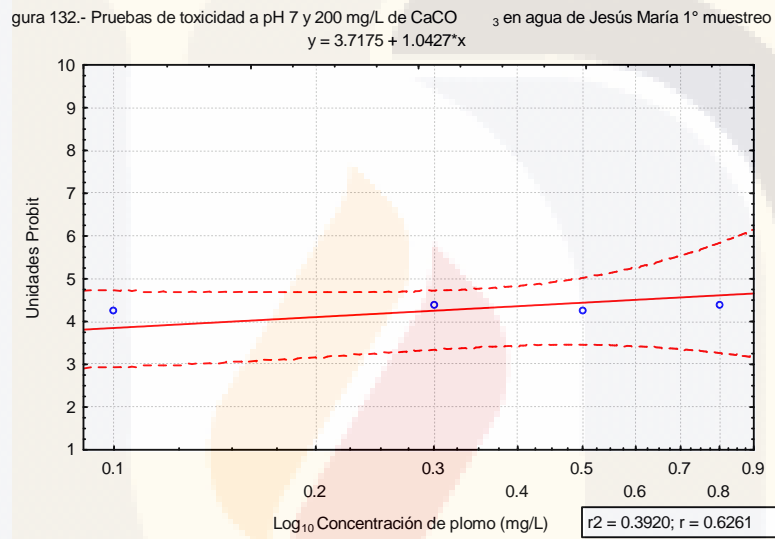


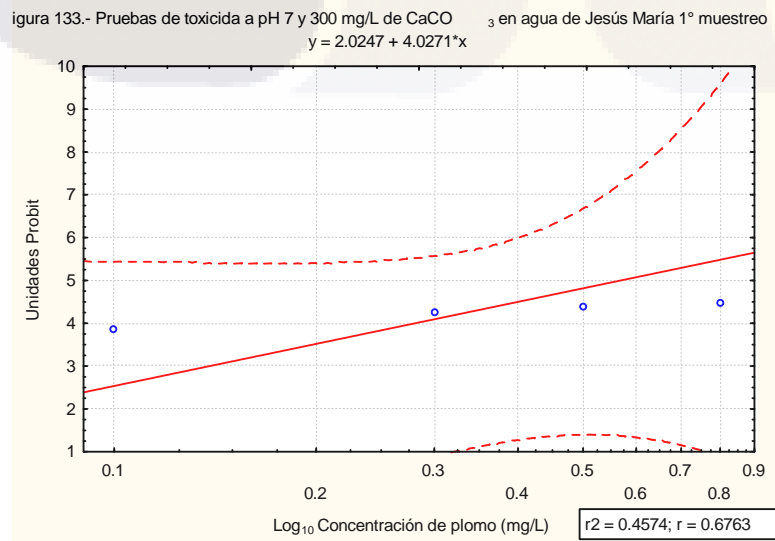
Figura 131.- Pruebas de toxicidad a pH 7 y 125 mg/L de CaCO₃ en agua de Jesús María 1° muestreo
 $y = 3.8289 + 0.2796 * x$



Con la primera figura se obtienen una CL_{50} de 0.8 mg/L de plomo, con condiciones ambientales de 148 mg/L de alcalinidad, 285 mg/L de dureza y 0.1449 mg/L de plomo disuelto. Para el segundo y tercer tratamiento sobrepasa las concentraciones de plomo colocadas, teniendo valores de 4.1 y 1.2 mg/L respectivamente, las condiciones ambientales no se muestran ya que los valores obtenidos de las extrapolaciones son muy distantes y podría cometerse un error en el cálculo de la dureza, alcalinidad y plomo disuelto ya que no presentan un comportamiento lineal.



Para el cuarto tratamiento se tiene un valor de CL_{50} de 0.7 mg/L, con 180 mg/L de alcalinidad, 366 mg/L de dureza y 0.1535 mg/L de plomo disuelto.



6.3.1.6 pH 10 y 50, 125, 200 y 300 mg/L CaCO₃

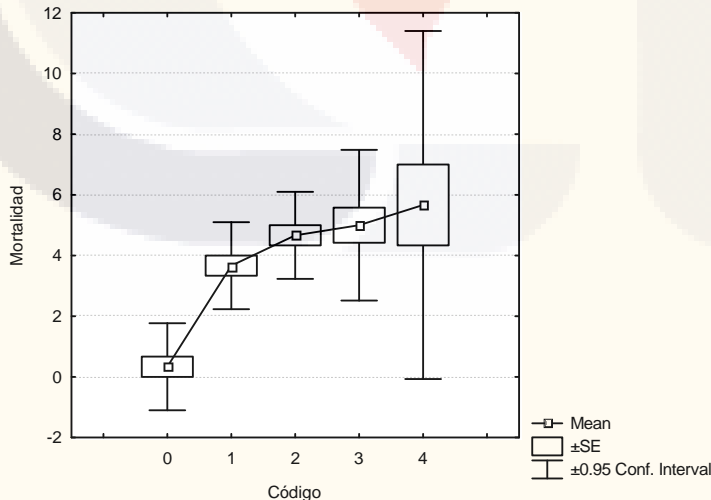
En los tratamientos con este pH tuvieron mas del 90% de mortalidad, pero si hay diferencia significativa entre los estos y el control, sin embargo, la mortalidad del 50% esta antes de la primera concentración de plomo colocada (figura no mostrada) e interpolando, se encuentra una concentración de 0.60 mg/L de plomo, y analizando la concentración inicial del agua colectada, no hay ninguna relación por lo que se concluye que la mortalidad se debe al elevado pH, este influye en la mortalidad antes del plomo causando la mortalidad.

6.3.2 Presa El Niágara

Para las pruebas toxicológicas de este sitio de muestreo se muestran el mismo formato que las anteriores. Los cuadros que muestran la cantidad de organismos muertos en cada uno de los tratamientos son las 14, 15 y 16.

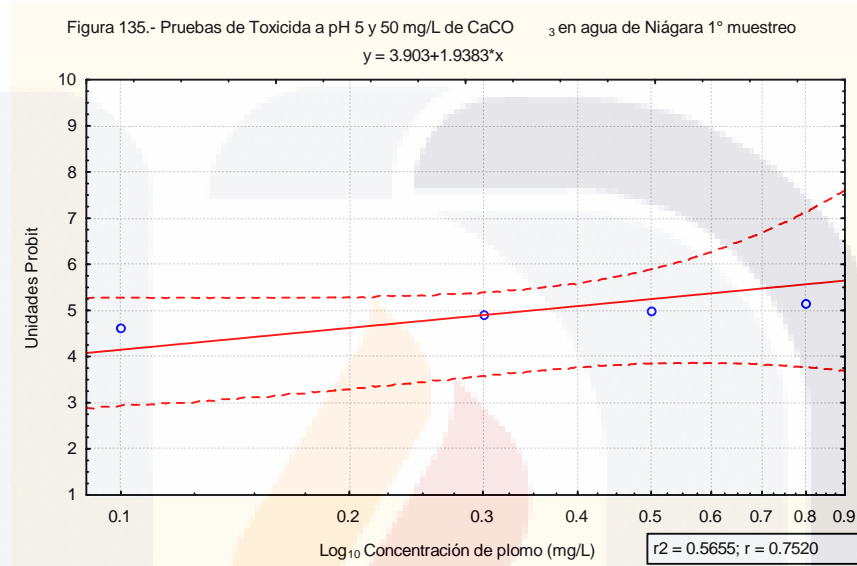
6.3.2.1 pH 5 y 50 mg/L CaCO₃

Figura 134.- Medias de las Pruebas de toxicidad a pH 5; 50 mg/L CaCO₃ en agua de Niágara 1° muestreo



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

Los códigos utilizados son los mismos que se utilizaron en la sección 6.3.1.1. y la Figura 134 se muestran las medias de los tratamientos, ahí se observa que solo el código 4 (con 0.8 mg/L de Plomo), sin embargo, esto se debe a que hubo una gran variabilidad, sin embargo esto se omitió y se pudo calcular la CL₅₀ utilizando la Figura 135, que muestra la dispersión de los datos y la ecuación de la recta e interpolando, tal y como se calculo anteriormente.

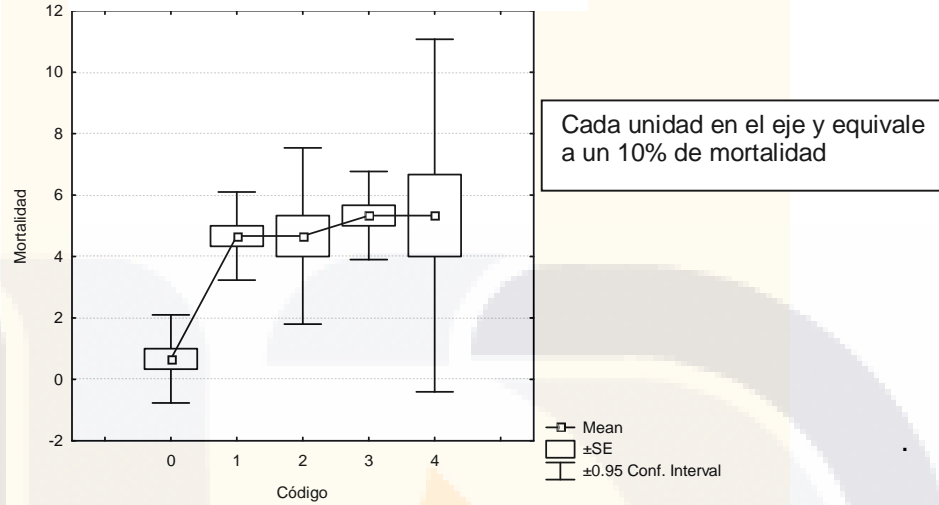


Con la ecuación de la recta se tiene que el 50% de los animales a prueba se mueren entre la 0.5 mg/L, que esta condicionado por 16 mg/L de alcalinidad, 246 mg/L de dureza y con un plomo disuelto de 0.26318 mg/L.

6.3.2.2 pH 5 y 125 mg/L CaCO₃

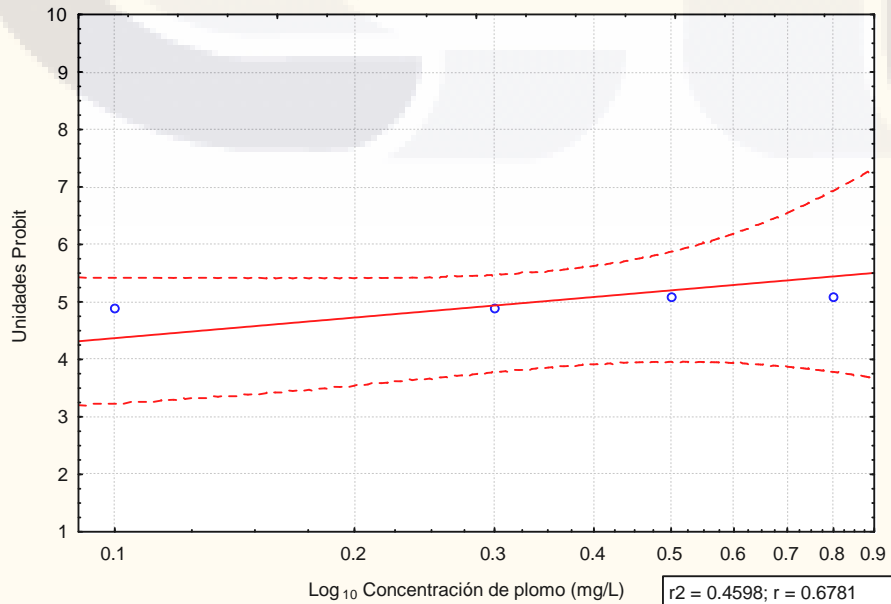
Los códigos utilizados son los mismos que en la sección 6.3.1.2. Los resultados de mortalidad se muestran en las Figuras 136 y 137, teniendo en la primera, el análisis de las medias de los tratamientos comparándola con la media del control. Y en la segunda se observa el comportamiento de los resultados en una gráfica de dispersión, con esta y con la ecuación de la recta se calculo la CL₅₀ y las condiciones ambientales

Figura 136.- Medias de las Pruebas de toxicidad a pH 5; 125 mg/L CaCO₃ en agua de Niágara 1° muestreo



En la Figura 136 se observa una pequeña transposición de las barras de las medias con el control y el código 2; y una con respecta al código 4 y el control se observa que no hay diferencia significativa, sin embargo, estos dos casos se omitirán para poder calcular la CL₅₀, sin embargo, para trabajos próximos se deben hacer más replicas o repeticiones para evitar este tipo de errores.

Figura 137.- Pruebas de toxicidad a pH 5 y 125 mg/L de CaCO₃ en agua de Niágara 1° muestreo
 $y = 4.1831 + 1.4675 \cdot x$



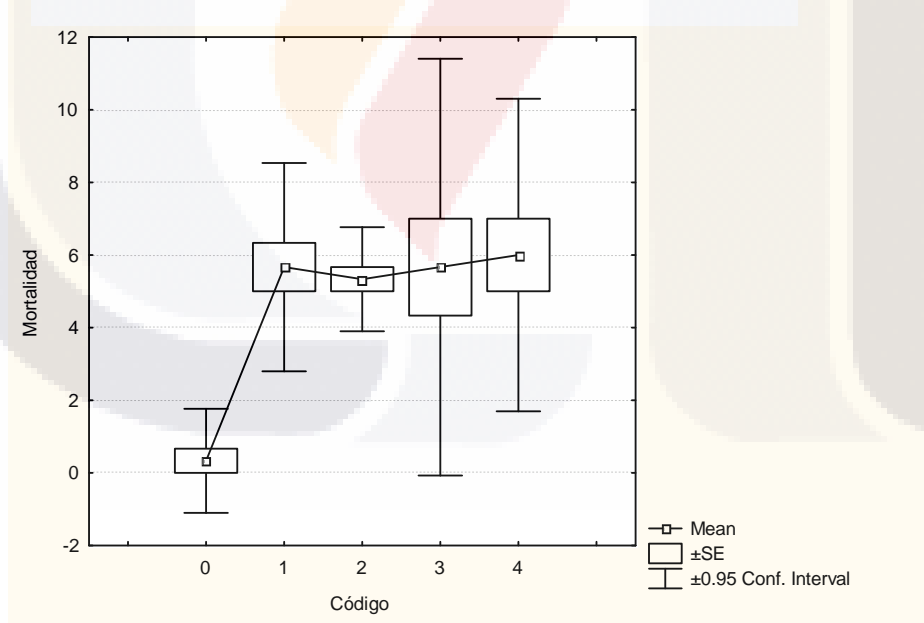
Como ya se mencionó anteriormente, con la ecuación de la recta (Figura 137), se calculó una CL_{50} de 0.5 mg/L que esta condicionada por 20 mg/L de alcalinidad, 267 mg/L de dureza y 0.31518 mg/L de plomo disuelto.

6.3.2.3 pH 5 y 200 mg/L $CaCO_3$

Mismos códigos que en la sección 6.3.1.3. En la Figura 138 se observa la gráfica de medias, ocurre el mismo caso en las dos secciones anteriores, y se decidió omitir nuevamente la transposición de resultados. En la Figura 139 se muestra la dispersión de los datos y la ecuación de la recta que se utilizará para calcular la CL_{50} y las condiciones ambientales.

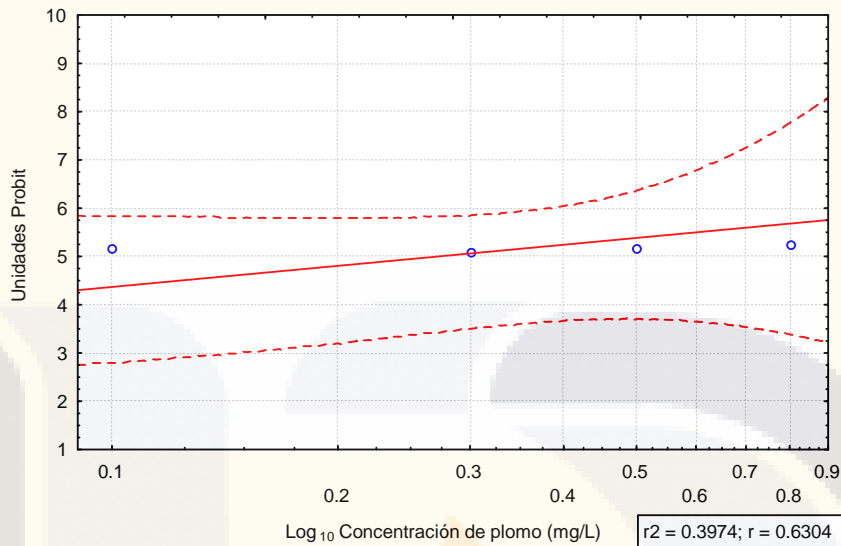
La CL_{50} encontrada es de 0.48 mg/L de plomo, con condiciones ambientales de 12.4 mg/L de alcalinidad, 368.1 mg/L de dureza y 0.3177 mg/L de plomo disuelto.

Figura 138.- Medias de las Pruebas de Toxicidad a pH 5; 200 mg/L $CaCO_3$ en agua de Niágara 1° muestreo



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

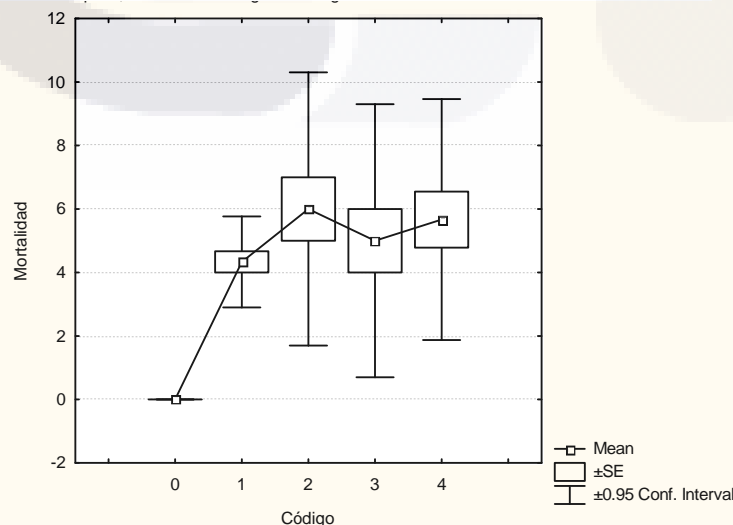
Figura 139.- Pruebas de toxicidad a pH 5 y 200 mg/L de CaCO_3 en agua de Niágara 1° muestreo
 $y = 4.1401 + 1.7937 * x$



6.3.2.4 pH 5 y 300 mg/L CaCO_3

Para los tratamientos con condiciones de salinidad de 300 mg/L de CaCO_3 y pH 5, se reportan las Figuras 140 y 141. En la primera se muestran las medias de las replicas realizadas en cada combinación, ahí se observa que si hay diferencia significativa entre estas combinaciones y el control, por lo que es posible calcular la CL_{50} , tal y como se ha realizado con las otras combinaciones.

Figura 140.- Medias de las Pruebas de Toxicidad a pH 5; 300 mg/L CaCO_3 en agua de Niágara 1° muestreo

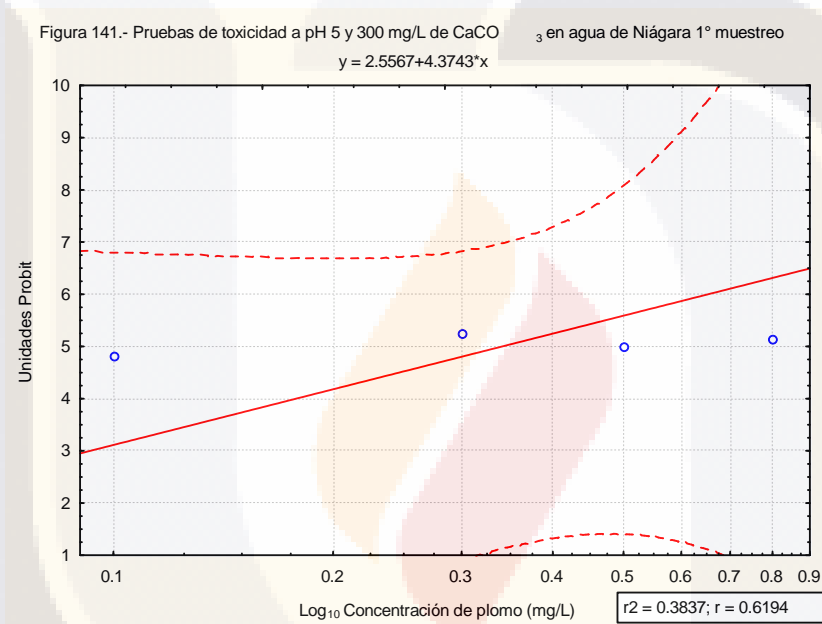


Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

Los códigos utilizados para estos tratamientos son los mismos que en el apartado 6.3.1.4.

En la segunda (Figura 141), se observa la dispersión de los datos, y la ecuación de la recta; con esta se calcula la CL_{50} y las condiciones ambientales, tal y como se calculo anteriormente, obteniendo los siguientes resultados:

- ▶ La CL_{50} de 0.55 mg/L de plomo
- ▶ Con condiciones ambientales de 12.667 mg/L de alcalinidad, 440 mg/L de dureza y 0.2929mg/L de plomo disuelto



6.3.2.5 pH 7 y 50 y 300 mg/L $CaCO_3$

Para estas dos combinaciones no se logró detectar un 50% de mortalidad, lo que es necesario para poder encontrar esta concentración letal. En el cuadro 15, se observa esta mortalidad. Aunque se pueden calcular las CL_{50} , sin que sea una manera correctamente aceptable, pero si para tener referencia futura y que sirva como apoyo en trabajos, además de tener una visión más completa del comportamiento del río (Figuras 142 y 143). Por lo que las concentraciones encontradas son las siguientes:

Para 50 mg/L de $CaCO_3$: 0.7 mg/L de Plomo; 346.67 mg/L de Alcalinidad; 231 mg/L de Dureza y 0.17337 mg/L de Plomo disuelto.

Para 300 mg/L de CaCO₃: 0.6 mg/L de Plomo; 242.67 mg/L de Alcalinidad; 287 mg/L de Dureza y 0.24752 mg/L de Plomo disuelto.

Figura 142.- Pruebas de Toxicidad a pH 7 y 50 mg/L de CaCO₃ en agua de Niágara 1° muestreo

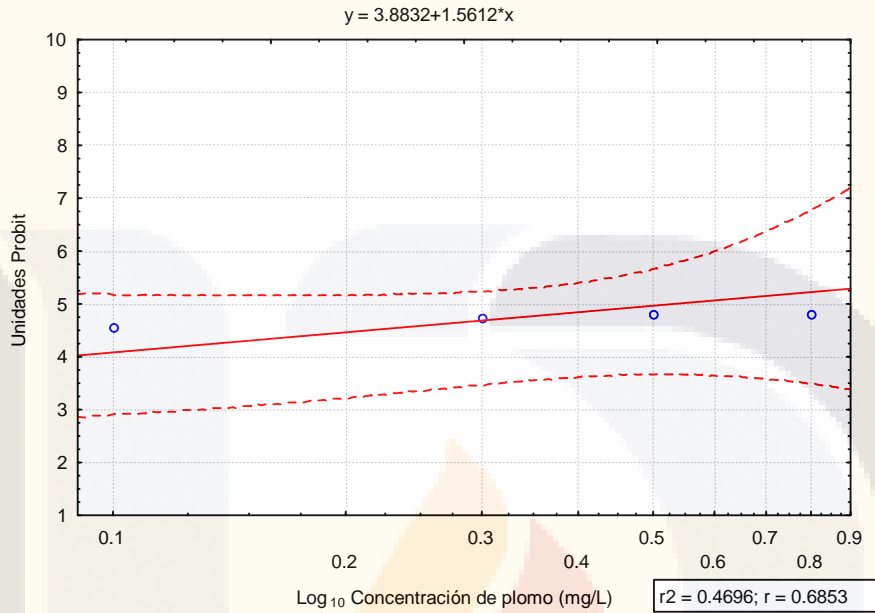
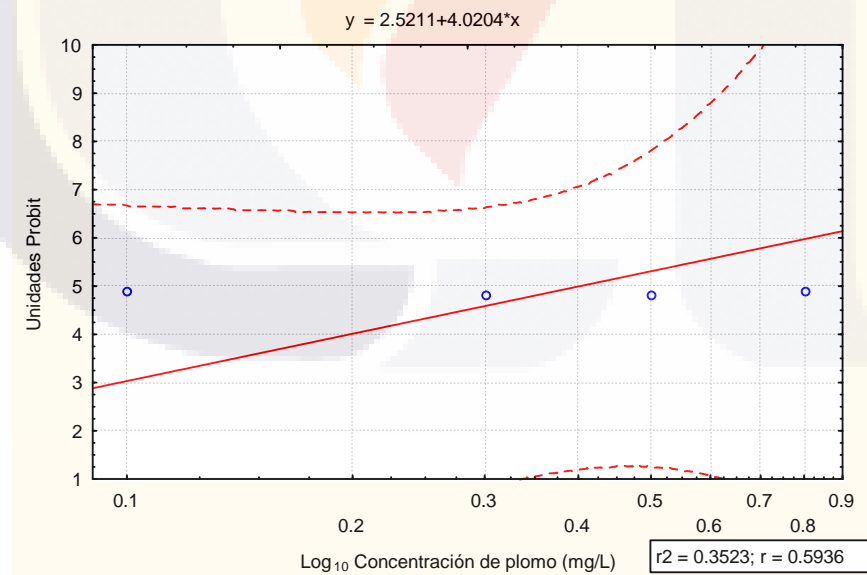


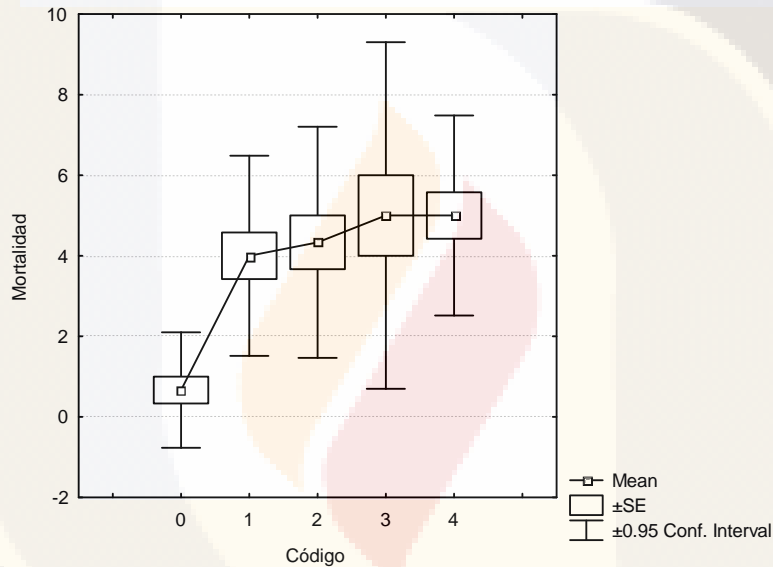
Figura 143.- Pruebas de toxicidad a pH 7 y 300 mg/L de CaCO₃ en agua de Niágara 1° muestreo



6.3.2.6 pH 7 y 125 mg/L CaCO₃

A excepción de las dos combinaciones anteriores, en esta si se logró detectar una mortalidad del 50%, por lo que si se pudo encontrar el valor de CL₅₀. En la Figura 144, se muestra el análisis de las medias de las replicas realizadas en cada combinación; ahí se puede observar que en 3 de los 4 códigos no se detecta diferencias significativa, sin embargo, se decidió analizarlo ya que, como se mencionó anteriormente, si se logró un 50% de mortalidad.

Figura 144.- Medias de las Pruebas de Toxicidad a pH 7; 125 mg/L CaCO₃ en agua de Niágara 1° muestreo



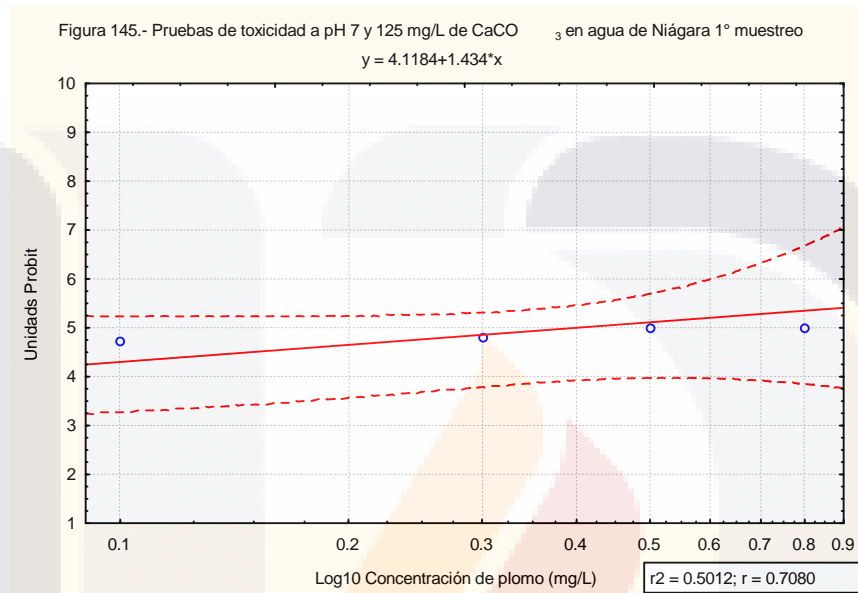
Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

Los códigos utilizados para este análisis son:

- El código 0 es el control, es decir no contiene ni plomo ni CaCO₃.
- El código 1 contiene 125 mg/L de CaCO₃, pH 7 y 0.1 mg/ de Plomo.
- El código 2 contiene 125 mg/L de CaCO₃, pH 7 y 0.3 mg/ de Plomo.
- El código 3 contiene 125 mg/L de CaCO₃, pH 7 y 0.5 mg/ de Plomo.
- El código 4 contiene 125 mg/L de CaCO₃, pH 7 y 0.8 mg/ de Plomo

Se calculó la CL₅₀ de la misma manera que en los tratamientos o combinaciones anteriores, obteniendo los siguientes resultados, utilizando la ecuación de la recta que se observa en la Figura 145.

- ▶ La CL_{50} es 0.6 mg/L de plomo
- ▶ Con condiciones ambientales de 390 mg/L de alcalinidad, 221 mg/L de dureza y 0.2162 mg/L de plomo disuelto.



6.3.2.7 pH 7 y 200 mg/L $CaCO_3$

Los códigos utilizados para el análisis de estos tratamientos son:

El código 0 es el control, es decir no contiene ni plomo ni $CaCO_3$.

El código 1 contiene 200 mg/L de $CaCO_3$, pH 7 y 0.1 mg/ de Plomo.

El código 2 contiene 200 mg/L de $CaCO_3$, pH 7 y 0.3 mg/ de Plomo.

El código 3 contiene 200 mg/L de $CaCO_3$, pH 7 y 0.5 mg/ de Plomo.

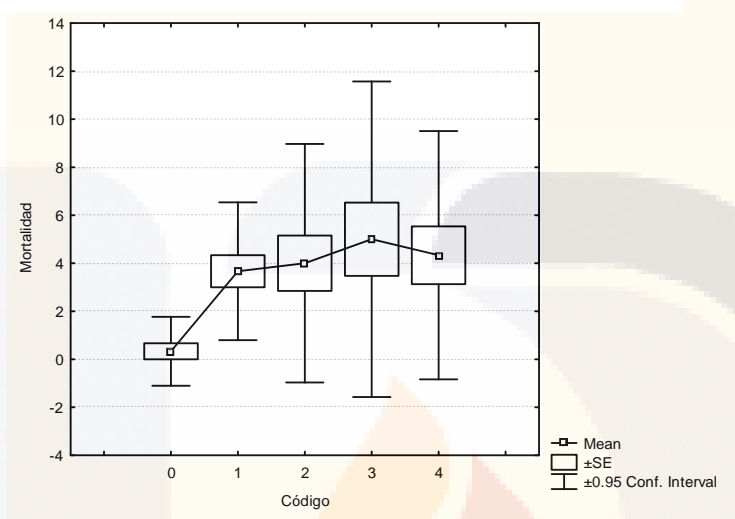
El código 4 contiene 200 mg/L de $CaCO_3$, pH 7 y 0.8 mg/ de Plomo

En la Figura 146 se encuentran en análisis de las medias de las réplicas, aquí se observa que no hay diferencia estadística entre ninguno de los tratamientos y en control, sin embargo (cuadro 15) se observa solo en el tratamiento con el código 3, llega a una mortalidad del 50%, por lo que se decidió calcular la CL_{50} .

En la Figura 147 se muestra la gráfica de la dispersión de los resultados y con la ecuación de la recta se calculó la CL_{50} , de la manera antes

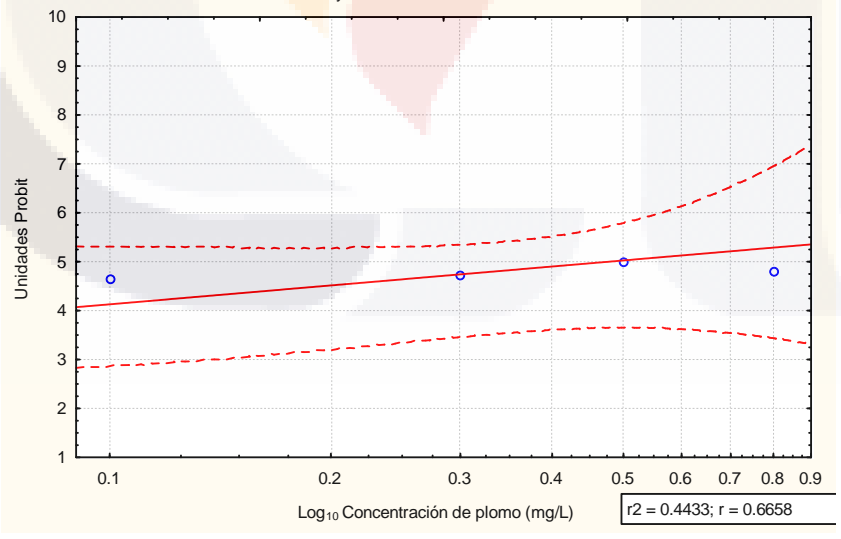
mencionada, obteniendo los siguientes resultados: 0.6 mg/L de Plomo; 356 mg/L de Alcalinidad; 252 mg/L de Dureza y 0.34486 mg/L de plomo disuelto.

Figura 146.- Medias de las Pruebas de Toxicidad a pH 7; 200 mg/L CaCO3 en agua de Niágara 1° muestreo



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

Figura 147.- Prueba de toxicidad a pH 7 y 200 mg/L de CaCO3 en agua de Niágara 1° muestreo
 $y = 3.9273 + 1.5845 \cdot x$



6.3.2.8 pH 10 y 50, 125, 200 y 300 mg/L CaCO₃

En estas combinaciones o tratamientos se explica de la misma manera que los explicados en el apartado 6.3.1.6. y se observan en la Tabla 16 e independientes de la muestra de agua con la que se realizaron los tratamientos.

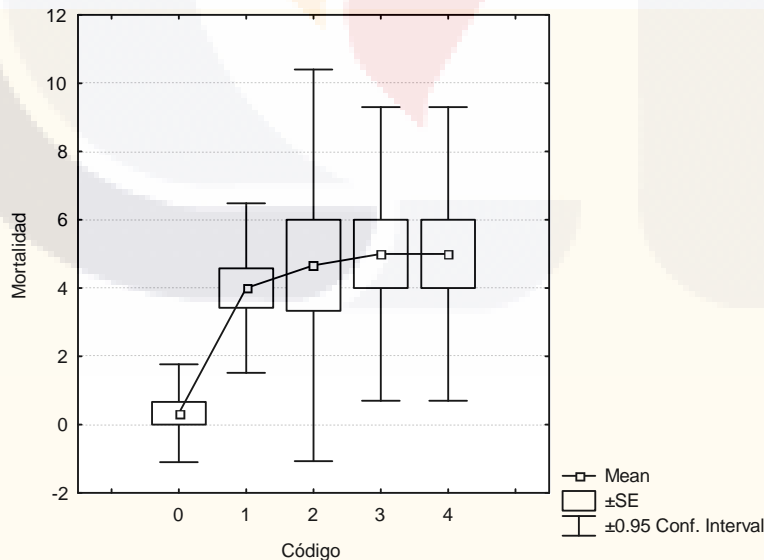
6.3.3 Planta de tratamiento del PIVA

Los resultados de las pruebas toxicológicas con el rotífero se muestran en los cuadros 18, 19 y 20. Se analizaron los datos de igual manera que con los dos otros sitios de muestro. Sabiendo de ante mano que a pH 10, no se pueden analizar los datos debido a que la mortalidad se debe al pH y no al plomo.

6.3.3.1 pH 5 y 50 mg/L CaCO₃

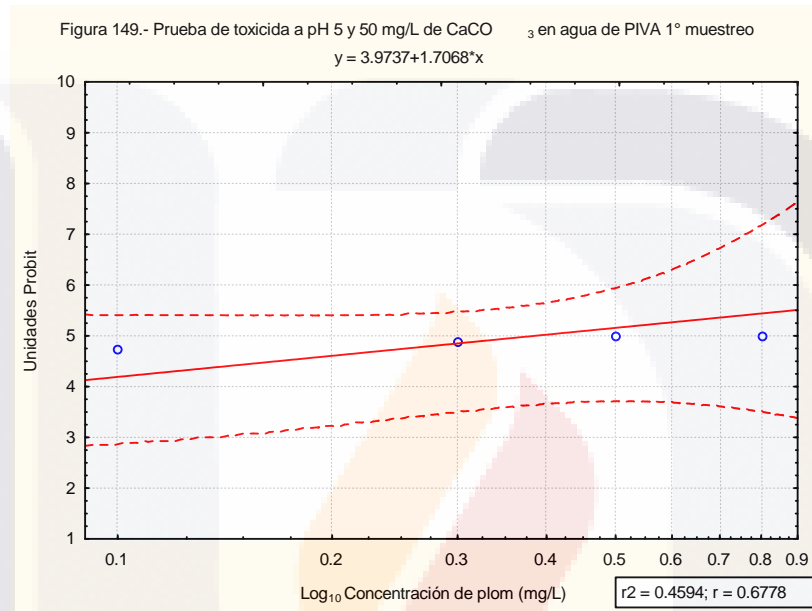
Los códigos utilizados son los mismos antes mencionados en el apartado 6.3.1.1 y 6.3.2.1 y se analizaron de la misma manera. Las figuras 148 y 149 muestran el análisis de las medias de las replicas y la dispersión de los datos, respectivamente.

Figura 148.- Medias de las Pruebas de Toxicidad a pH 5; 50 mg/L CaCO₃ en agua de PIVA 1° muestreo



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

En la primera figura, se observa que no hay diferencia significativa entre los tratamientos (establecidos en los códigos) y el control, pero se decidió hacer el cálculo de la CL_{50} ya que hay tratamientos en los que si se encuentra el 50% de mortalidad, por lo que el cálculo se realizó, a pesar de no haber diferencia estadística.



Utilizando la ecuación de la recta (Figura 149) nos dice que la CL_{50} tiene un valor de 0.6 mg/L de plomo.

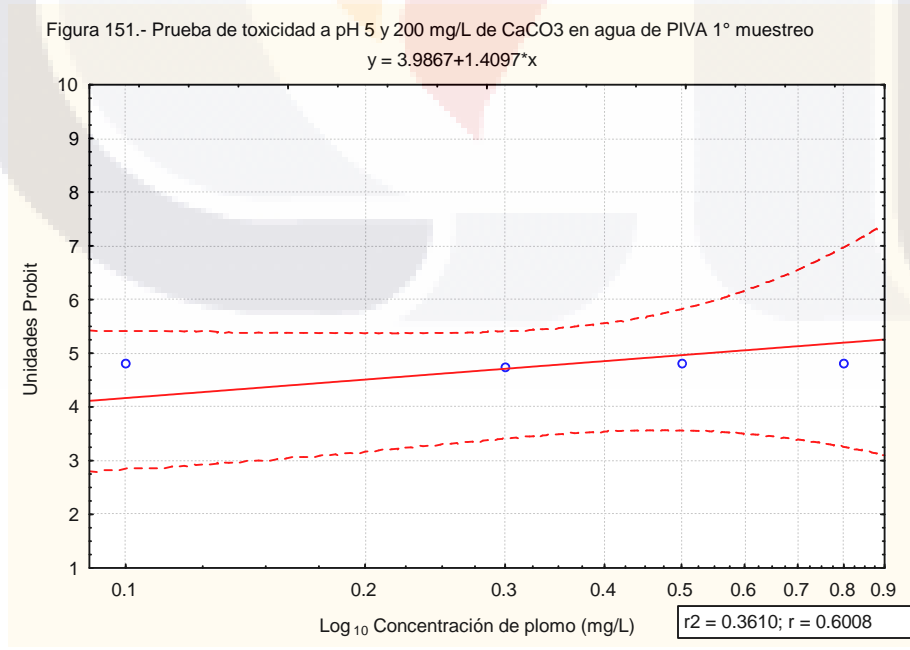
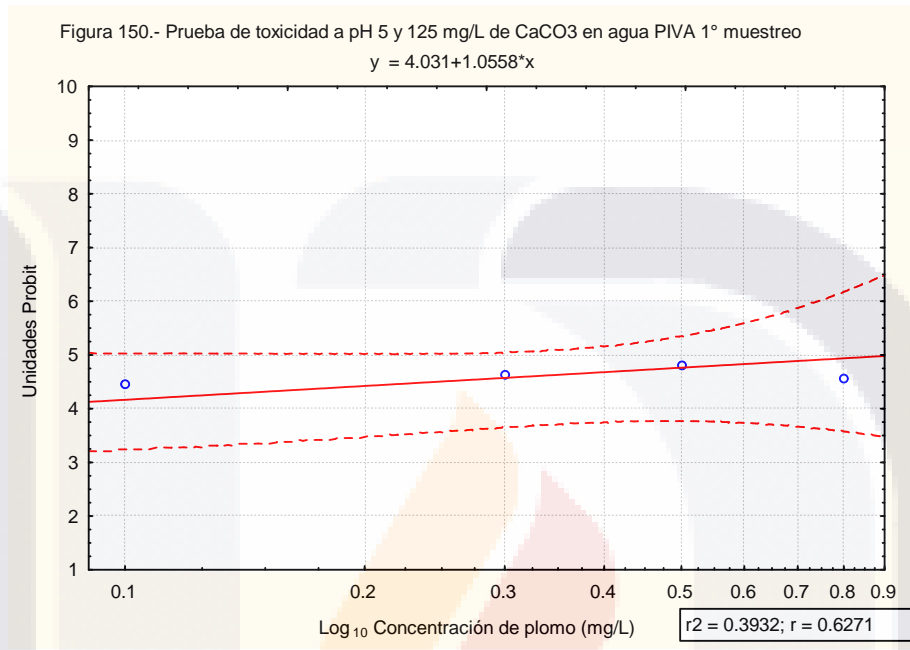
Esta concentración de plomo (CL_{50}) esta dada por las siguientes condiciones ambientales: Dureza de 255 mg/L; alcalinidad de 14.67 mg/L y plomo disuelto de 0.2182 mg/L.

6.3.3.2 pH 5 y 125 y 200 mg/L $CaCO_3$

Para estos dos tratamientos, no se logró una mortalidad del 50% (cuadro 18) pero aún así se realizó el análisis matemático. Figuras 150 y 151 muestran la dispersión de los datos para el primer y segundo tratamiento respectivamente.

Para el cálculo de la primera CL_{50} se tuvo que extrapolar, ya que el 50% de los animales a no fallecieron con las concentraciones a prueba, y para tener una concentración de referencia que ayude para predecir las condiciones del

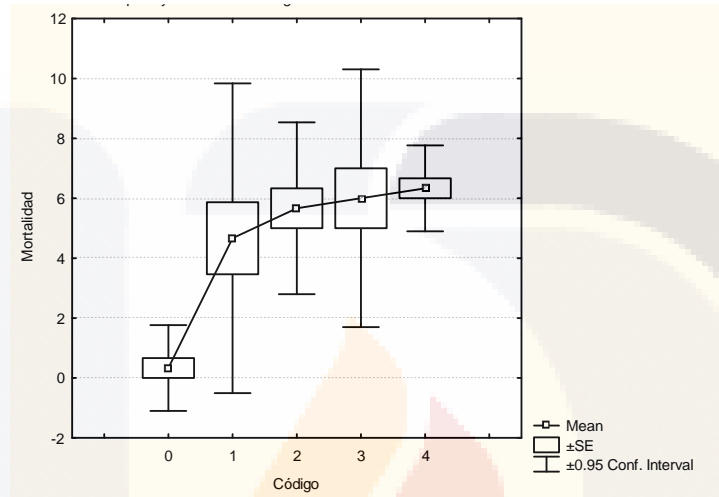
río en las que el plomo sea más tóxico, por lo que la CL_{50} se encontró 0.9 mg/L de plomo. Y para la segunda CL_{50} , se tienen condiciones de 0.7 mg/L de plomo; 13.33 mg/L de Alcalinidad; 286 mg/L de Dureza y 0.2263 mg/L de plomo disuelto.



6.3.3.3 pH 5 y 300 mg/L CaCO₃

Mismos códigos utilizados en la sección 6.3.1.4 y 6.3.2.4 y con los mismos cálculos antes explicados. En la Figura 152 se muestra el análisis de más medias de las tres réplicas realizadas.

Figura 152.- Medias de las Pruebas de Toxicidad a pH 5; 200 mg/L CaCO₃ en agua de PIVA 1° muestreo

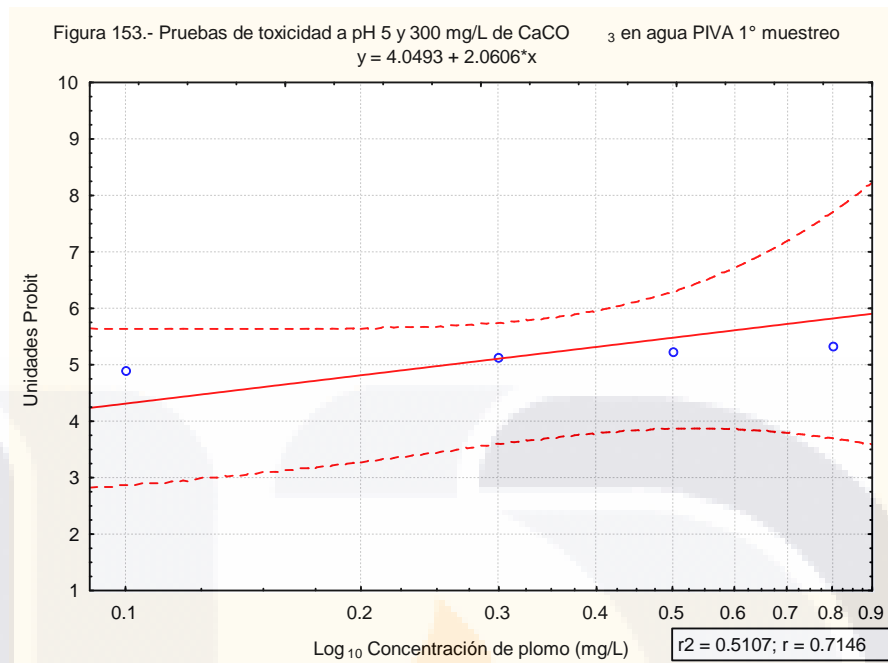


Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

En esta figura se observa que sólo el tratamiento con el código 1 no tiene diferencia estadística, y esto se debe a la gran variabilidad en los resultados de las pruebas de toxicidad, esto es debido a que se trabaja con muchas combinaciones y con muestras de ambientales.

La dispersión de los datos se muestra en la Figura 153, y con la ecuación de la recta nuevamente se calcula la CL₅₀.

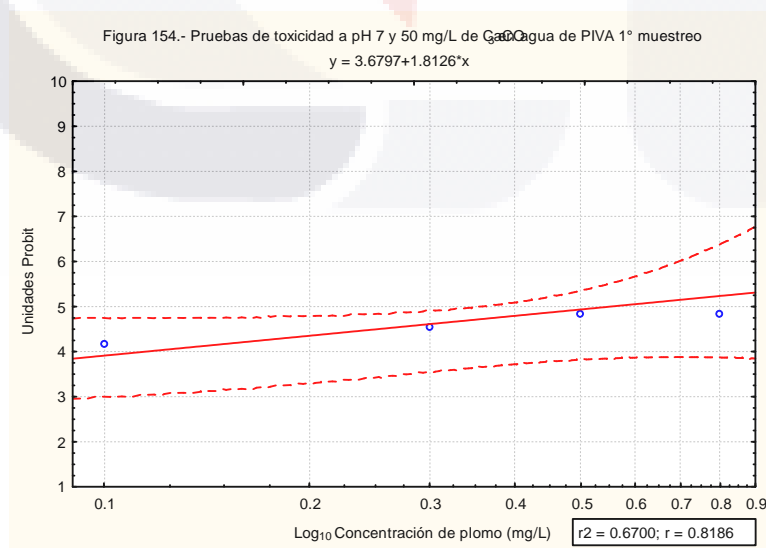
Obteniendo una concentración letal de 0.46 mg/L de plomo, con condiciones ambientales de 25.6 mg/L de alcalinidad, 298.8 mg/L de dureza y 0.2531 mg/L de plomo disuelto.

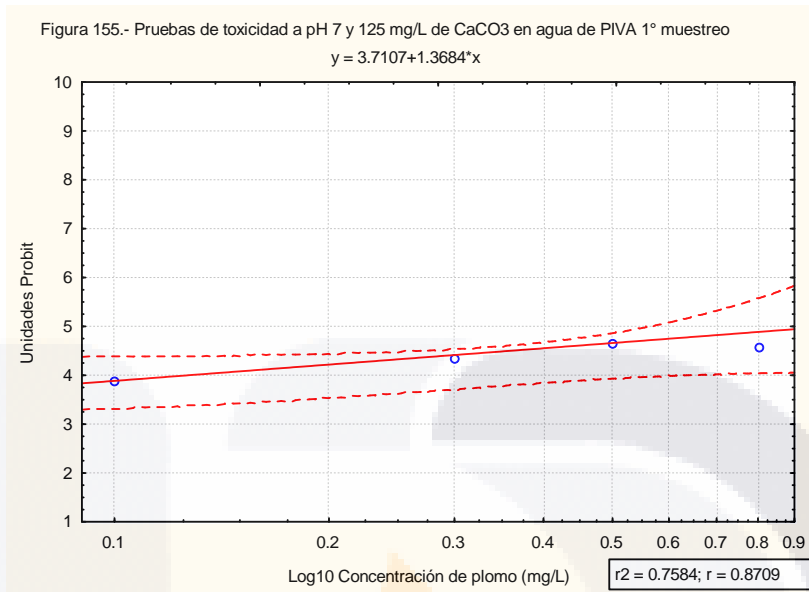


6.3.3.4 pH 7 y 50, 125, y 200 mg/L de CaCO_3

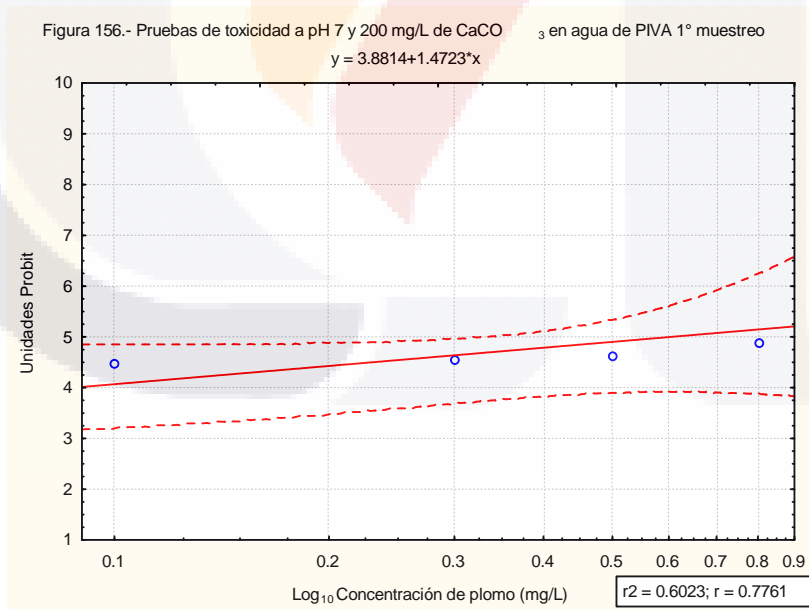
En estos tratamientos no se llegó al 50% de la mortalidad, aún así se puede realizar el cálculo de la CL_{50} , como referencia futura y para predecir el comportamiento de la toxicidad del plomo.

Para el primer tratamiento (Figura 154) obtienen las siguientes condiciones: 0.7 mg/L Plomo; 180 mg/L de alcalinidad; 254 mg/L de Dureza y 0.2998 mg/L de plomo disuelto.





Para el segundo tratamiento (Figura 155), 0.94 mg/L de plomo. Para el tercero (Figura 156) se obtiene una CL₅₀ de 0.75 mg/L de plomo, con 314 mg/L de alcalinidad, 281.5 mg/L de dureza y 0.40815 mg/L de plomo disuelto.



6.3.3.5 pH 7 y 300 mg/L de CaCO₃

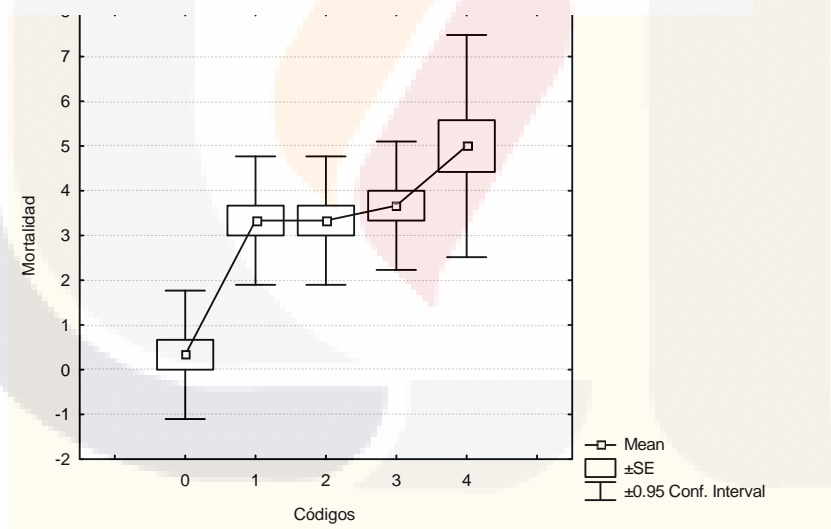
Los códigos utilizados para el análisis de los resultados obtenidos son:
 El código 0 es el control, es decir no contiene ni plomo ni CaCO₃.

El código 1 contiene 300 mg/L de CaCO₃, pH 7 y 0.1 mg/ de Plomo.
 El código 2 contiene 300 mg/L de CaCO₃, pH 7 y 0.3 mg/ de Plomo.
 El código 3 contiene 300 mg/L de CaCO₃, pH 7 y 0.5 mg/ de Plomo.
 El código 4 contiene 300 mg/L de CaCO₃, pH 7 y 0.8 mg/ de Plomo.

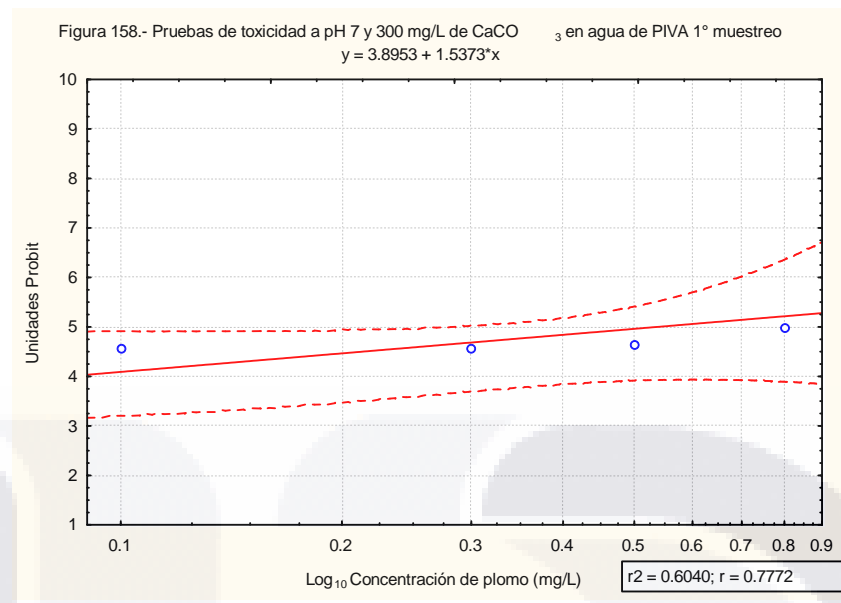
Las Figuras 157 y 158 nos muestran el análisis de las medias de los tratamientos y la dispersión de los datos respectivamente, en la primera podemos observar que hay diferencia significativa entre los tratamientos y el control, ya que ninguna de las medias se sobrepone al control.

En la segunda figura podemos observar que la ecuación de la recta la cual sirve como herramienta para encontrar la CL₅₀, que es de 0.7 mg/L con condiciones de alcalinidad, dureza y plomo disuelto de 429.33 mg/L, 261 mg/L y 0.3224 mg/L, respectivamente.

Figura 157.- Pruebas de Toxicidad a pH 7; 300 mg/L CaCO₃ en agua de PIVA 1° muestreo



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad



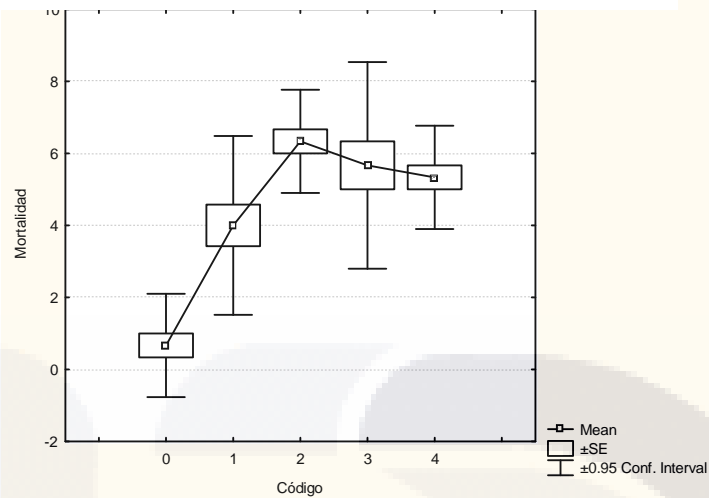
6.3.4 Control (agua desionizada)

Todos los resultados de las pruebas de toxicidad se muestran en los cuadros 46, 47 y 48. Para la determinación de las CL₅₀, se tiene que considerar que la r^2 no es muy alta, por los resultados obtenidos no tienden a la linealidad, posiblemente se deba a que se está evaluando condiciones ambientales y con este tipo de agua se eliminan estas variables. Nuevamente a pH 10 no se pudo calcular la concentración letal debido a que la mortalidad sobrepasa el 90%.

6.3.4.1 pH 5 y 50 mg/L de CaCO₃

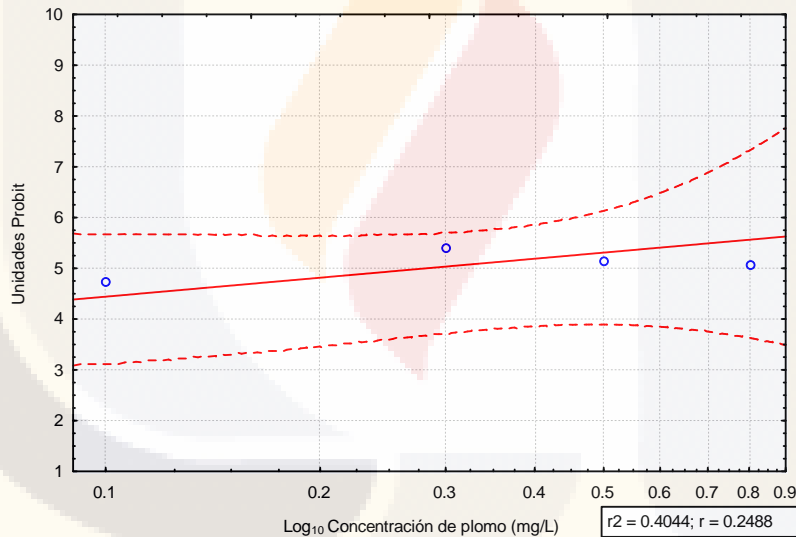
Mismos códigos utilizados anteriormente otras secciones como las 6.3.1.1 o la 6.3.2.1. Los resultados se muestran en las Figuras 159 y 160, en la primera (medias de los tratamientos) se muestra que hay diferencia entre ellas, por lo que es posible realizar el cálculo de la CL₅₀ utilizando la ecuación de la recta, interpolación y los resultados mostrados en el cuadro 46.

Figura 159.- Medias de las Pruebas de Toxicidad a pH 5; 50 mg/L CaCO₃ en agua de Control



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

Figura 160.- Pruebas de Toxicidad a pH 5 y 50 mg/L de CaCO₃ en agua Control
 $y = 4.2469 + 1.5325 \cdot x$



... condiciones ambientales de 16 mg/l

6.3.4.2 pH 5 y 125 mg/L de CaCO₃

La Figura 161 muestra que no sobreponen los tratamientos con el control, y con la ecuación de la recta (figura 162) y el cuadro 46, se encontró una CL₅₀ de 0.6 mg/L y sus condiciones ambientales son 16 mg/L de alcalinidad, 196 mg/L de dureza y 0.3941 mg/L de plomo disuelto.

Figura 161.- Medias de las Pruebas de Toxicidad a pH 5; 125 mg/L CaCO₃ en agua de

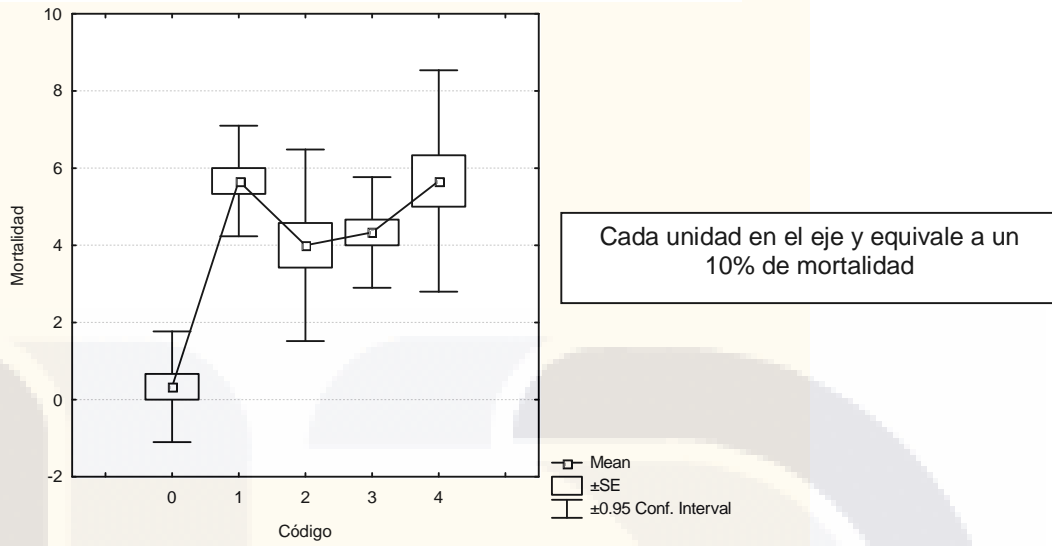
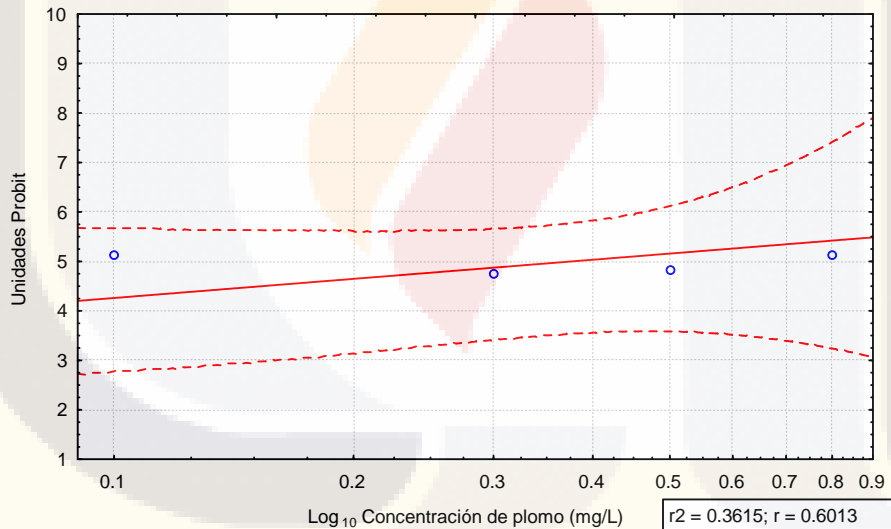


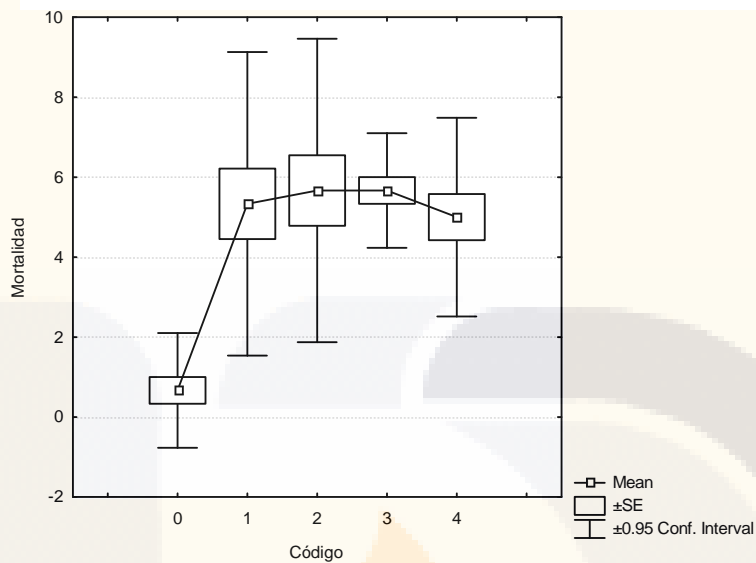
Figura 162.- Pruebas de toxicidad a pH 5 y 125 mg/L de CaCO₃ en agua Control
 $y = 4.0588 + 1.5859 \cdot x$



6.3.4.3 pH 5 y 200 mg/L de CaCO₃

Analizando los resultados obtenidos se observa que los códigos 1 y 2 poseen sobreposición con los resultados del control (Figura 163), a pesar de este dato, se calculó la CL₅₀ obteniendo que tiene un valor de 0.5 mg/L de plomo con condiciones ambientales de 20 mg/L de alcalinidad, 159 mg/L de dureza y 0.276 mg/L de plomo disuelto (Figura 164)

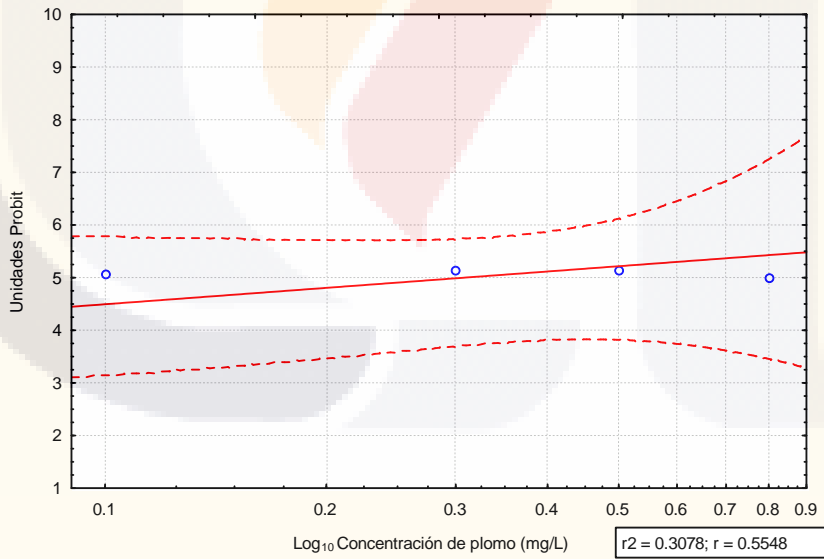
Figura 163.- Pruebas de Toxicidad a pH 5; 200 mg/L CaCO3 en agua de Control



Cada unidad en el eje y equivale a un 10% de mortalidad

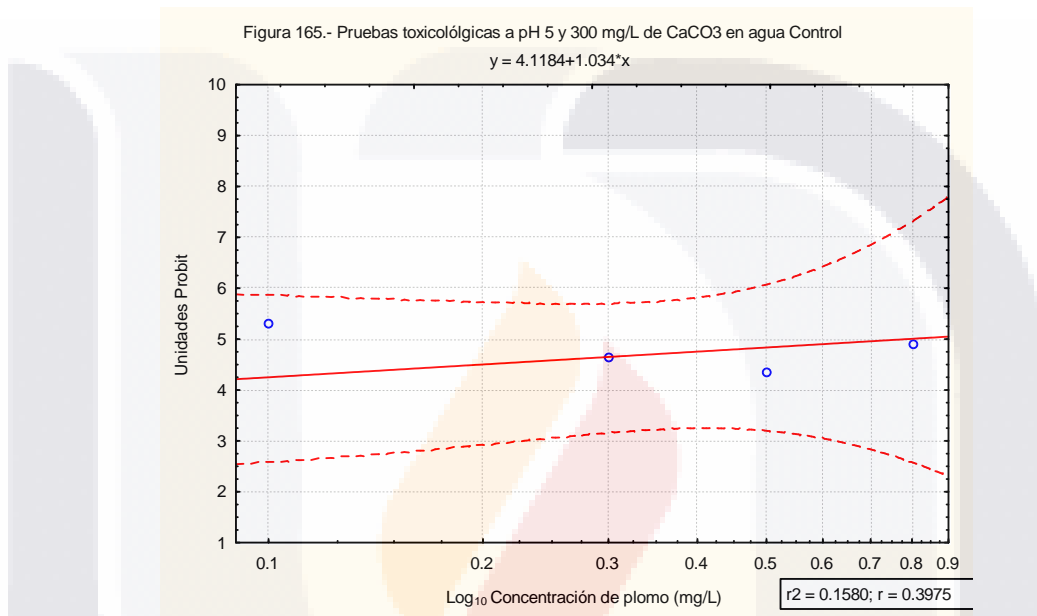
Figura 164.- Pruebas de toxicidad a pH 5 y 200 mg/L de CaCO₃ en agua Control

$$y = 4.3321 + 1.2762 \cdot x$$



6.3.4.4 pH 5 y 300 mg/L de CaCO₃

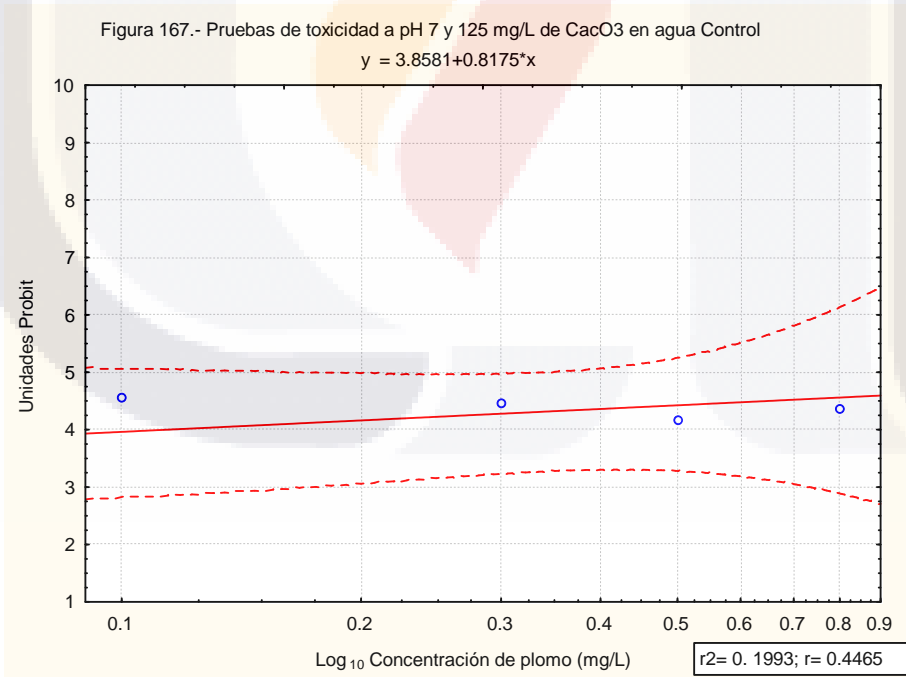
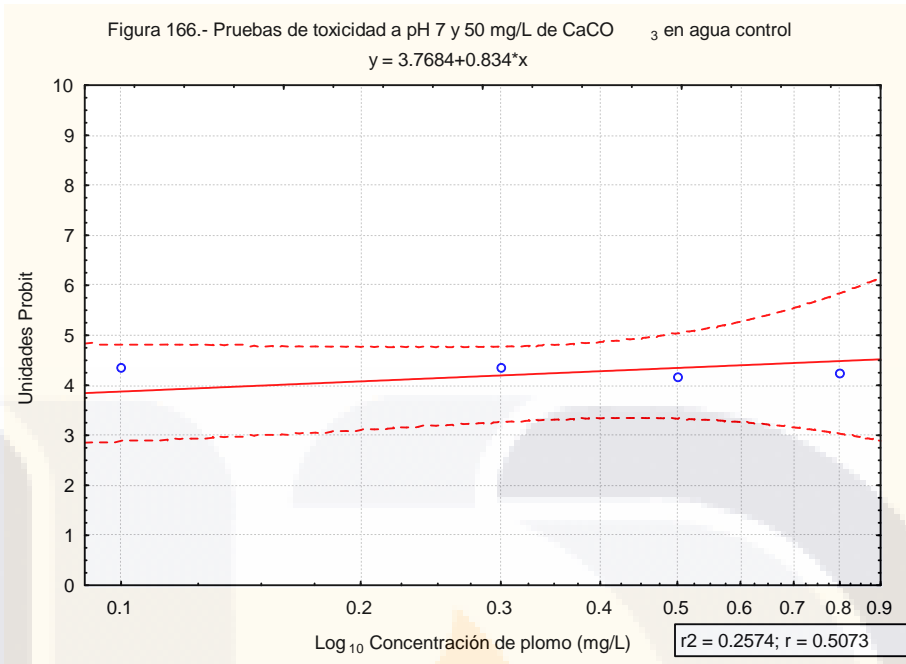
Para esta combinación de compuestos, y el cálculo de CL₅₀, y aunque los valores de r² y de mortalidad son bajos, se decidió calcularla, nuevamente como predicción, en la Figura 165 se muestra la ecuación de la recta que ayuda a encontrar esta concentración. La CL₅₀ es encontrada es de 0.85 mg/L de plomo; sobrepasa las concentraciones de plomo colocadas dentro del trabajo.

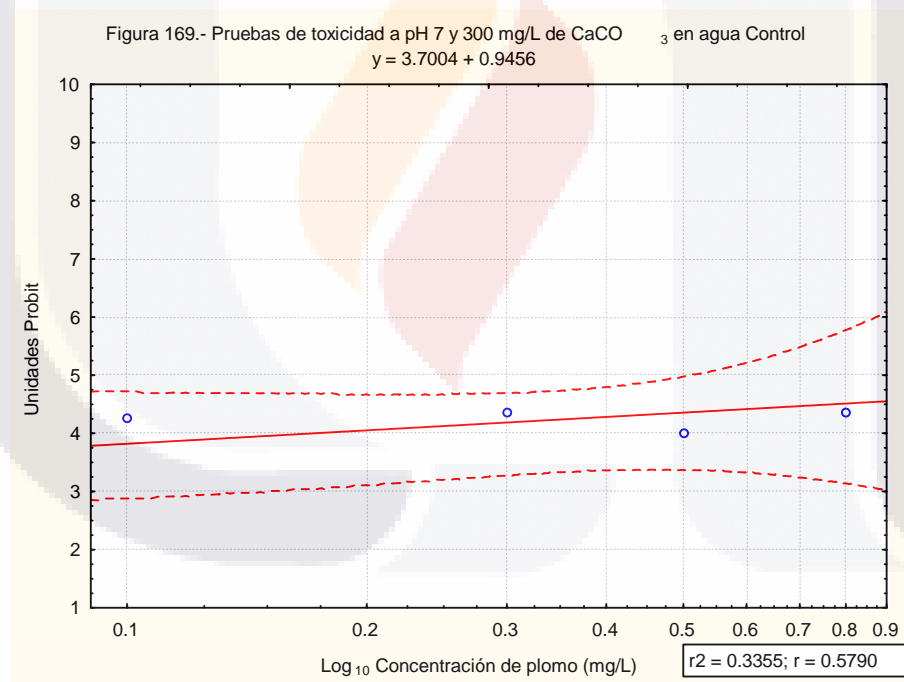
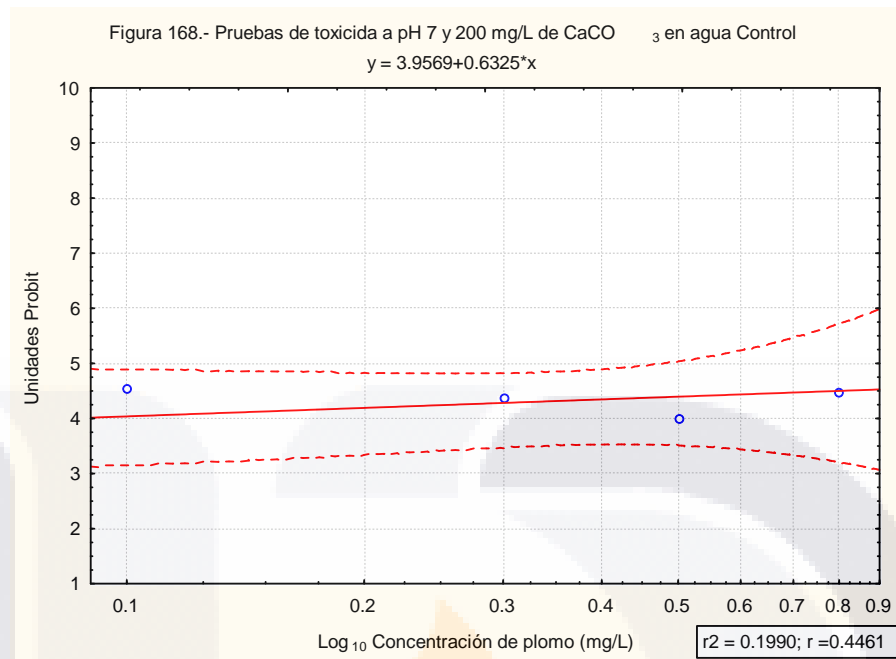


6.3.4.5 pH 7 y 50, 125, 200 y 300 CaCO₃

La mortalidad para estos tratamientos no sobrepasa el 35% por lo que es no es debido realizar una determinación de las CL₅₀, sin embargo, ya que se trata de predicción, se decidió calcularla, Los resultados de la pruebas de toxicidad se muestran en las figuras 166, 167, 168 y 169.

La primera CL₅₀ es igual a 1.5 mg/L de plomo, la segunda es de 1.4 mg/L de plomo, la tercera es de 1.6 mg/L de plomo y la cuarta es de 1.3 mg/L de plomo; no se muestran las condiciones ambientales ya que extrapolaciones son muy grandes y es muy probable que se comen errores al calcularlas.





El cuadro 49 contiene un resumen de cada uno de las CL₅₀ calculadas, en ella podemos observar que en todos los tratamiento solo se pudo detectada en aquellos con pH 5 y 7. En pH 3 y 10 no se logró detectar debido a que este es el causante de la mortalidad de los organismos a prueba y no el plomo por lo que no es posible detectar una concentración letal.

En cuerpos de agua superficial la presencia de formaciones salinas naturales causa un aumento en el pH y por ende también en la toxicidad del agua (Arlí, 2010), para el estudio solo las muestras del PIVA y Jesús María con 300 mg/L de CaCO_3 y pH 5, pero no para el control, esto se explica con el hecho de que las muestras control fueron realizadas con agua desionizada y los contaminantes naturales y ratificales juegan un rol importante, y esta agua como no los contiene, tienen un efecto inverso al predicho por este autor.

Ahora bien, si se analiza el cuadro 49 manteniendo constante la concentración de CaCO_3 y variando el pH, se observa que la CL_{50} tiene un aumento directamente proporcional al incremento de pH, localiza que quiere decir, es que este hace que el plomo esta menos biodisponible en el agua, este comportamiento lo tienen todos los tratamientos, incluso el control.

Si se analiza manteniendo constante el pH y variando el Carbonato, se observa que a 125 mg/L hay un aumento en la CL_{50} , lo que significa que el carbonato si esta amortiguando la toxicidad del metal como lo menciona Wurds (2002), y Navarro *et al.* (2006) y Mora-Silva *et al.* (2007) mencionan que si el ión metálico esta rodeado de iones se pueden formar acuacomplejos que hacen que la molécula sea más pesada y por lo tanto este metal esta menos biodisponible para los organismos acuáticos, pero cuando aumenta la sal se convierte en la causante de la mortalidad de los animales.

Este comportamiento lo presentan los tratamientos realizados con el agua de Jesús María y el PIVA, pero no en con el agua del Niágara, la cual se mantiene sus CL_{50} prácticamente constantes.

Para las muestras control, todos las CL_{50} con pH 7 tienen un valor mucho mayor a la concentración de plomo colocada, teniendo como muestra menos tóxica la que contiene 200 mg/L de CaCO_3 , infiriendo que esta combinación es la ideal para la sobrevivencia de los cuerpos acuáticos. Al igual que los tratamientos con agua de río esta combinación también es la ideal.

Haciendo comparación entre los tres sitios de muestreo a pH 5 y 50 mg/L de CaCO_3 , la muestra con mayor toxicidad es la del Niágara, teniendo valor igual

al del control. Con 125 y 200 mg/ de CaCO₃ y mismo pH nuevamente el Niágara es el más tóxico, pero a 300 mg/L de CaCO₃ resultan más tóxicos Jesús María y el PIVA.

Y ahora comparando los tratamientos con pH 7, con 50 mg/L de CaCO₃ el más tóxico es el PIVA y Niágara; con 125, 200 y 300 mg/L de CaCO₃ nuevamente el Niágara resulta el más tóxico.

Los valores de CL₅₀ nominales (aquellas que se obtuvieron en base a las diluciones del tóxico pero sin determinar su concentración) se presentan en el cuadro 49. En este cuadro se puede apreciar con claridad el efecto del pH sobre la toxicidad del rotífero *Lecane quadridentata*. Para empezar, el rotífero fue incapaz de tolerar el pH de 3 (murió instantáneamente al colocar los animales en este pH, por tanto no se muestran resultados). En el pH de 10 la muerte no fue instantánea pero se dio un 100% de mortalidad en todos los tratamientos (por tanto no se pudo calcular el valor de CL₅₀). En los tratamientos con pH 5 y 7 en todos los casos se ve que el valor de CL₅₀ a pH de 5 es menor (y por tanto más tóxico) que el respectivo a pH de 7, sin importar la concentración de dureza ó alcalinidad de la muestra. El efecto de la dureza (medida como mg/L de CaCO₃) es un poco más complicado de analizar. Los valores más altos de CL₅₀ se dan en todos los casos entre 125 y 200 mg/L. Si fuera únicamente el efecto de una menor solubilidad debida a la mayor concentración de sales, entonces los valores más altos de CL₅₀ se encontrarían consistentemente a 300 mg/L. Este no es el caso. Quizás los valores de 125 y 200 mg/L representen una mejor aproximación a las condiciones naturales en cuanto a adaptación (componente genético) y aclimatación (nuestra cepa de *Lecane* normalmente se cultiva en medio EPA con 70-110 mg/L de CaCO₃). Curiosamente también algunos de los valores de CL₅₀ más bajos (y por ende más tóxicos) se encuentran en este rango de dureza en pH de 5. Para lograr un mejor análisis de la comparación de los valores CL₅₀ obtenidos se presenta en el cuadro 50 los valores reales (en términos de plomo soluble). Desgraciadamente los datos de plomo soluble también presentan un patrón complejo sin una tendencia clara. Además, al igual que con el cuadro 49, la

extrapolación que se hizo para obtener los valores CL₅₀ quizás produce ruido en los datos que oscurece un poco las tendencias que esperábamos encontrar.

Cuadro 49. CL₅₀ nominales encontradas en el análisis de los resultados

CL ₅₀ (mg/L)	50 mg/L CaCO ₃			125 mg/L CaCO ₃			200 mg/L CaCO ₃			300 mg/L CaCO ₃			
	pH	5	7	10	5	7	10	5	7	10	5	7	10
Control		0.5	1.5	Nc	0.6	1.4	Nc	0.5	1.6	Nc	0.8	1.3	Nc
Jesús María		0.7	0.8	Nc	0.8	4.1	Nc	0.5	1.2	Nc	0.4	0.7	Nc
Niágara		0.5	0.7	Nc	0.5	0.6	Nc	0.4	0.6	Nc	0.5	0.6	Nc
PIVA		0.6	0.7	Nc	0.9	0.9	Nc	0.7	0.7	Nc	0.4	0.7	Nc

Nc = no calculado Extrapolación de los datos.

La única tendencia clara que se observa al comprar los datos entre los cuadros 49 y 50, es la menor concentración de plomo disuelto en los CL₅₀ reales en comparación con los nominales.

Cuadro 50. CL₅₀ reales (en términos de plomo disuelto) encontradas en el análisis de los resultados

CL ₅₀ (mg/L)	50 mg/L CaCO ₃			125 mg/L CaCO ₃			200 mg/L CaCO ₃			300 mg/L CaCO ₃			
	pH	5	7	10	5	7	10	5	7	10	5	7	10
Control		0.12	0.057	Nc	0.39	0.018	Nc	0.27	0.8	Nc	0.50	0.098	Nc
Jesús María		0.39	0.14	Nc	0.35	0.84	Nc	0.12	0.20	Nc	0.23	0.15	Nc
Niágara		0.26	0.17	Nc	0.31	0.21	Nc	0.31	0.34	Nc	0.29	0.24	Nc
PIVA		0.21	0.29	Nc	0.58	0.48	Nc	0.22	0.40	Nc	0.25	0.32	Nc

Nc = no calculado Extrapolación de los datos.

VII. CONCLUSIÓN

Esta tesis permitió comprobar el efecto del pH, la alcalinidad, y la dureza sobre la toxicidad del plomo analizada mediante la exposición de diferentes concentraciones de plomo de un organismo modelo: el rotífero dulceacuícola *Lecane quadridentata*. El efecto del pH fue claro y nos permite afirmar que a pH de 3 ó menor y a pH de 10 ó mayor, *L. quadridentata* es incapaz de tolerar estos rangos de pH y por tanto sobreviene la muerte del organismo sin importar la concentración de plomo. En el rango de pH de 5 a 7 se observó con cierta claridad una disminución en la toxicidad como efecto del pH. Esto se puede explicar por efecto de un mejor desempeño del rotífero a pH cercano a la neutralidad y quizás por una menor solubilidad del metal a pH 7 en comparación del pH 5 (sin embargo los datos de plomo disuelto son muy erráticos para apoyar esta idea). El efecto de la dureza resulta más complejo, sin embargo en el rango de 125 y 200 mg/L es donde se observan los valores más altos de CL_{50} y por tanto, menos tóxicos tanto en valores nominales como reales. Esto sugiere sin duda un efecto de la dureza en la solubilidad del plomo, sin embargo el comportamiento errático de los datos obtenidos (y quizás la extrapolación de los mismos), oscurece la presencia de una tendencia clara que apoye esta hipótesis. Finalmente, el uso de agua tratada y vertida al cauce del río San Pedro nos permite afirmar que al igual que observamos un efecto sobre el agua control, también es posible afirmar que hay un efecto del pH, la alcalinidad y la dureza sobre la toxicidad del plomo sobre el agua del río San Pedro. El efecto del pH fue similar al del agua sintética reconstituida usada en el control. El mismo efecto errático de la dureza fue observado en el agua del río San Pedro con los valores CL_{50} más altos encontrados en el rango de 125 y 200 mg/L de $CaCO_3$.

VIII. GLOSARIO

Agua Residual: son los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad (domésticas, comerciales, industriales y de servicios)

Agua Residual tratada: las aguas residuales son conducidas a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales donde se realiza la remoción de los contaminantes, a través de métodos biológicos o fisicoquímicos

Alcalinidad: la cantidad de bases en el agua (bicarbonatos, carbonatos, fosfatos, hidroxilos, etc.)

Concentración Letal 50 (CL₅₀): concentración de un tóxico en la cual se mueren el 50% de los animales a prueba

Dureza: representa la concentración total de sales divalentes (calcio, magnesio, hierro, etc.)

Efluente: salida o flujo de salida de agua proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales

Influente: entrada o flujo de entrada de las agua a las plantas de tratamiento de aguas residuales

pH: potencial de hidrógeno, mide la concentración de iones hidrónio presentes en el agua. Indica la acidez y/o basicidad del agua.

Plomo: Elemento químico, con número atómico 82 y peso atómico 207.19. Es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias.

Rotífero: invertebrados microscópicos, acuáticos o semiacuáticos.

Toxicidad: La capacidad o la propiedad de una sustancia de causar efectos adversos sobre la salud.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Adriano D.C. *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer-Verlag. U.S.A. 1986

- APHA-AWWA-WPCF-210B. *Método para la determinación de la Demanda de Bioquímica de oxígeno*. Standard Methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. 2004

- APHA-AWWA-WPCF-540B. *Método para la determinación de los sólidos totales*. Standard Methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. 2004

- APHA-AWWA-WPCF-2320B. *Método para la determinación de la alcalinidad*. Standard Methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. 2004

- APHA-AWWA-WPCF-2340C. *Método para la determinación de la dureza*. Standard Methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. 2004

- APHA-AWWA-WPCF-2540B. *Método para la determinación de los sólidos suspendidos*. Standard Methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. 2004

- APHA-AWWA-WPCF-2540C. *Método para la determinación de los sólidos disueltos*. Standard Methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. 2004

- APHA-AWWA-WPCF-3030B. *Método para la determinación del plomo total y disuelto*. Standard Methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association. 2004

- Arnold, W.R.; Diamond, R. L. y Smith D. S. Smith, *The Effects of Salinity, pH, and Dissolved Organic Matter on Acute Copper Toxicity to the Rotifer, Brachionus plicatilis*. Arch Environ Contam Toxicol (2010) 59:225–234

- Arlí, J. M. *Estudio de la efectividad de una resina magnética de intercambio iónico para la reducción de aniones y materia orgánica de las aguas del río Llobregat*. Universidad Tecnológica de Catalunya. España 2010

- Bueno-Brito, Cornelio, Sánchez-Ramos, Apolinar, Armenta-Solís, Adakatia, y González-Vera, Eduardo. *Contenido de plomo y manganeso en despachadores de gasolina*. Bioquímica. Vol 30 No 2 año 2005. Asociación mexicana de bioquímica clínica.

- Cesuros, M. *Environmental sampling and analysis for technicians*. Ed. Lewis Publishers. U. S. A. 1994. Pág. 5 – 15, 200, 205, 233–237.

- CNA. *Estadísticas de Agua en México la Ley Federal de Derechos de la CNA*. Edición 2005

- Díaz S, Oscar, Encina M, Francisco, Recabarren G, Estela, Del Valle C., Sergia, Pastene O, Rubén, Montes S, Sergio, y Figueroa Q., Angélica. *Estudio de la concentración de arsénico, mercurio, plomo y fenantreno en la macha (mesodesma donacium)*. *Implicancias Rev. chil. nutr.* v.35 n.1 Santiago Marzo, 2008

- Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. *Propiedades Químicas y Toxicidad de los metales*. México, 2000 Ed. McGrawHill.

- Gama-Flores, José Luis, Sarma y S. Nandini *Acute and chronic toxicity of the pesticide methyl parathion to the rotifer Brachionus angularis (Rotifera) at different algal (Chlorella vulgaris) food Densities* Aquatic Ecology 38: 27–36, 2004

- Garza, Aníbal, Chávez, Hortencia, Vega, Rosario, y Soto, Enrique. *Mecanismos celulares y moleculares de la neurotoxicidad por plomo.* Salud Mental, Vol. 28, No. 2, abril 2005. Universidad autónoma de Puebla.

- Godinez Antillon, Miguel Angel. *Evaluación de la gestión ambiental en el estado de Aguascalientes. Secretaria de desarrollo social subsecretaria de ecología.* Agosto de 1998.

- Jaramillo-Juárez, Fernando, Rincón- Sánchez y Rico-Martínez. *Toxicología Ambiental: Módulo Toxicología acuática.* Ed. Textos Universitarios. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 2009

- Kemmer, Frank y McCallion, Jonh. *Nalco Chemical Company Manual del Agua.* Tomo I y Tomo II. McGrawhill, México 1999.

- Matte, Thomas D. *Efectos del plomo en la salud de la niñez.* Revista Salud Pública de México. Vol.45, No. 2, Año 2003.

- Mendoza-Rodríguez, R. *Toxicidad aguda del sulfato de cobre en postlarvas de camarón cryphiops caementarius.* Arch. Zootec. 58 (221): 103-110. 2009. Universidad Nacional del Santa. Perú.

- Mitchell, Ed. J.A.K., Burgess, Joanna E. y M. Stuetz, Richard, *Developments in ecotoxicity testing.* Journal Environmental Science & Bio/Technology. Vol 1. No. 169. Año 2002. Impreso en Holanda.

- Mora-Silva, Mónica. *Determinación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en suelo y sedimentos del cause del Río San Pedro*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México. Octubre 2007.
- Navarro, Abel E., Ramos, Karim P., Campos, Karol, y Maldonado, Holger J. *Glucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: cationes divalentes y superficies activas*. Revista Iberoamericana de Polímeros. Volumen 7(2), Marzo de 2006.
- Pérez-Legaspi, Ignacio Alejandro y Rico-Martínez, Roberto. *Acute toxicity tests on three species of the genus Lecane (Rotifera: Monogononta)*. Journal Hydrobiologia. Vol. 446, No. 447, Año 2000. Impreso en Holanda.
- Petrovich M., Kastelan-Macan M. y Hovart A.J.M. *Interactive sorption of metal ions and húmica acid onto mineral particles*. Water, Air & Soil Pollution, 1999.
- Rand, Gary M. y Petrocelli, R., Sam. *Fundamentals of Aquatic Toxicology*. Ed. Hemisphere Publishing Corporation. U.S.A. 1985
- Rubio-Franchini, Isidoro, Mejía Saavedra, Jesús, y Rico-Martínez, Roberto. *Determination of Lead in Samples of Zooplankton, Water, and Sediments in a Mexican Reservoir: Evidence for Lead Biomagnification in Lower/Intermediate Trophic Levels?* Wiley Periodicals, Inc. November 2008.
- Sanín Luz Helena, González-Cossío, Teresa, Romieu, Isabelle & Hernández-Avila, Mauricio. *Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud*. Revista Salud Pública de México. Vol.40, No.4, Año 1998.

- Santos-Medrano, Gustavo Emilio, Ramírez-López, Elsa Marcela, Hernández-Flores, Saraí, Azuara-Medina, Paulina Margarita y Rico-Martínez, Roberto. *Determination of toxicity levels in the San Pedro River Watershed, Aguascalientes, Mexico*. Journal of Environmental Science and Health Part A Vol. 42. Año 2007.

- Secretaría de Medio Ambiente y recursos naturales. *NOM-001-SEMARNAT-1996, Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. Publicado en el diario oficial de la federación. México D.F. Abril 2003.

- Secretaría de Medio Ambiente y recursos naturales. *NOM-002-SEMARNAT-1996, Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal*. Publicado en el diario oficial de la federación. México D.F. Abril 2003.

- Secretaría de Medio Ambiente y recursos naturales. *NOM-003-SEMARNAT-1997, Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público*. Publicado en el diario oficial de la federación. México D.F. Abril 2003

- Secretaría de comercio y fomento industrial. *NMX-AA-008-SCFI-2000, Análisis de agua. Determinación del pH. Método de Prueba*. Publicado en el Diario Oficial de la federación. México D.F. 2000.

- Secretaría de Economía. *NMX-AA-028-SCFI-2001, Análisis de agua. Determinación de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas. Método de prueba.*. Publicado en el Diario Oficial de la federación. México D.F. 2001.

- Secretaría de Economía. *NMX-AA-030-SCFI-2001, Análisis de agua. Determinación de oxígeno en agua naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Publicado en el Diario Oficial de la federación. México D.F. 2001.
- Secretaría de Economía. *NMX-AA-034-SCFI-2001, Análisis de agua. Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Publicado en el Diario Oficial de la federación. México D.F. 2001.
- Secretaría de Economía. *NMX-AA-036-SCFI-2001, Análisis de agua. Determinación de acides y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Publicado en el Diario Oficial de la federación. México D.F. 2001.
- Secretaría de Economía. *NMX-AA-051-SCFI-2001, Análisis de agua. Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Publicado en el Diario Oficial de la federación. México D.F. 2001.
- Secretaría de Comercio y fomento industrial. *NMX-AA-087-SCFI-1995, Análisis de agua. Evaluación de toxicidad con Daphnia magna Status (Crustácea-Cladocera). Método de Prueba.* Publicado en el Diario Oficial de la federación. México D.F. 1995.
- Secretaría de Comercio y fomento industrial. *NMX-AA-110-SCFI-1995, Análisis de agua. Evaluación de toxicidad aguda con Artemia franciscana Kellogg (Crustácea-Anostraca). Método de Prueba.* Publicado en el Diario Oficial de la federación. México D.F. 1995
- Secretaría de Comercio y fomento industrial. *NMX-AA-112-SCFI-1995, Análisis de agua. Evaluación de toxicidad con Photobacterium*

phosphoreum). *Método de Prueba*. Publicado en el Diario Oficial de la federación. México D.F. 1995

- Tacon, Albert G.J. *Ictiopatología nutricional. Signos morfológicos de carencia y toxicidad de los nutrientes en los peces cultivados*. Dirección de Recursos y Ambiente Pesqueros FAO, Departamento de Pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 1995.
- Wallace, Robert L., Snell, Ferry W. y Ricci, Claudia. *Rotífera: Vol 1: Biology, Ecology and Systematics*. Segunda Edición. Ed. Backhuys Publishers. Alemania 2006.
- Wurts, William A. *Alkalinity and Hardness in Production Ponds*. World Aquaculture-baton rouge-, 2002.
- Wurts, William A. y Durborow, Robert M.. *Interactions of pH, Carbon Dioxide, Alkalinity and Hardness in Fish Ponds*. Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 464. Diciembre 1992

Páginas consultadas

- INEGI. <http://www.inegi.gob.mx/cuencas>, 2009.
- IMAE. <http://www.aguascalientes.gob.mx/imaie/Riosanpedro.aspx>, 2010
- <http://www.aguascalientes.gob.mx>, 2009
- <http://www.cna.gob.mx>, 2009
- <http://www.astm.org>, 2009

Anexo A

CUADROS DE RESULTDOS:

**ALCALINIDAD, DUREZA Y pH PARA LOS
TRATAMIENTOS Y CONTROL**

Cuadro 9. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 3 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	0	249	0.1051
	125	0	351	0.0869
	200	0	300	0.0982
	300	0	474	0.0811
0.3	50	0	537	0.3688
	125	0	453	0.2129
	200	0	309	0.272
	300	0	348	0.1948
0.5	50	0	300	0.5019
	125	0	375	0.4843
	200	0	444	0.2848
	300	0	510	0.1363
0.8	50	0	285	0.6092
	125	0	411	0.9842
	200	0	462	0.7797
	300	0	456	0.3543

Cuadro 10. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 5 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto y Pruebas toxicológicas aguadas

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismos muertos
0.1	50	16	249	0.0906	12
	125	24	231	0.0375	9
	200	24	300	0.0795	14
	300	28	270	0.0646	16
0.3	50	20	501	0.1608	13
	125	24	276	0.0907	11
	200	16	282	0.1046	14
	300	28	327	0.1715	16
0.5	50	20	270	0.1373	12
	125	16	273	0.1157	9
	200	8	282	0.1281	14
	300	28	522	0.2933	16
0.8	50	16	285	0.4457	16
	125	12	297	0.3571	14
	200	28	318	0.0713	18
	300	12	357	0.3247	20

Cuadro 11. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 7 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismos muertos
0.1	50	148	267	0.0835	6
	125	156	351	0.0502	4
	200	156	288	0.0577	7
	300	160	258	0.0573	5
0.3	50	144	471	0.1166	8
	125	132	288	0.1579	10
	200	148	270	0.083	8
	300	140	276	0.0821	7
0.5	50	60	273	0.1868	6
	125	92	264	0.1404	4
	200	24	294	0.2504	7
	300	140	540	0.121	8
0.8	50	148	285	0.1449	7
	125	152	300	0.1649	4
	200	228	300	0.1599	8
	300	200	279	0.1698	9

Cuadro 12. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 10 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismos Muertos
0.1	50	640	183	0.0072	28
	125	496	114	0.0484	29
	200	888	156	0.0594	30
	300	540	99	0.0099	30
0.3	50	508	195	0.0233	28
	125	496	240	0.1106	29
	200	512	207	0.0158	30
	300	496	270	0.0204	29
0.5	50	512	267	0.1445	28
	125	580	159	0.1902	29
	200	512	174	0.121	30
	300	488	468	0.2362	30
0.8	50	652	240	0.1378	29
	125	636	252	0.1308	30
	200	628	285	0.1281	28
	300	528	240	0.2009	29

Cuadro 13. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 3 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	0	240	0.09308
	125	0	291	0.08725
	200	0	300	0.09386
	300	0	345	0.09126
0.3	50	0	225	0.23926
	125	0	300	0.25216
	200	0	291	0.21856
	300	0	375	0.18426
0.5	50	0	84	0.31712
	125	0	276	0.41232
	200	0	351	0.34052
	300	0	411	0.40292
0.8	50	0	234	0.2996
	125	0	255	0.5764
	200	0	375	0.3805
	300	0	426	0.5941

Cuadro 14. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 5 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismo muertos
0.1	50	48	210	0.09699	11
	125	20	282	0.06948	14
	200	44	228	0.09977	17
	300	76	300	0.0938	13
0.3	50	28	222	0.13249	14
	125	48	255	0.17809	14
	200	52	279	0.13329	16
	300	24	385	0.04224	17
0.5	50	16	246	0.26318	15
	125	20	267	0.31518	16
	200	8	378	0.3382	17
	300	8	468	0.34288	15
0.8	50	42	222	0.2688	17
	125	60	234	0.3459	16
	200	60	243	0.0446	18
	300	36	300	0.043339	17

Cuadro 15. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 7 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismos muertos
0.1	50	412	225	0.024469	10
	125	214	282	0.021029	12
	200	380	225	0.04899	11
	300	316	276	0.04031	14
0.3	50	332	207	0.12299	11
	125	320	234	0.13749	13
	200	328	216	0.17489	12
	300	320	255	0.12229	13
0.5	50	152	243	0.15651	13
	125	336	207	0.18738	15
	200	288	252	0.28839	15
	300	124	300	0.25418	13
0.8	50	444	225	0.1818	13
	125	498	249	0.2741	15
	200	492	252	0.4578	13
	300	480	261	0.2342	14

Cuadro 16. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 10 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismos muertos
0.1	50	344	234	0.05036	28
	125	260	267	0.02053	29
	200	228	330	0.06321	30
	300	240	300	0.03	29
0.3	50	488	249	0.23216	28
	125	244	291	0.22246	29
	200	220	216	0.08386	30
	300	260	300	0.0342	29
0.5	50	256	255	0.24332	28
	125	344	186	0.14786	30
	200	220	249	0.29812	30
	300	200	291	0.18932	29
0.8	50	708	204	0.6884	29
	125	728	210	0.5608	30
	200	772	291	0.251	30
	300	820	195	0.1422	29

Cuadro 17. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 3 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	0	267	0.0681
	125	0	297	0.0723
	200	0	375	0.0664
	300	0	405	0.0615
0.3	50	0	258	0.2116
	125	0	300	0.2196
	200	0	390	0.2182
	300	0	453	0.2243
0.5	50	0	270	0.3509
	125	0	300	0.4021
	200	0	387	0.3853
	300	0	405	0.3688
0.8	50	0	285	0.6224
	125	0	288	0.6859
	200	0	357	0.5339
	300	0	360	0.5919

Cuadro 18. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 5 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismos Muertos
0.1	50	16	249	0.057	12
	125	20	267	0.0359	9
	200	24	279	0.0629	13
	300	28	300	0.0334	14
0.3	50	16	255	0.196	14
	125	12	273	0.1925	11
	200	20	282	0.1943	12
	300	16	294	0.1811	17
0.5	50	16	261	0.1945	15
	125	16	288	0.1829	13
	200	16	294	0.2757	13
	300	28	300	0.2711	18
0.8	50	12	243	0.2658	15
	125	16	234	0.5158	10
	200	12	282	0.2267	13
	300	24	291	0.345	19

Cuadro 19. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 7 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismos Muertos
0.1	50	516	237	0.078	6
	125	536	243	0.062	4
	200	400	252	0.0585	9
	300	360	258	0.0562	10
0.3	50	76	285	0.1949	10
	125	380	258	0.162	8
	200	204	255	0.1717	10
	300	508	261	0.1563	10
0.5	50	116	252	0.1933	13
	125	152	270	0.1399	11
	200	184	264	0.0989	11
	300	224	255	0.1817	11
0.8	50	212	255	0.3531	13
	125	172	288	0.43	13
	200	340	285	0.47	14
	300	532	264	0.3928	15

Cuadro 20. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 10 para le primer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismos Muertos
0.1	50	1104	198	0.0536	30
	125	1224	255	0.0523	29
	200	1064	288	0.055	30
	300	1376	300	0.052	29
0.3	50	1220	246	0.1846	28
	125	1284	300	0.1659	29
	200	464	330	0.1967	30
	300	308	288	0.166	30
0.5	50	372	285	0.2681	28
	125	292	288	0.183	29
	200	428	294	0.2263	29
	300	328	300	0.1613	30
0.8	50	364	240	0.5689	29
	125	316	297	0.2748	29
	200	436	300	0.383	29
	300	840	219	0.4398	30

Cuadro 21. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 3 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	0	369	0.1173
	125	0	384	0.1493
	200	0	378	0.1065
	300	0	417	0.1032
0.3	50	0	351	0.2453
	125	0	300	0.2247
	200	0	330	0.2237
	300	0	360	0.3008
0.5	50	0	300	0.403
	125	0	300	0.415
	200	0	384	0.3434
	300	0	423	0.319
0.8	50	0	300	0.526
	125	0	300	0.511
	200	0	300	0.609
	300	0	315	0.4978

Cuadro 22. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 5 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	72	234	0.0965
	125	92	237	0.0732
	200	88	321	0.088
	300	104	240	0.01842
0.3	50	60	237	0.2885
	125	76	270	0.3193
	200	88	225	0.2486
	300	104	228	0.1369
0.5	50	72	228	0.2516
	125	80	225	0.2064
	200	92	231	0.2626
	300	104	222	0.102
0.8	50	72	249	0.2192
	125	68	264	0.2549
	200	68	240	0.2568
	300	92	234	0.2527

Cuadro 23. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 7 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	544	210	0.0252
	125	524	195	0.0245
	200	476	207	0.0337
	300	540	222	0.015
0.3	50	548	240	0.0406
	125	500	216	0.264
	200	524	195	0.1166
	300	540	204	0.1173
0.5	50	600	240	0.1403
	125	592	207	0.0659
	200	596	210	0.1657
	300	604	234	0.1208
0.8	50	576	219	0.0359
	125	536	201	0.0612
	200	528	234	0.2964
	300	532	204	0.2642

Cuadro 24. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 10 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	868	153	0.0304
	125	920	213	0.0544
	200	980	234	0.0884
	300	984	240	0.0385
0.3	50	928	210	0.0681
	125	920	228	0.1891
	200	876	237	0.1621
	300	964	246	0.0743
0.5	50	1048	210	0.0986
	125	980	228	0.1019
	200	900	234	0.2802
	300	920	225	0.1128
0.8	50	1036	216	0.0504
	125	1064	234	0.0666
	200	1000	222	0.064
	300	984	240	0.1415

Cuadro 25. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 3 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	0	189	0.0835
	125	0	222	0.1106
	200	0	264	0.1383
	300	0	399	0.0505
0.3	50	0	219	0.2571
	125	0	276	0.2137
	200	0	402	0.1893
	300	0	519	0.1665
0.5	50	0	174	0.3664
	125	0	213	0.359
	200	0	182	0.3562
	300	0	381	0.3402
0.8	50	0	273	0.7313
	125	0	246	0.536
	200	0	267	0.5226
	300	0	405	0.7325

Cuadro 26. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 5 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	32	165	0.0592
	125	28	156	0.0477
	200	24	168	0.0531
	300	44	171	0.076
0.3	50	24	159	0.2349
	125	32	159	0.2973
	200	32	156	0.2369
	300	40	177	0.2375
0.5	50	8	144	0.2435
	125	12	165	0.2743
	200	12	162	0.2183
	300	20	168	0.1963
0.8	50	24	156	0.5248
	125	48	165	0.5173
	200	30	168	0.4813
	300	54	162	0.2978

Cuadro 27. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 7 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	184	210	0.105
	125	192	189	0.0847
	200	192	183	0.0545
	300	220	201	0.0533
0.3	50	152	207	0.2359
	125	196	180	0.1961
	200	204	189	0.1223
	300	184	168	0.1752
0.5	50	140	180	0.2081
	125	148	174	0.1458
	200	148	183	0.1901
	300	160	174	0.1581
0.8	50	240	180	0.3697
	125	306	174	0.4733
	200	258	189	0.4038
	300	198	192	0.229

Cuadro 28. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 10 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	360	144	0.0166
	125	412	117	0.08
	200	420	126	0.0503
	300	368	150	0.02878
0.3	50	408	135	0.3537
	125	404	159	0.3251
	200	428	147	0.3489
	300	492	144	0.2817
0.5	50	324	135	0.194
	125	316	120	0.14448
	200	340	138	0.1945
	300	348	120	0.1677
0.8	50	612	138	0.3725
	125	528	144	0.6195
	200	588	132	0.593
	300	606	147	0.582

Cuadro 29. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 3 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	0	207	0.1077
	125	0	264	0.097
	200	0	237	0.0852
	300	0	231	0.086
0.3	50	0	216	0.2939
	125	0	189	0.29
	200	0	255	0.2744
	300	0	201	0.2258
0.5	50	0	237	0.38664
	125	0	249	0.38164
	200	0	273	0.37369
	300	0	336	0.3799
0.8	50	0	192	0.7437
	125	0	201	0.7137
	200	0	204	0.7387
	300	0	264	0.6917

Cuadro 30. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 5 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	20	270	0.09
	125	36	411	0.091
	200	48	486	0.078
	300	64	471	0.0756
0.3	50	48	363	0.195
	125	48	381	0.212
	200	60	375	0.1744
	300	100	393	0.1431
0.5	50	40	300	0.1532
	125	60	300	0.114
	200	60	423	0.2166
	300	64	426	0.0481
0.8	50	36	327	0.685
	125	52	300	0.6117
	200	52	471	0.6961
	300	84	465	0.5475

Cuadro 31. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 7 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	188	198	0.0542
	125	328	198	0.0335
	200	296	195	0.077
	300	256	198	0.067
0.3	50	376	180	0.1712
	125	456	192	0.2151
	200	348	240	0.1422
	300	384	195	0.1289
0.5	50	388	162	0.2075
	125	372	162	0.1439
	200	420	168	0.26
	300	392	168	0.0769
0.8	50	396	150	0.424
	125	380	177	0.624
	200	388	177	0.6006
	300	456	177	0.344

Cuadro 32. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 10 para le segundo muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	1140	165	0.0613
	125	1092	207	0.0778
	200	1128	186	0.0485
	300	1068	171	0.02724
0.3	50	1000	204	0.1573
	125	992	195	0.1501
	200	1000	159	0.1532
	300	1016	159	0.129
0.5	50	832	159	0.2083
	125	896	165	0.1222
	200	952	174	0.1606
	300	844	153	0.2139
0.8	50	836	180	0.355
	125	740	177	0.571
	200	824	165	0.3181
	300	840	177	0.241

Cuadro 33. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 3 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	0	300	0.2216
	125	0	300	0.2515
	200	0	300	0.1039
	300	0	339	0.1753
0.3	50	0	261	0.3063
	125	0	300	0.2617
	200	0	300	0.2513
	300	0	300	0.202
0.5	50	0	258	0.5156
	125	0	291	0.511
	200	0	300	0.4742
	300	0	342	0.4172
0.8	50	0	267	0.6625
	125	0	273	0.748
	200	0	285	0.88
	300	0	348	0.7105

Cuadro 34. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 5 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	40	246	0.188
	125	40	252	0.2979
	200	40	270	0.2819
	300	44	261	0.2252
0.3	50	28	222	0.2378
	125	32	231	0.2356
	200	36	240	0.25006
	300	36	270	0.2245
0.5	50	28	213	0.5018
	125	40	228	0.4532
	200	48	234	0.4552
	300	28	270	0.4036
0.8	50	24	219	0.742
	125	36	219	0.6145
	200	24	231	0.6355
	300	44	246	0.632

Cuadro 35. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 7 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	408	225	0.2379
	125	376	186	0.3172
	200	368	207	0.1928
	300	364	234	0.1712
0.3	50	392	243	0.2275
	125	372	219	0.2114
	200	424	231	0.2414
	300	436	246	0.202
0.5	50	404	198	0.3808
	125	424	198	0.3664
	200	432	213	0.3516
	300	428	225	0.4028
0.8	50	420	180	0.541
	125	416	237	0.5585
	200	412	246	0.5995
	300	404	240	0.6535

Cuadro 36. Resultados obtenidos para el Jesús María a pH 10 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	816	144	0.119
	125	688	144	0.118
	200	716	120	0.1042
	300	728	144	0.0836
0.3	50	704	138	0.1373
	125	640	141	0.138
	200	624	171	0.1664
	300	696	180	0.1564
0.5	50	672	144	0.1479
	125	688	138	0.1804
	200	652	150	0.2328
	300	700	150	0.2308
0.8	50	652	126	0.3083
	125	648	138	0.2182
	200	680	165	0.2255
	300	680	180	0.3725

Cuadro 37. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 3 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	0	246	0.1116
	125	0	255	0.1074
	200	0	264	0.0921
	300	0	273	0.0931
0.3	50	0	249	0.2678
	125	0	294	0.2538
	200	0	300	0.2096
	300	0	300	0.257
0.5	50	0	249	0.5368
	125	0	240	0.5344
	200	0	261	0.4508
	300	0	270	0.4396
0.8	50	0	228	0.9066
	125	0	243	0.8841
	200	0	264	0.90266
	300	0	270	0.90451

Cuadro 38. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 5 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	24	219	0.1121
	125	32	255	0.1054
	200	36	264	0.0685
	300	40	270	0.09067
0.3	50	16	234	0.2392
	125	32	252	0.2282
	200	44	285	0.209
	300	72	288	0.207
0.5	50	12	237	0.3401
	125	12	270	0.2351
	200	12	273	0.3475
	300	16	276	0.2241
0.8	50	42	270	0.6547
	125	48	261	0.5237
	200	60	258	0.6209
	300	60	276	0.63501

Cuadro 39. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 7 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	288	210	0.1095
	125	288	195	0.1052
	200	288	204	0.0663
	300	296	219	0.08101
0.3	50	300	210	0.2661
	125	300	210	0.2441
	200	288	210	0.2135
	300	292	216	0.2136
0.5	50	240	204	0.4839
	125	240	210	0.4251
	200	236	171	0.40277
	300	248	195	0.2585
0.8	50	408	210	0.5692
	125	414	198	0.4987
	200	432	201	0.6642
	300	450	198	0.6232

Cuadro 40. Resultados obtenidos para el Niágara a pH 10 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	660	135	0.0998
	125	672	144	0.1116
	200	512	165	0.0653
	300	516	156	0.0808
0.3	50	656	219	0.1552
	125	676	225	0.2024
	200	576	225	0.1764
	300	580	195	0.1524
0.5	50	596	186	0.2814
	125	620	225	0.334
	200	604	237	0.2768
	300	508	222	0.2396
0.8	50	1014	195	0.0898
	125	1044	213	0.1224
	200	954	228	0.4042
	300	1002	240	0.4994

Cuadro 41. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 3 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	0	264	0.1023
	125	0	294	0.1012
	200	0	300	0.1043
	300	0	324	0.10364
0.3	50	0	240	0.2637
	125	0	261	0.2623
	200	0	276	0.2285
	300	0	300	0.245
0.5	50	0	249	0.4728
	125	0	276	0.4688
	200	0	300	0.4508
	300	0	354	0.4536
0.8	50	0	252	0.75025
	125	0	258	0.734
	200	0	258	0.813
	300	0	258	0.688

Cuadro 42. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 5 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	120	207	0.102
	125	128	234	0.1004
	200	128	216	0.0995
	300	128	255	0.10336
0.3	50	48	234	0.2704
	125	56	234	0.2609
	200	52	204	0.2133
	300	76	294	0.2575
0.5	50	52	186	0.4226
	125	52	234	0.4176
	200	56	255	0.4342
	300	52	207	0.3136
0.8	50	48	180	0.64096
	125	72	360	0.4604
	200	96	402	0.7305
	300	96	477	0.66

Cuadro 43. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 7 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	692	180	0.1015
	125	696	180	0.1044
	200	708	195	0.1025
	300	676	243	0.0797
0.3	50	704	177	0.2299
	125	700	198	0.2588
	200	668	204	0.2129
	300	680	213	0.2465
0.5	50	720	216	0.4086
	125	668	240	0.3736
	200	716	195	0.433
	300	664	156	0.3374
0.8	50	288	300	0.5179
	125	284	300	0.3166
	200	328	384	0.3829
	300	260	360	0.2626

Cuadro 44. Resultados obtenidos para el PIVA a pH 10 para le tercer muestreo en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto

Pb mg/L	CaCO3 mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1	50	1660	195	0.103
	125	1700	225	0.108
	200	1488	177	0.0877
	300	1656	189	0.1008
0.3	50	1664	180	0.1923
	125	1660	222	0.2423
	200	1608	222	0.2024
	300	1600	204	0.2024
0.5	50	1656	210	0.4384
	125	1708	231	0.3969
	200	1648	189	0.4982
	300	1632	192	0.4092
0.8	50	1660	198	0.74615
	125	1492	210	0.7625
	200	1580	240	0.6445
	300	1560	216	0.8015

Cuadro 45. Resultados obtenidos para el control a pH 3 en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto y organismos muertos durante las pruebas toxicológicas

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L
0.1 Pb	50	0	290	0.1056
	125	0	300	0.1288
	200	0	300	0.0766
	300	0	280	0.1684
0.3 Pb	50	0	240	0.353
	125	0	210	0.2561
	200	0	230	0.208
	300	0	250	0.2942
0.5 Pb	50	0	215	0.3444
	125	0	228	0.4064
	200	0	240	0.3848
	300	0	248	0.3842
0.8 Pb	50	0	220	0.6554
	125	0	235	0.7289
	200	0	250	0.7264
	300	0	270	0.8344

Cuadro 46. Resultados obtenidos para el control a pH 5 en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto y organismos muertos durante las pruebas toxicológicas

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismo muertos
0.1 Pb	50	16	270	0.0493	12
	125	16	279	0.0636	17
	200	20	279	0.0474	16
	300	24	273	0.0367	19
0.3 Pb	50	12	228	0.243	19
	125	12	180	0.1693	12
	200	20	195	0.1214	17
	300	20	204	0.2018	11
0.5 Pb	50	16	204	0.3128	17
	125	16	204	0.3156	13
	200	20	159	0.276	17
	300	20	204	0.3112	8
0.8 Pb	50	16	207	0.5571	16
	125	16	180	0.5511	17
	200	20	177	0.3957	15
	300	24	264	0.5056	14

Cuadro 47. Resultados obtenidos para el control a pH 7 en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto y organismos muertos durante las pruebas toxicológicas

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismo muertos
0.1 Pb	50	36	138	0.0694	8
	125	40	60	0.0942	10
	200	24	51	0.012	10
	300	64	105	0.017	7
0.3 Pb	50	40	100	0.0528	8
	125	64	165	0.1535	9
	200	44	114	0.0121	8
	300	52	150	0.0076	8
0.5 Pb	50	44	120	0.0108	6
	125	48	144	0.0354	6
	200	52	102	0.05	5
	300	76	132	0.0248	5
0.8 Pb	50	44	141	0.0304	7
	125	44	195	0.0105	8
	200	64	189	0.412	9
	300	76	195	0.0605	8

Cuadro 48. Resultados obtenidos para el control a pH 10 en las determinación de Alcalinidad, Dureza, Pb disuelto y organismos muertos durante las pruebas toxicológicas

Pb mg/L	CaCO ₃ mg/L	Alcalinidad mg/L	Dureza mg/L	Pb disuelto mg/L	Organismos muertos
0.1 Pb	50	80	265	0.0796	28
	125	110	240	0.135	24
	200	124	240	0.0898	23
	300	140	207	0.0675	27
0.3 Pb	50	108	183	0.2251	28
	125	116	192	0.2234	23
	200	92	141	0.2178	22
	300	120	198	0.2015	26
0.5 Pb	50	124	150	0.242	27
	125	212	84	0.3064	26
	200	152	165	0.2576	25
	300	204	156	0.2698	29
0.8 Pb	50	284	99	0.5459	29
	125	112	165	0.6469	26
	200	88	87	0.4619	25
	300	144	204	0.2316	30

Anexo B

GRÁFICAS CON LOS RESULTADOS

DE ALCALNIDAD, DUREZA Y pH EN LOS TRATAMIENTOS Y CONTROL

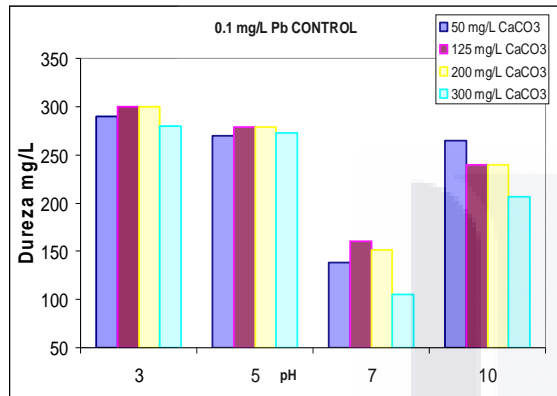


Figura 110. Dureza en Control a 0.1 mg/L de Plomo

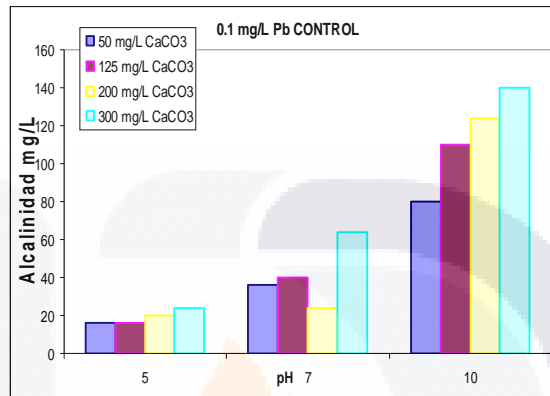


Figura 111. Alcalinidad en Control a 0.1 mg/L de Plomo

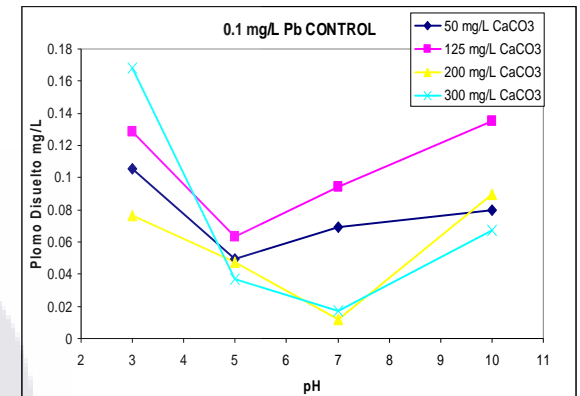


Figura 112. Pb disuelto en Control a 0.1 mg/L de Plomo

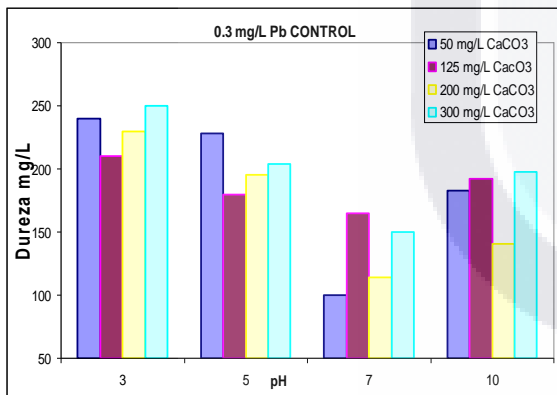


Figura 113. Dureza en Control a 0.3 mg/L de Plomo

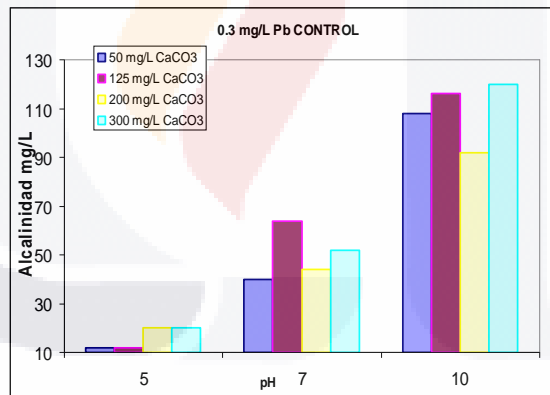


Figura 114. Alcalinidad en Control a 0.3 mg/L de Plomo

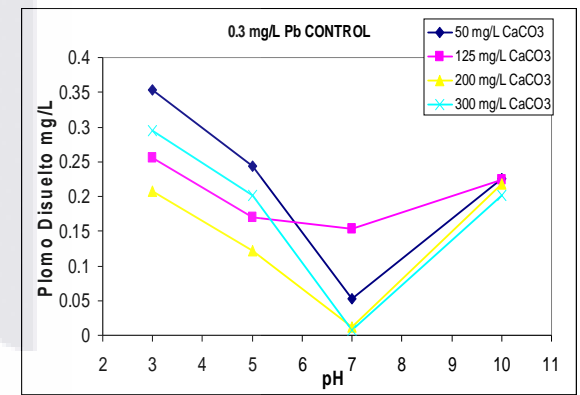


Figura 115. Pb disuelto en Control a 0.3 mg/L de Plomo

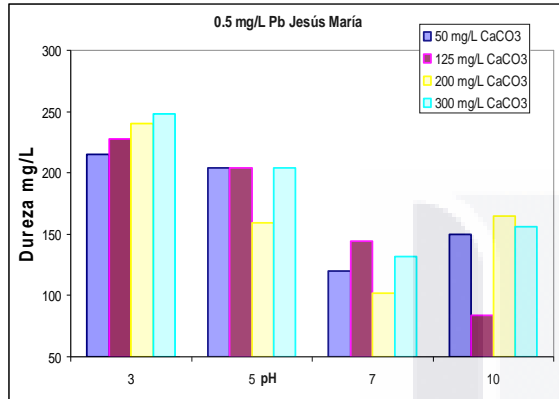


Figura 116. Dureza en Control a 0.5 mg/L de Plomo

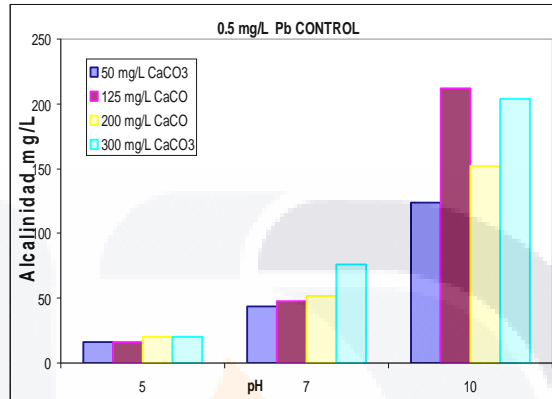


Figura 117. Alcalinidad en Control a 0.5 mg/L de Plomo

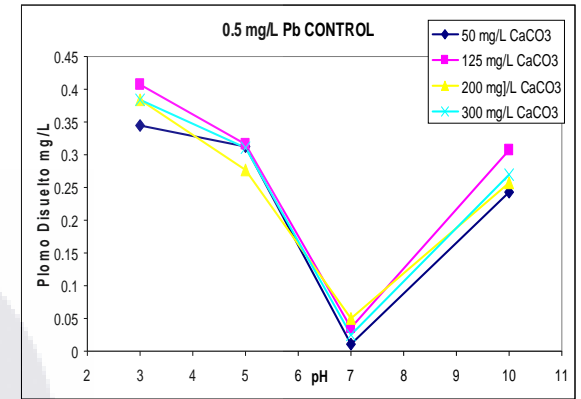


Figura 118. Pb disuelto en Control a 0.5 mg/L de Plomo

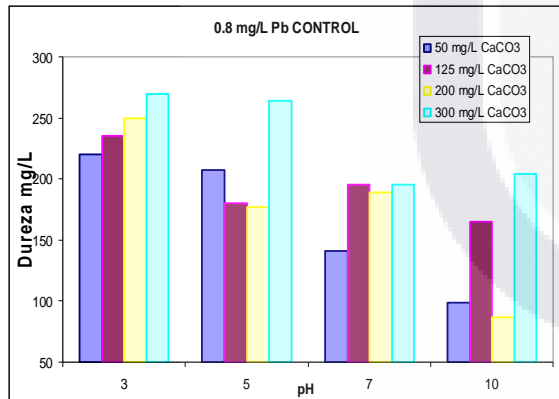


Figura 119. Dureza en Control a 0.8 mg/L de Plomo

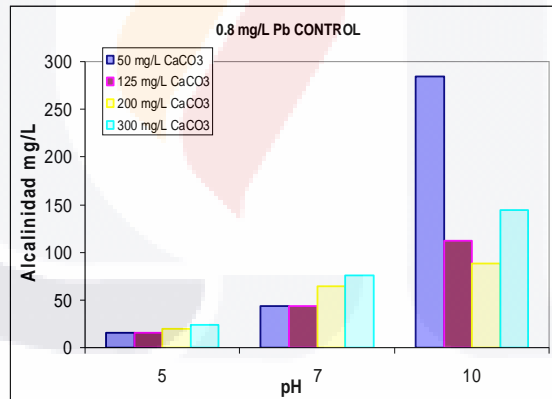


Figura 120. Alcalinidad en Control a 0.8 mg/L de Plomo

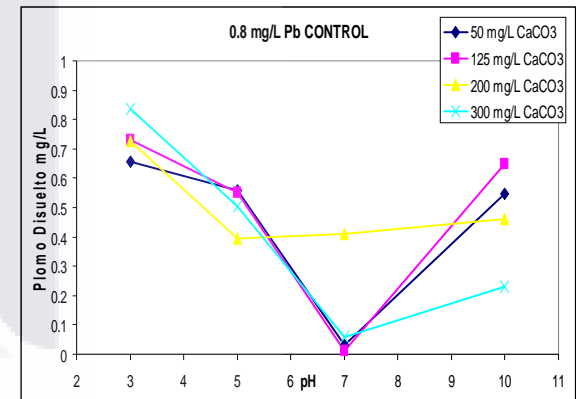


Figura 121. Pb disuelto en Control a 0.8 mg/L de Plomo

