

**Efecto de la contaminación del río Chicamocha – Sector Vado Castro, en el crecimiento de
la lechuga (*Lactuca Sativa L*)**

Ailyn Johana Guerrero Cadavid

Karen Safille Acevedo Pinto

Universidad Nacional Abierta y Aa Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Sogamoso

2021

**Efecto de la contaminación del río Chicamocha – Sector Vado Castro, en el crecimiento de
la lechuga (*Lactuca Sativa L*)**

Ailyn Johana Guerrero Cadavid

Karen Safille Acevedo Pinto

Trabajo para optar al título de Ingeniera Ambiental

Director:

Mery Rocío Fonseca Lara

Universidad Nacional Abierta y A Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Sogamoso

2021

Página de Aceptación

Mery Rocío Fonseca
Director Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

Dedicamos este gran logro primero a Dios quien nos dio y nos ha dado la vida, las posibilidades y las fuerzas para llegar hasta aquí; a él sea toda la gloria de esta victoria tan anhelada para nosotras, pues es él quien con su misericordia nos permite cumplir cada una de nuestras metas.

A nuestros padres por su apoyo, sus oraciones y por haber confiado en nosotras, a nuestra familia y cada una de las personas que tuvieron parte en este éxito, generando en cada una nuevas fuerzas y nuevos ánimos para continuar y cumplir uno de los sueños que todo estudiante tiene tras haber finalizado sus estudios profesionales.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento nuevamente y en primer lugar es también para nuestro gran Dios, nuestro Señor Jesucristo, por su bondad y por su misericordia, por proveer a nuestros padres la economía necesaria para realizarnos como profesionales, por darnos la vida y la salud para poder responder a las exigencias que tiene el crecer intelectualmente y por haber escuchado y respondido cada una de nuestras oraciones cuando necesitamos de su ayuda, sin él todo esfuerzo sería vano, como lo dice en su palabra “sin él nada somos”.

A nuestros padres por su amor y su esfuerzo; sin Dios y sin ellos habría sido casi o tal vez imposible llegar hasta el final; hoy les podemos decir con alegría que ¡lo logramos!

A nuestra tutora, Bióloga Mery Rocío Fonseca Lara, por aportarnos de su conocimiento, su tiempo y todo su esfuerzo; por direccionar, corregir y aconsejar este nuestro proyecto y acompañarnos hasta el final

Agradecemos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD por habernos abierto las puertas de su institución, por habernos dado la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa entidad educativa; fuimos receptoras de todo el potencial que brinda la Universidad. Un día golpeamos sus puertas con anhelo de seguir aprendiendo, y hoy nos llevamos un amplio conocimiento recibido. Pido a Dios nos ayude a dejar en alto el nombre de la Institución

Al Semillero de Investigación Metamorfo ZUEBOY de la CEAD, donde la investigación y la ciencia son un baluarte, agradecerles por tan grande oportunidad que nos dieron; recordaremos siempre con alegría las amistades que allí encontramos y el conocimiento que obtuvimos

A cada profesional que nos enseñó y acompañó a través de la carrera que hoy culminamos,
agradecemos la directriz que tuvimos de ellos en cada una de las materias

A todas las personas que hacen parte de la UNAD, su personal administrativo por su atención amable y oportuna; y a cada compañero y compañera de estudio, gracias por momentos de alegría; esperamos que Dios también a ustedes les ayude a ejercer tan hermosa profesión.

Resumen

Dado el aumento de la contaminación de los afluentes de aguas cercanas a zonas de cultivos agropecuarios, se hace necesario evaluar el efecto de la contaminación en la calidad y salubridad de los productos de consumo humano. El río Chicamocha es considerado como un recurso hídrico importante siendo una de las principales fuentes hídricas del departamento de Boyacá, pero cuenta con un alto nivel de sustancias contaminantes en su recorrido debido a los múltiples vertimientos generados por la industria y actividades antrópicas, lo anterior no solo representa contaminación al recurso hídrico, también causa una problemática al realizar riego directo sobre los cultivos agrícolas, los cuales se encuentran ubicados en los costados del río, el objetivo de la investigación es determinar el comportamiento que genera la contaminación utilizando como indicador biológico semillas de *Lactuca Sativa L.*

En la jurisdicción de Vado Castro del municipio de Tópaga (Boyacá), se encuentra ubicado uno de los tramos más críticos en el trayecto del río, sus aguas son evaluadas y calificadas como contaminadas y de alto riesgo, (TIEMPO, 2007), por este motivo este lugar hace parte de la zona de interés de estudio, de allí se tomaron muestras de agua para posteriormente ser analizadas por medio de bioensayos observando el comportamiento que causa la absorción en las semillas de *Lactuca Sativa L.*, para este primer análisis los ensayos se realizaron en diferentes épocas del año, el segundo análisis que se implementó a la investigación es un estudio especializado en un laboratorio certificado, con el fin de analizar el porcentaje de contaminación de los siguientes parámetros físico-químicos (cloruros, fosfatos, nitratos, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO5, carbono, coliformes fecales, sólidos disueltos, turbiedad).

En el área elegida para el desarrollo de la investigación la agricultura tiene gran importancia en la economía, es considerado un área de base fundamental para la producción agrícola, los cultivos de hortalizas como *Lactuca sativa L* (Lechuga), *Allium Cepa* (cebolla),

Brasica Oleracea Var (brócoli), predominan en la región, creando un factor determinante e intenso en el uso de las aguas de río para la actividad de riego directo a los cultivos considerado como una de las actividades principales en la prestación de servicios de la fuente hídrica. Se desconoce información del estado de contaminación del río, sus posibles efectos directos sobre los cultivos agrícolas, y riesgos en la salud al consumir hortalizas con aguas contaminadas, se requiere generar un conocimiento sobre el estado del río que nos permita identificar los riesgos no solo del punto de vista de la presencia de patógenos sino también desde una perspectiva epidemiológica teniendo en cuenta que se presentan descargas domésticas, industriales, agrícolas y mineras (Corpoboyacá, 2009).

Por lo anterior es importante afirmar que la ejecución de la presente investigación es relevante, ya que al realizar el estudio por medio de pruebas de laboratorio y por medio de bioensayos usando *Lactuca sativa L.* (Lechuga) como medio de indicador biológico, se evaluará la calidad del agua del río Chicamocha, teniendo así el conocimiento pertinente para dar a conocer a los agricultores y comunidad en general del sector Vado Castro los efectos que genera el consumo de hortalizas regadas con aguas contaminadas creando así un estado de conciencia.

Palabras claves: Contaminación, Bioensayos, hipocótilo, radícula, germinación, inhibición.

Abstract

Given the increase in contamination of water tributaries near areas of agricultural crops, it is necessary to evaluate the effect of contamination on the quality and health of products for human consumption. The Chicamocha River is considered an important water resource, being one of the main water sources in the department of Boyacá, but it has a high level of polluting substances in its route due to the multiple discharges generated by industry and anthropic activities, the above does not It only represents contamination to the water resource, it also causes a problem when direct irrigation is carried out on agricultural crops, which are located on the sides of the river, the objective of the research is to determine the behavior that generates contamination using as biological indicator seeds of *Lactuca Sativa L.*

In the jurisdiction of Vado Castro in the municipality of Tópaga (Boyacá), one of the most critical sections of the river is located, its waters are evaluated and classified as polluted and high risk, (TIEMPO, 2007), by this For this reason, this place is part of the area of interest of study, from there water samples were taken to later be analyzed by means of bioassays observing the behavior that causes the absorption in the seeds of *Lactuca Sativa L.*, for this first analysis the tests were carried out at different times of the year, the second analysis that was implemented in the research is a specialized study in a certified laboratory, in order to analyze the percentage of contamination of the following physical-chemical parameters (chlorides, phosphates, nitrates, pH, electrical conductivity, COD, BOD5, carbon, fecal coliforms, dissolved solids, turbidity).

In the area chosen for the development of research, agriculture has great importance in the economy, it is considered a fundamental base area for agricultural production, vegetable crops such as *Lactuca sativa L* (Lettuce), *Allium Cepa* (onion), *Brasica Oleracea Var* (broccoli), predominate in the region, creating a determining and intense factor in the use of river waters for

direct irrigation of crops, considered as one of the main activities in the provision of water source services. Information on the state of contamination of the river, its possible direct effects on agricultural crops, and health risks when consuming vegetables with contaminated water is unknown, it is necessary to generate knowledge about the state of the river that allows us to identify the risks not only of the point of view of the presence of pathogens but also from an epidemiological perspective taking into account that there are domestic, industrial, agricultural and mining discharges (Corpoboyacá, 2009).

Therefore, it is important to affirm that the execution of this research is relevant, since when carrying out the study through laboratory tests and through bioassays using *Lactuca sativa* L. (Lettuce) as a means of biological indicator, the water quality of the Chicamocha river, thus having the pertinent knowledge to make known to the farmers and the community in general of the Vado Castro sector the effects generated by the consumption of vegetables irrigated with contaminated water, thus creating a state of consciousness.

Keywords: Contamination, Bioassays, hypocotyl, radicle, germination, inhibition.

Tabla de Contenido

Resumen	7
Abstract.....	9
Introducción	17
Planteamiento del problema.....	19
Justificación.....	20
Marco de referencia.....	22
Estado del arte	22
Marco Conceptual	25
Marco teórico	27
Marco geográfico	30
Marco Social	35
Marco legal	36
Objetivos	40
General:	40
Específicos:	40
Metodología.....	41
Metodología de germinación de semillas en laboratorio.....	44
Metodología Parámetros de monitoreo:	51
Análisis de varianza ANOVA.....	¡Error! Marcador no definido.
Resultados y discusión	58
CAPÍTULO 1. Análisis de la respuesta en la germinación de semillas de Lactuca sativa L., en relación con la calidad del agua del río Chicamocha, sector Vado Castro.	58
Bioensayo julio 2019.....	58
Germinación	58
Hipocótilo	61
Radícula	64
Bioensayo noviembre 2019	67
Germinación	67
Hipocótilo	71
Radícula	74
Bioensayo marzo 2020	77
Germinación	78
Hipocótilo	82
Radícula	84
Bioensayo julio 2020.....	88
Germinación	90
Hipocótilo	93
Radícula	95

CAPITULO 2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos del río Chicamocha Sector Vado Castro, con respecto a la normatividad vigente que aplique.	99
CAPITULO 3. Relacionar los resultados del bioensayo frente a los parámetros fisicoquímicos	109
CAPITULO 4. identificar las perspectivas que tienen los habitantes del sector Vado Castro, frente al río Chicamocha y su contaminación.	112
Conclusiones	119
Recomendaciones.....	121
Referencias.....	123

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación área de estudio: Colombia, departamento de Boyacá - Vereda Tópaga	27
Figura 2. Mapa Clima del departamento de Boyacá. fuente propia	28
Figura 3. Mapa suelos departamento de Boyacá.	29
Figura 4. Uso de suelos departamento de Boyacá.	30
Figura 5. Hipocótilo y radícula, estadios por los que atraviesa la semilla durante el ensayo de germinación y elongación (Castillo Morales, 2004).	39
Figura 6. Materiales	
Figura 7. Toma de muestra de agua	40
Figura 8. Preparación disoluciones	43
Figura 9. Montaje del bioensayo	43
Figura 10. Ubicación de las semillas	44
Figura 11. Conservación de temperatura	45
Figura 12. Medición	45
Figura 13. Resultados ANOVA germinación Julio 2019	53
Figura 14. Dosis respuesta germinación julio 2019.	54
Figura 15. Resultados ANOVA hipocótilo Julio 2019.	56
Figura 16. Dosis respuesta hipocótilo julio 2019.	57
Figura 17. Resultados ANOVA radícula Julio 2019	59
Figura 18. Dosis respuesta radícula julio 2019.	60
Figura 19. Resultados ANOVA germinación noviembre 2019	62
Figura 20. Dosis respuesta germinación noviembre 2019.	63
Figura 21. Resultados ANOVA hipocótilo noviembre 2019	65
Figura 22. Dosis respuesta hipocótilo noviembre 2019.	66
Figura 23. Resultados ANOVA radícula noviembre 2019	68
Figura 24. Dosis respuesta radícula noviembre 2019.	69
Figura 25. Resultados ANOVA germinación marzo 2020	72
Figura 26. Dosis respuesta germinación marzo 2020.	74
Figura 27. Resultados ANOVA hipocótilo marzo 2020	76
Figura 28. Dosis respuesta hipocótilo marzo 2020	77
Figura 29. Resultados ANOVA radícula marzo 2020	78

Figura 30. Dosis respuesta hipocótilo marzo 2020.	80
Figura 31. Resultados ANOVA germinación julio 2020	83
Figura 32. Dosis respuesta germinación julio 2020.	85
Figura 33. Resultados ANOVA hipocótilo julio 2020	86
Figura 34. Dosis respuesta hipocótilo julio 2020.	88
Figura 35. Resultados ANOVA radícula julio 2020	89
Figura 36. Dosis respuesta hipocótilo julio 2020.	90
Figura 37. Comparación de resultados generados por la evaluación en el laboratorio certificado, frente a los valores paramétricos permisibles según normatividad.	95

Lista de tablas

Tabla 1. Estaciones meteorológicas en la zona de estudio.	28
Tabla 2. Uso actual del suelo.	29
Tabla 3. Marco legal	32
Tabla 4. Disoluciones y réplicas.	43
Tabla 5. Ejemplo análisis de varianza ANOVA	51
Tabla 6. Resultados análisis de varianza ANOVA germinación julio 2019	53
Tabla 7. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de germinación julio 2019	54
Tabla 8. Resultados análisis de varianza ANOVA hipocótilo julio 2019	56
Tabla 9. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de hipocótilo julio 2019.	57
Tabla 10. Resultados análisis de varianza ANOVA radícula julio 2019	59
Tabla 11. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de radícula julio 2019	60
Tabla 12. Resultados análisis de varianza ANOVA germinación noviembre 2019	62
Tabla 13. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de germinación noviembre 2019.	64
Tabla 14. Resultados análisis de varianza ANOVA hipocótilo noviembre 2019	65
Tabla 15. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de hipocótilo noviembre 2019.	67
Tabla 16 . Resultados análisis de varianza ANOVA radícula noviembre 2019	68
Tabla 17. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de radícula noviembre 2019	70
Tabla 18. Numero de semillas germinadas en tres réplicas de control positivo	72
Tabla 19. Resultados análisis de varianza ANOVA germinación marzo 2020	73
Tabla 20. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de germinación marzo 2020.	74
Tabla 21. Resultados análisis de varianza ANOVA hipocótilo marzo 2020	76
Tabla 22. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de hipocótilo marzo 2020.	77
Tabla 23. Resultados análisis de varianza ANOVA radícula marzo 2020.	79
Tabla 24. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de radícula marzo 2020	80
Tabla 25. Número de semillas germinadas	83

Tabla 26. Disolución que, en lugar de diluir el crecimiento del hipocótilo, causó una alteración de este.	83
Tabla 27. Resultados análisis de varianza ANOVA germinación julio 2020	84
Tabla 28. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de germinación marzo 2020.	85
Tabla 29. Resultados análisis de varianza ANOVA hipocótilo julio 2020	87
Tabla 30. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de hipocótilo julio 2020.	88
Tabla 31. Resultados análisis de varianza ANOVA radícula julio 2020.	90
Tabla 32. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de radícula marzo	91
Tabla 33. Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos por parte de laboratorio certificado.	94
Tabla 34. Valoración paramétrica para evaluar calidad del agua según normatividad vigente versus resultados de análisis por laboratorio certificado.	95

Introducción

El río Chicamocha es considerado un recurso hídrico importante en la zona Sugamuxi del departamento de Boyacá. En su trayecto se realizan descargas contaminantes generadas por actividades domésticas, industriales agrícolas y mineras. En varios puntos del río, las aguas residuales son vertidas sin ningún tipo de tratamiento considerándose una cuenca vulnerable, su estado de conservación ha disminuido crecientemente y la capacidad de autodepuración del río en varios tramos ha sido superada. Existe un aprovechamiento del recurso hídrico, donde se ve afectada una de las principales actividades que se realizan, el riego a los cultivos agrícolas (CORPOBOYACA, 2009).

El sector Vado Castro ubicado en el municipio de Tópaga (Boyacá), es considerado uno de los tramos más contaminados en el trayecto del río, en sus características físicas se observa un lodo de color negro y olor fuerte desagradable, por su estado se evalúa y se califica como contaminada y con mayor nivel de riesgo, convirtiéndose en una problemática para la comunidad no solo de tipo epidemiológico, también sanitario generado por la actividad de riego directo a los cultivos, contaminando los alimentos y a la vez a sus consumidores, en la zona predominan cultivos de hortalizas (lechuga, cebolla, brócoli). Ubicados a escasos metros del afluente. (CORPOBOYACA, 2009).

Una metodología utilizada para evaluar la calidad de agua son los bioensayos de germinación de semillas de especies sensibles como lechuga. Los bioensayos de germinación de estas especies son una herramienta de bajo costo y fáciles de aplicar que resultan sumamente útiles para el diagnóstico de la calidad de agua (Lallana *et al.*, 2013).

Lactuca sativa L., comúnmente llamada como lechuga, es una especie sensible ante la presencia de contaminantes en el agua, se han observado en bioensayos con esta especie que permiten identificar un índice biológico para conocer y evaluar las condiciones de contaminación

del agua del río en los primeros días de su crecimiento observando la presencia de sustancias contaminantes que influyen alterando la supervivencia y el desarrollo normal del crecimiento de la radícula e hipocótilo.

Los ensayos realizados en la presente investigación están basados en la germinación de las semillas donde se pueden retardar o inhibir los procesos de elongación de la radícula e hipocótilo, de esta manera se constituye un indicador que permite evaluar los efectos y aporta información al estudiar el proceso de germinación. El desarrollo de la planta presenta cambios importantes en los procesos fisiológicos los primeros 5 días (120 horas) la presencia de sustancias contaminantes influye alterando la supervivencia y el desarrollo normal del crecimiento de la radícula e hipocótilo, esta es una etapa de sensibilidad frente a factores externos adversos, luego se realizan mediciones de la semilla para evaluar el efecto de contaminación (Gabriela Castillo Morales, 2004)

Planteamiento del problema

El río Chicamocha es uno de los cuerpos de agua más importantes del departamento de Boyacá, sin embargo, también es uno de los más contaminados, no solo a escala regional sino nacional. Desde su nacimiento, el río recibe importantes descargas de contaminantes tipo doméstico hasta industriales (Chacón, Bonilla & Lizarazo, 2017). Dentro de la cuenta alta del río Chicamocha, el sector vado castro es uno de los tramos más críticos debido a que aguas arriba se realizan descargas de grandes industrias del departamento de Boyacá, (Acerías Paz del río, Cementos Argos, HOLCIM, y demás empresas que hacen parte del corredor industrial), esto ha generado una mayor fuente de impactos ocasionados en la fuente hídrica.

El sector de Vado Castro, zona de estudio de este trabajo, se caracteriza por tener en su población productores agrícolas, personal que realiza la extracción de minerales de la tierra y también otros que se dedican a la actividad ganadera (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2006). Teniendo en cuenta que en esas actividades se encuentran las mayores fuentes de ingreso para los habitantes de la zona, los impactos causados no se tornan ocultos, sino que por lo contrario son susceptibles a la vista humana.

Debido a que los agricultores realizan sus actividades de riego de forma directa, usando como fuente de captación el agua del río Chicamocha sin ningún tipo de tratamiento, en esta investigación se pretende evaluar la calidad del agua del río en el sector de Vado Castro implementando bioensayos con *Lactuca Sativa L.* (Lechuga) en diferentes épocas del año, analizando así, el porcentaje de inhibición del agua contaminada con relación a las hortalizas. Así mismo, se tienen en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos como complemento del análisis de la calidad del agua en este sector y desde la academia información indispensable para transmitir la información a los habitantes del sector y así lograr unas posibles estrategias para la mitigación de los impactos ambientales generados.

Justificación

Boyacá se ha caracterizado por ser un departamento rico en recursos naturales y con una posición geográfica privilegiada que ha contribuido en el desempeño de un alto porcentaje de producción agrícola, esta actividad hace parte de una de las principales fuentes de la economía de Boyacá determinada por la diversidad de cultivos en las cadenas productoras de hortalizas, frutas, cacao, café, entre otros. (BOYACÁ, 2018). En el sector Vado Castro del municipio de Tópaga predominan los cultivos de hortalizas como *Lactuca Sativa L* (lechuga) *Allium Cepa* (cebolla) *Brasica Oleracea Var* (brócoli).

La fuente hídrica río Chicamocha se origina en el municipio de Tuta y en el río Jordán en Tunja, desde allí drena aproximadamente la tercera parte del departamento de Boyacá y satisface diferentes demandas existentes en su trayectoria.

De acuerdo con el decreto 1594 de 1984 los usos para los cuales están destinadas las aguas de la cuenca alta río Chicamocha son: consumo humano y doméstico, agrícola, pecuario, recreativo y estético, asimilación, dilución e industrial. La demanda de agua solicitada o utilizada para consumo humano por distintos municipios de la región alcanza los $0.72\text{m}^3/\text{s}$ y el uso intenso de sus aguas para la actividad de riego directo sobre los cultivos agrícolas es considerado como una de las actividades principales en la prestación de servicio de la fuente hídrica. (Medina, Montaña, Rozo, & Riveros, 2011)

Desde su inicio en Tunja, el río presenta una contaminación progresiva por vertimientos sin control, sus aguas cristalinas se aprecian solo los primeros 50 metros desde su nacimiento (Manrique Abril, Manrique Abril, Manrique Abril, & Tejedor Bonilla, 2007) , al realizar el paso por la vereda Vado castro Tópaga se observa en su estado un color negro, lodo y mal olor debido a las grandes descargas que se realizan sin control en las diferentes actividades antrópicas;

industria, domesticas, agrícolas y mineras. Aguas arriba del área de estudio se encuentran ubicadas grandes industrias del departamento.

Al realizar el presente estudio se evaluará la contaminación del agua en el río Chicamocha sector Vado Castro Tópaga a través de análisis de laboratorio y bioensayos con *Lactuca Sativa L* como medio de indicador biológico, permitiendo obtener conocimiento pertinente para identificar la contaminación presente en la fuente hídrica específicamente en el área de estudio Vereda Vado Castro.

Marco de referencia

Estado del arte

EL riesgo ecológico se define como el procedimiento para calcular la probabilidad de ocurrencia de que un impacto negativo se presente en cualquiera de los elementos de un ecosistema pudiendo ser ejercido en las especies individuales, en grupos de especies o en diferentes niveles tróficos. (Mohammad Badii, 2005).

Ahora bien, en un ámbito mundial se puede considerar que estos implican un efecto negativo caracterizándose por medio del uso de bioensayos sean acuáticos tales como: algas, peces adultos y embriones; o terrestres tales como: semillas, plantas o lombrices de tierra cada uno dependiendo del tipo de análisis que se requiera. (Murialdo, 2016). Por lo consiguiente cada uno de los países del mundo evidenciaron los efectos que pueden tener y lo perjudiciales que pueden llegar a ser para la vida de los seres humanos, por lo cual Colombia no se quedó atrás, sino que por lo contrario a medida que va pasando el tiempo desde ese entonces se han venido realizando estudios pertinentes con bioensayos según sea el objetivo. También es correcto afirmar que se cuenta con entidades calificadas las cuales son las encargadas de vigilar el buen manejo de los recursos hasta su disposición final.

El uso de los bioensayos con semillas de *Lactuca sativa L.* resulta una herramienta apreciable para detectar cambios en la calidad del agua para la agricultura. El crecimiento de raíz e hipocótilo, y otros estudios afirman que sales como el SO K aceleran su crecimiento (Fotti *et al.*, 2005) y los NO₃ - (Rodríguez Romero *et al.*, 2014) parecen tener un efecto estimulante sobre la germinación (IG) y el desarrollo radical (IER) en semillas de lechuga. (Rossen *et al.* 2017), observaron en la cuenca del río Tunuyán que la sobre estimulación del crecimiento de raíz e hipocótilo de *Lactuca sativa L.* fue debido a la presencia de sales, aún más frecuente que la

inhibición, y esto probablemente fue debido a la mayor concentración de nutrientes en el agua. (Martin, Pozo, Mariani, & Hernández, 2018).

La germinación de semillas y la prueba de la elongación radical son de los más simples y recomendados para el biomonitorio ambiental. Los objetivos consistieron en evaluar la toxicidad de las aguas del Río Chalma a través de un bioensayo con *Lactuca sativa L.* y establecer un índice biológico que permita conocer y evaluar las condiciones de contaminación del agua de este río. Se eligieron seis sitios de monitoreo representativos a lo largo del cauce, cuatro de ellos ubicados en el Estado de México y dos en el estado de Morelos. (Rodríguez, Salazar, Ruiz, & López, 2014)

El presente es un estudio realizado en el agua del Rio Motagua, en diez puntos de muestreo ubicados en su cauce principal, presentando todos los parámetros analizados tales como: nivel de fosforo, nitrógeno, sólidos totales, sólidos sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, conductibilidad, potencial del ion hidrógeno (pH) y nivel de grasas y aceites, medición de coliformes totales y coliformes fecales. Se observa que los niveles de sólidos totales superan en casi todos los puntos, el límite máximo permisible propuesto por la comisión Guatemalteca de normas (COGUANOR), que es de 1000mg/L, además de detectarse la presencia de coliformes totales (partículas suspendidas) en niveles muy altos (unión de partículas formando masas las cuales se encuentran suspendidas en la superficie de la fuente hídrica), con aislamiento de E- Coli, lo cual puede causar enfermedades gastrointestinales a las personas que la consuman . (Torres, 2008)

Otro trabajo realizado por Rodríguez *et al.* (2014), analizaron la integración de las diferentes respuestas biológicas que se observaron en el bioensayo de *Lactuca sativa* permitió identificar tres zonas en el Río Chalma. Una zona eutrofizada en la parte alta del río por efecto de una carga elevada de nutrientes con altas concentraciones de nitrógeno amoniacal. Una zona

media caracterizada por una fitotoxicidad moderada que inhibe tanto los procesos de germinación como de crecimiento de la radícula de *Lactuca sativa L.* y finalmente una parte baja con mínima fitotoxicidad. La integración de todas las respuestas medidas en el bioensayo con *L. sativa* permitió identificar que uno de los escenarios está sujeto a un conjunto de agentes estresantes que inhiben de forma significativa tanto la germinación como el crecimiento radicular. (Rodríguez et al., 2014)

El bioensayo con semillas de *Lactuca sativa L* realizado por Giraldo y Chiriví (2018), consistió en la exposición de semillas certificadas a una muestra e agua del río, en diferentes concentraciones y utilizando dos controles de agua salina y agua potable, . se observó una evidente inhibición de la germinación llegando a un máximo de 30% y que tiende a disminuir a medida que disminuye la concentración de la muestra colectada también se observó una afectación en la longitud radicular dada por la inhibición radicular de 52,4% en la concentración más alta de la muestra. Morfológicamente, se encontró evidencia de la toxicidad sobre las semillas al observa ápices radiculares con necrosis, poco desarrollo de los pelos absorbente de la raíz y necrosis en al menos uno de los cotiledones. (Giraldo y Chiriví, 2018).

Se han encontrado altos contenidos de coliformes fecales y coliformes totales; la sola presencia de estos microorganismos en el agua es indicador cualitativo de contaminación, por lo que aun las aguas con niveles bajos de coliformes son consideradas contaminadas; sin embargo, cuando aumenta la presencia de coliformes en el agua, aumenta también la probabilidad de que esta contenga algún microorganismo patógeno. Los resultados de los análisis revelan una contaminación casi generalizada de estos microorganismos. Los altos niveles de contaminación de origen fecal hacen necesario un estricto control de la calidad microbiológica del agua. (Corpoboyacá, 2009)

La germinación de semillas y la prueba de la elongación radical son de los indicadores más simples del biomonitorio ambiental (Wang et al., 2001; Mahmood et al., 2005; Di Salvatore et al., 2008; Ling et al., 2010).

Entre los métodos usados para la evaluación de la calidad del agua encontramos la evaluación de fitotoxicidad como son el de germinación de semillas y la prueba de la elongación radicular. (Arguello, 2018).

Marco Conceptual

Actividad antrópica

Cualquier acción o intervención realizada por el ser humano sobre la faz del planeta. Son actividades antrópicas, por ejemplo: la deforestación, la pesca, la agricultura, la mayoría de las emisiones de gases de carbono a la atmósfera (de origen fabril, vehicular, etc.) (UNAM, 2020)

Análisis estadístico

Evaluación de resultados de un proceso donde se interpretan resumiendo la información o situación de una forma coherente para así lograr un perfecto análisis. (Hernández Matín, 2020).

Análisis físico y químico del agua

Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas. (MADS, 2007)

Análisis microbiológico del agua

Son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos. (MADS, 2007).

Alimento contaminado

Alimento que contiene agentes y/o sustancias extrañas de naturaleza en cantidades superiores a las permitidas en las normas nacionales, o en su defecto en normas reconocidas internacionalmente. (Salud, 2013)

Bioensayo

Es el uso de un organismo vivo usado como agente de prueba para la presencia o concentración de un compuesto sea de efecto químico o de efecto ambiental. (UABC, 2015)

Enfermedades de transmisión alimentaria (ETA)

Son producidas por la ingestión de alimentos y/o agua contaminados con agentes infecciosos específicos tales como bacterias, virus, hongos, parásitos, que en la luz intestinal pueden multiplicarse o lisarse y producir toxinas o invadir la pared intestinal y desde allí alcanzar otros aparatos o sistemas. (Salud, 2013).

Hipocótilo

Término botánico que designa a la porción del eje del embrión de una planta o plántula que se localiza por debajo de los coloides, en contraposición con el epicótilo que se localiza por encima de éstos. (chile, 2001)

Radícula

Parte que corresponde al embrión de una planta que al desarrollarse da lugar a la raíz, por lo que significa relativo a las raíces. (chile, 2001)

Marco teórico

Río Chicamocha

Es importante mencionar que el río Chicamocha es considerado un recurso hídrico importante en la zona Sugamuxi del departamento de Boyacá. En su trayecto se realizan descargas contaminantes generadas por actividades antrópicas. En varios puntos del río las aguas residuales son vertidas sin ningún tipo de tratamiento considerándose una cuenca vulnerable, su estado de conservación ha disminuido crecientemente y la capacidad de autodepuración del río en varios tramos ha sido superada. Existe un aprovechamiento del recurso hídrico, donde se ve afectada una de las principales actividades que se realizan, el riego a los cultivos agrícolas. El sector Vado Castro Tópaga es considerado uno de los tramos más contaminados en el trayecto del río, en sus características físicas se observa un lodo de color negro y olor fuerte desagradable, por su estado se evalúa y se califica como contaminada y con mayor nivel de riesgo, convirtiéndose en una problemática para la comunidad no solo de tipo epidemiológico, también sanitario ya que se puede generar por la actividad de riego directo a los cultivos, contaminando los alimentos y a la vez a sus consumidores, en la zona predominan cultivos de hortalizas (lechuga, cebolla, brócoli). Ubicados a escasos metros del afluente. (Corpoboyacá, 2009).

Tóxicos ambientales

Son sustancias que se han introducido en el medio causando una actividad nociva específica. Estas sustancias pueden ser encontradas en distintos entornos: en atmósfera, en aguas subterráneas y superficiales y en el suelo. Además, puede desplazarse de un medio a otro, e incluso, introducirse en las cadenas tróficas. Esta distribución depende de las características fisicoquímicas del tóxico. Muchos de ellos se caracterizan por una alta permanencia en el medio

ambiente (ATSDR, 2019). También pueden tener carácter acumulativo. En la actualidad, los altos niveles de contaminación están provocando el incremento de enfermedades causadas por una exposición prolongada a estos tóxicos en pequeñas dosis. Las enfermedades más frecuentes que provocan son enfermedades cancerígenas.

Bioensayo en *Lactuca sativa L*

El uso de los bioensayos con semillas de *Lactuca sativa L* resulta una herramienta apreciable para detectar cambios en la calidad del agua para la agricultura. El crecimiento de raíz e hipocótilo permiten observar una estimulación en el crecimiento y germinación y esto probablemente es debido a la mayor concentración de nutrientes en el agua. (Martin, Pozo, Mariani, & Hernández, 2018)

La germinación de semillas y la prueba de elongación radicular son de los más simples y recomendados para el biomonitoreo ambiental. Los objetivos consisten en evaluar la toxicidad de las aguas del río a través de un bioensayo estableciendo un índice biológico que permite conocer y evaluar las condiciones de contaminación del agua. (Martin, Pozo, Mariani, & Hernández, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, los bioindicadores son organismos o comunidades de estos que a través de su presencia indican el nivel de preservación o el estado de un hábitat (Morais et al., 2009). El bioindicador ideal es aquel que tiene tolerancias ambientales estrechas (Zúñiga de Cardozo y Caicedo 1997), es decir, son sensibles a las alteraciones de los factores físicos y químicos del medio en el que viven. Los bioindicadores miden los efectos de la contaminación en el ambiente y en los propios seres vivos, por tanto, ofrecen información sobre los riesgos para otros organismos, el ecosistema y también para el ser humano (Anze et al., 2007). Las especies bioindicadoras son aquellas que pueden vivir bajo condiciones ambientales

relativamente particulares (Segni ni 2003). Por sus características como sensibilidad a contaminantes, dispersión, éxito reproductivo, distribución, las especies bioindicadores pueden ser utilizadas como estimadoras de las condiciones ambientales que resulten complicadas y costosas de medir (Isasi-Catalá 2010).

Mediante un sistema de bioindicación, la información taxonómica se traduce en un índice, lo que facilita la interpretación de un gran número de datos que resultan de los llamados monitoreos biológicos (Gutiérrez et al., 2004). Los bioindicadores son una medida indirecta de lo que se quiere medir, su uso se fundamenta en la suposición de que la presencia o la abundancia de una especie, o un determinado conjunto de especies, esté correlacionado con una o muchas variables del ecosistema que le son favorables para su sobrevivencia; de esta forma se establece una asociación estadística entre el bioindicador y las variables que se quiere indicar (Ribera y Foster 1997).

El bioensayo con semillas de *Lactuca Sativa L* consiste en la exposición de semillas certificadas a una muestra de agua del río, en diferentes concentraciones y utilizando controles de agua salina y agua potable, observando una evidente inhibición de la germinación llegando a un máximo de 30% y que tiende a disminuir a medida que disminuye la concentración de la muestra colectada también; se observa una afectación en la longitud radicular dada por la inhibición radicular de 52.4% en la concentración más alta de la muestra, morfológicamente se evidencia la toxicidad sobre las semillas al observar ápices radiculares con necrosis, poco desarrollo de los pelos absorbentes de la raíz y necrosis en al menos uno de los cotiledones (Giraldo y Chiriví, 2018)

Entre los métodos usados para la evaluación de la calidad del agua encontramos la evaluación de fitotoxicidad como son el de germinación de semillas y la prueba de la elongación radicular. (Arguello, 2018).

Lactuca sativa L

Es conocida comúnmente como lechuga, es una planta herbácea pertenece al reino *plantae*, clase *magnoliopsida* y su familia es *asteraceae*, es ampliamente conocida y se cultiva en casi todos los países del mundo. Presenta gran diversidad de variedades determinadas por su tipo de hoja y hábitos de crecimiento, es una planta con raíz pivotante y ramificada de unos 25 cm de profundidad corta y con ramificaciones, contiene alto porcentaje de agua (90-95%). Esta planta es muy exigente y al consumir más va a absorber más magnesio, por lo que es necesario equilibrar esta posible carencia al abonar el cultivo, es muy exigente en molibdeno durante la primera etapa del desarrollo. También se considera una especie sensible ante la presencia de contaminantes en el agua, se han observado en bioensayos con esta especie que permiten identificar un índice biológico para conocer y evaluar las condiciones de contaminación del agua del río en los primeros días de su crecimiento observando la presencia de sustancias contaminantes que infieren alterando la supervivencia y el desarrollo normal del crecimiento de la radícula e hipocótilo.

Marco geográfico

Se estableció como punto de muestreo el río Chicamocha a la altura de la localidad vereda Vado Castro del municipio de Tópaga departamento de Boyacá. Específicamente en el tramo del sector relacionado con la presente delimitación 5° 46' 8,85" N - 72° 51' 57,49" O (Google, s.f.). A una temperatura ambiente promedio de 20°C. (Accu Weather, 2018).

Tópaga es un municipio que se caracteriza por la explotación y comercialización de carbón con las empresas industriales que se encuentran ubicadas en la región siendo esta actividad su principal fuente económica basándose así su fuente de desarrollo. Se encuentra ubicado en la provincia de Sugamuxi, situándose a 98 km al noreste de Tunja con una altura de

2.900 metros a nivel del mar según el Consejo Municipal de Gestión Del Riesgo de Desastres (CMGRD - TÓPAGA).

Tiene una extensión de 37 km², perteneciente a la cordillera oriental, pasando por estas tres fuentes hídricas importantes en la región como lo son: río Chicamocha, Gámeza y Monguí. Tópaga se encuentra en una zona donde hay acuíferos con condiciones altas de almacenamiento. Dentro del Esquema de Ordenamiento Territorial y el Plan de saneamiento Básico de vertimientos del Municipio de Tópaga no se encuentra más información sobre la hidrogeología del Municipio. (CMGRD-TÓPAGA, 2015).

A continuación, en la Figura 1, se observa la localización del área de estudio.

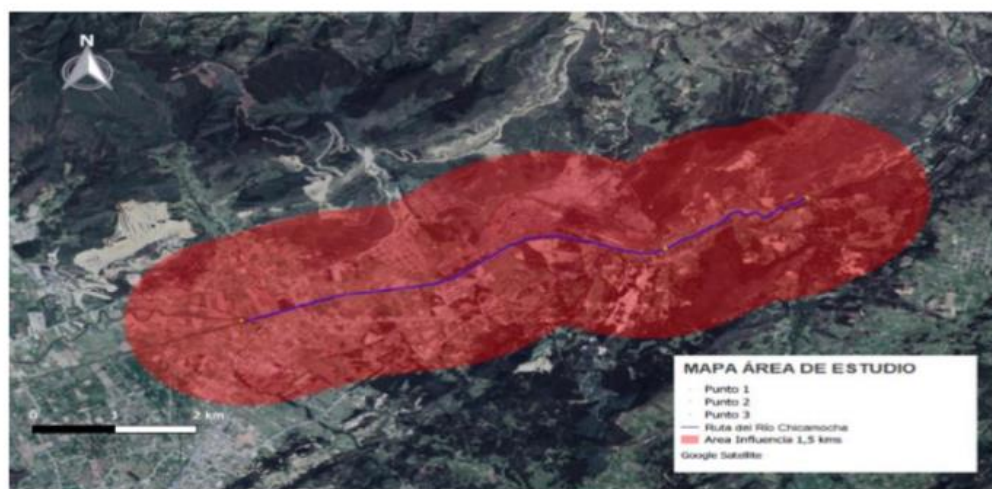


Figura 1. Ubicación área de estudio: Colombia, departamento de Boyacá - Vereda Tópaga

Fuente: (Corregidor, C. 2021)

Climatología

En la **tabla 1**, daremos a conocer las estaciones climatológicas de la zona de estudio, según IDEAM:

Tabla 1. Estaciones meteorológicas en la zona de estudio.

Estación	Ubicación
Monguít	Monguít - Boyacá
Mongua	Mongua - Boyacá
Nimicia	Gámeza - Boyacá

Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la figura 2, se indica el mapa de climas del departamento de Boyacá.

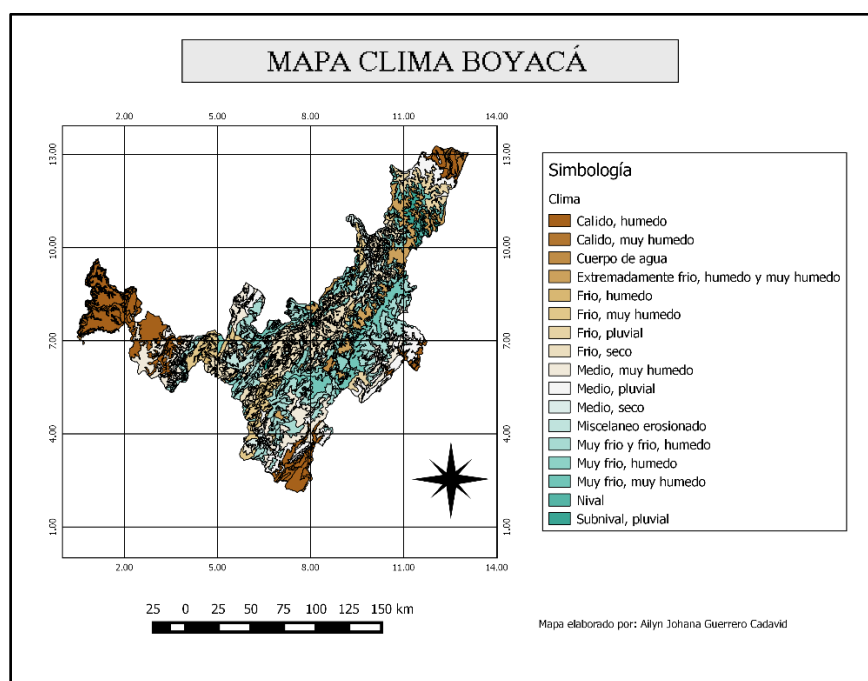


Figura 2. Mapa Clima del departamento de Boyacá.

Fuente. Elaboración propia

Uso de suelos

En base a que en la zona de estudio su principal actividad económica es la agricultura se realizó la siguiente lista de actividades agrícolas, pero también las pecuarias, industriales y de producción.

Tabla 2. Uso actual del suelo.

Sector primario	Sector Secundario	Sector Terciario
Siembra de cebolla	Minería, explotación y lavado de arena	Servicios educativos
Cultivo de lechuga	Minería, explotación y transporte de acero - Acerías Paz del Río	Panadería
Cultivo de maíz	Cementos Argos	Restaurantes
Cultivo de repollo	Acopios de carbón	Hoteles
Cultivo de papa	Explotación de Arcilla	Supermercados
Cultivo de pasto	Venta de animales de pastoreo	Misceláneas
Cultivo de arveja	Lácteos	Ferreterías
Cultivo de frijol	Estación de servicio de gasolina	Centro recreacional y vacacional
Ovinos	Talleres de mecánica eléctrica	Confección de ropa
Ganadería	Empacamiento y venta de productos agrícolas	Discotecas
Lote de gallinas	Beneficio animal	Centro de eventos
Sembrado de plantas	Fabricación de productos militares de combate	Academias deportivas

Fuente: (Corregidor Fonseca, Camilo Alejandro, 2019)

Teniendo en cuenta la información de la **tabla 2**, se da a conocer el mapa de suelos de Boyacá (**Figura 3**) y mapa de uso de suelos de Boyacá (**Figura 4**):

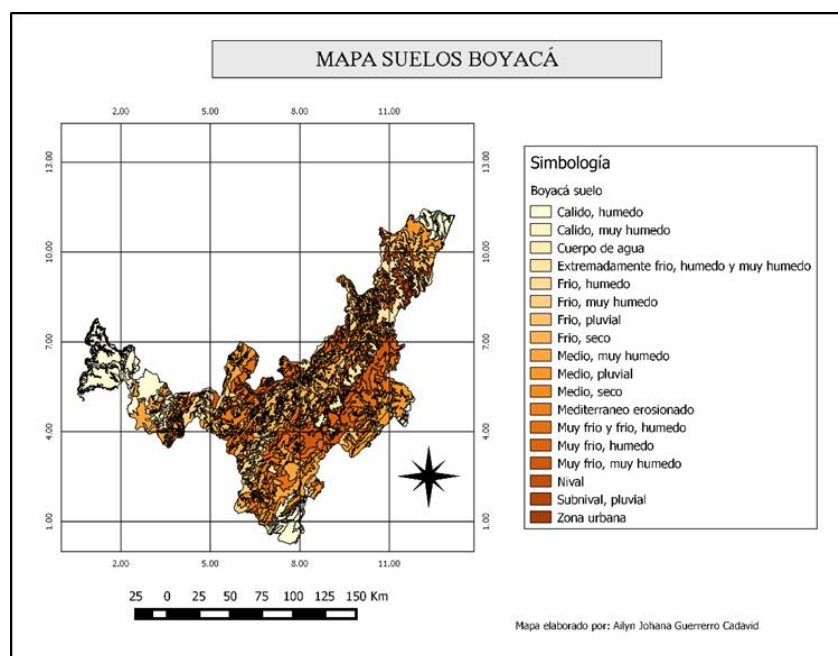


Figura 3. Mapa suelos departamento de Boyacá.

Fuente: Elaboración propia

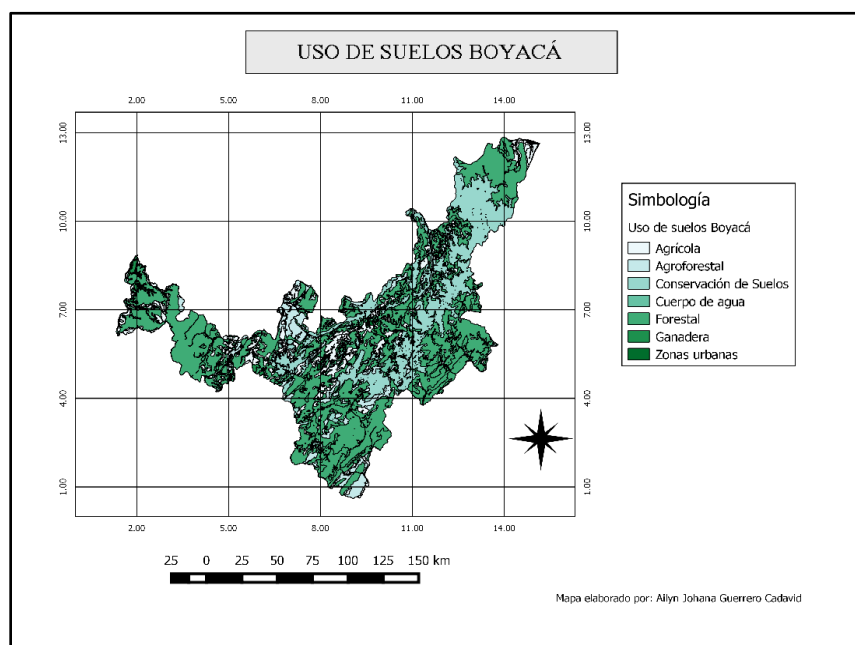


Figura 4. Uso de suelos departamento de Boyacá.

Fuente: Elaboración propia

Marco Social

Según el último registro del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). En los rangos de edad de los habitantes del municipio de Tópaga se ve un porcentaje el cual se clasifica de la siguiente manera: la mayor cantidad de la población pertenece a menores de 15 años con un 29% entre estudiantes y jóvenes sin acceso a la educación. La población perteneciente a los rangos de edad entre los 16 a 25 años corresponde a un 26%, las edades entre 26 y 50 años corresponden a un 28% y la edad madura con un porcentaje de 17%.

Las viviendas donde residen los habitantes de la región a trabajar (Vado Castro), por lo general se encuentran fabricadas con materiales resistentes como ladrillo y placa, según normas dadas las normas por el municipio, pero sin obligación de realizar un plan arquitectónico para evaluar su suelo (CMGRD-TÓPAGA, 2015). Cabe mencionar que los habitantes de las diferentes veredas pertenecientes al municipio utilizan como material de combustible el carbón, la leña y gas. Siendo el carbón su principal combustible ya que es el principal recurso explotado y comercializado, pero no es su única fuente de ingreso ya que se dedican a la agricultura, cultivando alimentos tales como: cebolla, hortalizas, papa, maíz, entre otros; como también productos lácteos. Por otro lado, en la zona Sugamuxi se conoce a Tópaga como el municipio que realiza figuras talladas en carbón, las cuales tiene un alto nivel de creatividad generando así otra fuente para adquirir una estabilidad económica.

Marco legal

Tabla 3. Marco legal

Normatividad	Campo de aplicación
<p>Decreto 155 de 2004:</p>	<p>“Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.”</p> <p>(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004). El presidente de la república de Colombia estipula en el presente decreto por medio del Artículo 5°, donde se estipula un cobro por la utilización de aguas superficiales por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas; y la cuenca del Río Chicamocha al ser una fuente hídrica superficial, la cual vierte a diferentes cauces hídricos naturales continuos, por lo cual las personas que hacen uso de esta cuenca se ven sujetas al cumplimiento de esta normativa.</p>
<p>Decreto 1480 de 2007</p>	<p>El 4 de mayo del 2007 se dio a conocer por medio del presente decreto la declaración donde las autoridades competentes deben iniciar un ordenamiento y también un manejo óptimo para prevenir los riesgos en las cuencas hidrográficas a nivel Colombia, donde la cuenca del río Chicamocha se encuentra incluida, haciéndola parte también del Plan de Gestión Ambiental Regional. (Ministerio de Ambiente, 2007).</p>

Decreto 1575 de 2007 Por medio del ministerio de la protección social teniendo como líder al presidente de la república (vigencia año 2007), “se establece el Sistema para la Protección y control de la Calidad del Agua para Consumo Humano” (Decreto 1575, 2007), donde se menciona cuáles son los parámetros específicos y la calidad de agua óptima para el consumo, responsabilidades por parte de las direcciones departamentales y municipales de la salud, teniendo como objetivo principal el cuidado de la salud pública y también del recurso hídrico.

Decreto 1640 del 2 de agosto del 2012 “Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones” (MADS, 2012). Teniendo en cuenta que la zona de estudio hace parte de la cuenca del río Chicamocha, se considera importante el presente decreto para la investigación con respecto al manejo de cuencas hidrográficas del país.

Decreto 2667 del 21 de diciembre del 2012 “Por lo cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones” (MADS, 2012).

- Resolución 14712 del 12 de octubre de 1984** “Por lo cual se reglamenta lo relacionado con la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento y comercialización de vegetales como frutas y hortalizas elaboradas” (Ministerio de Salud, 1984). Se tiene en cuenta esta resolución ya que indica las características que deben cumplir la producción de hortalizas, siendo el agua una de ellas. Debido a que el bioindicador usado hace parte de este se considera importante.
- Resolución 1207 del 25 de Julio de 2014:** Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. El uso de agua residual tratada deberá cumplir previamente criterios dados por la norma para usos de riego agrícola. (Resolución 1207, 2014).
- Resolución 1207 del 2014** “por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas”. Resuelve y establece control sobre el uso de aguas residuales tratadas donde aplica para hacer uso de esta como fertilizante o acondicionador de suelos. Teniendo en cuenta el Artículo 6 – Uso agrícola – Parágrafo 2º, nos especifica que se puede usar para riego de diferentes actividades agrícolas, pero no para “Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos (...)”. (MADS, 2014).

Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 “Por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”. (MADS, 2015).

Se tiene en cuenta la presente el artículo número 9 donde se indican los parámetros fisicoquímicos a monitorear y los valores máximos permisibles en los vertimientos para cada uno de ellos.

Fuente: elaboración propia.

Nota. La tabla anterior fue realizada en base a la normatividad legal vigente, aplicable a la investigación. Pero esta puede ser modificada o actualizada en caso de que haya alguna actualización.

Objetivos

General

Evaluar la contaminación del agua en el río Chicamocha sector Vado Castro a través de análisis de laboratorio y bioensayo con *Lactuca sativa L* como medio de indicador biológico.

Específicos

Determinar la respuesta respecto a la germinación de semillas de la lechuga (*Lactuca sativa L*), en relación con la contaminación del agua del río Chicamocha sector Vado Castro.

Analizar los parámetros fisicoquímicos del río Chicamocha sector Vado Castro, con respecto a la normatividad vigente.

Relacionar los resultados del bioensayo frente a los parámetros fisicoquímicos.

Identificar los saberes de agricultores que usan el agua del río Chicamocha como riego para sus cultivos.

Metodología

El presente estudio es de tipo descriptivo y experimental, puesto que se analiza el estado de la contaminación del río Chicamocha a través de ensayos por medio de cinco fases:

Fase 1

Reconocimiento de la zona de estudio vereda Vado Castro del Municipio de Tópaga Boyacá a través de visitas de campo.

Fase 2

Bioensayos utilizando semillas de *Lactuca sativa L* como indicador biológico, se realizaron 4 bioensayos en diferentes épocas del año teniendo en cuenta la ejecución, observación y mediciones para evaluar el efecto toxico sobre la semilla y sobre la elongación del crecimiento de radícula e hipocótilo.

Fase 3

Análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorio certificado. Los parámetros analizados fueron los siguientes (cloruros, fosfatos, nitratos, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO⁵, carbono, coliformes fecales, sólidos disueltos, turbiedad).

Fase 4

Entrevista semiestructurada dirigida a residentes y agricultores del sector Vado Castro por medio de dialogo directo.

Fase 5

Análisis de datos ANOVA, Para el análisis se realizó un proceso estadístico “Probit” Sierra Ramírez, C. A. (2011). usado como método para obtener los cálculos necesarios para evaluar el porcentaje de germinación y el porcentaje de inhibición de germinación.

Diseño metodológico

Herramientas metodológicas:

- Observación: Esta herramienta permite captar la realidad presente en la fuente hídrica, conocer de forma directa la problemática a estudiar, a su vez captar la realidad del manejo respecto a los cultivos que se encuentran en la ribera del río, y la practica artesanal en que realizan el riego directo sobre los cultivos agrícolas.

- Entrevista semiestructurada: Esta técnica de interacción personal permite tener acercamiento con personas idóneas que tienen conocimiento respecto al tema de investigación, recopilando datos necesarios para la investigación las preguntas se realizaron de forma predeterminada pero abiertas.

- Diario de campo: Esta herramienta nos permite registrar los aspectos importantes durante el desarrollo de la investigación, basados en la realidad y el objetivo específico al que deseamos llegar. Las notas de registro se realizaron de forma digital.

Fase 1: Reconocimiento de la zona de estudio vereda Vado Castro del Municipio de Tópaga Boyacá a través de visitas de campo.

Esta fase se realizó por medio de salidas de campo para reconocer el área, realizar un diagnóstico e identificar el punto para la toma de muestras de agua. Se estableció como punto de muestreo el río Chicamocha a la altura de la localidad vereda Vado Castro del municipio de Tópaga departamento de Boyacá. Específicamente en el tramo del sector relacionado con la presente delimitación N 5°46' 6.01" W 72°52' 3,33" (Google, s.f.). Adicional se implementó categorización de mapa de suelo, uso y vocación de suelos, clima, hidrología del departamento y delimitación del área de estudio. Se realizó investigación bibliográfica de antecedentes de la zona de estudio tales como, entrevistas, encuestas, documentos.

Fase 2: Bioensayos utilizando semillas de *Lactuca sativa L* como indicador biológico, se realizaron 4 bioensayos en diferentes épocas del año teniendo en cuenta la ejecución, observación y mediciones para evaluar el efecto toxico sobre la semilla y sobre la elongación del crecimiento de radícula e hipocótilo.

El bioensayo se realizó de acuerdo con el protocolo de Castillo Morales, G (2004, P 71-79). Es una prueba estática de toxicidad aguda (120 h de exposición) en la que se pueden evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o de mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento. Como puntos finales para la evaluación de los efectos fitotóxicos, se determina la inhibición en la germinación y la inhibición en la elongación de la radícula y del hipocótilo.

Los bioensayos se dividen en 7 etapas:

Etapas 1. Materiales.

Etapas 2. Recolección de la muestra de agua.

Etapas 3. Descripción de Soluciones.

Etapas 4. Preparación de disoluciones.

Etapas 5. Montaje del bioensayo.

Etapas 6. Incubación de las semillas.

Etapas 7. Medición radicular e hipocótilo.

Para el análisis se realizó un proceso estadístico “Probit” Sierra Ramírez, C. A. (2011). usado como método para obtener los cálculos necesarios para evaluar el porcentaje de germinación y el porcentaje de inhibición de germinación. Donde se tuvo en cuenta para su análisis los resultados generados en el proceso de bioensayo usando la metodología según Castillo Morales, G (2004, P 71-79) y así realizar una comparación analítica de la contaminación con relación a los resultados obtenidos por el análisis en laboratorio, también haciendo un análisis de comparación de normatividad legal vigente, frente a los resultados informados por el laboratorio.

Metodología de germinación de semillas en laboratorio:

El bioensayo se realizó de acuerdo con el protocolo de Castillo Morales, G (2004, P 71-79). Es una prueba estática de toxicidad aguda (120 horas de exposición) en la que se pueden evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o de mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento. Como puntos finales para la evaluación de los efectos fitotóxicos, se determina la inhibición en la germinación y la inhibición en la elongación de la radícula y del hipocótilo.

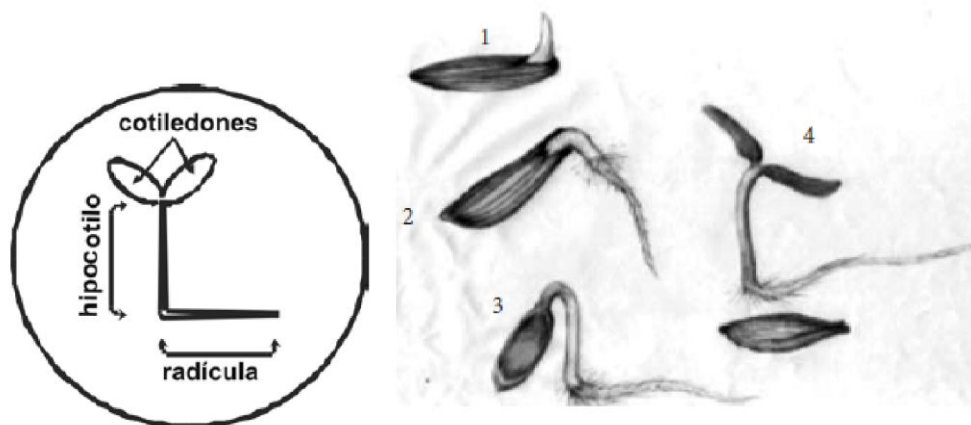


Figura 5. Hipocótilo y radícula, estadios por los que atraviesa la semilla durante el ensayo de germinación y elongación (Castillo Morales, 2004).

Etapas 1. Materiales.

Para los ensayos se usó un sobre de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), verificando su fecha de caducidad de máximo un año de antigüedad. También requerimos de 1 Litro de muestra de agua para evaluar y en otro recipiente 1 litro de agua destilada o potable (agua purificada, no de la llave).

Se utilizaron 21 cajas de Petri (de vidrio o plástico, de 100 mm de diámetro) a las cuales se les colocó una lámina de papel de filtro Whatman No. 3 de 90mm de diámetro, después de realizar el proceso anterior se deben ajustar bien, con la ayuda de 3 goteros o jeringas de 5 ml, medimos 4 ml. 1 probeta de 250 ml o un recipiente que esté graduado cada 100mL o 50mL. Se realizó un conteo con una pinza o algo similar para coger las semillas y así colocarlas sobre el papel filtro el cual está listo sobre la caja Petri. Al usar sal de cocina se diluye el agua y se crea el control (+).

Se usó un recipiente o botella de 1,5 L limpia para almacenar la muestra de agua, también se usó papel aluminio para forrar las cajas cuando estén listas con todo su debido proceso para realizar el análisis. Después con cinta de enmascarar marcamos las cajas Petri. La regla se usó para

medir las longitudes de la radícula e hipocótilo después de que transcurrieran las horas estipuladas en la metodología, en las que el ensayo tenía que estar en reposo para después realizar su análisis de resultados.



Figura 6. Materiales



Figura 7. Toma de muestra de agua

Etapa 2. Recolección de la muestra de agua.

Previamente al montaje se realizó una prueba de germinación inicial para comprobar que las semillas se encontraran en buen estado y cumple con el porcentaje de germinación cercano al 90%.

Para la recolección de la muestra se tuvo en cuenta el protocolo establecido por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en la guía de monitoreo de vertimientos aguas superficiales y subterráneas. El muestreo se realizó de forma puntual siguiendo indicaciones en la preparación de la botella, llenado, marcación, preservación y transporte de la muestra. (IDEAM, 2007).

Etapa 3. Soluciones

Solución de control positivo

Las soluciones de control positivo están diseñadas para obtener resultados similares de los que se obtendrían con agua contaminada. Esta solución permitió observar cómo reaccionan las semillas al agua contaminada.

Se preparó una solución salina de 5g/L, 200mL de agua potable (no de la llave), y 1 gramo de sal. Al pesar el gramo de sal, se agitó bien y luego se marca el recipiente "Control (+)". Castillo Morales, G (2004, P 71-79).

Solución de control negativo:

Se utilizó una muestra de agua potable (no de la llave), sin gas y sin saborizante, mínimo 200mL para el bioensayo, se marcó con "Control (-)". Castillo Morales, G (2004, P 71-79).

Soluciones de muestra contaminada:

Se realizaron 5 diluciones: 100%, 30%, 10%, 3% y 1%. Para preparar las diluciones, se usó una probeta para medir el volumen. El agua con que se preparan las diluciones es agua potable (no de la llave). Castillo Morales, G (2004, P 71-79).

Etapa 4. Preparación de disoluciones.

100%: Corresponde a usar la muestra de agua tal y como se muestreo.

30%: Corresponde a usar 3 partes de la muestra al 100% y 7 partes de agua. Se agregan 3 ml de la dilución al 100%, y se completa hasta 10 ml con agua potable.

10%: Corresponde a usar 1 parte de la muestra al 100% y 9 partes de agua, se agrega 1 ml de la dilución al 100%, y se completa hasta 10 ml con agua potable.

3%: Corresponde a usar 1 parte de la muestra al 30% y 9 partes de agua, se agrega 1 ml de la dilución al 30%, y se completa hasta 10 ml con agua potable.

1%: Corresponde a usar 1 parte de la muestra al 10% y 9 partes de agua, se agrega 1 ml de la dilución al 10%, y se completa hasta 10 ml con agua potable. Castillo Morales, G (2004, P 71-79).

A continuación, se indican las diluciones para cada una de las réplicas.

Tabla 4. *Disoluciones y réplicas.*

Dilución	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Control (+)	C (+) R1	C (+) R2	C (+) R3
Control (-)	C (-) R1	C (-) R2	C (-) R3
D100%	D100% R1	D100% R2	D100% R3
D30%	D30% R1	D30% R2	D30% R3
D10%	D10% R1	D10% R2	D10% R3
D3%	D3% R1	D3% R2	D3% R3
D1%	D1% R1	D1% R2	D1% R3

Fuente: Elaboración propia



Figura 8. *Preparación disoluciones*

Etapa 5. Montaje del bioensayo.

Se introduce en cada caja de Petri un disco de papel filtro absorbente con la forma de la circunferencia de la caja de Petri. Se marcan correctamente las cajas Petri con la dilución correspondientes y la solución que se aplicará. Cada dilución tendrá tres réplicas, es decir, tres repeticiones.



Figura 9. Montaje del bioensayo

Se agregan 4 ml de cada solución en la caja de Petri correspondiente, se utiliza el procedimiento de saturar el papel filtro o absorbente dispersando homogéneamente la solución.

Para evitar la contaminación cruzada, se utiliza el gotero con agua potable (control negativo) en sus tres réplicas, luego con la solución de 1%, después con la solución del 3%, 10%, 30%, 100% y finalmente el control positivo. Luego se coloca cuidadosamente 20 semillas dejando espacio suficiente entre las semillas para permitir la elongación de las raíces. Castillo Morales, G (2004, P 71-79).

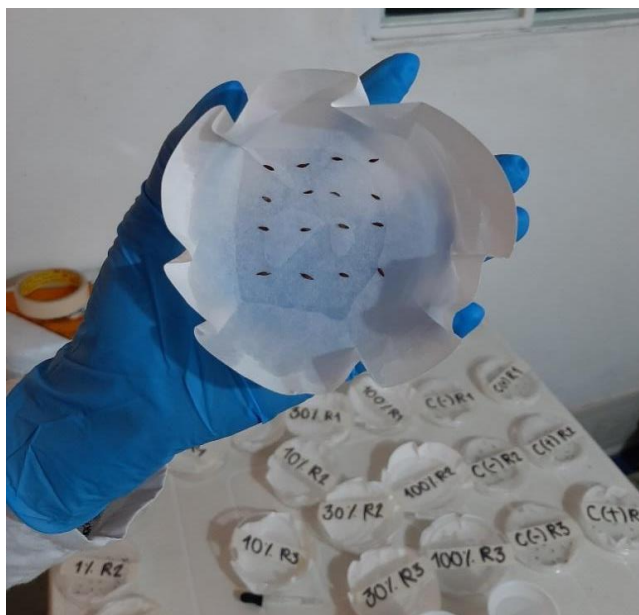


Figura 10. Ubicación de las semillas

Etapa 6. Incubación de las semillas.

Se colocan las cajas en un lugar seguro, a temperatura ambiente por cinco días (120 h), a resguardo de la luz solar directa, preferiblemente a una temperatura de 22 ± 2 °C. Castillo Morales, G. (2004, P 71-79).



Figura 11. Conservación de temperatura

Etapa 7. Medición radicular e hypocótilo.

Luego de transcurridas las 120 horas se procede a medir la longitud en milímetros de radícula e hypocótilo para cada una de las plántulas. Castillo Morales, G. (2004, P 71-79).



Figura 12. Medición

Fase 3. Análisis de parámetros fisicoquímicos en laboratorio certificado. Los parámetros analizados fueron los siguientes (magnesio, cloruros, fosfatos, nitratos, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO⁵, carbono, coliformes fecales, sólidos disueltos, turbiedad).

Metodología Parámetros de monitoreo:

Por medio de un laboratorio certificado se realizaron los análisis de los siguientes parámetros:

- ✓ **Magnesio:** El ion manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ion hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también

presentarse con valencia +4 formando el MnO_2 que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido. (S.A., 2012)

✓ **Cloruros:** Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales. (S.A., 2012)

✓ **Fosfatos:** El ion fosfato en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes fosfatados. (S.A., 2012)

✓ **Nitratos:** Los nitratos son compuestos presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. En concreto es la forma oxidada estable de ese ciclo. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares. (S.A., 2012)

✓ **Potencial hidrógeno (pH):** Es el logaritmo base 10, de la actividad molar de los iones hidrógeno de una solución. Indica la acidez o alcalinidad del agua. (S.A., 2012)

✓ **Demanda química de oxígeno (DQO):** Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. (S.A., 2012)

✓ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales. (S.A., 2012)

✓ **Conductividad eléctrica:** La conductividad es realmente una medida de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente. (S.A., 2012)

✓ **Sólidos disueltos totales:** Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. (S.A., 2012)

✓ **Turbiedad:** La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. (IDEAM, Análisis fisicoquímico del agua, 2006)

✓ **Hierro total** El hierro es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre. Está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0,5 a 50 mg/l. También puede haber hierro en el agua de consumo debido a la utilización de coagulantes de hierro o a la corrosión de tuberías de acero o hierro colado durante la distribución del agua. El hierro es un elemento esencial en la nutrición humana. Las necesidades diarias mínimas de este elemento varían en función de la edad, el sexo, el estado físico y la biodisponibilidad del hierro, y oscilan entre 10 y 50 mg/día. (S.A., 2012).

De acuerdo con la normatividad vigente se realizó una comparación en los resultados obtenidos que nos permiten reafirmar la hipótesis representados más adelante en el capítulo 3 del presente documento.

Fase 4. Entrevista semiestructurada dirigida a residentes y agricultores del sector Vado Castro por medio de dialogo directo.

La estructura para el desarrollo de la entrevista comenzó con la formulación de seis preguntas las cuales permiten indagar e identificar el punto de vista y experiencia de los agricultores. La entrevista se les realizó a dos personas residentes en la vereda Vado Castro que se han dedicado a la agricultura durante más de 15 años y han utilizado la fuente hídrica río Chicamocha para riego de sus cultivos agrícolas, la entrevista se realizó de manera individual mediante interacción oral y luego se analizaron para obtener resultados. La entrevista se realizó luego de obtener resultados de los bioensayos y análisis de laboratorio fue aplicada en el mes de mayo de 2021

Fase 5. Análisis de datos ANOVA, Para el análisis se realizó un proceso estadístico “Probit” Sierra Ramírez, C. A. (2011). usado como método para obtener los cálculos necesarios para evaluar el porcentaje de germinación y el porcentaje de inhibición de germinación.

El análisis de datos se realizó por medio de un análisis de varianza (ANOVA), la cual se usa para estudiar el efecto de uno o más factores, sobre la media de una variable continua. Por lo tanto, esta evaluación estadística se usa para comparar medias de dos o más grupos. Por medio de una hipótesis nula se lleva a cabo la clase de ANOVA; tenemos la ANOVA de una vía cuando se

comparan la variable cuantitativa dependiente contra los niveles de una única variable explicativa o factor, por otro lado, tenemos la ANOVA a dos vías cuando es de dos factores, el cual puede ser a su vez aditivo o de interacción y cada una de ellas tienen una serie de requerimientos para ser implementadas.

Para evaluar la inhibición en el crecimiento de las plántulas según dosis en cada uno de los muestreos que se realizaron durante el estudio, aplicando así ANOVA a las variables ambientales para analizar posibles diferencias entre ellas.

Los valores y el proceso que se proporcionan a continuación en la **Tabla 5**, corresponde a los promedios, longitudes de plántulas resultantes de un ensayo de elongación de *Lactuca Sativa* L.

Tabla 5. Ejemplo análisis de varianza ANOVA

Tratamientos	Réplicas			ni	xi	xi ² /ni	Suma cuadrados	Promedios
	R1	R2	R3					
C(-)	15,00	16,00	17,00	3	48,00	768,00	770,00	16,0
D1%	17,00	18,00	17,00	3	52,00	901,33	902,00	17,3
D3%	17,00	15,00	16,00	3	48,00	768,00	770,00	16,0
D10%	17,00	16,00	17,00	3	50,00	833,33	834,00	16,7
D30%	17,00	16,00	18,00	3	51,00	867,00	869,00	17,0
D100%	20,00	19,00	20,00	3	59,00	1160,33	1161,00	19,7
				18	308,00	5298,00	5306,00	
t	6	C	5270,22	N	x**	B	A	
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma cuadrados	Cuasivarianzas	Estadístico		Atención: Si "F Experimental" es mayor que "F teórica (0,05)", significa que sí existen efectos tóxicos sobre las semillas.		
Entre tratamientos	5	27,78	5,56	8,33	F experimental			
Dentro de los tratamientos	12	8,00	0,67	3,11	F teórica (0,05)			
Tratamientos	Réplicas			ni	xi	xi ² /ni	Suma cuadrados	Promedios
	R1	R2	R3					
C(-)	15,00	16,00	17,00	3	48,00	768,00	770,00	16,0
D1%	17,00	18,00	17,00	3	52,00	901,33	902,00	17,3
				6	100,00	1669,33	1672,00	
t	2	C	1666,67	N	x**	B	A	
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma cuadrados	Cuasivarianzas	Estadístico		Atención: Si "F Experimental" es mayor que "F teórica (0,05)", significa que sí existen efectos tóxicos sobre las semillas.		
Entre tratamientos	1	2,67	2,67	4,00	F experimental			
Dentro de los tratamientos	4	2,67	0,67	7,71	F teórica (0,05)			

Réplicas									
Tratamientos	R1	R2	R3	ni	xi	xi ² /ni	Suma cuadrados	Promedios	
C(-)	15,00	16,00	17,00	3	48,00	768,00	770,00	16,0	
D3%	17,00	15,00	16,00	3	48,00	768,00	770,00	16,0	
				6	96,00	1536,00	1540,00		
t	2	C	1536,00	N	x**	B	A		
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma cuadrados	Cuasivarianzas	Estadístico		Atención: Si "F Experimental" es mayor que "F teórica (0,05)", significa que si existen efectos tóxicos sobre las semillas.			
Entre tratamientos	1	-	-	-	F experimental				
Dentro de los tratamientos	4	4,00	1,00	7,71	F teórica (0,05)				
Réplicas									
Tratamientos	R1	R2	R3	ni	xi	xi ² /ni	Suma cuadrados	Promedios	
C(-)	15,00	16,00	17,00	3	48,00	768,00	770,00	16,0	
D10%	17,00	16,00	17,00	3	50,00	833,33	834,00	16,7	
				6	98,00	1601,33	1604,00		
t	2	C	1600,67	N	x**	B	A		
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma cuadrados	Cuasivarianzas	Estadístico		Atención: Si "F Experimental" es mayor que "F teórica (0,05)", significa que si existen efectos tóxicos sobre las semillas.			
Entre tratamientos	1	0,67	0,67	1,00	F experimental				
Dentro de los tratamientos	4	2,67	0,67	7,71	F teórica (0,05)				
Réplicas									
Tratamientos	R1	R2	R3	ni	xi	xi ² /ni	Suma cuadrados	Promedios	
C(-)	15,00	16,00	17,00	3	48,00	768,00	770,00	16,0	
D30%	17,00	16,00	18,00	3	51,00	867,00	869,00	17,0	
				6	99,00	1635,00	1639,00		
t	2	C	1633,50	N	x**	B	A		
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma cuadrados	Cuasivarianzas	Estadístico		Atención: Si "F Experimental" es mayor que "F teórica (0,05)", significa que si existen efectos tóxicos sobre las semillas.			
Entre tratamientos	1	1,50	1,50	1,50	F experimental				
Dentro de los tratamientos	4	4,00	1,00	7,71	F teórica (0,05)				
Réplicas									
Tratamientos	R1	R2	R3	ni	xi	xi ² /ni	Suma cuadrados	Promedios	
C(-)	15,00	16,00	17,00	3	48,00	768,00	770,00	16,0	
D100%	20,00	19,00	20,00	3	59,00	1160,33	1161,00	19,7	
				6	107,00	1928,33	1931,00		
t	2	C	1908,17	N	x**	B	A		
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma cuadrados	Cuasivarianzas	Estadístico		Atención: Si "F Experimental" es mayor que "F teórica (0,05)", significa que si existen efectos tóxicos sobre las semillas.			
Entre tratamientos	1	20,17	20,17	30,25	F experimental				
Dentro de los tratamientos	4	2,67	0,67	7,71	F teórica (0,05)				

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis

Hipótesis nula: La contaminación del río Chicamocha inhibe el crecimiento de la radícula e hipocótilo de semillas de hortalizas, alterando el desarrollo normal del crecimiento de la planta al regarse con agua contaminada.

Hipótesis alterna: El agua no inhibe el crecimiento de la planta, y no afecta el crecimiento de la radícula e hipocótilo.

Variables

Dependiente: Germinación, radícula, hipocótilo.

Independiente: lo que no se puede controlar: El agua (niveles de concentración)

Independiente no controlada: lluvia, nivel de precipitación.

Fecha de toma de la muestra

Lugar	Fecha	Hora
vereda Vado Castro	Julio 18 de 2019	
del municipio de	Noviembre 27 de 2019	9:00 a.m.
Tópaga departamento	Marzo 11 de 2020	
de Boyacá	Julio 27 2020	

Vertimientos: En el área los principales vertimientos se relacionan con el lavado de arena, vertimientos de acerías paz del río y vertimientos domésticos.

Pregunta de investigación:

¿Cuál es el efecto en el crecimiento de la lechuga cuando es regada con agua del río Chicamocha?

Resultados y discusión

CAPÍTULO 1. Análisis de la respuesta en la germinación de semillas de *Lactuca sativa L.*, en relación con la calidad del agua del río Chicamocha, sector Vado Castro.

Como se mencionó en la metodología, para determinar la respuesta en cuanto a la germinación de la semilla, el crecimiento del hipocótilo y la radícula de la lechuga (*Lactuca Sativa L.*), se realizaron cuatro muestreos en Julio y noviembre del 2019 y marzo y julio de 2020.

Bioensayo julio 2019

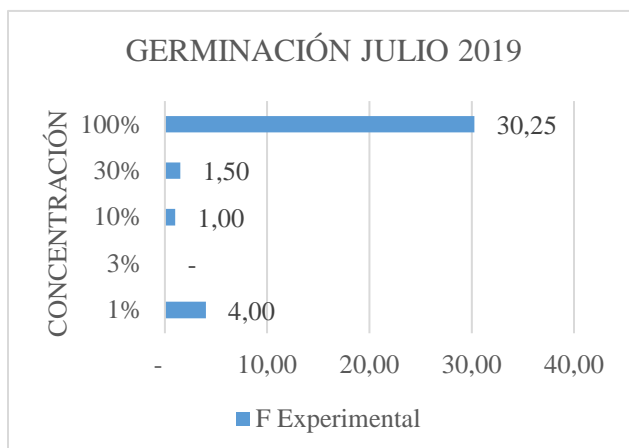
Germinación

A continuación, en la Tabla 6, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la germinación de la semilla de *Lactuca Sativa L.*, y posteriormente en la figura 13 se grafica por medio de diagrama de barras.

Tabla 6. Resultados análisis de varianza ANOVA germinación julio 2019

JULIO 2019		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	8,33	3,11
1%	4,00	7,71
3%	-	7,71
10%	1,00	7,71
30%	1,50	7,71
100%	30,25	7,71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Resultados ANOVA germinación Julio 2019

Fuente: Elaboración propia

La figura 13 presenta la comparación porcentual de la germinación en el mes de julio del año 2019 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 100% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 7, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 7. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de germinación julio 2019

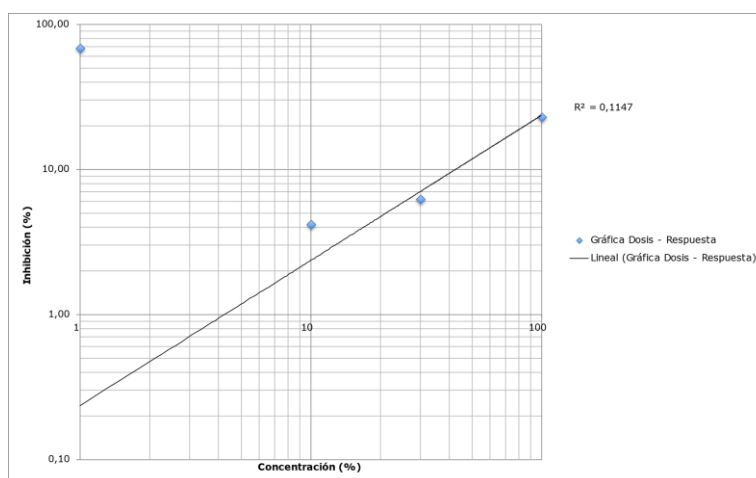
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	10%	16,67
LOEC	30%	17,00
MATC	20%	

Fuente: Elaboración propia

Se presenta la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 8,33, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 30%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 10% y MATC se calcula redondeando en un 20 %. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez., 2009, pág. 195).

A continuación, en la Figura 14, se indica la gráfica de dosis-respuesta para la germinación del mes de julio de 2019.

Figura 14. Dosis respuesta germinación julio 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis

De acuerdo con el método probit, El R2 de la línea de tendencia, es mayor de 0.9, como se observa en la gráfica R2 = 0,1147 significa que la línea de tendencia representa más de un 90% de probabilidad el comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga.

De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos se observa que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en germinación con 8,33% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas.

Se pudo evidenciar que a medida que la semilla era sometida a una concentración mayor del contaminante para este caso agua del río Chicamocha, el porcentaje de germinación e inhibición disminuía, es decir, con una concentración del agua de 100%, 30%, 10% se presenta mayor efecto, mientras que con una concentración del 1% la dosis es mínima, por lo tanto, el desarrollo de la semilla presenta mayor crecimiento y a su vez mayor número de semillas germinadas.

Hipocótilo

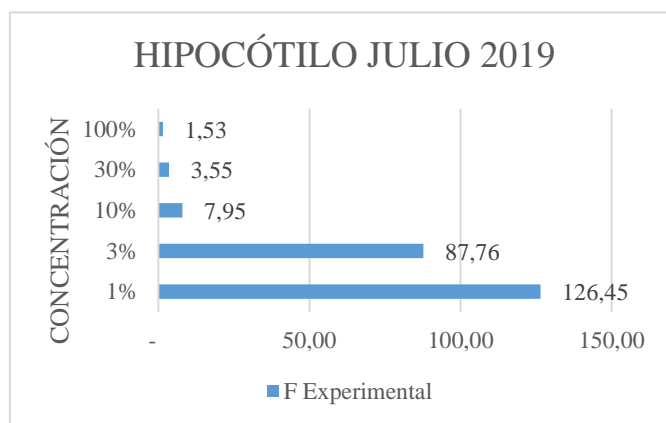
A continuación, en la Tabla 8, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la hipocótilo de la semilla de *Lactuca Sativa L.*

Tabla 8. Resultados análisis de varianza ANOVA hipocótilo julio 2019

JULIO 2019		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	15,75	3,11
1%	126,45	7,71
3%	87,76	7,71
10%	7,95	7,71
30%	3,55	7,71
100%	1,53	7,71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Resultados ANOVA hipocótilo Julio 2019.



Fuente: Elaboración propia

La figura 15 presenta la comparación porcentual del hipocótilo en el mes de julio del año 2019 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 1% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 9, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 9. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de hipocótilo julio 2019.

JULIO 2019		
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	3%	23,40
LOEC	10%	20,96
MATC	6%	

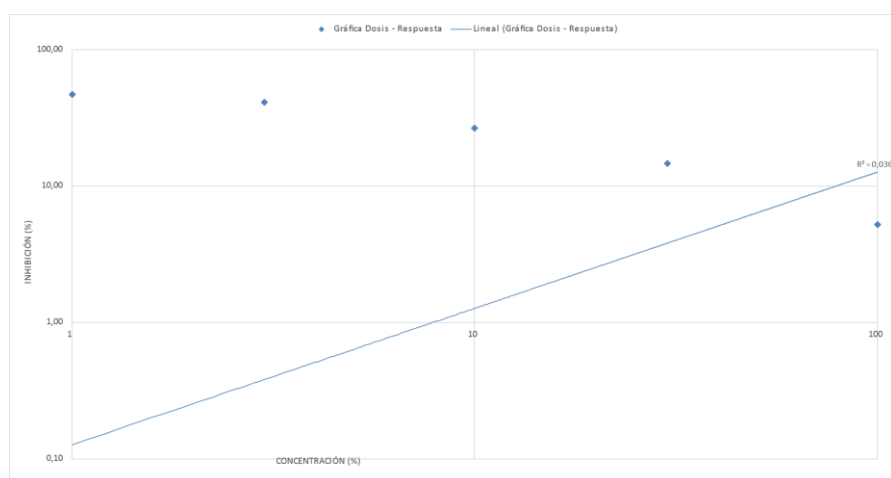
Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 17,75,

mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 10%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 3% y MATC se calcula redondeando en un 6%.

A continuación, en la Figura 16, se indica la gráfica de dosis-respuesta para el hipocótilo del mes de julio de 2019

Figura 16. Dosis respuesta hipocótilo julio 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis

De acuerdo con el método probit El R2 de la línea de tendencia está representada en la gráfica $R^2 = 0,0365$ significa que la línea de tendencia representa la probabilidad del comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en hipocótilo con 15,75% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

Durante el bioensayo, se evidenció en la germinación, los efectos sobre la elongación de la radícula y también del hipocótilo considerándose, así como una exposición a una muestra tipo

semilla con causa letal, ya que generó inhibición en su crecimiento ocasionando en algunas semillas muerte de embrión y las otras un crecimiento desigual de las plántulas impidiendo que estas crecieran de una forma semejante. Evaluando el porcentaje de semillas germinadas, teniendo como referencia cada uno de los porcentajes y sus réplicas, es correcto afirmar que el porcentaje en el cual hay mayor inhibición es el de 100% con un valor de 30,25. Haciendo que este valor sea el mayor con respecto a los demás los cuales oscilan entre 0 y 0,05. (Castillo Morales, 2004)

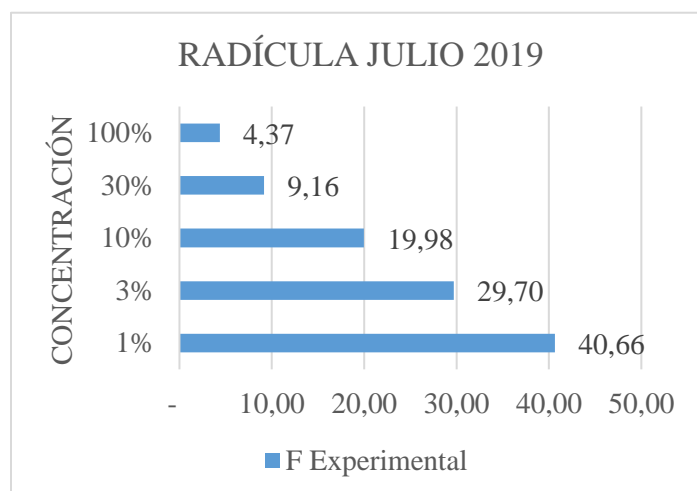
Radícula

A continuación, en la Tabla 10, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la radícula de la semilla de *Lactuca Sativa L.*

Tabla 10. Resultados análisis de varianza ANOVA radícula julio 2019

JULIO 2019		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	8,81	3,11
1%	40,66	7,71
3%	29,70	7,71
10%	19,98	7,71
30%	9,16	7,71
100%	4,37	7,71

Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Resultados ANOVA radícula Julio 2019

Fuente: Elaboración propia.

La figura 17 presenta la comparación porcentual de la radícula en el mes de julio del año 2019 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 1% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 11, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 11. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de radícula julio 2019

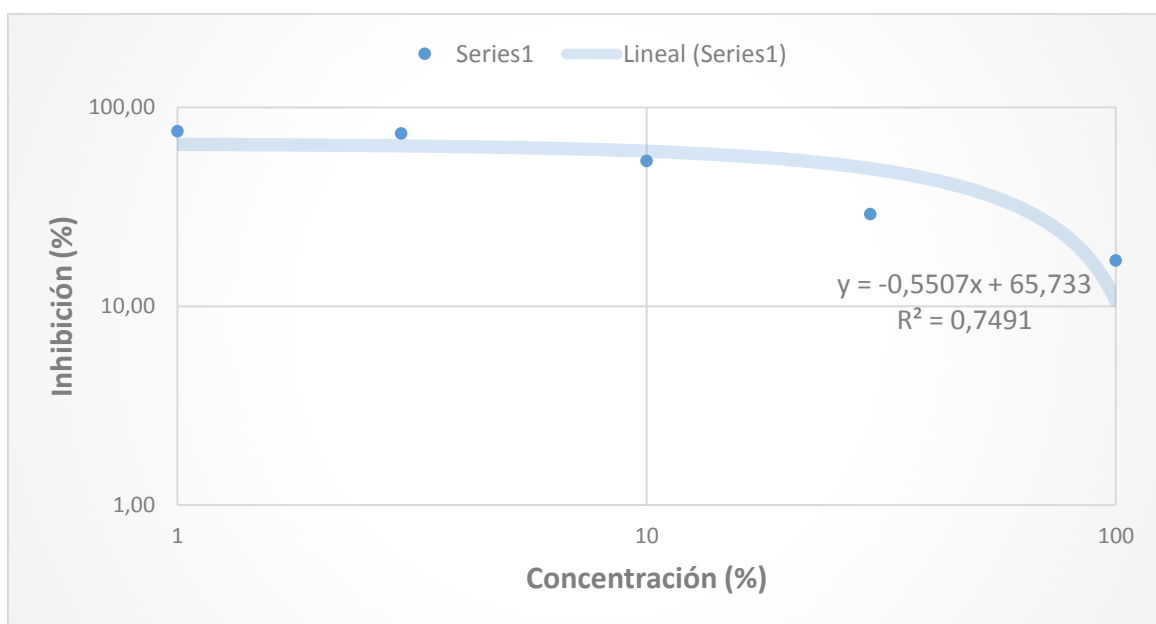
JULIO 2019		
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	3%	12,21
LOEC	10%	12,56
MATC	6%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 8,81, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 10%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 3% y MATC se calcula redondeando en un 6 %. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez. R, 2009, pág. 195)

A continuación, en la Figura 18, se indica la gráfica de dosis-respuesta para la radícula del mes de julio de 2019.

Figura 18. Dosis respuesta radícula julio 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis

De acuerdo con el método probit El R^2 de la línea de tendencia, se observa en la gráfica $R^2 = 0,7491$ significa que la línea de tendencia representa la probabilidad de un 70% del comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en radícula con 8,81% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

Evidenciando en cada uno de los porcentajes según sus concentraciones específicas (100%, 30%,10%, 3%, 1%), se puede determinar que, si existe un nivel de inhibición en el crecimiento o desarrollo normal de la plántula y su fisiología, generando alteración frente a los factores externos adversos. Teniendo como referencia el primer bioensayo se determina implementar tres ensayos más en diferentes épocas del año, teniendo en cuenta los niveles de precipitación, tiempo climático; para hacer un análisis más profundo de las semillas de lechuga (*Lactuca Sativa L.*) y su comportamiento con respecto al agua contaminada. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez, R., 2009).

Bioensayo noviembre 2019

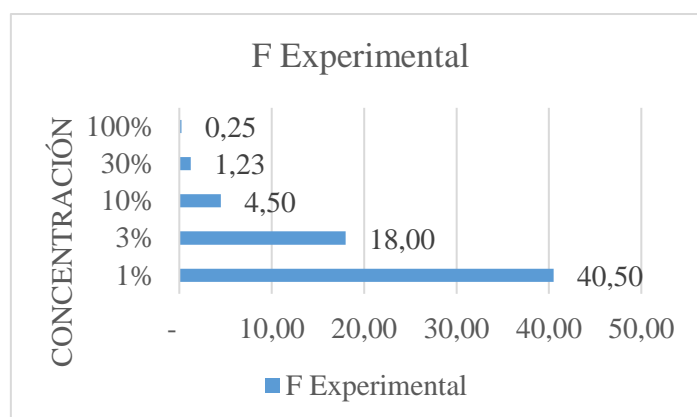
Germinación

A continuación, en la Tabla 12, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la germinación de la semilla de *Lactuca Sativa*, y posteriormente en la figura XX se grafica por medio de diagrama de barras.

Tabla 12. Resultados análisis de varianza ANOVA germinación noviembre 2019

NOVIEMBRE 2019		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	3,46	3,11
1%	40,50	7,71
3%	18,00	7,71
10%	4,50	7,71
30%	1,23	7,71
100%	0,25	7,71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Resultados ANOVA germinación noviembre 2019

Fuente: Elaboración propia

La figura 19 presenta la comparación porcentual de la germinación en el mes de noviembre del año 2019 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 1% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 13, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 13. *Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de germinación noviembre 2019.*

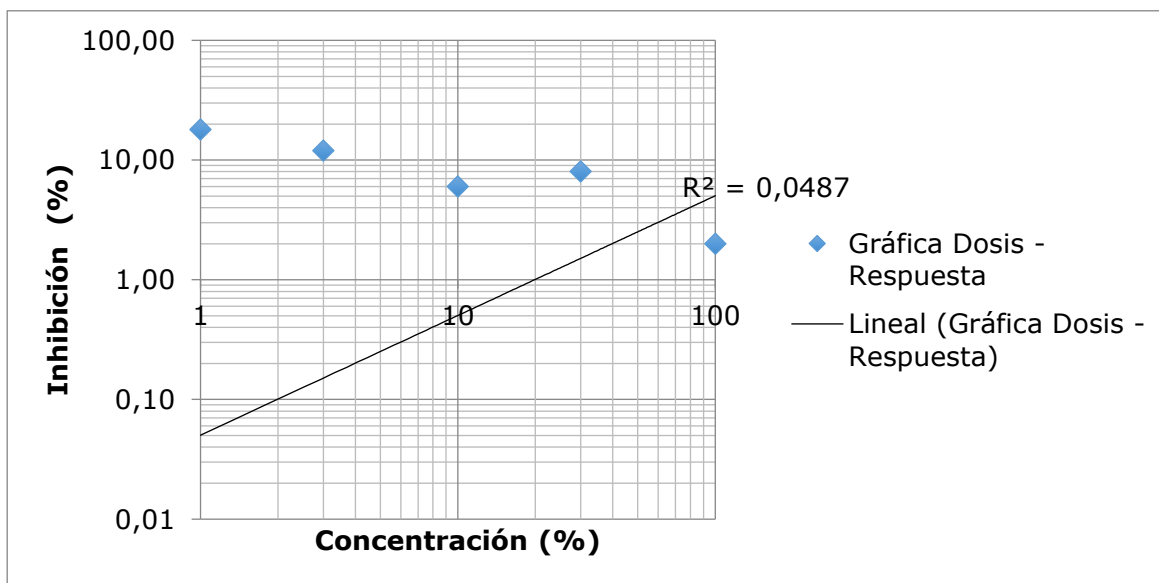
NOVIEMBRE 2019		
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	10%	17,67
LOEC	30%	18,00
MATC	20%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 3,46, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 30%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 10% y MATC se calcula redondeando en un 20 %. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez, R., 2009, pág. 195)

A continuación, en la Figura 20, se indica la gráfica de dosis-respuesta para la radícula del mes de noviembre de 2019.

Figura 20. Dosis respuesta germinación noviembre 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis

De acuerdo con el método probit El R^2 de la línea de tendencia se observa en la gráfica $R^2 = 0,0487$ significa que la línea de tendencia representa la probabilidad del comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. (Sierra Ramírez. R, C. A., 2011)

De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en germinación con 3,46% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez. R, 2009)

En el desarrollo de la plántula se ven diversos procesos fisiológicos donde la presencia de sustancias tóxicas puede alterar el desarrollo y en algunas otras ocasiones altera su supervivencia en el mes de noviembre representa mayor germinación comparado a los 3 meses (julio 2019, marzo 2020 y julio 2020) esto debido a que según el IDEAM para este mes hay temporadas de

lluvia esto hace que la toma de muestra de agua se encuentre diluida y por lo tanto con menos carga contaminante.

Hipocótilo

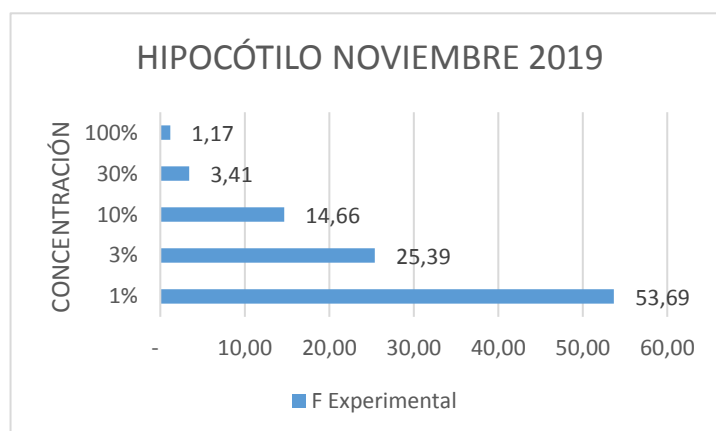
A continuación, en la Tabla 14, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la hipocótilo de la semilla de *Lactuca Sativa*.

Tabla 14. Resultados análisis de varianza ANOVA hipocótilo noviembre 2019

Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	7,07	3,11
1%	45,38	7,71
3%	24,48	7,71
10%	14,66	7,71
30%	3,41	7,71
100%	1,20	7,71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Resultados ANOVA hipocótilo noviembre 2019



Fuente: Elaboración propia

La figura 21 presenta la comparación porcentual del hipocótilo en el mes de noviembre del año 2019 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 1% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 15, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 15. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de hipocótilo noviembre 2019.

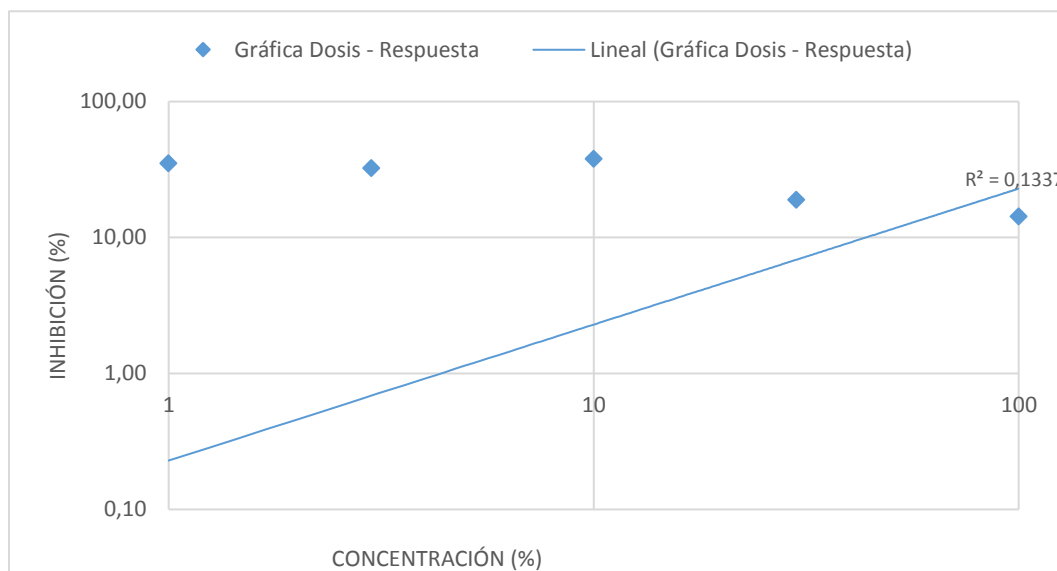
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	3%	21,98
LOEC	10%	22,92
MATC	6%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 7,07, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 10%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 3% y MATC se calcula redondeando en un 6 %.

A continuación, en la Figura 22, se indica la gráfica de dosis-respuesta para el hipocótilo del mes de noviembre de 2019.

Figura 22. Dosis respuesta hipocótilo noviembre 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis

De acuerdo con el método probit El R^2 de la línea de tendencia, es mayor de 0.9, como se observa en la gráfica $R^2 = 0,1337$ significa que la línea de tendencia representa más de un 90% de probabilidad el comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en hipocótilo con 7,07% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez, R., 2009)

Se evidencia muerte de embrión y crecimiento desigual de las plántulas. Por otro lado, también se evidenció varianza en su color ya que unas eran de color verde y en algunos casos se observa color marrón dentro de su crecimiento está variación de color representa los cambios que se generan anormales dentro del crecimiento que a futuro representa pudrimiento de la planta. (Castillo Morales, 2004)

Radícula

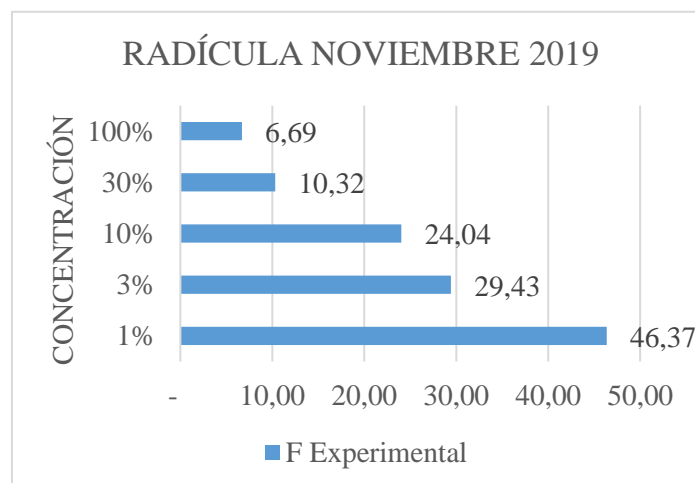
A continuación, en la Tabla 16, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la radícula de la semilla de *Lactuca Sativa L.*

Tabla 16. Resultados análisis de varianza ANOVA radícula noviembre 2019

NOVIEMBRE 2019		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	29,95	3,11
1%	46,37	7,71
3%	29,43	7,71
10%	24,04	7,71
30%	10,32	7,71
100%	6,69	7,71

Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Resultados ANOVA radícula noviembre 2019



Fuente: Elaboración propia.

La figura 23 presenta la comparación porcentual de la radícula en el mes de noviembre del año 2019 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 1% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 17, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 17. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de radícula noviembre 2019

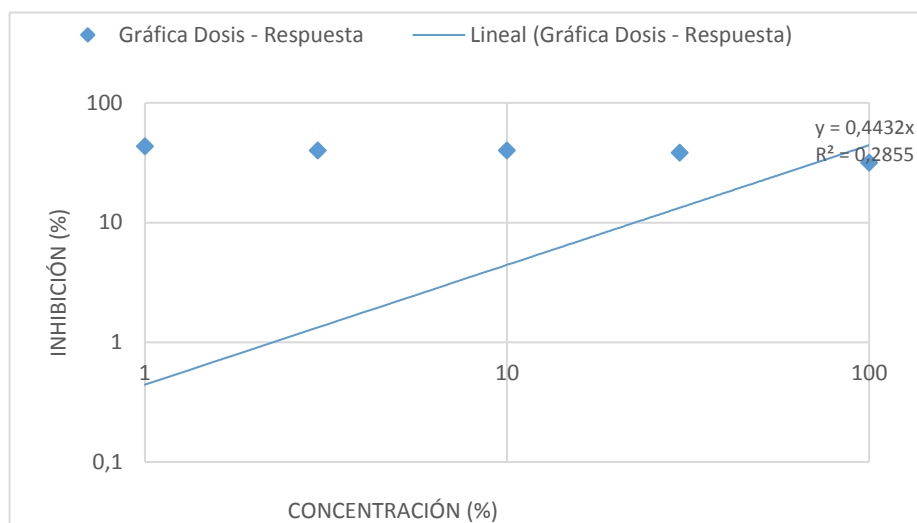
NOVIEMBRE 2019		
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	3%	23,75
LOEC	10%	22,91
MATC	6%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 29,95, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 10%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 3% y MATC se calcula redondeando en un 6 %. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez, R., 2009, pág. 195).

A continuación, en la Figura 24, se indica la gráfica de dosis-respuesta para la radícula del mes de noviembre de 2019.

Figura 24. Dosis respuesta radícula noviembre 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis

De acuerdo con el método probit El R^2 de la línea de tendencia, es mayor de 0.9, como se observa en la gráfica $R^2 = 0,2855$ significa que la línea de tendencia representa probabilidad en el comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en radícula con 29,95% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas.

La evaluación del desarrollo de la radícula y del hipocótilo elaboran indicadores que son representativos para determinar el nivel de crecimiento de una planta. (Castillo Morales, 2004). De esta manera, cuando hacemos referencia a inhibición en la elongación, constituyen indicadores los cuales nos pueden ayudar a evaluar los efectos biológicos debido a que la semilla es muy sensible la radícula para este mes se vio afectada, pero en menor medida ya que se

encontraba con menos nutrientes sin embargo sigue representando contaminación dentro de su desarrollo normal.

Bioensayo marzo 2020

El bioensayo realizado en el mes de marzo presento germinación en las primeras 120 horas , de las 20 semillas que se utilizaron en cada una de las réplicas se pudo observar que no todas germinaron algunas de ellas presentaron muerte de embrión lo que no solamente representa un retraso en el proceso de germinación si no también el efecto letal que causa sobre la semilla, en la tabla de resultados de germinación se logró observar que el mínimo de germinación es de 3 semillas en el control C(+) (control positivo) 7 presentaron muerte lo cual indica que aumenta la fitotoxicidad de la muestra, las soluciones de este control están diseñadas para obtener resultados similares de los que se obtendría el agua contaminada, permitiendo así observar cómo reaccionan las semillas frente a los contaminantes, para este caso no solo se inhibe el crecimiento si no también el porcentaje de germinación si tenemos en cuenta el punto de partida de las 20 semillas. A continuación, en la tabla 18, se puede evidenciar el número de semillas germinadas en las tres réplicas de control positivo.

***Tabla 18.** Numero de semillas germinadas en tres réplicas de control positivo*

CAJA	# semillas germinadas	DESVIACIÓN	CV	Promedios	% Germinación	% Inhibición
C (+) R1	3					
C (+) R2	4	0,58	15,75	3,67	21,57	78,43
C (+) R3	4					

Fuente: elaboración propia

Dentro de la morfología se logró observar el poco crecimiento de pelo absorbente en la raíz, se observa ápices radiculares y en al menos 1 caso se observa variación de color marrón en su crecimiento, lo cual nos permite complementar la evidencia de toxicidad sobre las semillas.

Las fechas estipuladas para la recolección de la muestras de agua se realizaron en tiempos distribuidos más o menos uniformemente a través del año donde se evidencia principalmente las épocas de invierno o verano, exactamente el 11 de marzo de 2020 se realizó la toma de muestras de agua según el informe de predicción climática del IDEAM para el trimestre febrero, marzo y abril de 2020, el mes de marzo fue un mes de transición entre la primera temporada “seca” o de menos precipitaciones del año y la primera temporada lluviosa comenzó en abril y mayo (IDEAM, 2020) por lo anterior el resultado que nos arroja el bioensayo demuestra que el mes de marzo registra el mayor porcentaje de inhibición comparados a los resultados de los bioensayos de julio 2019, noviembre 2019 y julio 2020, esto conlleva a que el caudal del agua para este mes disminuyo y el régimen fluvial presentaba un comportamiento menor, al tomar la muestra esta se encontraba menos diluida y con más concentración de contaminantes que rápidamente reaccionaron en la germinación de las semillas.

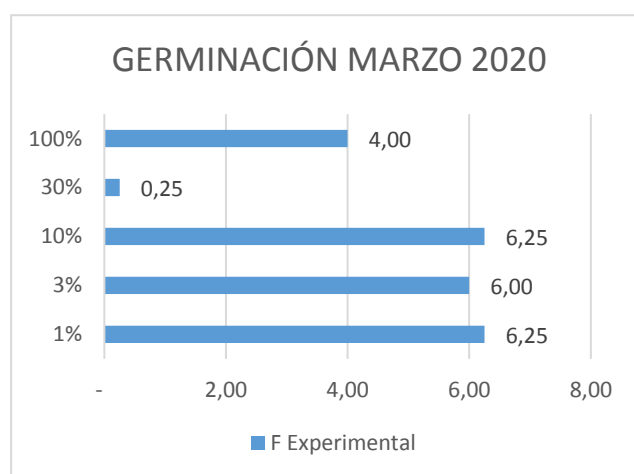
Germinación

A continuación, en la Tabla 19, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la germinación de la semilla de *Lactuca Sativa L.*, y posteriormente en la figura 25 se grafica por medio de diagrama de barras.

Tabla 19. Resultados análisis de varianza ANOVA germinación marzo 2020

MARZO 2020		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	5,14	3,11
1%	6,25	7,71
3%	6,00	7,71
10%	6,25	7,71
30%	0,25	7,71
100%	4,00	7,71

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Resultados ANOVA germinación marzo 2020

Fuente: elaboración propia.

La figura 25 presenta la comparación porcentual de la germinación en el mes de marzo del año 2020 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 10% y 1% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 20, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

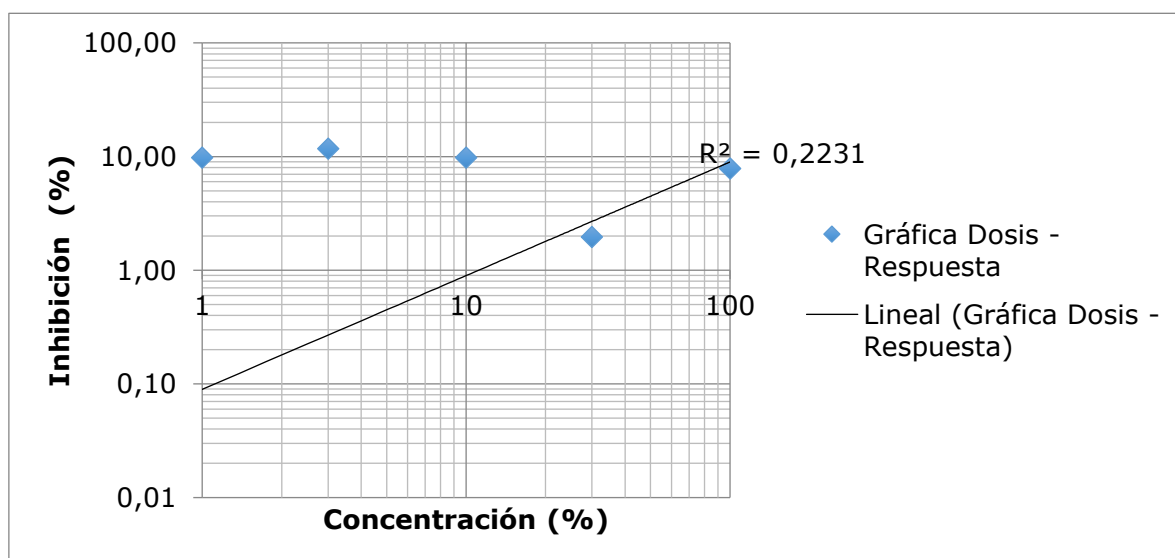
Tabla 20. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de germinación marzo 2020.

	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	10%	18,67
LOEC	30%	16,67
MATC	19%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 5,14, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 30%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 10% y MATC se calcula redondeando en un 19 %. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez. R, 2009, pág. 195)

A continuación, en la Figura 26, se indica la gráfica de dosis-respuesta para la radícula del mes de marzo 2020.

Figura 26. Dosis respuesta germinación marzo 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis

De acuerdo con el método probit El R^2 de la línea de tendencia se observa en la gráfica $R^2 = 0,2231$ significa que la línea de tendencia representa la probabilidad del comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. Este resultado de inhibición representa el grado de dosis y la respuesta generada por el contaminante. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en germinación con 5,14% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas.

La respuesta de germinación representa poca variabilidad en los datos obtenidos estadísticamente, sin embargo, las concentraciones más altas 100% y 30% refleja un bajo porcentaje en su germinación por la carga de contaminantes que influyen en el desarrollo del embrión durante la etapa de reproducción y crecimiento obteniendo así un resultado promedio que indica que de 20 semillas tan solo el 60% representaron germinación debido a la sensibilidad de las semillas frente al compuesto toxico. El promedio que existe entre la mínima y máxima concentración MATC en germinación es de 19,43% supera los resultados obtenidos en los promedios analizados para hipocótilo y radícula indicando que para el mes de marzo el mayor efecto está representado en la germinación, produciendo efectos subletales que impidieron su reproducción. (Castillo Morales, 2004).

Hipocótilo

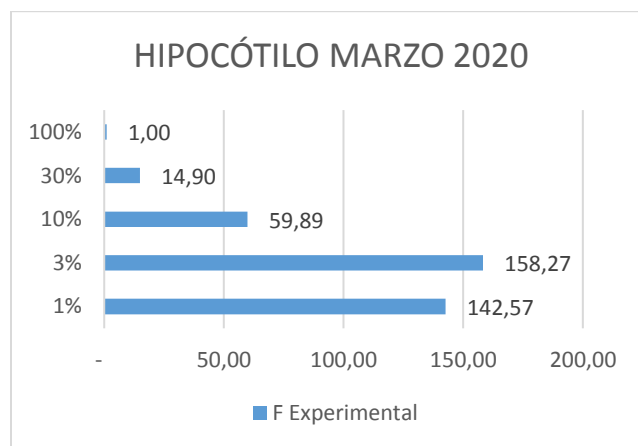
A continuación, en la Tabla 21, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la hipocótilo de la semilla de *Lactuca Sativa L.*

Tabla 21. Resultados análisis de varianza ANOVA hipocótilo marzo 2020

MARZO 2020		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	19,55	3,11
1%	142,57	7,71
3%	158,27	7,71
10%	59,89	7,71
30%	14,90	7,71
100%	1,00	7,71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Resultados ANOVA hipocótilo marzo 2020



Fuente: Elaboración propia.

La figura 27 presenta la comparación porcentual del hipocótilo en el mes de marzo del año 2020 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 3% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 22, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 22. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de hipocótilo marzo 2020.

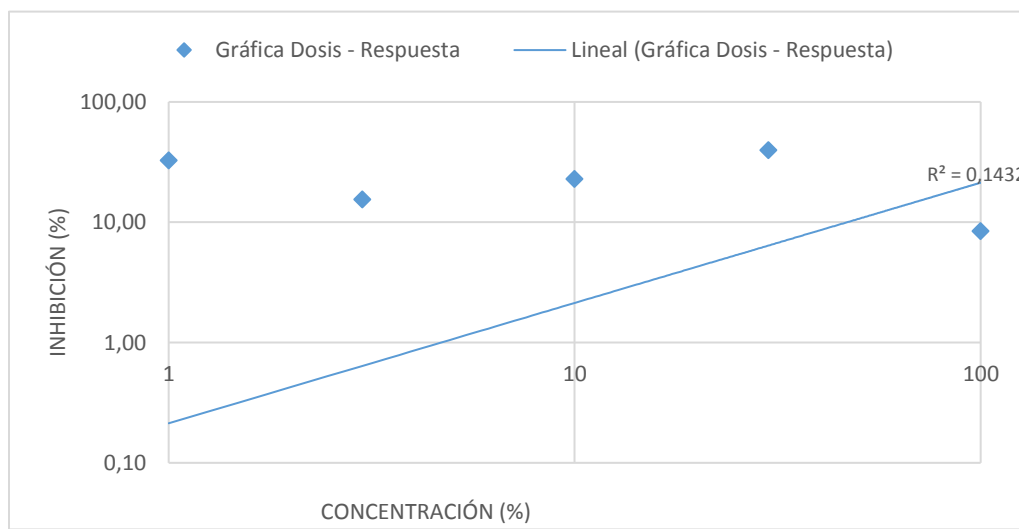
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	3%	23,35
LOEC	10%	22,82
MATC	6%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 19,55, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 10%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 3% y MATC se calcula redondeando en un 6 %.

A continuación, en la Figura 28, se indica la gráfica de dosis-respuesta para el hipocótilo del mes de marzo 2020.

Figura 28. Dosis respuesta hipocótilo marzo 2020



Fuente: Elaboración propia

Análisis

De acuerdo con el método probit el R^2 de la línea de tendencia, es mayor de 0.9, como se observa en la gráfica $R^2 = 0,1432$ significa que la línea de tendencia representa más de un 90% de probabilidad el comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en hipocótilo con 19,95% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas.

Según los bioensayos realizados el mes de marzo supero valores comparados con los demás meses analizados debido a la época del año encontrándose menos diluida la concentración lo cual afecto significativamente en el crecimiento del hipocótilo disminuyendo la inhibición en un porcentaje del 70% que se relacionan con la carga contaminante y la sensibilidad de la semilla frente al grado dosis respuesta generada. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez, R., 2009).

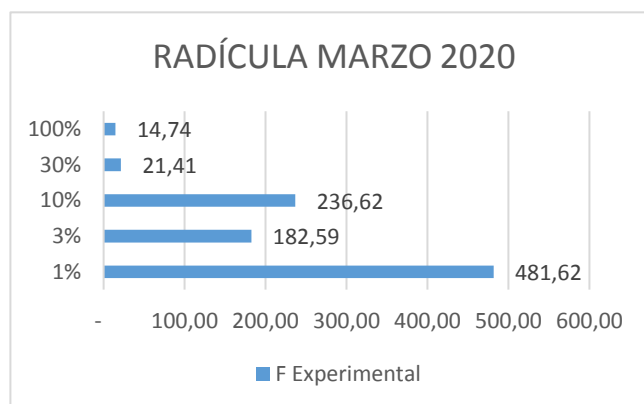
Radícula

A continuación, en la Tabla 23, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la radícula de la semilla de *Lactuca Sativa*.

Tabla 23. Resultados análisis de varianza ANOVA radícula marzo 2020.

MARZO 2020		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	35,30	3,11
1%	481,62	7,71
3%	182,59	7,71
10%	236,62	7,71
30%	21,41	7,71
100%	14,74	7,71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Resultados ANOVA radícula marzo 2020

Fuente: Elaboración propia.

La figura 29 presenta la comparación porcentual de la radícula en el mes de marzo del año 2020 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 1% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 24, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 24. *Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de radícula marzo 2020*

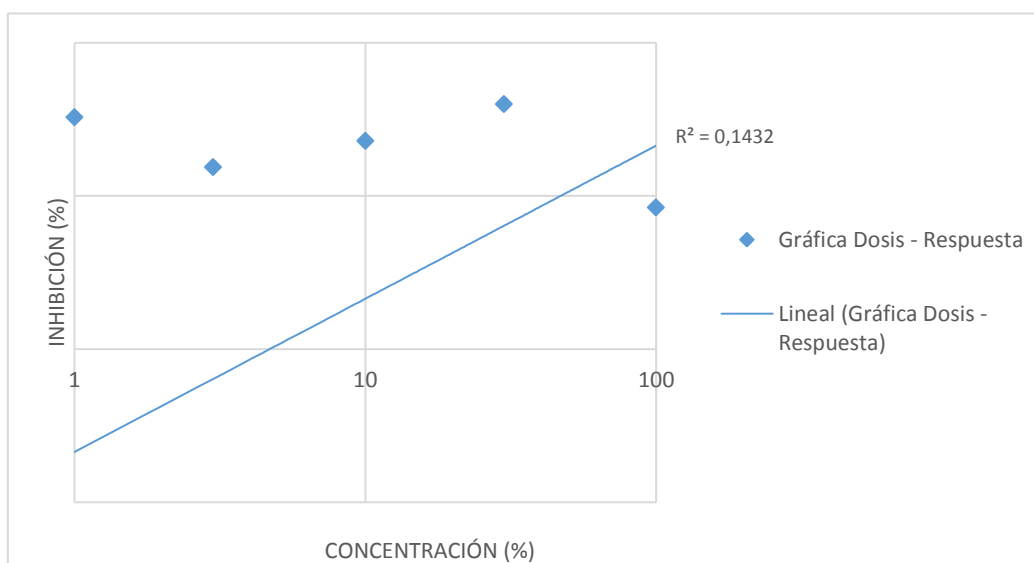
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	3%	23,35
LOEC	10%	23,66
MATC	6%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 35,30, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 10%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 3% y MATC se calcula redondeando en un 6 %.

A continuación, en la Figura 30, se indica la gráfica de dosis-respuesta para el hipocótilo del mes de marzo 2020.

Figura 30. Dosis respuesta hipocótilo marzo 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis

De acuerdo con el método probit el R^2 de la línea de tendencia, es mayor de 0.9, como se observa en la gráfica $R^2 = 0,1232$ significa que la línea de tendencia representa más de un 90% de probabilidad el comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en radícula con 35,30% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas, este dato hace parte del mayor resultado de inhibición de radícula presentado en los 4 bioensayos realizados. El crecimiento de la radícula disminuyó la inhibición en un porcentaje del 70% que se relacionan con la carga contaminante y la sensibilidad de la semilla frente al grado dosis respuesta generada. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez, R., 2009).

Bioensayo julio 2020

Según el boletín agroclimático nacional de noviembre del 2020 (GeoPalma , 2020), indica que Boyacá es una zona con menor precipitaciones durante el año, con valores que oscilan en promedio entre 0 y 50 milímetros, representando para el primer trimestre del año (enero, febrero y marzo) como una de las temporadas más secas en gran parte de la región, sin embargo para el segundo trimestre comienza aumentar moderadamente la época de lluvia, estimando condiciones neutrales del fenómeno del niño o la niña - ENOS durante este periodo del año, la toma de muestra se realizó el 27 de julio de 2020 donde comenzaba aumentar progresivamente la temporada de lluvia que llegó más fuerte para el mes de agosto y septiembre con mayor precipitación en el año 2020, por lo anterior julio hace parte de un mes neutral para la investigación donde se evidencia que no es un periodo muy seco y tampoco con aumento significativo de precipitación.

Los efectos cuantificados sobre el desarrollo del crecimiento de radícula e hipocótilo aumentan un 10% respecto al mes anterior, además del aumento de 2 % en la germinación de semillas sin embargo uno de los porcentajes más altos de inhibición se representan en c(+) con 68,63% demostrando que entre mayor sea el efecto de los tóxicos sobre las semillas, mayor es su porcentaje de inhibición en la germinación.

A continuación, en la tabla 25, se muestra el número de semillas germinadas para el control positivo y negativo.

Tabla 25. Número de semillas germinadas

CAJA	# Semillas Germinadas	Desviación	CV	Promedios	% Germinación	% Inhibición
C (+) R1	4					
C (+) R2	3	3,21	60,27	5,33	31,37	68,63
C (+) R3	9					
C (-) R1	19					
C (-) R2	16	1,73	10,19	17,00	100,00	0,00
C (-) R3	16					

Fuente: Elaboración Propia

Sin embargo, el monitoreo y seguimiento de los tóxicos ambientales con la prueba de ecotoxicidad para el mes de julio arrojaron dentro de la ruta de exposición y monitoreo lo siguiente; radícula con crecimiento ensortijado, necrosis en los cotiledones, ápices radiculares con necrosis, presencia de hongos y coloración parda y de color marrón en algunos casos.

Para dicho bioensayo se registra presencia de contaminantes en todos los registros estadísticos superando el 0,05% datos registrados en porcentajes de germinación, inhibición de radícula e hipocótilo. Cuando el porcentaje es negativo *D10%* como se observa en la siguiente tabla 26 significa que la disolución en lugar de diluir el crecimiento del hipocótilo, causó una alteración de este.

Tabla 26. Disolución que, en lugar de diluir el crecimiento del hipocótilo, causó una alteración de este.

Caja	# Semillas Germinadas	Desviación	CV	Promedios	% Germinación	% Inhibición
D10% R1	17					
D10% R2	18	0,58	3,33	17,33	101,96	-1,96
D10% R3	17					
D3% R1	17					
D3% R2	15	1,00	6,25	16,00	94,12	5,88
D3% R3	16					
D1% R1	18					
D1% R2	16	1,00	5,88	17,00	100,00	0,00
D1% R3	17					

Germinación

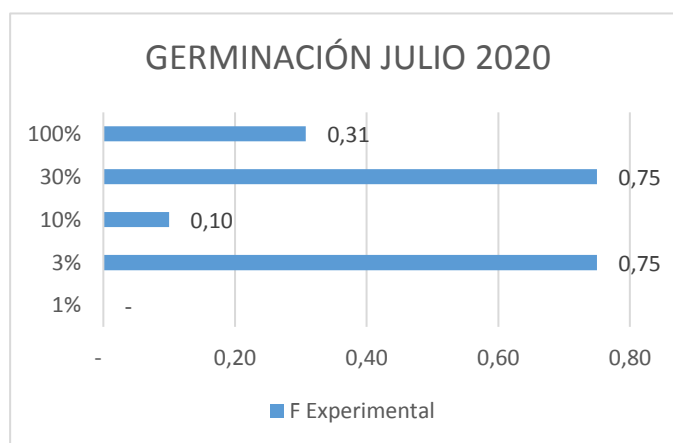
A continuación, en la Tabla 27, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la germinación de la semilla de *Lactuca Sativa L.*, y posteriormente en la figura 31 se grafica por medio de diagrama de barras.

Tabla 27. Resultados análisis de varianza ANOVA germinación julio 2020

JULIO 2020		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	12,1	3,11
1%	-	7,71
3%	3,75	7,71
10%	4,15	7,71
30%	2,75	7,71
100%	1,15	7,71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Resultados ANOVA germinación julio 2020



Fuente: Elaboración propia.

La figura 31 presenta la comparación porcentual de la germinación en el mes de julio del año 2020 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 30% y 3% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 28, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 28. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de germinación marzo 2020.

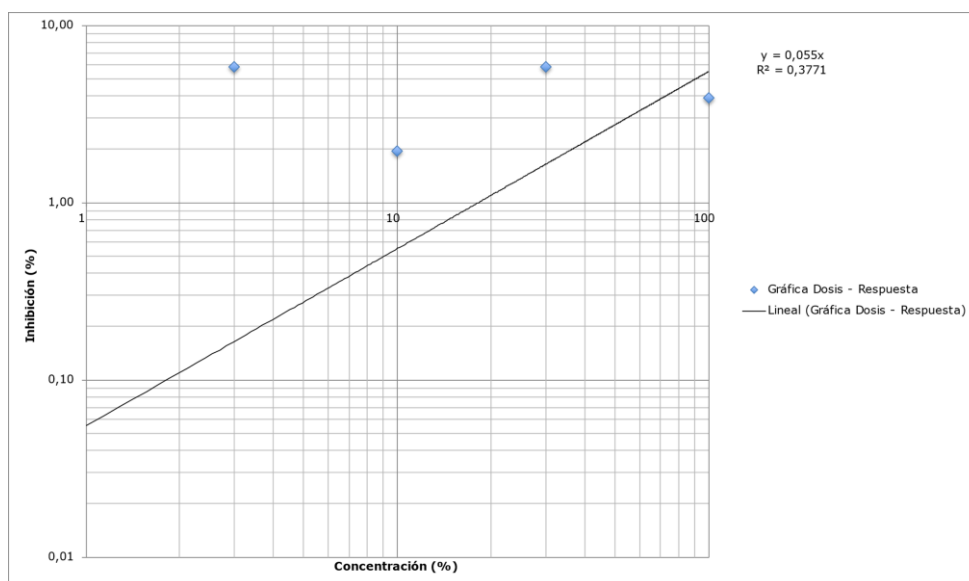
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	10%	17,33
LOEC	30%	16,00
MATC	19%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 12,1, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 30%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 10% y MATC se calcula redondeando en un 19 %. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez, R., 2009, pág. 195)

A continuación, en la Figura 32, se indica la gráfica de dosis-respuesta para la germinación del mes de julio 2020.

Figura 32. Dosis respuesta germinación julio 2020.



Fuente: Elaboración propia

Análisis

De acuerdo con el método probit el R^2 de la línea de tendencia, es mayor como se observa en la gráfica $R^2 = 0,3771$ significa que la línea de tendencia representando probabilidad en el comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en germinación con 12,1% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas.

Como se observa en la tabla existe un valor nulo inscrito en la concentración 1% debido al mínimo registro de germinación y de crecimiento al realizar mediciones, las cuales no son suficientes para generar un valor significativo. (Jaramillo Juárez, F., Rincón Sánchez. A. R., Rico Martínez, R., 2009).

Hipocótilo

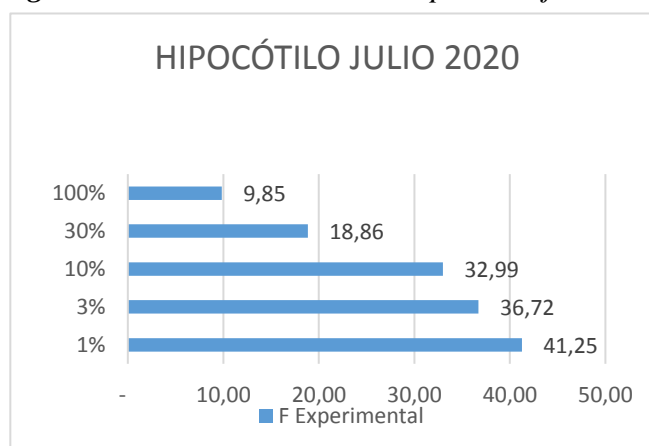
A continuación, en la Tabla 29, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la hipocótilo de la semilla de *Lactuca Sativa L.*

Tabla 29. Resultados análisis de varianza ANOVA hipocótilo julio 2020

JULIO 2020		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	11,00	3,11
1%	41,25	7,71
3%	36,72	7,71
10%	32,99	7,71
30%	18,86	7,71
100%	9,85	7,71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Resultados ANOVA hipocótilo julio 2020



Fuente: Elaboración propia.

La figura 33 presenta la comparación porcentual del hipocótilo en el mes de julio del año 2020 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 1% del agua de la muestra, es decir, agua cruda del río Chicamocha.

A continuación, en la tabla 30, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

Tabla 30. *Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de hipocótilo julio 2020.*

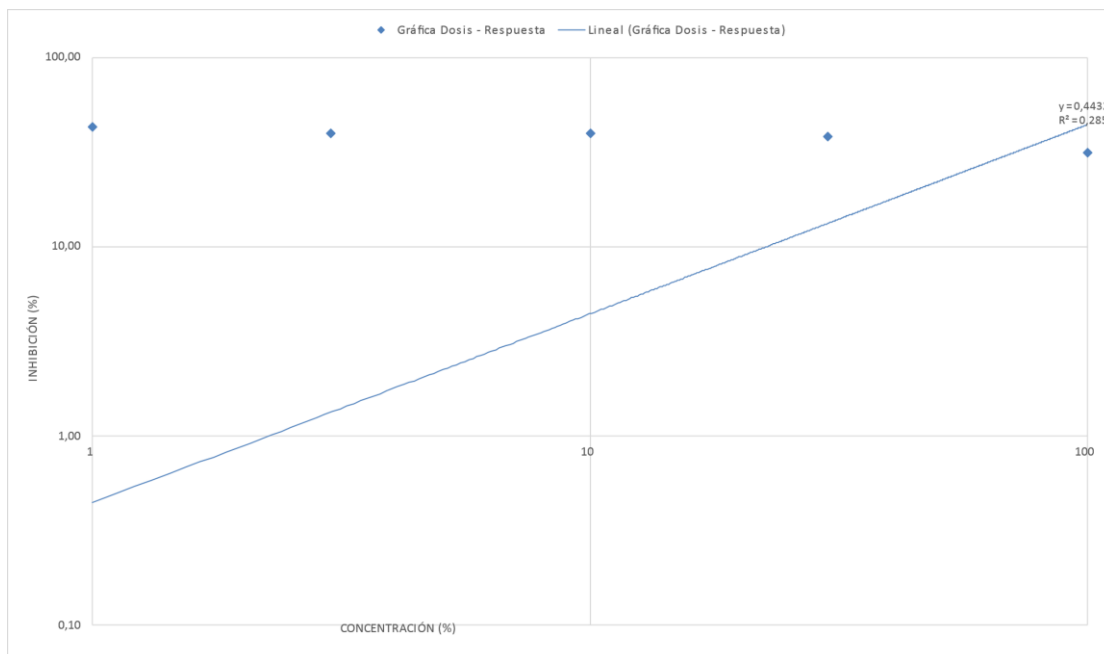
	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	3%	13,44
LOEC	10%	13,42
MATC	6%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 11,00, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 10%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 3% y MATC se calcula redondeando en un 6 %.

A continuación, en la Figura 34, se indica la gráfica de dosis-respuesta para el hipocótilo del mes de julio 2020.

Figura 34. Dosis respuesta hipocótilo julio 2020.



Fuente: Elaboración propia

Análisis

De acuerdo con el método probit el R^2 de la línea de tendencia, es mayor como se observa en la gráfica $R^2 = 0,2855$ significa que la línea de tendencia representando probabilidad en el comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en germinación con 11,0% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas.

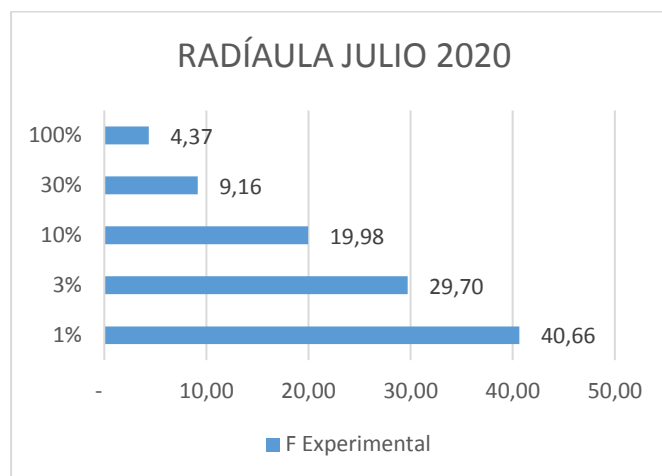
Radícula

A continuación, en la Tabla 31, se indican los resultados del análisis de varianza ANOVA para la radícula de la semilla de *Lactuca Sativa L.*

Tabla 31. Resultados análisis de varianza ANOVA radícula julio 2020.

JULIO 2020		
Tabla NOEC, LOEC, MATC		
Concentración (%)	F Experimental	F teórica (0,05)
Todos	8,81	3,11
1%	40,66	7,71
3%	29,70	7,71
10%	19,98	7,71
30%	9,16	7,71
100%	4,37	7,71

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Resultados ANOVA radícula julio 2020

Fuente: Elaboración propia.

La figura 35 presenta la comparación porcentual de la radícula en el mes de julio del año 2020 por medio del análisis de varianza ANOVA. Es posible concluir que donde más germinaron semillas fue con la concentración del 1% del agua de la muestra.

A continuación, en la tabla 32, se indica el porcentaje de concentración para NOEC (Concentración a la cual no se observa efecto), LOEC (concentración más baja en la cual se observa efecto), MATC (concentración máxima aceptable al tóxico).

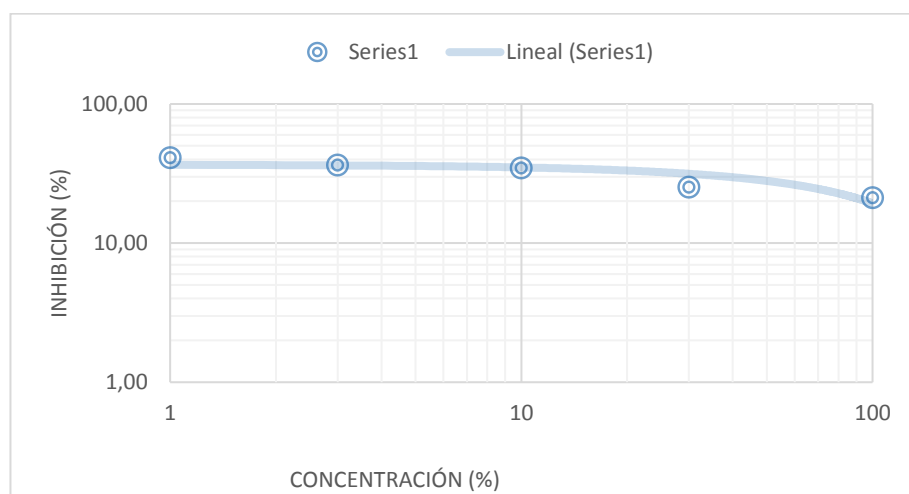
Tabla 32. Porcentajes de concentración de NOEC, LOEC, MATC de radícula marzo

	Concentración	Promedio Radícula
NOEC	3%	12,21
LOEC	10%	12,56
MATC	6%	

Fuente: Elaboración propia.

Se representa la comparación de tres niveles de control donde existen efectos tóxicos sobre las semillas, partiendo del análisis de varianza ANOVA, el F experimental es de 8,81, mucho mayor que el F teórico, que es de 3,11. LOEC es 10%, pues corresponde a la menor concentración donde se observa efectos tóxicos sobre las semillas, por lo tanto, el NOEC es de 3% y MATC se calcula redondeando en un 6 %.

A continuación, en la Figura 36, se indica la gráfica de dosis-respuesta para el hipocótilo del mes de julio 2020.

Figura 36. Dosis respuesta hipocótilo julio 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis

De acuerdo con el método probit El R^2 de la línea de tendencia, es mayor como se observa en la gráfica $R^2 = 0,4455$ significa que la línea de tendencia representando probabilidad en el comportamiento del toxico sobre las semillas de lechuga. De acuerdo con los resultados del ANOVA, dentro de los cálculos obtenidos observamos que los resultados del bioensayo en el “F experimental” superaron “F teórica” (0,05) en germinación con 8,81% indicando que existe efectos tóxicos sobre las semillas. (Sierra Ramírez, C. A., 2011)

En cada una de las tablas dirigidas para este mes se puede observar la presencia de contaminantes sobre las semillas, el F experimental siempre es superior, demostrando la presencia de tóxicos para cada una de las concentraciones, además de representar gráficamente que un 100% (agua contaminada tal como se recolecto) los resultados inhiben el crecimiento y el 1% muestra un mejor progreso de crecimiento y germinación sobre la semilla.

**CAPITULO 2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos del río Chicamocha
Sector Vado Castro, con respecto a la normatividad vigente que aplique.**

Para realizar el análisis de la calidad del agua del río Chicamocha en el sector Vado Castro se implementó por medio de evaluación de parámetros fisicoquímicos mediante de un laboratorio certificado, en comparación con los límites máximos permisibles para el consumo humano, según lo estipulado por la Resolución 0631 del 17 de marzo del año 2015 - capítulo VI - artículo 9. Esta comparación de resultados se implementó con el objetivo de conocer la calidad del agua con la que los agricultores de la zona de estudio hacen su proceso de riego a los cultivos.

Las muestras de agua se llevaron a un laboratorio certificado, donde se evaluaron los siguientes parámetros: (ver Tabla 33)

Tabla 33. Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos por parte de laboratorio certificado.

FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	UNIDADES	TÉCNICA	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	VALORES (Ref.: Resolución 613/15 art. 8 carga ≤ 625 Kg/día DB05)
2020-07-27	PH	UNIDADES	ELECTROMÉTRICO	SM 4500 – H ⁺ B	7.15	± 0.14	6,0 – 9,0
2020-07-27	CONDUCTIVIDAD	μS/cm	ELECTROMÉTRICO	SM 2510 - B	618	± 16	N/A
2020-07-27 A 2020-08-01	DBO	mg/L O ₂	INCUBACIÓN 5 DÍAS	SM 5210 B SM 4500 O-G	62	± 6.21	180
2020-07-27	DQO	mg/L O ₂	REFLUJO CERRADO COLORIMÉTRICO	SM 5220 D	114	± 9.1	N/A
2020-07-27	CLORUROS	mg CL ⁻ /L	TITULOMÉTRICO-ARGENTOMÉTRICO	SM 4500 – Cl ⁻ G	53.8	± N/A	N/A
2020-07-27	FOSFATOS	mg PO ₄ ³⁻ /L	ESPECTROFOTOMÉTRICO	HACH 8040	2.63	± N/A	N/A
2020-07-27	TURBIEDAD	UNT	NEFELOMÉTRICO	SM 2130 - B	33.4	± N/A	N/A
2020-07-27	HIERRO TOTAL	mg Fe/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO	HACH 8008	1.53	± N/A	N/A
2020-07-27	MAGNESIO	Mg Mg/L	CÁLCULO	SM 3500 – Mg B	42.3	± N/A	N/A
2020-07-27	NITRATOS	Mg NO ₃ -/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO	HACH 8039	3.96	± N/A	N/A
2020-07-28	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg /L	GRAVIMÉTRICO	SM 2540 C	326	± N/A	N/A

Fuente: (Corregidor Fonseca, Camilo Alejandro, 2019)

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos corresponde a un aspecto tóxico de tipo significativo donde la fuente hídrica se ve afectada ya que los altos niveles de contaminación cambian sus características haciéndola como no apta. Teniendo en cuenta lo anterior se realiza el análisis en base al cumplimiento de:

1. Valoración paramétrica de los niveles permisibles de la calidad del agua para consumo directo e indirecto, y resultado de análisis por laboratorio.
2. Comparación de resultados generados por la evaluación en el laboratorio certificado, frente a los valores paramétricos permisibles según normatividad.
3. Determinación si el agua es apta para usarla como fuente hídrica en el proceso de riego de cultivo.

A continuación, en la Tabla 34, se indican los valores paramétricos permisibles frente a los resultados en laboratorio.

Tabla 34. Valoración paramétrica para evaluar calidad del agua según normatividad vigente versus resultados de análisis por laboratorio certificado.

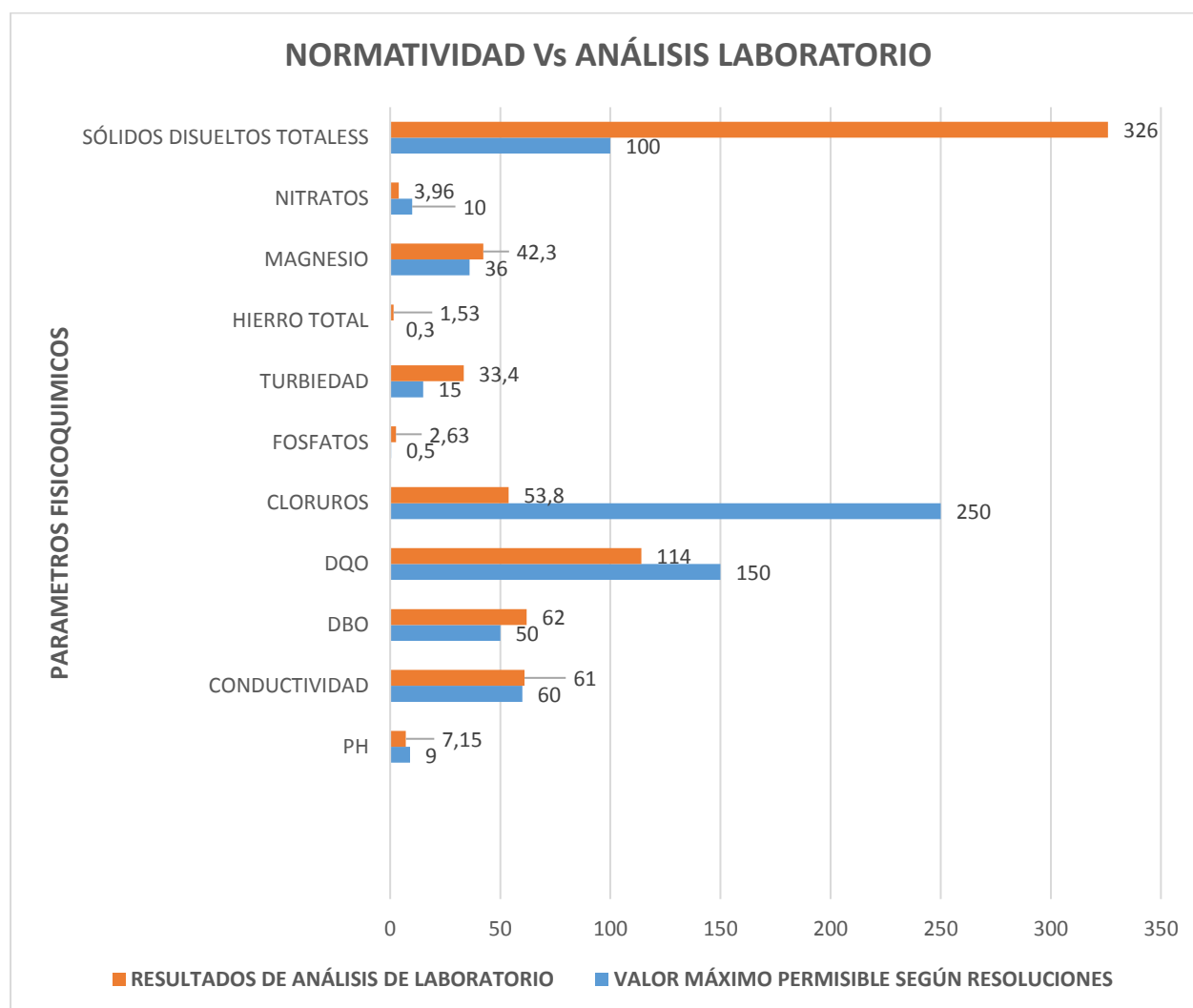
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE SEGÚN RESOLUCIÓN 0631 DE 2015	RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO
pH	Unidades de pH	6,00 – 9,00	7,15
Conductividad	µS/cm	60	61
DBO	mg/L O ₂	50	62
DQO	mg/L O ₂	150	114
Cloruros	mg CL ⁻ /L	250	53,8
Fosfatos	mg PO ₄ ³⁻ /L	0,5	2,63
Turbiedad	UNT	15	33,4
Hierro total	mg Fe/L	0,3	1,53
Magnesio	Mg Mg/L	36	42,3
Nitratos	Mg NO ₃ ⁻ /L	10	3,96
Sólidos disueltos totales	mg /L	100	326

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de comparación de valores paramétricos

A continuación, en la **Figura 37**, se indica el análisis de comparación de los valores paramétricos.

Figura 37. Comparación de resultados generados por la evaluación en el laboratorio certificado, frente a los valores paramétricos permisibles según normatividad.



Fuente: Elaboración propia

Comparación de resultados generados por la evaluación en el laboratorio certificado, frente a los valores paramétricos permisibles según normatividad

pH – Coeficiente que establece si una sustancia es acida o básica. Se obtiene por medio de la evaluación de laboratorio un resultado de 7,15 unidades de pH, demostrando que se encuentra 15 décimas por encima del valor máximo permisible que según la norma se encuentra en 7 unidades de pH. Por lo anterior es correcto afirmar que la concentración de iones de hidrogeno en el agua del rio Chicamocha en el sector de Vado Castro se encuentra neutro, dado que su valor es de 7,5 unidades de pH. Según una investigación realizada sobre el impacto que generan los vertimientos sobre el rio Chicamocha por (Diver Velandia, Fabian Pardo, 2017), el pH puede incrementar la solubilidad de contaminantes tóxicos y afecta de una manera directa la vida animal.

Conductividad. Siendo 60 μ S/cm el nivel máximo permisible según la norma, en comparación con los resultados en laboratorio los cuales indicaron que su nivel sobrepasa en una unidad, dando en su análisis una valoración de 61 μ S/cm. Debido a esto baja la saturación de oxígeno, haciendo que se pierda biodiversidad del ecosistema nativo en la cuenca y subcuencas. (Diver Velandia, Fabian Pardo, 2017)

Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO. La cantidad de oxígeno que consumieron los microorganismos durante la degradación de sustancias orgánicas contenidas en la muestra fue de 62 mg/L O² mientras que según la norma el valor permisible para este parámetro es de 50 mg/L O₂. Por tal razón se evalúa esta muestra contaminada.

Demanda Química de Oxígeno – DQO. Se obtiene por medio de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de un proceso químico, para luego convertirla en dióxido de carbono y agua. Por lo cual, según la norma lo máximo permisible es

150 mg/L O₂, mientras que el resultado del proceso fue 114 mg/L O₂. Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda que el agua debe ser tratada por medio de tratamientos biológicos. (Prieto Castañeda, A., & Grajales García, N., 2012)

Cloruros. La cantidad de cloruros presentes en la fuente hídrica varía con respecto a las características de los terrenos por donde pasa el río Chicamocha, sumándole a esto los vertimientos realizados por industrias residentes en la región. El proceso que implementó el laboratorio certificado para realizar el cálculo de cloruros fue el método argentométrico, donde se basan en el resultado de pH 7 de la misma muestra de agua para saber si es correcto implementar dicha metodología; dando como resultado en su evaluación 53,8 mg CL/L, mientras que según la norma lo máximo permisible es 250 mg CL/L. por tal razón se puede inferir que Las aguas salinas en la agricultura perturban las características químicas de los suelos así como las elevadas concentraciones de sodio y cloro pueden provocar desórdenes nutricionales y toxicidad en las plantas (Centro de Investigación Regional del Noreste, 2009)

Fosfatos. Son nutrientes de las plantas los cuales favorecen el crecimiento de algas y puede producir eutrofización en una fuente hídrica. También son provenientes de excrementos humanos y animales, también por productos de limpieza y detergentes. Teniendo en cuenta lo anterior el resultado generado por el análisis de laboratorio fue 2,63 mg PO₄³⁻/L y si mencionamos la norma, valor permisible es de 0,5 mg PO₄³⁻/L. Teniendo en cuenta lo anterior se concluye que hay un alto grado de fosfatos en el lugar de estudio, lo cual puede causar eutrofización, como también dependencia de organismos que vivan en la fuente hídrica. (Diver Velandia, Fabian Pardo, 2017)

Turbiedad. Es una medida la cual indica la pérdida de transparencia del agua debido a la presencia de partículas en suspensión. La normatividad indica que el valor máximo permisible para este parámetro es de 15 unidades de turbidez, pero la evaluación por el laboratorio dio como

resultado 33,4 unidades de turbidez, por lo tanto, se considera que el agua de la zona de estudio tiene un alto contenido de partículas en suspensión. Lo cual puede causar que las aguas se calienten y reduzcan la concentración de oxígeno porque las partículas se encuentran expuestas al sol. Este valor paramétrico es consecuente al paso del río por suelo arcilloso, vertimientos, entre otros. (Diver Velandia, Fabian Pardo, 2017)

Hierro total. Por medio de la resolución 2115 del 2007 la característica química que tiene mayor consecuencia sobre la salud humana, siendo su valor máximo permisible de 0,3 mg Fe/L, frente al análisis de laboratorio siendo 1,53 mg Fe/L su resultado. Por lo tanto, si hacemos su comparación se puede evidenciar que sobre pasa el nivel máximo permisible más de una unidad de mg Fe/L. Presentando bioacumulación, lo cual disminuye el sólido disuelto en el agua afectando el ecosistema (Diver Velandia, Fabian Pardo, 2017)

Magnesio. Es un metal alcalinotérreo los cuales son responsables de indicar si una fuente hídrica se considera dura o blanda. Teniendo en cuenta lo anterior, la norma indica que el valor máximo permisible para este parámetro es de 36 Mg Mg/L, pero por otro lado el análisis en laboratorio nos da un resultado de 42,3 Mg Mg/L, teniendo en cuenta este resultado se considera que el agua de la zona de estudio es dura. el Mg precipitan como carbonatos, existiendo solo sales de sodio en la solución; sin embargo, cuando los valores son negativos, el agua y solución del suelo son convenientes para uso agrícola (Gutiérrez Guevara, D. R., Olguín López, L. J. & Barreto, A., 2016)

Nitratos. La norma indica que el valor máximo permisible es de 10 Mg NO₃-/L, por otro lado, el resultado dado por el análisis en laboratorio da como resultado un valor de 3,96 Mg NO₃-/L. Por lo cual se puede decir que los nitratos presentes en el agua, no se consideran restrictivos para uso agrícola debido a que el nitrógeno en cualquiera de sus formas es

transformado o absorbido por las plantas para cumplir sus procesos fisiológicos (Irma Francisca, 2009)

Aptitud del agua para ser utilizada para riego en los procesos de cultivo

De acuerdo con el decreto 1594 de 1984 Ministerio de agricultura (usos de aguas y residuos líquido) el NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior.

De acuerdo con el POMCA de la cuenca alta Río Chicamocha los siguientes son los usos del agua, sin que su enunciado indique orden de prioridad:

- a. Consumo humano y doméstico
- b. Preservación de flora y fauna
- c. Agrícola
- d. Pecuario
- e. Recreativo
- f. Industrial
- g. Transporte.

Por el uso de aguas contaminadas para riego de cultivos se transmiten enfermedades a los consumidores y trabajadores agrícolas produciendo así efectos negativos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), nada menos que 4 millones de niños mueren al año como consecuencia de enfermedades diarreicas debidas a infecciones transmitidas por el agua.

Dentro de las enfermedades causadas por la actividad de riego por aguas contaminadas se encuentra lo siguiente:

- **Enfermedades parasitarias**
- Cólera
- Fiebre tifoidea
- Ascariasis
- Amibiasis
- Giardiasis
- *E. coli.* entero invasiva.

Los cultivos asociados a la difusión de estas enfermedades son los que crecen a ras del suelo y se comen crudos, como coles, lechugas, fresas, etc.

Un problema para la salud humana, últimamente varios científicos han observado numerosas relaciones de causa-efecto entre el consumo de aguas fosfatadas y el aumento de casos de cáncer y de enfermedades neuro-degenerativas. Esta situación guarda una cierta distancia respecto de la realidad que se observa en la provincia de Mendoza, donde la agricultura, en lugar de ser "responsable" resulta ser "víctima" de esta contaminación

El cumplimiento de la norma para los valores máximos permisibles en cada parámetro debe ser el indicado según corresponda, pero teniendo en cuenta el análisis de comparación

realizado anteriormente se determina que el agua no es apta para el riego a cultivos ya que, en cada uno de los resultados de laboratorio con respecto a la norma varían dando como resultado un no cumplimiento de esta.

Por otro también se puede decir que el incremento poblacional, las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, sumando las condiciones físicas y químicas de las áreas de terreno van deteriorando significativamente la calidad del agua dentro de la Cuenca (Álvarez, Panta, Ayala & Acosta, 2008). Se considera importante hacer uso responsable del recurso hídrico, fortaleciendo el cumplimiento de la norma y acompañamiento por las entidades o corporaciones autónomas regionales para llevar un control, sobre los vertimientos y el uso de la fuente como abastecimiento para regadío de cultivos.

CAPITULO 3. Relacionar los resultados del bioensayo frente a los parámetros fisicoquímicos

Los parámetros analizados en el estudio fueron desarrollados por los laboratorios certificados ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Servi Químicos E.U y S.G.I Consultoría e Ingeniería S.A.S. Se realizaron 4 bioensayos distribuidos en diferentes épocas del año y al relacionarlos encontramos lo siguiente:

Tabla 34. Valoración paramétrica para evaluar calidad del agua según normatividad vigente versus resultados de análisis por laboratorio certificado.

PARÁMETRO	RESULTADO	RELACIÓN EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL BIOENSAYO
PH	7.15	El pH se encuentra alto por encima de los 6,5 esto provoca que la planta no pueda absorber los nutrientes de manera correcta ya que se insolubilizan y quedan retenidos en el suelo, si analizamos los resultados en este concepto se logra experimentar una deficiencia de nutrientes como el magnesio, fosfato o hierro que son importantes para el correcto desarrollo de la semilla. El rango pH que se encuentra recomendado es de 5.5 a 6.5 para la mayoría de las plantas.
CONDUCTIVIDAD	618	Cuando la conductividad es mayor presenta pérdida o bajo rendimiento de producción, pues cuanto más salina sea el agua mayor conductividad eléctrica tendrá y la capacidad de succión de agua de la planta es desequilibrada.
CLORUROS	53.8	El agua empleada para el riego es alta y se considera potencialmente toxico para los cultivos en este caso para la lechuga.
FOSFATOS	2.63	Los resultados ponen la existencia de una moderada contaminación por fosfatos
HIERRO TOTAL	1.53	De acuerdo con el resultado el grado de restricción en el uso se encuentra entre ligero o severo puede presentar cambios de sabor desagradable.
MAGNESIO	42.3	El valor obtenido frente al desarrollo del bioensayo en la semilla de lechuga en sus primeras 120 horas reduce el crecimiento de las pantas debido al efecto directo de toxicidad.

NITRATOS	3.96	Este valor logra causar daño al cultivo debido a que induce el crecimiento vegetativo en exceso desmejorando la madurez y demeritando la calidad, debido a ello la inhibición que se logró identificar en los 4 bioensayos realizados ya que la lechuga se considera una planta sensible no es capaz en algunos casos de superar dicho valor.
-----------------	------	---

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que la lechuga (*Lactuca Sativa L*), después del choclo y el tomate es una de las hortalizas que más se consumen alrededor del mundo. La lechuga pertenece a la familia dicotiledónea más grande del reino vegetal, con una diversidad según su tipo de hojas y métodos de crecimiento (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017).

Los valores paramétricos evaluados cumplen un papel fundamental en el crecimiento de las plántulas, sea bueno o malo estos dan sus características en cada una de ellas, puede generar cambios de color, inhibición del crecimiento haciendo que no haya un desarrollo normal sino inusual. Los cultivos oleaginosos requieren menos agua y pueden tolerar altos niveles de salinidad, mientras que las hortalizas son más delicadas y sensibles a las sales (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017).

Por otro lado, la presencia de salinidad y sodio en el agua de riego genera un impacto sobre la planta. Por lo cual, el análisis comparativo se realiza de acuerdo con los resultados de laboratorio frente a los resultados de los bioensayos.

La hortaliza *Lactuca Sativa L*. se considera sensible con respecto a los niveles de conductividad, debido a que su tolerancia tiene un límite ya que puede causar quemaduras en sus hojas por su acumulación biológica, la cual representa en la planta la habilidad de tomar ciertos elementos químicos para su crecimiento (Kabata-Pendias, A. Pendias, H.,

2001). Al ver el resultado de laboratorio 61 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no genera tanta preocupación, porque en los bioensayos no se evidenciaron quemaduras en las plántulas.

Por otro lado, los cloruros, se considera que es un elemento que ayuda a las plantas, pero cuando es frecuente y con un porcentaje de concentración elevado puede causar problemas de fitotoxicidad (D. Niñirola, 2015). Por consiguiente, al realizar la relación entre los resultados de laboratorio los cuales fueron 53,8 mg CL/L y en comparación a los resultados de bioensayo no se vieron anomalías en la plántula debido a este elemento. La dureza presente en el agua de riego puede causar con un alto contenido de Magnesio Mg/L causando problemas de precipitación, pero por otro lado ayuda a contrastar la presencia negativa de sodio ya que puede causar toxicidad (Centro de Investigación Regional del Noreste, 2009).

Según el (Instituto de Desarrollo Agropecuario, 2017) en su manual de producción para lechugas ellos han visto que el exceso de fosforo ayuda a que las plántulas se desarrollen en menos tiempo y así se pueda adelantar la cosecha. Por tal razón, las semillas germinan en poco tiempo, a mayor concentración de fosforo, ya que según el manual mencionado si este elemento no se encuentra presente en su desarrollo tornando un color azul- violáceo.

CAPITULO 4. Perspectivas que tienen los habitantes del sector Vado Castro, frente al río Chicamocha y su contaminación.

La entrevista cualitativa como técnica de investigación se realizó de forma semiestructurada con el fin de fortalecer los resultados obtenidos de acuerdo a la opinión de las personas que residen en este lugar en esta ocasión se realizó a dos personas (usuario 1 y usuario 2), que llevan más de quince años dedicados a la agricultura y han usado las aguas del río Chicamocha sector Vado Castro para riego en sus cultivos agrícolas, adicionalmente nos permitió conocer aspectos importantes relacionados con la fuente hídrica y los conocimientos que tiene frente a ello.

Una de las dos personas entrevistadas es residente hace quince años en la vereda Vado Castro donde se ha dedicado a la agricultura aproximadamente hace veinte años. El segundo reside hace cuarenta años en la vereda Vado castro y se ha dedicado a la agricultura hace veinte años.

¿Según lo que usted conoce que opina sobre regar cultivos con aguas contaminadas es bueno o malo para el cultivo?

Usuario 1: “Para la planta es bueno, para la salud si no sé, pero para la planta es un abono terrible el regar con aguas se puede decir aguas negras, pero tiene el efecto de la contaminación de la empresa, pero de resto para la planta es muy bueno, hay mucha más producción porque tiene mucho abono.”

Usuario 2: “El regar con aguas contaminadas debe generar un riesgo que hasta el momento desconozco para nosotros los agricultores es muy bueno pues el río baja con mucha

contaminación porque ahí viene abonos y químicos pero nosotros nunca hemos tenido la oportunidad de tener una asesoría donde nos diga un agrónomo que nos diga si realmente es bueno yo creo que es bueno pero en una parte es malo para la salud porque nosotros nunca hemos tenido esa asesoría pero como producción es muy bueno, nosotros como agricultores tenemos la oportunidad de sembrar en la parte de arriba de Vado Castro donde viene el agua de Monguí y es una agua totalmente limpia pero no tiene la misma producción es siempre mejor sembrar en la parte de río Chicamocha donde es mejor la producción tal vez por la contaminación de las aguas pero la producción siempre es más buena en la costa del río Chicamocha.”

¿Conoce los usos que se le da al agua de río Chicamocha sector Vado Castro?

Usuario 1: “El uso que se le da es para a agricultura para los cultivos de cebolla, lechuga y tomate creo que también están sembrando ahí y para el ganado.”

Usuario 2: “Realmente aquí necesitamos el agua para el riego de las plantaciones de los cultivos para las bebidas del ganado esa es la parte fundamental del uso de estas aguas”

¿Según los resultados de nuestra investigación al regar con aguas del río Chicamocha las semillas de lechuga a medida que va aumentando la concentración del contaminante el rendimiento frente al crecimiento se va afectando proporcionalmente le ha sucedido en algún cultivo que opina sobre ello?

Usuario 1: “Pues no porque lo único que he sembrado es cebolla tomate y lechuga, pero si se trata de negrear un poquito es lo único que le he visto nada más.”

Usuario 2: “Hasta el momento no nos perjudica hemos tenido la oportunidad de sembrar nuestras hortalizas, cebolla, maíz pero nos toca estar muy pendiente de los cambios porque hay cambios climáticos pero realmente nunca hemos tenido ese problema, nosotros tenemos que estar muy pendientes de la contaminación porque en las partes de arriba siempre hay momentos en que mandan mucha contaminación no solo del agua contaminada si no de las empresas los químicos que viene y debemos estar pendientes de los químicos para fumigar realmente el cambio en estos momento del agua hay muchas empresas en las partes de arriba que nos contaminan el agua, nosotros tenemos que estar pendientes con los químicos para que no nos afecte los cultivos.”

¿Utiliza algún método para prevenir la contaminación de su cultivo frente al sistema de riego directo?

Usuario 1: “Los químicos que se le echan, que dicen que le aplique como los carbendazim los productos que le tratan de ayudar a la pudrición que produce esa agua contaminada.”

Usuario 2: “Siempre que caen serenos, siempre que hay heladas de la contaminación del agua nosotros tenemos que estar muy pendientes y pues para cada cultivo ya sabemos que plaguicidas y fungicidas le aplicamos a la plantación, nosotros es la experiencia que ya llevamos de muchas años de trabajo y ya sabemos cuáles son los químicos que debemos utilizar para evitar el pudrimiento y amarillamiento del hogo de las tierras porque ya las tierras están muy cansadas de los químicos de esas aguas que en el momento nos toca como agricultores regar porque no podemos perder nuestras plantaciones.”

¿De 1 a 10 que tan contaminado cree que esta el agua del río Chicamocha sector Vado Castro?

Usuario 1: “Por ahí de un 9 a un 10 por las empresas que hay, llegan todos los residuos a la fuente hídrica.”

Usuario 2: “Los metales la lavada de las arenas yo creo que es un 9 la contaminación del agua por los vertimientos de todas las empresas areneras lavadero de los carros es muy pesado la contaminación, nosotros hemos tratado de hacer nuestras represas para evitar esa contaminación, pero más sin embargo no deja de ser contaminante el agua muy pesada los malos olores las grasas y todo eso que viene de las empresas.”

¿Ha recibido algún tipo de asesoría o charla sobre el grado de contaminación del río Chicamocha?

Usuario 1: “No ninguno, nada nadie nos ha venido hacer una charla de esto.”

Usuario 2: “Siempre hemos tratado de pedirle a las empresas que nos den una asesoría de Corpoboyacá de muchas entidades tal vez con la alcaldía de Tópaga hemos tratado de tocar esos temas, pero nunca nos han dado una asesoría porque realmente somos muchos los productores que hacemos en este lugar y hay veces nos acogemos a esos tratamientos, pero nunca realmente hemos recibido asesoría de ninguna entidad.”

Análisis de resultados, entrevista cuantitativa

Según las respuestas de los entrevistados frente a la contaminación del río Chicamocha sector Vado Castro mencionan que, por su estado físico, mal olor, color, basuras, desechos químicos se ve afectada la población teniendo en cuenta que precisamente el paso de sus aguas es a escasos metros de las viviendas a las cuales llegan los malos olores, roedores y demás aspectos negativos que se generan con la presencia de la fuente hídrica en este lugar.

Los agricultores manifiestan que la producción es mejor cuando utilizan las aguas negras como riego para sus cultivos por los nutrientes del agua y que entre mayor carga de contaminantes mejor es la producción, sin embargo también comentan que deben tener especial cuidado con el cultivo ya que reconocen que se puede pudrir por la actividad de riego con aguas contaminadas y deben aplicar plaguicidas y fungicidas para evitar estos daños en la planta, en los bioensayos realizados con semillas de lechuga *Lactuca Sativa L* se observa dentro de la morfología la presencia de hongos y variación de color marrón por la presencia de contaminantes confirmando que efectivamente se genera alteración en su crecimiento.

De acuerdo con el estudio realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM (2015) menciona los pros y los contras de regadío de cultivos con aguas negras donde afirma la respuesta dada por los entrevistados, este estudio soporta y coincide en varios aspectos con las apreciaciones de los agricultores.

Entre las ventajas más notables están el incremento de la productividad agrícola, la disposición de agua residual a bajo costo, la optimización del uso del agua en zonas con déficit hídrico, y el reciclaje de nutrientes en zonas agrícolas. El beneficio también es económico, ya que

se destinan menos ingresos al bombeo, el agua potable es para uso exclusivamente humano, los agricultores obtienen mayores ganancias y ahorran gastos en fertilizantes.

El lado negativo está en que esa agua contiene patógenos (coliformes fecales), que pueden traer enfermedades para los agricultores que tienen contacto con ella, y para quienes consumen los frutos de las hortalizas regadas con esas “aguas negras”. Además, contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero y a la contaminación de los mantos acuíferos con nitratos y sales solubles.

Otro aspecto nocivo, es el olor fétido que despiden, además, por ser agua de reúso, en algunas ocasiones contiene detergentes que en ocasiones no pueden ser degradados por el suelo. También es posible que contengan elementos potencialmente tóxicos como metales pesados, compuestos orgánicos como grasa, aceite y fármacos.

De acuerdo con un artículo publicado por la revista ciencias técnicas agropecuarias el riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana representa lo siguiente:

El problema real es que, en nuestro mundo, hoy superpoblado, la alta carga orgánica suele ir acompañada de contaminantes biológicos, en primer lugar, por bacterias fecales que pueden llegar a producir serias enfermedades gastrointestinales, en estas aguas contaminantes pueden también existir varios tipos de virus patógenos, en especial el que produce la hepatitis.

Este tipo de agua no debe ser empleada en el riego sin que se esté seguro de su inocuidad. Inclusive, aún en el caso que se asegure por algún laboratorio la inexistencia de estos organismos, no se deben regar hortalizas de hoja, por mera precaución. Otro factor a tener en cuenta es que algunas aguas muy contaminadas son capaces de transferir a los cultivos olores o sabores desagradables que reducen su posibilidad de consumo

De acuerdo a lo anterior el interés es fomentar al conocimiento no solo por la incidencia de enfermedades si no también conocer cuáles son los contaminantes y su comportamiento, asegurando que todos los agricultores y usuarios que se benefician de las aguas del río Chicamocha en el sector Vado Castro estén informados sobre el estado en que se encuentra el río y su grado de contaminación que puede ser nocivos para la salud humana y animal como lo mencionan un uso importante es la toma de agua para el ganado. Según entrevista realizada por el periódico el tiempo, manifiesta lo siguiente:

A Alba Rincón, residente en Vado Castro, se le han muerto tres vacas que bebieron agua de aljibes que quedan a la orilla del Chicamocha. Por lo tanto, también se ve afectado este factor que es el segundo uso más importante de la fuente hídrica.

Es evidente la contaminación en especial en este punto ya que ha sido considerado uno de los más críticos en el trayecto del río Chicamocha. Así lo menciona el periódico el tiempo los tramos más críticos del río va de puente Chámeza (en límites entre Sogamoso y Nobsa) al sector Vado Castro, municipio de Tópaga. (TIEMPO, 2007). Las autoridades competentes no se han hecho cargo de este tema, según los agricultores entrevistados no han recibido ningún tipo de asesoría que les permita conocer estos riesgos, se acogen a los tratamientos tradicionales desconociendo el grado de sustancias contaminantes que están presentes en la fuente hídrica.

Conclusiones

Los resultados derivados de los bioensayos con las semillas de lechuga (*Lactuca Sativa L*) muestran que el agua contaminada influye en la inhibición de la germinación, en la longitud radicular, poco crecimiento de pelo absorbentes de la raíz, de igual manera los parámetros fisicoquímicos analizados corroboran la presencia de contaminantes que incluyen directamente en la inhibición de la germinación de la semilla de la lechuga, siendo por lo tanto un modelo adecuado para evaluar la toxicidad de los cuerpos de agua al considerar este tipo de semillas como indicadores de la calidad del agua.

La germinación de especies indicadoras de bioensayos pueden determinar la toxicidad de los cuerpos de aguas, el uso de semillas *Lactuca Sativa L* permiten la medición de parámetros sencillos, es económica y fácil de aplicar, permitiendo establecer acciones de manejo adecuado a los agricultores sobre la calidad ambiental, esto tiene una relevancia para dar a conocer las afectaciones a la salud humana y en los cultivos que permitan establecer estrategias de gestión y manejo de los residuos que se vierten en las aguas de río Chicamocha .

Los parámetros fisicoquímicos analizados corroboran la presencia de contaminantes relacionados con los resultados del bioensayo teniendo en cuenta que existen efectos tóxicos sobre las semillas, ya que el “F experimental” es mayor a “F teórica en 0.05”, en todos los casos sin importar las condiciones climáticas, comprobando los análisis de laboratorio tomados en el punto de muestreo.

En algunos casos el uso de agua para la agricultura reflejó muestras donde se excede los límites por lo tanto se debe considerar y fomentar un manejo adecuado de riego teniendo en cuenta que para el caso de la lechuga esta es muy sensible ante los contaminantes y afecta su rendimiento.

Es necesario dar a conocer los resultados de esta investigación a la comunidad del sector de Vado Castro para prevenir futuras afectaciones en la salud, así como para mejorar la calidad ambiental en la zona de estudio.

De acuerdo con el estudio realizado para este punto de referencia existe un grado de contaminación derivado por la actividad de riego que afecta la salud humana, animal, los cultivos agrícolas y el suelo.

Recomendaciones

Para realizar el bioensayo se debe tener en cuenta que la toma de muestra de agua se debe realizar de forma puntual, para el montaje del bioensayo y el análisis de laboratorio la muestra no debe tener más de 24 horas de recogida.

Previo a la implementación del montaje del bioensayo es recomendable verificar que cada lote de semillas que se utilice tenga un porcentaje de germinación superior al 90%.

Para realizar análisis dosis respuesta es recomendable preparar mínimo 5 disoluciones o compuestos a estudiar de esta manera se obtendrán valores intermedios que permiten la obtención de datos entre un 100% y 0% con variables que permiten mejores resultados.

En la incorporación de la prueba es importante considerar el compromiso entre la sensibilidad de la especie *Lactuca Sativa L* y el reducido tiempo de exposición de la prueba con las semillas, por lo tanto, el tiempo de germinación de las semillas no deben pasar de los 5 días desde el momento del montaje lo ideal es que se cumplan máximo 120 horas.

Es importante y necesario para la comparación de los análisis realizar una toma de muestra de agua en la misma fecha y hora del bioensayo, debido a los cambios del clima no siempre el agua se encuentra con la misma fluidez y carga contaminante.

En el uso de herramientas de investigación como lo es la entrevista semiestructurada es importante resaltar los puntos de mayor interés centrarnos en conocer cuáles son los aspectos más

relevantes respecto a la fuente hídrica Río Chicamocha, además que es considerable tener en cuenta el personal a entrevistar lo ideal es que conozcan bien del tema en esta investigación es importante los aportes de conocimientos no solo del río, también de la agricultura que se maneja en el lugar para generar información real.

Referencias

ATSDR. (11 de abril de 2019). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.

Obtenido de Leyes del medio ambiente:

https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/1/es_laws.html

CORPOBOYACA. (noviembre de 2009). Corporación Autónoma Regional De Boyacá. Obtenido

de implementación tasas retributivas por vertimientos puntuales:

[http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-](http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/INFOME_EJECUTIVO1212.pdf)

[content/uploads/2016/08/INFOME_EJECUTIVO1212.pdf](http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/08/INFOME_EJECUTIVO1212.pdf)

CORPOBOYACÁ. (2015). Corporación autónoma y regional de Boyacá. Obtenido de

http://www.cruesantander.com/gallery/rio-chicamocha_3.pdf

Cañón Niño, L. F., & Pedroza Nieto, S. P. (2016). Evaluación del potencial de la fotocatalisis

mediante técnicas de radiación y compuestos foto-oxidantes, como alternativa de la

potabilización de agua en zonas rurales.

EMASA. (1 de septiembre de 2020). Calidad del agua suministrada. Obtenido de

https://www.emasa.es/3_calidad/analisis_agua/3221_analisis.php?PFILE=1

FLORES, J. A. (6 de noviembre de 2008). proyecto de investigación. Obtenido de “Análisis de la

Calidad Fisicoquímica y Microbiológica del agua del Río Motagua en diez puntos de:

<https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/rapidos2008/INF-2008-033.pdf>

IDEAM. (10 de septiembre de 2007). toma de muestras de aguas residuales.

Obtenido de Instructivo Para La Toma De Muestras De Aguas Residuales:

http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf

[/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf)

MADS. (03 de 09 de 2016). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de Plan de ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica:

<https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/themes/corpoboyaca-2018/page-template/assets/pomca/docs/pomca-chicamocha.pdf>.

Martin, L., Pozo, M., Mariani, A., & Hernández, R. (17,18,19 de octubre de 2018).

asicprimerazona. Obtenido de Bioensayo de germinación de *Lactuca sativa L* y calidad de agua del área regadía del río Mendoza:

https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/12901/24-aguas-martin-leandro-uncuyo.pdf

Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, V. Y. (22 de junio de 2007).

Resolución 2115. Obtenido de

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

Rodriguez, A., Salazar, C., Ruiz, R., & Lopez, E. (agosto de 2014). Scielo. Obtenido de Índices de germinación y elongación radicular de *Lactuca sativa L* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300007

Salinas, N. E. (s.f.). Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de ¿Qué es un bioindicador?:

<http://bdigital.unal.edu.co/10195/1/naferedivarmoralessalinas.2011.pdf>

Salud, I. N. (13 de agosto de 2013). Vigilancia Y Control En La Salud Pública. Obtenido de Protocolo de vigilancia y control de enfermedades transmitidas por alimentos:

<https://www.minsalud.gov.co/comunicadosPrensa/Documents/ETA.pdf>

Soni, H. B. (2014). International journal of environment. En Assessment of surface water quality in relation to water quality index of tropical lentic enviroment (págs. 168-176). Central Gujarat, India.

UABC. (2015). Facultad de ciencias marinas. Obtenido de Ponencia de biorremediación:
<http://oceanologia.ens.uabc.mx/~felipecorrea/bioensayos/Documentos/Apuntes/apuntes.htm>

UNAM. (2020). Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de Actividad Antrópica:
<http://www.cchnaualpan.unam.mx/pd/mdexperimentales/md9/pdf%20listos/Glosario.pdf>

UPTC. (2020). Análisis de aguas. Obtenido de https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf

chile, E. d. (2001). Diccionario etimológico. Obtenido de Hipocólito:
<http://etimologias.dechile.net/?hipoco.tilo>

14001, N. I. (23 de septiembre de 2015). Sistemas de Gestión Ambiental. Obtenido de Requisito con orientación para su uso:
https://informacion.unad.edu.co/images/control_interno/NTC_ISO_14001_2015.pdf