



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS TOXICOLÓGICOS DE SUELOS DE
CULTIVO DE BANANO EN EL DESARROLLO TEMPRANO DE LACTUCA
SATIVA

AUTOR

Mathews Josué Valenzuela León

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS TOXICOLÓGICOS DE SUELOS DE
CULTIVO DE BANANO EN EL DESARROLLO TEMPRANO DE *LACTUCA*
SATIVA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor Guía

MSc. Indira Fernandina Black Solís

Autor

Mathews Josué Valenzuela León

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Determinación de los efectos toxicológicos de suelos de cultivo de banano en el desarrollo temprano de *Lactuca sativa*, por medio de reuniones periódicas con el estudiante Mathews Josué Valenzuela León, en el semestre 2020-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



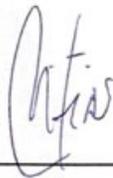
Indira Fernandina Black Solís

Máster en Conservación y Gestión del Medio Natural

C.I.: 1711273563

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, "Determinación de los efectos toxicológicos de suelos de cultivo de banano en el desarrollo temprano de *Lactuca sativa*", del estudiante Mathews Josué Valenzuela León, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Christian Patricio Villamarín Flores

Doctor en Ecología Fundamental y Aplicada

C.I.: 1002339404

Declaración de autoría del estudiante

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'M' followed by several vertical strokes, positioned above a horizontal line.

Mathews Josué Valenzuela León

C.I 0104823844

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la vida, por cada etapa vivida llena de aprendizaje a lo largo mi camino universitario. A mis padres Dewy y Carmita, por el amor incondicional, el ejemplo de la honestidad y perseverancia en todos mis actos, pues ellos son los pilares que me han guiado a obtener mi título universitario.

A mi hermano Felipe, por enseñarme el significado de la lealtad, ser mi mejor amigo, estar a mi lado incondicionalmente y siempre ser mi motivo a ser mejor.

A Erika Zea, por enseñarme el valor del amor, el respeto y brindarme su apoyo incondicional en las largas noches de trabajo.

A mi tutora Indira Black, por generar en mi la pasión por mi carrera, ser excelente en mis actos y por toda su paciencia en esta última etapa de mi vida universitaria.

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación a mi padre Dewy, por ser siempre mi ejemplo a seguir, por su apoyo incondicional, su amor y enseñarme que en la vida siempre se debe caminar dejando huella, a mi madre Carmita, que con mucho amor ha sido mi fortaleza y apoyo en los momentos más felices y duros de mi vida, enseñándome a nunca rendirme a pesar de las adversidades que se presentan, a mi hermano y mejor amigo Felipe, por estar siempre orgulloso de mí y siempre alentarme a ser mejor, a mi novia Erika, por avivar en mí el amor por la naturaleza, hacia los pequeños detalles, a siempre luchar por una causa justa, por su amor y apoyo incondicional y a Mika, que me da la energía y felicidad a mis días.

RESUMEN

Los bioensayos de toxicidad generan un aporte muy importante en la prevención y remediación de impactos ambientales, gracias a la ayuda de organismos vivos sensibles a alteraciones ambientales. Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se tuvo como objetivo determinar los efectos toxicológicos de suelos de cultivo de banano en el desarrollo temprano de *Lactuca sativa*. El estudio se realizó utilizando muestras de suelo de 30 diferentes fincas de producción bananera de la provincia de El Oro, de las cuales 15 utilizan un sistema de producción agroecológico y las 15 restantes utilizan un sistema de fumigación convencional con aplicación de agroquímicos de síntesis. Se analizó la concentración de elementos traza (As, S, Ba, B, Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Pb, Se, Va, y Zn) mediante análisis múltiple por metodología de Plasma Inductivo Acoplado. Se determinaron los índices de toxicidad. Se cuantificó la presencia de micronúcleos en células de radícula como respuesta toxicológica al uso de agroquímicos en bananeras. En base a un análisis realizado sobre la normativa ambiental ecuatoriana vigente, se determinó que, en las fincas de producción agroecológica, el Cadmio, Cobre, Arsénico y Cobalto, y en fincas con fumigación convencional, el Boro, Cadmio, Cobre, Cromo, Cobalto, Arsénico, Azufre, Níquel y Zinc; sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos. Además, se identificó una mayor cantidad de tratamientos con baja y mediana toxicidad en las fincas con fumigación convencional frente a las fincas de producción agroecológica. Finalmente, se determinó que no existe presencia de micronúcleos en raíces.

Palabras claves: bioensayo, toxicidad, *Lactuca sativa*, agroecológica, agroquímicos de síntesis, cultivos de banano, micronúcleos.

ABSTRACT

Toxicity bioassays make a very important contribution in the prevention and remediation of environmental impacts, thanks to the help of living organisms that are sensitive to environmental changes. For the development of this research paper, the objective was to determine the toxicological effects of banana cultivation soils on the early development of *Lactuca sativa*. The study was conducted using soil samples from 30 different banana growing farms in the province of El Oro, 15 of which manage an agroecological production system and the other 15 of which manage a conventional fumigation system with synthetic agrochemicals. The presence of trace elements (As, S, Ba, B, Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Pb, Se, Va, and Zn) was analyzed by the multiple analysis method by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Toxicity indexes were determined. The presence of micronuclei in radicle cells was quantified as a toxicological response to the use of agrochemicals in banana plants. Based on an analysis conducted on the Ecuadorian environmental regulations in force, it was determined that, on farms with agro-ecological production, Cadmium, Copper, Arsenic and Cobalt, and on farms with conventional fumigation, Boron, Cadmium, Copper, Chrome, Cobalt, Arsenic, Sulfur, Nickel and Zinc; exceed the maximum permissible limits established. Furthermore, a greater number of treatments with low and medium toxicity were identified in farms with conventional fumigation compared to farms of agroecological production. Finally, it was determined that there is no presence of micronuclei in roots.

Keywords: bioassay, toxicity, *Lactuca sativa*, agroecological, synthetic agrochemicals, banana crops, micronuclei.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Alcance	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Hipótesis	7
2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Bananeras en Ecuador.....	8
2.2. Bananeras en la provincia de El ORO	9
2.3. Uso de pesticidas y agroquímicos de síntesis en la producción bananera y la contaminación de suelos.	10
2.4. Elementos traza	11
2.5. Ecotoxicología.....	11
2.6. Ejemplos de toxicidad en especies vegetales.....	12
2.7. <i>Lactuca sativa</i>	12
2.8. <i>Lactuca sativa</i> como indicador	14
2.9. Evaluación de Micronúcleos	15
3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	16

3.1. Área de estudio	16
3.2. Toma de muestras de suelo	16
3.3. Análisis de elementos traza.....	17
3.4. Ensayos de laboratorios	17
3.4.1. Diseño experimental	17
3.4.2. Variables Independientes	18
3.4.3. Variables dependientes	19
3.5. Preparación del sustrato.....	19
3.6. Preparación de semillas	20
3.7. Germinación de <i>Lactuca sativa</i> L	20
3.8. Protocolo de evaluación de micronúcleos	20
3.9. Índices de toxicidad.....	21
3.10. Análisis estadísticos	23
4. CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	24
4.1. Análisis de elementos traza.....	24
4.1.1. Comparación de resultados con la normativa ambiental ecuatoriana vigente 24	
4.1.2. Análisis de componentes principales (ACP) y similitud (ANOSIM) de elementos traza frente a al tipo de finca o tratamiento	28
4.1.3. Respuesta de metales pesados o elementos traza frente al tipo de tratamiento, donde (“1” representa el bloque de fincas agroecológicas, “2” el bloque de fincas por fumigación convencional o química y “3” el testigo)	32
4.2. Respuesta germinativa de <i>Lactuca sativa</i>	43

4.2.1. Análisis general por bloques o tipo de finca	43
4.2.2. Análisis entre fincas agroecológicas.....	43
4.2.3. Análisis entre fincas con fumigación convencional.....	45
4.3. Evaluación de micronúcleos.....	46
4.4. Respuestas biológicas en semillas de <i>Lactuca sativa</i>	47
4.4.1. Índices de toxicidad.....	47
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
5.1. Conclusiones.....	55
5.2. Recomendaciones.....	56
REFERENCIAS.....	58
ANEXOS	66

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El crecimiento demográfico a nivel mundial requiere de un aumento en los niveles de producción de alimentos, por lo que existe un riesgo en la seguridad alimentaria, pues alimentar a 9700 millones de personas a nivel global, que se esperan para el año 2050 (ONU, 2019), se ha convertido en un reto. Es así que el 26,4% de la población del mundo está expuesta a la inseguridad alimentaria (FAO, IFAD, OMS, PMA y UNICEF, 2019) y la cifra de personas que sufren de falta de alimentos y de malnutrición, ascendió en 17 millones en el periodo de 2016 hacia el 2017 (Banco Mundial, 2019). Para cubrir la demanda alimentaria será necesario incrementar la producción en un 60% durante los próximos 40 años (FAO, 2012).

La agricultura representa el 11% de la superficie global terrestre, es decir 1500 millones de hectáreas se destinan al cultivo agrícola en el mundo. Según la FAO (2012), se estima que los suelos de cultivo aumenten en un 5% (69 millones de hectáreas) aproximadamente, para el año 2050. Debido a la demanda alimenticia y a otros factores como la expansión urbana y la degradación de los suelos, en un futuro la tierra para uso agrícola será escasa (FAO, 2002). Este sector representa gran parte del PIB mundial, un tercio del mismo, por lo que promueve un crecimiento económico y contribuye significativamente a la disminución de la pobreza, siendo esta una alternativa cuatro veces más eficaz que otros sectores productivos para aumentar los niveles de ingresos económicos de las personas más pobres (Townsend, 2015).

El sistema agrícola actual, genera impactos negativos sobre el ambiente, pues además de las grandes extensiones de territorio que ocupa, se destina para este

fin, el 70% del total de agua dulce que se extrae de los ecosistemas acuáticos de agua dulce, cifra que incrementará en un 15% para satisfacer la demanda (Banco Mundial, 2017). En la región de América Latina y El Caribe se utiliza el 72.1% de recursos hídricos para cultivos (UNESCO, 2015). Para cubrir la demanda en cuanto a producción de alimentos, el sector agrícola ha requerido mejorar sus sistemas de cultivo, aumentando el rendimiento y las tasas de producción, por lo que ha sido necesaria la aplicación de insumos químicos de síntesis, los denominados agroquímicos. La FAO (2002) indica que, en países en vías de desarrollo, el uso de estos productos irá creciendo en más del 1% anualmente por los próximos 30 años. Por el uso indiscriminado de estos productos químicos, se contaminan potencialmente los recursos naturales (suelo, agua y aire), y a su vez; se generan inmensas cantidades de desechos.

Los países en desarrollo, debido a su gran potencial de tierras fértiles y existencia de recursos naturales, se consideran como la principal fuente de producción agrícola en el mundo para los próximos diez años (FAO, 2012). Así mismo, la agricultura en esta región hace posible acercarse al cumplimiento de los objetivos del desarrollo y representa ingresos económicos que permiten una reducción de la pobreza. En estas naciones, 9 de cada 10 personas, se dedican a actividades agrícolas para subsistir, el 22% de la población económicamente activa se dedica a ello (Molinda y Victorero, 2015).

Ecuador, país ubicado en la región de América Latina, es un claro ejemplo de lo antes mencionado, pues su economía depende del sector agrícola, después del sector petrolero. Esta actividad representa el 9.2% del Producto Interno Bruto de la nación (Banco Mundial, 2018). Tiene una importancia significativa para su desarrollo, cubriendo el 95% de la demanda alimenticia de sus pobladores, y generando el 25% de puestos de trabajo (Peralta, Aguilar, Apolo y Sisalema, 2018).

Entre los principales sistemas de cultivo del país, se encuentra el banano. En la década de 1940 se da el auge bananero, siendo así que en el año 1945 se llegaron a exportar 16.7 millones de racimos, el porcentaje más alto en toda la historia de producción del Ecuador (Gonzabay, 2013), y para el año 2017 se exportaron 3.52 mil millones de toneladas (CFN, 2017). La banana representa el 10% de las exportaciones del país (UNCTAD, s.f.). A nivel mundial es el mayor exportador, con un 24.6% de las exportaciones. La superficie sembrada a nivel nacional es de 230.000 hectáreas (INIAP, s.f.), según la Corporación Financiera Nacional (2017) estos cultivos se encuentran en la zona litoral, principalmente en las provincias de Guayas, Los Ríos y El Oro, y representan casi el 91% de la superficie cultivada de este producto. Un 90% de cultivos de banano corresponde a explotaciones de pequeño y mediano tamaño, de 10 a 50 hectáreas (FAO, 2004). En esta industria existe un uso a gran escala de productos agroquímicos, incluyendo aquellos que ya han sido prohibidos en la Unión Europea debido a su alta toxicidad y potenciales riesgos para la salud de los seres vivos, (Peter et al., 2016). Por ejemplo, para el control de la plaga de Sigatoka Negra, se realiza un control aéreo con productos químicos como Timorex y Sonate, entre otros (INIAP, 2014).

En Ecuador, son los campesinos quienes sufren la mayor parte de las afectaciones debido a la exposición directa que tienen con los pesticidas (Rebaï, 2018), la situación se agrava al no tener la capacitación necesaria, ni la mínima requerida sobre el uso y sus consecuencias sobre la salud (Peter et al., 2016). Los agroquímicos de síntesis más perjudiciales, son los más económicos en el mercado, esta es una de las principales razones de su amplia utilización. Según investigaciones, se ha identificado que 1 de cada 7 personas se han intoxicado al estar en contacto con estos productos, llegando a presentar efectos agudos e incluso crónicos. (Acción Ecológica, 2017).

1.2. Alcance

En este trabajo de titulación se determinó los efectos toxicológicos de suelos de cultivo de banano en el desarrollo temprano de la *Lactuca sativa*. Fue una investigación de tipo experimental. Se trabajó con 30 muestras de suelo (15 de fincas manejadas agroecológicamente y 15 de fincas donde se utilizan agroquímicos de síntesis), y un testigo proveniente de un bosque sin intervención antrópica en la ciudad de Puerto Quito. Los ensayos de laboratorio tuvieron una duración de cinco días. Las respuestas toxicológicas se midieron: mediante índices de toxicidad, porcentaje de germinación y crecimiento radicular; además de medir la presencia de micronúcleos en células de radículas.

Por otra parte, se determinó en el laboratorio de la Universidad de las Américas la presencia de metales pesados o elementos traza en el suelo estudiado.

Este proyecto de investigación, forma parte del Programa de “Investigación Participativa para el Impulso de la Producción de Banano” de la Universidad Andina Simón Bolívar.

1.3. Justificación

El planeta y la humanidad atraviesa una crisis ambiental, en la que una de las principales causas, es el crecimiento poblacional desenfrenado, por lo que día a día la demanda de recursos que puedan satisfacer sus necesidades es mayor, la manera en que estos recursos se utilizan para la producción de bienes y servicios, es lo que menos importa en la sociedad actual (BBC, 2011). Esta realidad es la causa de muchos problemas ambientales que se encuentran ligados muy estrechamente unos con otros, como es el caso del consumo insostenible de recursos, lo que genera contaminación de las fuentes hídricas; deforestación que

provoca un cambio de uso de suelo, por ejemplo, el aumento de monocultivos, erosionando de manera catastrófica los suelos y recurriendo cada vez más a alternativas negativas como el uso de agroquímicos de síntesis (OMS, 2016).

La mala calidad de suelos, que es muy común en estos días, ha obligado a que en la agricultura se utilicen fertilizantes químicos de manera indiscriminada, por su rápida acción y beneficio al crecimiento de productos alimenticios, pero que impacta negativamente al ambiente, lo que ha generado un crecimiento incontrolable de plagas en los cultivos (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2015). Esto ha llevado al uso inconsciente de pesticidas de síntesis, degradando aún más los suelos y generando una emergencia para la seguridad alimentaria, ya que enfermedades ligadas al uso de agroquímicos se generan mayoritariamente en países en desarrollo, debido a que no tienen normativas de control adecuadamente establecidas. Según la OMS, al año se producen alrededor de 200.000 muertes en el mundo ligadas al uso de pesticidas de síntesis (OMS, 2018).

Ecuador depende económicamente de su producción agrícola, por ello requiere cuidar de sus recursos naturales, como lo es el suelo, para que estos sigan siendo fértiles y cultivables. La industria del banano es de gran importancia en la productividad del país, pues es el principal producto agrícola de exportación, y la segunda fuente de ingresos (Orozco, s.f.), por ende, genera grandes ingresos económicos y fuentes de trabajo para la población, disminuyendo los niveles de pobreza y contribuyendo al desarrollo de esta nación. Por lo que es indispensable generar conciencia sobre la importancia de la producción sostenible en la que se tome en cuenta el cuidado del ambiente, la salud de las personas y demás seres vivos.

Debido al aumento de enfermedades que se relacionan con el consumo de alimentos contaminados con productos agroquímicos, ha ido creciendo de a poco

la importancia de un cambio en los sistemas de cultivo, hacia lo orgánico o agroecológico, por lo que se han venido desarrollando trabajos de investigación relacionadas a este tema, sin embargo, no son suficientes. Debido a la problemática que se genera en torno al sistema tradicional de cultivo de alimentos, en el que la aplicación de productos agroquímicos se produce de manera indiscriminada, y a los efectos graves sobre la salud de los ecosistemas y especialmente de los seres humanos, es necesario buscar alternativas y desarrollar conocimiento científico que permita generar el cambio que se necesita, por lo que mediante este trabajo de investigación, se pretende generar un aporte que sirva como base para la solución de esta problemática, específicamente sobre la presencia de productos químicos de síntesis residuales en los suelos de cultivo, y de esta forma determinar si se producen efectos negativos sobre otras especies vegetales, por medio de la realización de un estudio de toxicidad sobre la especie *Lactuca sativa*.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Determinar los efectos toxicológicos de suelos de cultivo de banano en el desarrollo temprano de *Lactuca sativa*.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la concentración de elementos traza en los suelos de cultivo de estudio.
- Determinar los índices de toxicidad en la germinación y crecimiento radicular de *Lactuca sativa* frente al uso de insumos agrícolas en suelos bananeros.

- Cuantificar la presencia de micronúcleos en células de radícula como respuesta toxicológica al uso de agroquímicos en bananeras.

1.5. Hipótesis

Hipótesis Alternativa (H₁)

- Existen diferencias en las concentraciones de elementos traza entre suelos bajo cultivos agroecológicos y cultivos “convencionales”.

Hipótesis Nula (H₀₁)

- No existen diferencias en las concentraciones de elementos traza entre suelos bajo cultivos agroecológicos y cultivos “convencionales”.

Hipótesis Alternativa (H₂)

- Existen diferencias en los efectos toxicológicos de la germinación de *Lactuca sativa* y el crecimiento radicular en suelos bajo cultivos agroecológicos y cultivos convencionales.

Hipótesis Nula (H₀₂)

- No existen diferencias en los efectos toxicológicos de la germinación temprana de *Lactuca sativa* y el crecimiento radicular en suelos bajo cultivos agroecológicos y cultivos convencionales.

Hipótesis Alternativa (H₃)

- Existen diferencias en la germinación y crecimiento radicular de *Lactuca sativa* en suelos bajo cultivos agroecológicos y cultivos convencionales.

Hipótesis Nula (H03)

- No existen diferencias en la germinación y crecimiento radicular de *Lactuca sativa* en suelos bajo cultivos agroecológicos y cultivos convencionales.

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bananeras en Ecuador

A lo largo de la historia, la producción bananera ha formado parte de la economía ecuatoriana, pero no es hasta después de la década de los 50 que empieza a formar parte sólida del desarrollo de la economía del país gracias a que la producción entra en auge al abrirse las puertas al mundo para la exportación del banano. A partir del desarrollo de la producción y exportación del banano empieza un gran crecimiento de infraestructura, migraciones de la sierra a la costa, expansionismo de la frontera agrícola, desarrollo de pequeñas poblaciones en la región costa (Bonilla, 2011).

A partir de la posguerra el mundo empieza un crecimiento acelerado por el expansionismo del capitalismo a nivel mundial, la producción y exportación del banano en el Ecuador no se quedó atrás, pues a partir del boom bananero en la mitad del siglo XX en las siguientes dos décadas los ingresos por venta de banano se triplica en el país (Larrea, 2006).

Hoy en día la producción bananera es el sostén y apoyo de casi el 17% de la población económicamente activa (PEA), donde los pequeños productores abarcan

el 61% de la producción bananera y los ingresos anuales al país bordean los 3 mil millones de dólares (MAGAP, 2019).

La economía ecuatoriana empezó a desarrollarse a pasos acelerados, pero no todo era positivo, pues el efecto adverso del crecimiento económico cobró muy caro al medio ambiente ya que a partir del boom bananero el paisaje de la costa ecuatoriana empezó a verse afectado negativamente debido a los cambios abruptos que se generaron por el expansionismo de la producción bananera (Larrea, 2006). Las zonas que fueron tomadas para la producción bananera registran que hasta antes de los años 50 estaban cubiertas por bosques húmedos y secos de la zona y las vías de comunicación eran poco desarrolladas, según la CEPAL el área de sembrado en los inicios del boom bananero era alrededor de 45 mil hectáreas frente a tres décadas posteriores presentaría un incremento a 215 mil hectáreas (CEPAL, 2013).

2.2. Bananeras en la provincia de El Oro

A partir del Boom bananero, entre la década de 1950, pequeñas poblaciones poco desarrolladas empiezan a surgir, de esta manera la provincia de El Oro empieza su crecimiento económico gracias a la producción y exportación del banano principalmente su capital Machala, pues la inversión extranjera empieza a hacerse notar, se produce gran movimiento migratorio hacia la costa, se activa la economía y el mercado interno (Bonilla, 2011).

La provincia de El Oro se encuentra situada en el tercer lugar a nivel nacional de producción bananera, con un total de 63.883 hectáreas sembradas, de la producción nacional de banano la provincia de El Oro representa el 32.4%, siendo ingresos muy considerables para la economía nacional (ESPAC, 2012). Para el 2017, Ecuador recibió ingresos de 2210 millones de dólares por exportaciones de

banano a Estados Unidos, uno de sus principales destinos para dicha actividad donde el 32.4% de esos ingresos son generados por la provincia de El Oro (PRO ECUADOR, 2020).

2.3. Uso de pesticidas y agroquímicos de síntesis en la producción bananera y la contaminación de suelos.

El uso de plaguicidas está destinado para el control de plagas que pueden generar efectos negativos para los cultivos, pero de igual manera acaba con toda la vida que aporta a la salud de suelo. Por factores como la erosión del suelo y escorrentía por lluvias, los pesticidas se pueden transportar contaminando otros suelos, fuentes de agua y el aire. De cierta manera los plaguicidas son beneficiosos, pues evitan la propagación de enfermedades, asimismo, favorecen a mejorar la alimentación, porque permite una mayor calidad, cantidad de alimentos en menor tiempo, pero no se considera la alta toxicidad que implica es uso de plaguicidas, debido a que desequilibran y deterioran los ecosistemas (Espinoza y Tinoco, 2015).

El uso de agroquímicos de síntesis o pesticidas en la producción bananera es muy común hoy en día, pues las plagas y el deterioro del suelo son características negativas de un mono cultivo como el del banano, pues obliga su uso, cabe recordar que la producción bananera se la ejerce generalmente en climas cálidos y húmedos, como consecuencia beneficia a la proliferación de plagas, una de la principales plagas que se combate es la *Sigatoka negra*, que es la causante de un bajo rendimiento de las plantaciones pues baja la capacidad de producción. El conflicto de usar o no agroquímicos cada vez es más grande, pues los estándares de calidad para exportaciones son más rigurosos con respecto al uso de plaguicidas, por afectaciones que dejan el uso de estos productos, desde el riesgo a la salud humana con enfermedades crónicas, la acumulación de pesticidas en los suelos que generan procesos de degradación, erosión, contaminación de fuentes hídricas y bioacumulación en organismos vivos (FAO, 2017).

2.4. Elementos traza

Los elementos traza son los responsables del desarrollo óptimo de las funciones indispensables en los seres vivos, como el crecimiento y la reproducción, pero dependen de dosis o cantidades mínimas, por lo que se los puede medir en partes por millón, pues la variación de estos rangos, ya sean altos o bajos a lo normal se convierten en perjudiciales e incluso tóxicos, tanto para los seres vivos como para el medio ambiente en general. Los elementos traza se clasifican en elementos que son esenciales para los seres vivos, no esenciales y elementos nocivos o tóxicos para la vida (Alarcón, 2009).

En el suelo abundan un sin número de elementos traza, pero los más comunes se los ha clasificado en los siguientes grupos, por su forma química: cationes (Ag^+ , Cd^{+2} , Co^{+2} , Cr^{+3} , Cu^{+2} , Hg^{+2} , Ni^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2}), metales naturales (Hg, V), oxianiones (AsO_4^{-3} , CrO_4^{-2} , MnO_4^{-2} , HSeO_3^{-} , SeO_4^{-2}), halogenuros (F^- , Cl^- , Br^- , I^-), y organocomplejos (Ag, As, Hg, Se, Te, Ti) (Bowen, 1979).

2.5. Ecotoxicología

La ecotoxicología se la conoce como una nueva rama de estudio, establecida por varios científicos debido a la alta contaminación del medio ambiente que se empezó a evidenciar de manera clara en la época de 1960 a 1970. La ecotoxicología se deriva de muchas ciencias, principalmente de la toxicología, con la diferencia que se enfoca a ecosistemas, es así que esta ciencia estudia o evalúa los efectos y consecuencias, que diferentes contaminantes antrópicos o naturales que puedan estar en el medio ambiente generan a nivel de ecosistemas, que pueden ser poblaciones o comunidades de organismos vivos (Zagatto, 2015).

2.6. Ejemplos de toxicidad en especies vegetales

El principal ejemplo que se puede mencionar relacionado a toxicidad en especies vegetales, es la bioacumulación de metales pesados o elementos traza, pues la plantas tienden a generar diferentes tipos de respuesta frente a la presencia de un contaminante, en este caso metales pesados, muchas especies vegetales simplemente inhiben el ingreso de estos elementos a su sistema, restringiendo su absorción, pero existen otras especies mucho más sensibles que permiten su ingreso y absorben contaminantes bioacumulándolos en su sistema o biomasa. (Baker, 1981).

Las especies vegetales poseen la característica de bioacumular contaminantes en diferentes cantidades en su biomasa, pues hay plantas que son capaces de retener estos contaminantes en su sistema mucho más que otras plantas que habitan en su entorno, a estas plantas se las denomina hiperacumuladoras, que comúnmente se las encuentra en suelos saturados por metales debido a condiciones naturales como la geoquímica del suelo, o condiciones antrópicas, como la presencia de mineras. Las plantas hiperacumuladoras tienen como característica principal poca biomasa, ya que invierten su energía a la adaptación de su sistema a suelos ricos en metales pesados que se encuentran en su entorno (Kabata, 2000).

2.7. *Lactuca sativa*

Tabla 1.

Taxonomía de *Lactuca Sativa*

Nombre común	Lechuga
Dominio	Eucariota
Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales

Familia	Asteráceas
Género	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>sativa</i>

Tomada de (Conabio, s.f.).



Figura 1. *Lactuca sativa* L.

Es una especie de ciclo anual, de rápido crecimiento, cuya raíz principal es pivotante y delgada, mide 25 centímetros de longitud, además posee ramificaciones secundarias. Sus hojas son de color verde en distintas tonalidades, cuando inicia el desarrollo de la planta, tienen una forma lanceolada, dispuestas en espiral que forman una roseta, además son levemente dentadas. Las flores son hermafroditas y se disponen en racimos pequeños de color blanco o ligeramente amarillas, poseen cinco estambres, con un ovario bicarpelar, un solo óvulo origina la semilla (Křístková, Doležalová, Vinter & Novotná, 2008).

La lechuga produce frutos secos que contienen a una sola semilla, botánicamente hablando se denomina aquenio (Romoleroux, Erler & Navarrete, 2019), es de

tamaño pequeño, alargada, delgada y liviana; su color es negro y su tamaño es de 3 a 4 mm de longitud y de 1 mm de ancho (Halsouet y Miñambres, 2005), misma que, al absorber agua acciona ciertos procesos fisiológicos que dan paso a la germinación. Para este proceso germinativo existen algunas etapas, que inicia con la activación de las membranas celulares, lo que da lugar al crecimiento de la radícula hasta que quiebra la testa y se produce la elongación de la misma, seguido surgen los cotiledones. Posteriormente brota la plántula, que al recibir luz se vuelve autótrofa; sus raíces pueden captar el agua y los nutrientes, y finalmente, sus cotiledones hacen fotosíntesis hasta el surgimiento de las hojas verdaderas.



Figura 2. Germinación temprana de *Lactuca sativa*, día cero, día tres y día 5 respectivamente.

La temperatura es un factor determinante para la germinación de la especie, la misma debe oscilar entre los 18 a 21 °C, como así también lo es la humedad, por lo que, en condiciones de temperaturas elevadas y de humedades bajas, las semillas no pueden germinar (Saavedra, et al., 2017).

2.8. *Lactuca sativa* como indicador

La *Lactuca sativa* como indicador, es utilizada para bioensayos de toxicidad con un enfoque a pruebas agudas, pues apenas se somete a 120 hora de exposición frente al estudio que se desea realizar donde se puede evaluar los resultados fitotóxicos que generan los compuestos de estudio a la germinación temprana de la *Lactuca*

sativa. La orientación que pretende evaluar los resultados fitotóxicos, busca determinar la variación frente a un testigo de la germinación, el crecimiento radicular y del hipocótilo, generalmente lo que se espera evaluar es la inhibición de estos 3 parámetros. La germinación temprana de la *Lactuca sativa* es un etapa de mucha sensibilidad, pues ocurren muchos procesos fisiológicos que al ser expuesta a compuestos contaminantes, principalmente tóxicos altera el desarrollo adecuado y la supervivencia de la planta, por lo tanto la misma empieza un proceso de adaptación, para lograr su supervivencia en condiciones adversas para su desarrollo, por consecuencia, la germinación es un proceso que no se va a limitar en su totalidad, pero la inhibición del crecimiento radicular y del hipocótilo son indicadores determinantes de las afectaciones tóxicas (Sobrero y Ronco, 2004).

2.9. Evaluación de Micronúcleos

Para la problemática ambiental que se vive hoy en día, ya no son suficientes análisis de suelo, aire o agua, pues es muy importante complementar estos estudios mediante ensayos de genotoxicidad. La determinación de micronúcleos en células tanto animales como vegetales es una de las técnicas más eficientes para determinar daños genéticos por tóxicos, pues los micronúcleos se producen por la fragmentación cromosómica que suceden espontáneamente, o por causa de agentes contaminantes tóxicos, radiación, entre otros, poseen una medida entre 0.4 a 1.6 micras y su forma natural es circular u ovalada (Zalacain, Sierrasesúmaga, y Patiño, 2005).

La prueba de micronúcleos es un método diseñado principalmente para la detección de sustancias químicas, en busca de efectos de ruptura cromosómica o daños moleculares (está muy ligado a la presencia de cáncer). Las muestras tóxicas de prueba se aplican normalmente de forma subaguda a pequeños mamíferos, y el efecto se lee en frotis directos de la médula. Hoy en día esta práctica se la realiza en cualquier tipo de tejido vivo (Schmid, 1975).

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

La recolección de muestras para este estudio se realizó en la provincia de El Oro, ubicada al suroeste del Ecuador, donde previamente se realizó el levantamiento de información y toma de muestras de suelo en 30 diferentes fincas bananeras por parte de (CILAB) de la Universidad Andina Simón Bolívar. Cada muestra se la tomó en diferentes capas de suelo y en zonas al azar de cada finca, las mismas que fueron utilizadas para bioensayos con *Lactuca sativa*.

Las 30 muestras de suelo tomadas en las diferentes fincas bananeras en la provincia de El Oro, pertenecen a 15 fincas que practican la agroecología en sus cultivos y 15 muestras corresponden a fincas que manejan un sistema de fumigación química.

3.2. Toma de muestras de suelo

Las muestras de suelo fueron tomadas por técnicos del CILAB SALUD de la Universidad Andina Simón Bolívar con 3 criterios de base: accesibilidad, representatividad y seguridad.

En la toma de muestra se recorrió la zona de estudio para identificar el área de muestreo, en cada una se estableció un área de 5 metros por lado, se recolectaron 10 submuestras, en cada esquina del cuadrante, en el centro, y cinco en el interior distribuidas aleatoriamente. Se limpió la superficie para introducir el barreno hasta la profundidad establecida y se recogió en una funda plástica, se mezcló bien las submuestras para obtener un kg de muestra compuesta en una funda tipo ziploc, este proceso se lo realizó para todos los niveles, en este caso 0-10 cm; 10-30 cm;

y 30-50 cm. Se selló y etiquetó las fundas, para posteriormente almacenarlo con hielo en un cooler para su transporte al laboratorio.

3.3. Análisis de elementos traza

El análisis del contenido de elementos traza en los suelos de estudio fue realizado en el laboratorio de investigación de la Universidad de las Américas, mediante la técnica de plasma de acoplamiento inductivo (ICP).

Se analizaron 33 elementos: (Zn, V, Ti, Te, S, Sr, Na, Ag, Si, Se, Rb, K, P, Ni, Mn, Mg, Li, Pb, Fe, In, Ga, Cu, Co, Cr, Cs, Cd, Ca, B, Bi, Be, Ba, As, Al). De estos elementos se hicieron posteriores análisis de 13 de ellos, debido a que son los que se encuentran normados por la legislación ecuatoriana.

3.4. Ensayos de laboratorios

3.4.1. Diseño experimental

El trabajo de investigación se estableció de 30 tratamientos más un testigo, cada tratamiento con cinco repeticiones y seis réplicas (semillas). Un tratamiento corresponde al suelo de cada finca muestreada. El testigo se realizó con suelo obtenido de un bosque de la zona de Puerto Quito sin actividad agrícola y mínima intervención antrópica.

Se realizó la siembra de 930 semillas de *Lactuca sativa* (previamente lavadas con agua destilada), en cajas Petri de 100 mm de diámetro basándose en la metodología de Sobrero y Ronco (2008); y Bagur-González et al. (2011). Cada unidad experimental tuvo 27 gramos de suelo y seis semillas, que fueron regados con 4 ml

de agua destilada una sola vez, al inicio de la experimentación. La fase experimental tuvo una duración de 120 horas (Anexo 1), luego de lo cual se contabilizó el número de semillas germinadas, considerando aquellas con una longitud radical mayor a 1 mm (Di Salvatore et al., 2008).

3.4.2. Variables Independientes

Tabla 2.

Diseño experimental para la germinación de *Lactuca sativa*

Factor	Nivel	Tratamiento	Repetición	Replicas
Modalidad de Cultivo	Agroecológica	T1 Finca1	5 Repeticiones por Tratamiento	6 Replicas por cada Repetición
		T2 Finca2		
		T3 Finca3		
		T4 Finca4		
		T5 Finca5		
		T6 Finca6		
		T7 Finca7		
		T8 Finca8		
		T9 Finca9		
		T10 Finca10		
		T11 Finca11		
		T12 Finca12		
		T13 Finca13		
		T14 Finca14		
		T15 Finca 15		
	Fumigación Convencional	T16 Finca16		
		T17 Finca17		
		T18 Finca18		
		T19 Finca19		
		T20 Finca20		
		T21 Finca21		
		T22 Finca22		
		T23 Finca23		

		T24 Finca24		
		T25 Finca25		
		T26 Finca26		
		T27 Finca27		
		T28 Finca28		
		T29 Finca29		
		T30 Finca30		
	Sin Intervención	T0 TESTIGO (Suelo sin Intervención Antrópica)		

3.4.3. Variables dependientes

- **Germinación de semillas**

Una semilla se consideró germinada cuando las paredes de la testa se habían roto y se observó la radícula. Los datos se presentan en porcentajes.

- **Crecimiento de la radícula**

Se consideró la radícula a partir de 1 milímetro de longitud.

- **Presencia de micronúcleos: (Metales pesados o elementos traza)**

Se analizaron en 2 radículas (muestras) por tratamiento, seleccionadas al azar.

3.5. Preparación del sustrato

Por las características del suelo y el tiempo de almacenamiento de las muestras, el sustrato presentó índices de compactación elevados, por lo que se usó un mazo y

un molino de cocina para triturarlo y obtener el sustrato que pudo ser usado en la experimentación (Anexo 2).

Con la ayuda de una balanza analítica se pesaron 27g de cada muestra (finca), para hacer la siembra.

3.6. Preparación de semillas

Las semillas de *Lactuca sativa* fueron adquiridas en Imporalaska Quito, donde la información técnica de la semilla expresa que no contiene fertilizantes ni compuestos químicos para su preservación, únicamente compuestos orgánicos, por este motivo y para obtener imparcialidad en la germinación de las semillas en las diferentes muestras de suelo, se procedió a lavarlas con la ayuda de agua destilada y una media nylon como una especie de tamiz que contenga a las semillas.

3.7. Germinación de *Lactuca sativa* L

Se procedió a la siembra de 930 semillas, la cuales fueron sembradas en 4 días diferentes dentro de 4 semanas. Para cada muestra de suelo o tratamiento se realizaron 5 repeticiones, en cada repetición se colocaron 6 réplicas o semillas. Para cada bloque de siembra se tomó resultados a los 5 días. Todo este proceso se lo realizó en cajas Petri con 27 gramos de sustrato y un riego de 4 ml de agua destilada al momento de la siembra (Anexo 1).

3.8. Protocolo de evaluación de micronúcleos

Para el análisis de micronúcleos se tomaron dos radículas por tratamiento. Este ensayo se realizó siguiendo los pasos del protocolo de micronúcleos en células vegetales propuesto por la Universidad Andina Simón Bolívar. Se cortó la radícula

de aproximadamente 5 mm, fueron lavadas con agua destilada. Se colocó la muestra en tubos eppendorf de 2ml dentro de la solución de Carnoy durante una noche en refrigeración a 4°C, para fijar la muestra. Transcurrido ese tiempo se lavó con agua destilada por diez minutos. Posteriormente se almacenaron en etanol al 70% en refrigeración a 4 grados centígrados. Se escurrió y se colocaron en una solución 1M de HCl, a 60 grados centígrados por 7 minutos, posteriormente fueron lavadas con agua destilada (Anexo 3). Finalmente se colocó la muestra en un portaobjetos y se aplastó suavemente, se tiñó con orceína acética por 2 minutos y se colocó el cubreobjetos. Fue necesario observar en el microscopio y contar al menos 1000 células (Zalacain, Sierrasesúmaga, y Patiño, 2005).

3.9. Índices de toxicidad

Tabla 3.

Clasificación de la toxicidad por colores para los índices de toxicidad (IGN; IER)

CLASIFICACIÓN	RANGO	COLOR
Hormesis	(Valores > 0)	Verde
Baja	(0 a -0.25)	Celeste
Moderada	(-0.25 a -0.5)	Amarillo
Alto	(-0.5 a -0.75)	Tomate
Muy Alto	(-0.75 a -1)	Rojo

- **Germinación relativa de semillas (GRS)**

La fórmula permite determinar el porcentaje relativo de germinación es decir la relación de las semillas germinadas con el sustrato problema frente al testigo.

Indicando un valor superior al 100% con la relación negativa testigo vs. problema y valores inferiores al 100% implica una relación positiva testigo vs. problema.

(Ecuación 1)

$$GRS (\%) = \frac{\text{Número de semillas germinadas con la muestra de tierra}}{\text{Número de semillas germinadas en (testigo)}} \times 100$$

- **Crecimiento relativo de la radícula (CRR)**

Esta fórmula permite relacionar el porcentaje de crecimiento radicular con el sustrato problema frente al testigo.

Valores inferiores al 100% implica una relación positiva testigo vs. problema.

(Ecuación 2)

$$CRR (\%) = \frac{\text{Longitud promedio de la radícula con la muestra de suelo}}{\text{Longitud promedio de la radícula del testigo}} \times 100$$

- **Índice de germinación (IG)**

El índice de germinación indica la relación de las semillas germinadas y la relación del crecimiento radicular.

(Ecuación 3)

$$IG (\%) = \frac{GRS * CRR}{100}$$

- **Porcentaje de germinación residual normalizado (IGN)**

Donde Germx es el porcentaje promedio de semillas germinadas en el sustrato de cada zona de estudio y GermTestigo es el porcentaje de semillas germinadas en el testigo.

(Ecuación 4)

$$IGN = (Germx - GermTestigo)/GermTestigo$$

- **Porcentaje elongación radical residual normalizado (IER)**

Donde Elongx es la longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en cada muestra, y ElongTestigo es la longitud promedio de la radícula de las semillas germinadas en el testigo. Ambos índices IGN e IER establecen valores de toxicidad desde -1 a > 0 bajo las siguientes categorías: índice de 0 a -0.25 baja toxicidad, de -0.25 a -0.5 toxicidad moderada, de -0.5 a -0.75 muy tóxico y de -0.75 a -1.0 , toxicidad muy alta; valores del índice > 0 indican crecimiento de la radícula u hormesis (Rodríguez et al., 2014).

(Ecuación 5)

$$IER = (Elongx - ElongTestigo)/ElongTestigo$$

3.10. Análisis estadísticos

Debido a la gran cantidad de datos y variables, se usó el análisis de componentes principales para poder sintetizar los mismos sin perder información, y así obtener combinaciones lineales de las variables siendo independientes entre sí y más

comprensibles. De igual manera se buscó corroborar los datos obtenidos mediante el análisis de similitud, que permitió determinar la existencia o no de diferencias significativas entre bloques (Terrádez, 2000).

Se comparó los valores de cada uno de los elementos traza, frente a cada tipo de finca o tratamiento, mediante el uso del programa estadístico PRIMER 6 (PREMIER Biosoft International, 2009).

Se utilizó el análisis de varianza o ANOVA, que es utilizado para demostrar la variación de datos de un solo lote o entre lotes. Esto, para que se pueda determinar una significancia y demostrar que los datos tienen diferencias significativas dependiendo de las variables y constantes encontradas en los experimentos y corroborando los resultados mediante la prueba de medias TUKEY (Faraway, 2002).

Se comparó el crecimiento radicular, porcentaje de germinación y análisis de elementos traza entre tipo de fincas y tratamientos, mediante el uso del programa estadístico INFOSSTAT.

4. CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis de elementos traza

4.1.1. Comparación de resultados con la normativa ambiental ecuatoriana vigente

A partir del anexo 4 del Registro Oficial N° 387 de la normativa ambiental ecuatoriana vigente donde se señalan los “CRITERIOS DE CALIDAD DEL SUELO” (Tabla 1), se puede determinar que los valores marcados en rojo se encuentran por

encima de la norma (Tabla 5). Se presentaron valores que sobrepasan los permitidos, como por ejemplo en el caso del arsénico el tratamiento M13 ASO13, el azufre en el tratamiento M26 CAM11, el boro en el tratamiento M24 CAM09, el cadmio en el tratamiento M24 CAM09, el cobalto en el tratamiento M24 CAM09, el cobre en el tratamiento M24 CAM09, el cromo en el tratamiento M24 CAM09, el níquel en el tratamiento M26 CAM11, el zinc sobrepasó su valor en el tratamiento M24 CAM09, son los que presentaron niveles más altos. En tanto que los valores del bario, plomo, selenio y vanadio no excedieron los rangos aceptados en esta normativa.

Tabla 4.

Valores establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana expresados en ppm (mg/kg) (TULSMA) Tabla 1.- “CRITERIOS DE CALIDAD DEL SUELO” del Registro Oficial N° 387” (Anexo 4).

Elementos	As	S	Ba	B	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Se	V	Zn
Valor	12	250	200	1	0.5	10	25	54	19	19	1	76	60

Tabla 5.

Valores de metales pesados en muestras de suelo de cada tratamiento expresados en ppm (mg/kg), donde (As) arsénico, (S) azufre, (Ba) bario, (B) boro, (Cd) cadmio, (Co) cobalto, (Cu) cobre, (Cr) cromo, (Ni) níquel, (Pb) plomo, (Se) selenio, (V) vanadio y (Zn) zinc.

Tratamiento	As	S	Ba	B	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Se	V	Zn
Fincas agroecológicas													
M1	4.7	241.	37.3	0	1.0	5.4	18.	25.	6.41	8.1	0	33.	29.
ASO1	2	14	2		2	2	59	33		4		31	56

M2	3.5	7.89	18.0	0	0	5.1	6.3	10.	0	3.6	0	40.	9.6
ASO2	4		0			8	9	82		1		68	9
M3	15.	225.	72.2	0	1.0	10.	33.	39.	10.5	12.	0	56.	64.
ASO3	25	92	8		2	80	92	26	8	55		94	01
M4	11.	150.	52.6	0	0.4	7.9	53.	24.	7.70	11.	0	46.	39.
ASO4	98	17	5		2	9	42	16		51		47	83
M5	0.1	186.	48.4	0	0.6	5.2	61.	20.	6.39	3.6	0	38.	31.
ASO5	6	73	3		8	0	43	23		7		82	34
M6	1.5	120.	36.9	0	0.0	5.6	11.	21.	5.48	2.7	0	41.	14.
ASO6	7	68	9		8	0	23	07		1		45	39
M7	0	158.	30.7	0	0.5	4.3	21.	7.7	2.81	3.3	0	31.	19.
ASO7		44	9		1	3	79	1		3		70	62
M8	0	183.	58.3	0	1.0	5.1	39.	14.	4.84	3.8	0	36.	23.
ASO8		92	4		5	9	41	35		1		52	82
M9	4.9	22.4	55.0	0	0	6.2	0	8.9	2.50	3.9	0	33.	8.5
ASO9	8	4	8			6		9		1		78	5
M10	3.2	205.	66.7	0	1.2	7.3	54.	14.	2.41	11.	0	40.	40.
ASO10	9	57	0		5	3	86	32		17		83	44
M11	3.3	15.4	16.2	0	0	4.9	5.4	9.1	3.45	2.5	0	35.	9.9
ASO11	2	3	7			4	8	4		4		86	6
M12	1.1	207.	64.4	0	0.2	06.	45.	17.	5.58	3.9	0	50.	32.
ASO12	7	03	7		8	05	48	99		3		98	31
M13	16.	245.	74.2	0	0.4	10.	52.	33.	9.88	8.4	0	57.	50.
ASO13	22	77	6		1	10	16	32		0		44	08
M14	12.	244.	60.6	0	0.6	7.9	46.	22.	8.69	7.4	0	43.	38.
ASO 14	43	52	2		7	1	42	42		9		76	63
M15	8.6	166.	63.2	0	0.5	6.3	35.	20.	2.84	4.8	0	42.	33.
ASO15	5	20	3		5	8	51	84		8		74	83
Fincas con fumigación convencional													
M16	0	255.	46.5	0	0.2	11.	28.	45.	17.0	4.5	0	41.	49.
CAM01		79	5		9	86	48	15	2	5		27	47

Se puede observar que el tratamiento M24 CAM09, correspondiente a una finca con tratamiento convencional, es el que presenta la mayor cantidad de metales pesados o elementos traza por sobre la normativa ambiental ecuatoriana: el (As) arsénico, (S) azufre, (B) boro, (Cd) cadmio, (Co) cobalto, (Cu) cobre, (Cr) cromo, (Ni) níquel y (Zn) zinc, estos elementos corresponden a ser los responsables para el crecimiento y desarrollo importante de las células de las plantas, pero la variación de las cantidades necesarias para el correcto desarrollo puede llegar a ser tóxico para todos los organismos vivos afectados (Spain y Alm, 2003).

Un total de 20 fincas de las 31 estudiadas presentan uno o más elementos traza en concentraciones que superan la norma ecuatoriana. Se puede observar que las fincas con fumigación convencional son las que mayor número de metales pesados o elementos traza superan los rangos permisibles de la legislación ambiental ecuatoriana, esta afirmación tiene su fin y es que precisamente en estas fincas se realizan procesos de fumigación, y de ahí viene su alta carga de metales pesados pues una de las principales fuentes antropogénicas de metales pesados en suelos son las actividades agrícolas: riego, fertilizantes inorgánicos, pesticidas, estiércol y enmiendas calizas (Galán, y Romero, 2008).

4.1.2. Análisis de componentes principales (ACP) y similitud (ANOSIM) de elementos traza frente a al tipo de finca o tratamiento

El análisis de componentes principales determinó, que los dos primeros componentes principales explican el 56.4% de varianza total acumulada de los elementos traza registrados en el suelo, se puede apreciar la diferencia de la variabilidad entre fincas agroecológicas, por un lado y por fumigación convencional y testigo por otro. Tomando en cuenta que el testigo se tomó en una zona diferente sin intervención antrópica, que por análisis bibliográfico su estructura geológica arroja valores altos de elementos traza de origen natural (Gualavisí y Quimbita,

2018). Es así que para corroborar esta afirmación se realizó un análisis de similitud para determinar si existe o no diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados en el suelo.

Tabla 6.

Variables con su respectivo peso en cada uno de los ejes del análisis de componentes principales

Variable	Eje 1	Eje 2
% Varianza total	39.8	16.6
% Varianza acumulada	39.8	56.4
(As)	-0.267	0.275
(Cd)	-0.340	0.001
(Cr)	0.067	0.125
(CU)	-0.313	0.050
(Ni)	-0.201	-0.391
(Pb)	-0.355	0.010
(Se)	0.043	-0.198
(Zn)	-0.387	-0.177
(S)	-0.260	-0.456
(Ba)	-0.138	-0.519
(B)	-0.306	0.155
(Co)	-0.345	0.310
(V)	-0.306	0.293

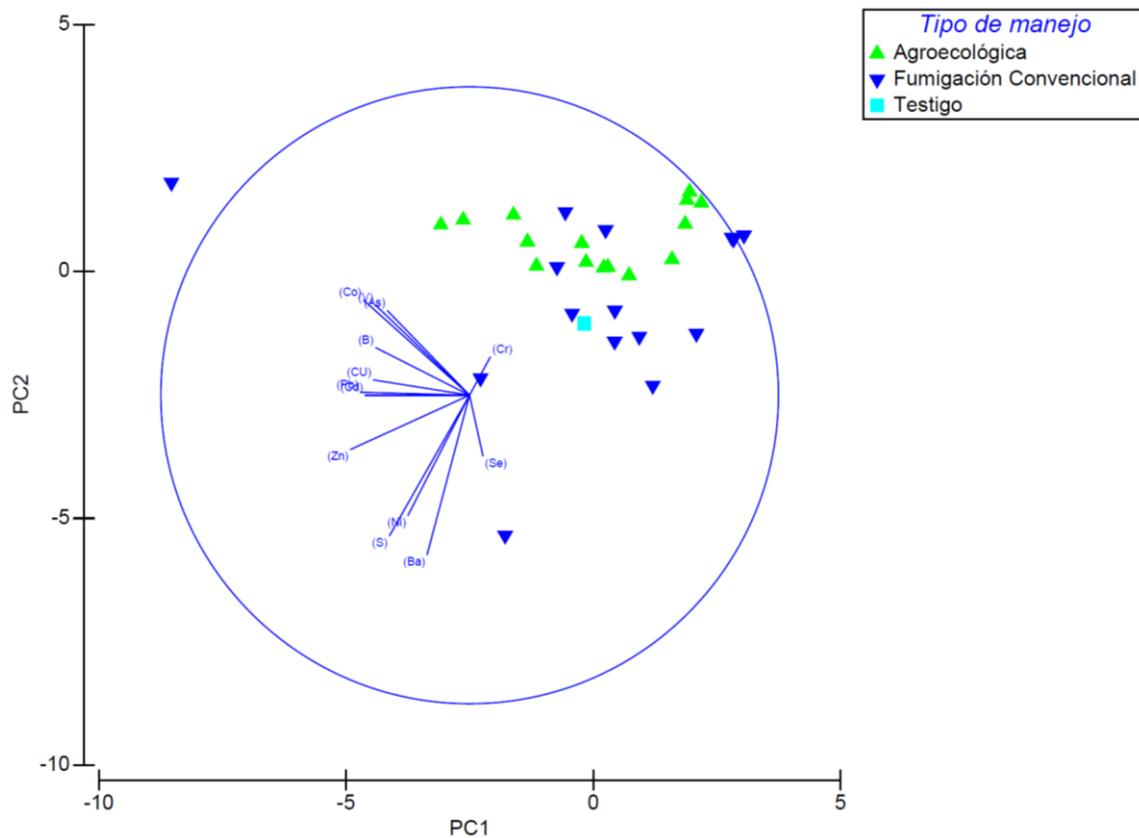


Figura 3. Gráfica del análisis de componentes principales de las fincas agroecológicas, por fumigación convencional y testigo, frente a los valores de elementos traza analizados.

Según el análisis de similaridad (ANOSIM), por prueba de pares, se pudo determinar que comparando entre grupos de fincas agroecológicas y fincas por fumigación convencional con un p-valor de 0.014 existen diferencias significativas entre ellas. Sin embargo, al comparar con el testigo no presentaron diferencias significativas, esto podría deberse al número de muestras del testigo.

Estos resultados se deben ya que según el INIAP (2012), una de las principales plagas que afectan la producción bananera en el Ecuador es la Sigatoka negra, por lo que se usan diferentes tipos de plaguicidas permitidos por la normativa

ecuatoriana, plaguicidas que usan diferentes compuestos orgánicos, pero en su mayoría los llamados “otros ingredientes inertes”, que son en general compuestos derivados del petróleo, ricos en metales pesados.

Por otra parte, el uso de agroquímicos en la producción bananera es una práctica muy común, debido a que, mono cultivos o cultivos permanentes necesitan una alta demanda de nutrientes y plaguicidas que controlen las afectaciones comunes de los mismos, según Quinde (2018), en la producción bananera se usan agroquímicos a base de Pb, As y Cd donde estos metales pesados o elementos traza tienden a lo largo del tiempo a ser residuales en el suelo, principalmente el As y Cd, e incluso pueden llegar a bioacumular en la biomasa de la planta.

Tabla 7.

Análisis de similaridad (ANOSIM), comparando los diferentes tipos de manejo de finca. El signo * indica las comparaciones dentro del ANOSIM que fueron significativamente diferentes.

		R	Significance
Groups		Statistics	<i>p</i>
Fincas agroecológicas,			
Fincas	por	0.1	0.014*
Fumigación			
Convencional			
Fincas Agroecológicas,		0.317	0.188
Testigo			
Fincas	por	-0.064	0.438
Fumigación			

Convencional,
Testigo

4.1.3. Respuesta de metales pesados o elementos traza frente al tipo de tratamiento, donde (“1” representa el bloque de fincas agroecológicas, “2” el bloque de fincas por fumigación convencional o química y “3” el testigo”)

- **Azufre (S)**

Tabla 8.

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	325144.26	2	162572.13	15.57	<0.0001
TRATAMIENTO	325144.26	2	162572.13	15.57	<0.0001
Error	438501.35	42	10440.51		
Total	763645.61	44			

Tabla 9.

Test: Tukey Alfa=0.05

TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.	
1	158.79	15	26.38	A
2	191.71	15	26.38	A
3	353.30	15	26.38	B

Se acepta Ho

Según el análisis de varianza ANOVA con un valor p-valor de <0.0001 se puede definir que, si hay diferencias significativas por lo que se puede realizar esta afirmación mediante la prueba de análisis de medias TUKEY, donde se evidencia que el tratamiento 1 y 2 perteneciente al bloque de fincas agroecológicas y fincas por fumigación convencional respectivamente, son similares, pero son significativamente diferentes frente al testigo

Se puede apreciar que la media de la concentración de azufre del testigo supera a las fincas con fumigación convencional y agroecológica, esto se puede dar porque el azufre es uno de los elementos traza u oligoelementos de muy fácil presencia en la corteza terrestre, de manera natural se encuentra cerca de volcanes o aguas termales, está asociado a la presencia de varios metales e incluso con el arsénico (Ortega y Arango, 2006). Por otra parte, cabe recalcar que la media de concentración de azufre en el testigo está sobre los valores establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana.

- **Bario (Ba)**

Tabla 10.

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	47429.30	2	23714.65	38.26	<0.0001
TRATAMIENTO	47429.30	2	23714.65	38.26	<0.0001
Error	26033.14	42	619.84		
Total	73462.44	44			

Tabla 11.

Test: Tukey Alfa=0.05

TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.	
1	50.36	15	6.43	A
2	78.71	15	6.43	B
3	128.88	15	6.43	C

Se rechaza Ho

Según el análisis de varianza ANOVA con un p-valor de <0.0001 se puede definir que, si hay diferencias significativas por lo que se puede realzar esta afirmación mediante la prueba de análisis de medias TUKEY, donde se puede observar que el tratamiento 1, 2 y 3 perteneciente al bloque de fincas agroecológicas, fincas por fumigación convencional y testigo respectivamente, son significativamente diferentes.

Se puede observar que el testigo presenta como media una mayor concentración de bario en comparación a las otras dos fincas, esto puede ocurrir ya que el bario está presente de forma natural en la litosfera y a menudo se encuentran en depósitos minerales subterráneos como compuestos de bario, tales como sulfatos y carbonatos de bario, e incluso se lo puede encontrar en aguas subterráneas (ATSDR, 2007). Por otra parte, cabe recalcar que la media de concentración de bario en el testigo está dentro de los valores establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana.

- **Boro (B)**

Tabla 12.

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.42	2	1.21	1.00	0.3765
TRATAMIENTO	2.42	2	1.21	1.00	0.3765
Error	50.83	42	1.21		
Total	53.25	44			

Se acepta H_0

Según el análisis de varianza ANOVA con un p-valor de 0.3765 se define que, no hay diferencias significativas de sus medias entre los tratamientos 1, 2 y 3 pertenecientes al bloque de fincas agroecológicas, fumigación convencional y testigo respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede sustentar esta afirmación ya que en el perfil del suelo el boro se lo encuentra como ácido bórico lo cual lo hace de fácil lavado en zonas con condiciones climáticas húmedas, además está relacionado a la presencia de materia orgánica del suelo, su deficiencia es común a altas temperaturas e incluso su ausencia está relacionado a la presencia de fertilizantes nitrogenados (Alarcón, s.f.).

- **Cadmio (Cd)**

Tabla 13.

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25.23	2	12.62	1.84	0.1721
TRATAMIENTO	25.23	2	12.62	1.84	0.1721
Error	288.64	42	6.87		
Total	313.87	44			

Se acepta H_0

Según el análisis de varianza ANOVA con un p-valor de 0.1721 se puede definir que, no hay diferencias significativas de sus medias entre los tratamientos 1, 2 y 3 pertenecientes al bloque de fincas agroecológicas, fumigación convencional y testigo respectivamente.

El cadmio es un elemento no esencial, por lo que su presencia es mínima en la corteza de la Tierra. El aumento de este metal se debe principalmente a actividades antrópicas, como la agricultura, en la que se aplican agroquímicos (Serrano, Martínez, Romero, Del Río y Sandalio, 2008). Sin embargo, la presencia del Cd en el suelo está directamente relacionada al alto potencial de bioacumulación que posee sobre las especies vegetales, a la facilidad de movilidad que tiene, y a que es un elemento biodisponible para las plantas (Baranda, Hernández, Icart, Meriño y Rubio, 2019).

- **Cobalto (Co)**

Tabla 14.

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
-------------	-----------	-----------	-----------	----------	----------------

Modelo	8.48	2	4.24	0.53	0.5941
TRATAMIENTO	8.48	2	4.24	0.53	0.5941
Error	337.65	42	8.04		
Total	346.12	44			

Se acepta H_0

Según el análisis de varianza ANOVA con un p-valor de 0.5941 se puede definir que, no hay diferencias significativas de sus medias entre los tratamientos 1, 2 y 3 pertenecientes al bloque de fincas agroecológicas, fumigación convencional y testigo respectivamente.

Se puede corroborar esta afirmación ya que una de las principales características de varias especies vegetales es bioacumular alrededor de 1000 ppm de cobalto en su biomasa sin presentar índices de toxicidad (Ortega y Malavolta, 2012).

- **Cobre (Cu)**

Tabla 15.

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4060.40	2	2030.20	7.77	0.0013
TRATAMIENTO	4060.40	2	2030.20	7.77	0.0013
Error	15031.48	42	261.22		
Total	346.12	44			

Tabla 16.

Test: Tukey Alfa=0.05

TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.	
3	9.69	15	4.17	A
2	16.69	15	4.17	A
1	32.41	15	4.17	B

Se rechaza Ho

Según el análisis de varianza ANOVA con un p-valor de 0.0013 se puede definir que, si hay diferencias significativas por lo que se puede realzar esta afirmación mediante la prueba de análisis de medias TUKEY, donde se puede observar que el tratamiento 1 y 2 perteneciente al bloque de fincas agroecológicas y fincas por fumigación convencional son similares, pero son significativamente diferente frente al testigo.

El cobre es un microelemento necesario en el suelo, ya que posibilita el crecimiento de las plantas, sin embargo, su concentración natural es muy baja, por lo que ha sido necesaria la aplicación de fertilizantes fosforados. Según Fagnano et al., (2020) la concentración de Cu en el suelo se relaciona específicamente a la cantidad de materia orgánica y a las concentraciones de Manganeso de Hierro (FeMn). A su vez a la capacidad retenedora del cobre en el suelo depende de la calidad del pH del suelo. Es importante tomar en cuenta que la cantidad presente en el suelo estará influenciada por la capacidad de la regulación de las plantas para absorber elementos esenciales como el cobre. Cabe recalcar que la media de concentración de cobre en las fincas agroecológicas está sobre los valores establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana.

- **Níquel (Ni)**

Tabla 17.

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3449.07	2	1724.54	3.54	0.0380
TRATAMIENTO	3449.07	2	1724.54	3.54	0.0380
Error	20460.98	42	487.17		
Total	23910.05	44			

Tabla 18.

Test: Tukey Alfa=0.05

TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.		
3	0.00	15	5.70	A	
1	5.30	15	5.70	A	B
2	20.64	15	5.70		B

Se rechaza Ho

Según el análisis de varianza ANOVA con p-valor de 0.0380 se puede definir que, si hay diferencias significativas por lo que se puede realizar esta afirmación mediante la prueba de análisis de medias TUKEY, donde se puede observar que el tratamiento 3 y 2 perteneciente al testigo y fincas con fumigación convencional respectivamente, son significativamente diferentes.

Por lo que, de acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo identificar que las fincas con fumigación convencional presentaron una media, mayor que el testigo, según Gonelli (2013), esto se debe a que la presencia de este elemento está estrechamente relacionado a la geología del suelo, es decir, está presente naturalmente en las rocas ígneas, como así también, en formaciones de otro tipo de rocas, y que aumenta en presencia de contaminantes producto de las actividades industriales. Por otra parte, cabe mencionar que la media de concentración de níquel en las fincas con fumigación convencional está sobre los valores establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana.

- **Plomo (Pb)**

Tabla 19.

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	225.88	2	112.94	9.76	0.0003
TRATAMIENTO	225.88	2	112.94	9.76	0.0003
Error	484.31	42	11.53		
Total	710.19	44			

Tabla 20.

Test: Tukey Alfa=0.05

TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.	
3	2.07	15	0.88	A
1	6.11	15	0.88	B
2	7.31	15	0.88	B

Se rechaza H_0

Según el análisis de varianza ANOVA con p-valor de 0.0003 se puede definir que, si hay diferencias significativas por lo que se puede realizar esta afirmación mediante la prueba de análisis de medias TUKEY, donde se puede observar que el tratamiento 3 que es el testigo es significativamente diferente al tratamiento 1 y 2 perteneciente al bloque de fincas agroecológicas y fincas por fumigación convencional.

Las razones de estos resultados se basan en que según Orroño (2002), afirma que entre los metales pesados con más presencia en el medio ambiente se encuentra el plomo, pero estos niveles biodisponibles han aumentado por las actividades antrópicas como el uso de pesticidas. Por otra parte, ya que la media de concentración de plomo es más alta es de las fincas por fumigación convencional, es importante mencionar que este valor se encuentra bajo los valores establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana.

- **Vanadio (Va)**

Tabla 21.

Cuadro de Análisis de la Varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1237.23	2	618.62	10.14	0.0003
TRATAMIENTO	1237.23	2	618.62	10.14	0.0003
Error	2561.05	42	60.98		
Total	3798.28	44			

Tabla 22.

Test: Tukey Alfa=0.05

TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.	
2	31.26	15	2.02	A
1	42.09	15	2.02	B
3	42.65	15	2.02	B

Se rechaza Ho

Según el análisis de varianza ANOVA con un p-valor de 0.0003 se puede definir que, si hay diferencias significativas por lo que se puede realzar esta afirmación mediante la prueba de análisis de medias TUKEY, donde se puede observar que el tratamiento 2 que pertenece al bloque de fincas por fumigación convencional es significativamente diferente al tratamiento 1 y 3 perteneciente a las fincas agroecológicas y al bloque del testigo respectivamente.

En referencia a los resultados obtenidos se determinó que las fincas por fumigación convencional poseen una media menor, a comparación con los otros dos bloques, según Madejón (2012) el Vanadio es un metal que se encuentra en la superficie terrestre y cuya concentración en el suelo depende de la formación y del desarrollo de los mismos, predominando en rocas magmáticas. De acuerdo a un estudio realizado por este autor, se encontró que en suelos de estructura limosa y arcillosa los niveles son más altos que en suelos arenosos. Por otra parte, es importante mencionar que la media de concentración más alta de vanadio es la del testigo, la cual está bajo los valores establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana.

4.2. Respuesta germinativa de *Lactuca sativa*

4.2.1. Análisis general por bloques o tipo de finca

Tabla 23.

Análisis de la varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.08	2	0.04	0.76	0.4715
Número	0.08	2	0.04	0.76	0.4715
Error	8.21	152	0.05		
Total	8.30	154			

Se acepta H_0

Según el análisis de varianza ANOVA con un p-valor de 0.4715 se puede definir que, no hay diferencias estadísticamente significativas de sus medias entre las fincas agroecológicas, fumigación convencional y testigo. Esto podría deberse ya que independientemente de la presencia de un contaminante, lo único que necesitan las semillas de *Lactuca sativa* para germinar, es la correcta hidratación de su testa, pues los efectos toxicológicos se los puede medir a partir del crecimiento radicular o hipocótilo (Sobrero y Ronco, 2004). Es decir, la presencia de elementos traza, metales pesados u otros, no afecta a la germinación, ya que el embrión protege a la testa.

4.2.2. Análisis entre fincas agroecológicas

Tabla 24.

Análisis de la varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.68	14	0.12	2.76	0.0032
Tratamiento	1.68	14	0.12	2.76	0.0032
Error	2.60	60	0.04		
Total	4.28	74			

Tabla 25.

Test: Tukey Alfa=0.05

TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.		
3	3.99	5	0.09	A	
12	4.11	5	0.09	A	B
1	4.21	5	0.09	A	B
2	4.23	5	0.09	A	B
13	4.27	5	0.09	A	B
15	4.27	5	0.09	A	B
5	4.29	5	0.09	A	B
10	4.33	5	0.09	A	B
6	4.38	5	0.09	A	B
14	4.41	5	0.09	A	B
8	4.41	5	0.09	A	B
7	4.49	5	0.09		B
4	4.50	5	0.09		B
9	4.50	5	0.09		B
11	4.53	5	0.09		B

Se rechaza H_0

Según el análisis de varianza ANOVA con un p-valor de 0.032 se puede definir que, si hay diferencias estadísticamente significativas por lo que se puede realzar esta afirmación mediante la prueba de análisis de medias TUKEY, donde se puede observar que el tratamiento 3 es significativamente diferente a las fincas 7, 9, 4 y 11.

El proceso germinativo de las semillas está determinado principalmente por la imbibición de agua, por lo que la humedad adecuada es necesaria para que inicie dicho proceso, según Bewley, Bradford, Hilhorts y Nonogaki (2013) la absorción de agua es indispensable para la germinación de las semillas. Sin embargo, esta puede ser inhibida por la conductividad hidráulica de cada suelo (Kathpalia y Bhatla, 2018). La humedad del suelo se ve influenciada por diferentes factores relacionados a las características del suelo; de acuerdo a la estructura y a la textura varia la porosidad de estos (Osman, 2013). Siendo así que, en suelos arcillosos la movilidad o permeabilidad del agua ocurre a una velocidad menor en comparación a otros tipos de suelo, lo cual puede generar un encharcamiento del agua, favoreciendo el debilitamiento de la testa de la semilla, facilita la absorción de agua y promueve la germinación de la misma (Baskin y Baskin, 2014).

4.2.3. Análisis entre fincas con fumigación convencional

Tabla 26.

Análisis de la varianza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.94	14	0.07	1.35	0.2041
Tratamiento	0.94	14	0.07	1.35	0.2041

Error	2.97	60	0.05
Total	3.91	74	

Se acepta H_0

Según el análisis de varianza ANOVA con un p-valor de 0.2041 se puede definir que, no hay diferencias significativas entre las fincas con fumigación convencional.

Como se puede apreciar no existe diferencias significativas entre tratamientos de las fincas con fumigación convencional, ya que las germinaciones de las semillas dependen principalmente de la humedad y temperatura, pues no de las posibles condiciones tóxicas (Sobrero y Ronco, 2004).

4.3. Evaluación de micronúcleos

De todos los tratamientos (fincas bananeras) de estudio, no hubo presencia de micronúcleos en ninguno de ellos, esto se pudo deber que la capacidad de absorción de metales pesados depende de la capacidad que tiene cada especie vegetal. Según Prieto, González, Román y García (2009) afirman que la adsorción de los metales pesados varía en función de la especie, al reino y familia a la que pertenece, a la concentración de los metales y a las características que tiene un suelo. A su vez, las plantas generan eficiencia para la exclusión de estos elementos, mediante el transporte de los mismos hacia la zona aérea de la planta, por lo que su presencia en las raíces disminuye, un ejemplo de lo antes mencionado es la movilidad que tiene el Níquel para poder acumularse en las semillas y en las hojas de las plantas. El pH de los suelos es un factor determinante para la capacidad de adsorción de metales pesados (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2019).

4.4. Respuestas biológicas en semillas de *Lactuca sativa*

4.4.1. Índices de toxicidad

Tabla 27.

Valores de porcentaje de germinación relativa (GRS), crecimiento relativo radicular (CRR), índice de germinación (IG), índice de germinación normalizado (IGN) e índice de elongación radicular normalizado IER, calculados por bloque o tipo de finca.

INDICES	TIPO DE BLOQUE	
	F. AGROECOLÓGICA	F. F. CONVENCIONAL
GRS	13.46	13.54
CRR	1.11	0.90
IG	0.15	0.12
IGN	-0.10	-0.10
IER	0.11	-0.10

Se aprecia que el índice GRS que relaciona las semillas germinadas en el sustrato de estudio frente a las germinadas en el testigo arroja el valor más alto en las fincas por fumigación convencional. El índice CRR representa la relación del crecimiento radicular promedio en el sustrato de estudio frente al crecimiento radicular en el testigo, arrojando el valor superior en el bloque de las fincas agroecológicas. El IG indica como los factores se relacionan para una germinación eficiente o no, por lo que el mejor valor presenta las fincas agroecológicas. Para las fincas agroecológicas el índice (IGN) que relaciona el porcentaje de semillas germinadas en el sustrato de estudio con el número de semillas germinadas del testigo muestra un índice de toxicidad bajo y el índice (IER) que relaciona la elongación promedio de la radícula del bloque de fincas agroecológicas con la elongación promedio de la

radícula del bloque promedio muestra hormesis, lo que significa que el tratamiento genera una estimulación positiva al crecimiento radicular. En el bloque de fincas por fumigación convencional muestra tanto su índice (IGN) y el índice (IER) baja toxicidad.

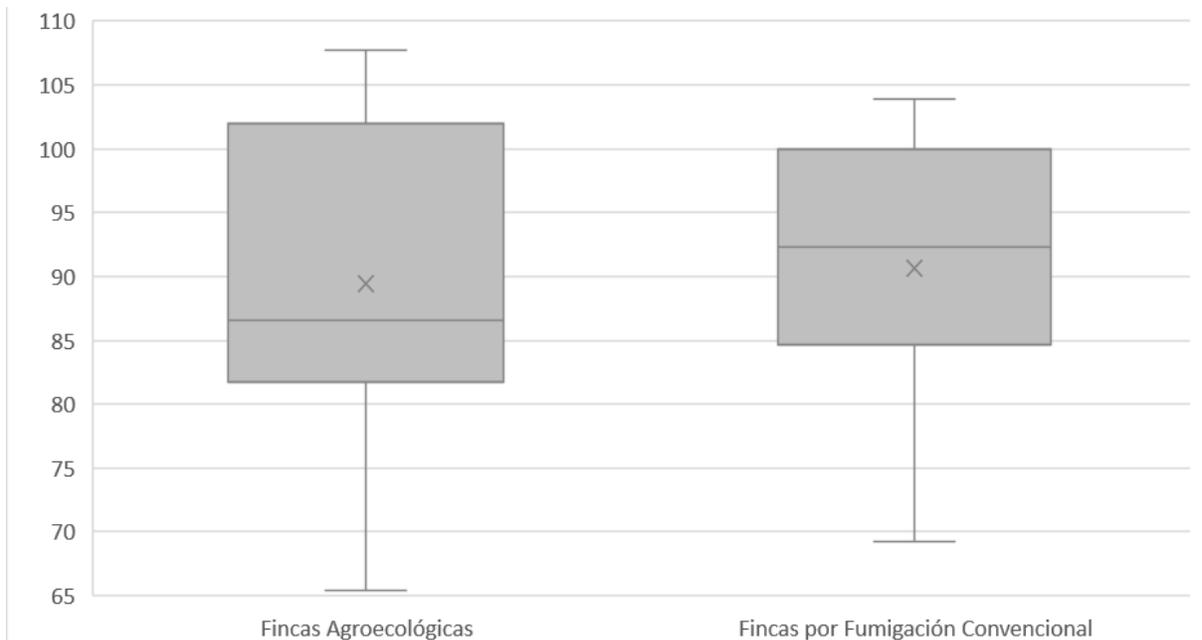


Figura 4. Diagrama de cajas de los valores del porcentaje de germinación relativa (GRS).

Los valores del porcentaje de germinación relativa representados en dos diferentes diagramas de cajas según el tipo de finca, determinaron que no existen diferencias significativas, pero se puede observar una mayor variabilidad de datos y una media más baja en el diagrama de cajas de las fincas agroecológicas, esta clasificación se la realizó según Rodríguez et al. (2014).

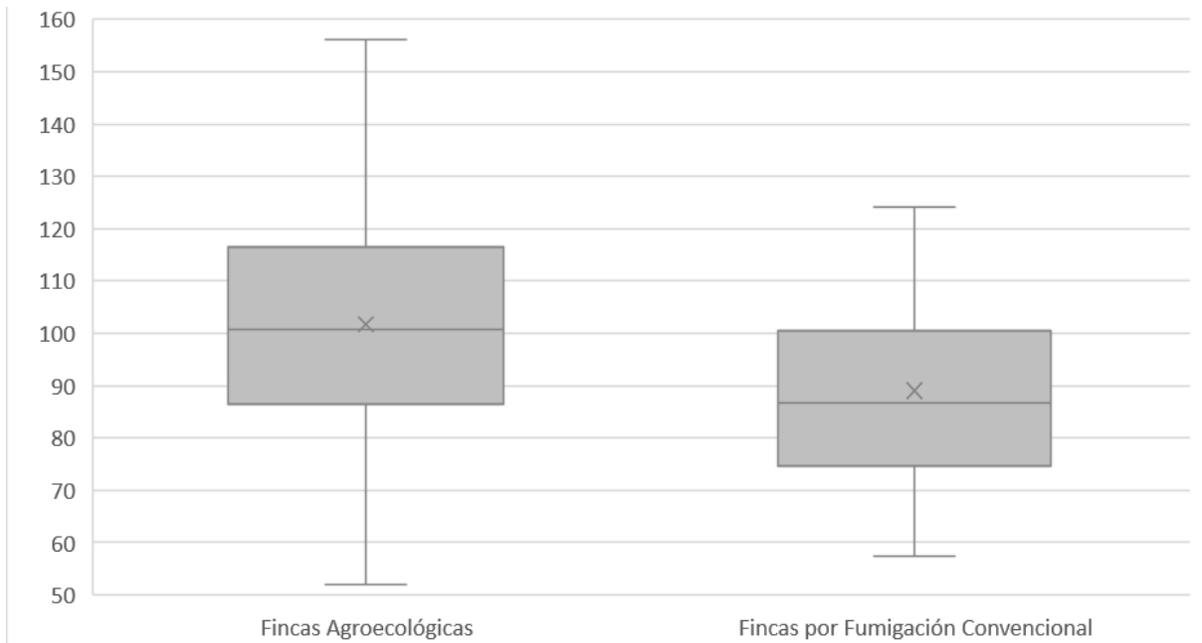


Figura 5. Diagrama de cajas de los valores del crecimiento relativo radicular (CRR).

Los valores del crecimiento relativo radicular representados en el diagrama de cajas por tipo de finca establecen una ligera diferencia, el diagrama de cajas de las fincas agroecológicas presentan una mayor variabilidad de datos y una media más alta frente al diagrama de cajas de las fincas por fumigación convencional, esta clasificación se la realizó según Rodríguez et al. (2014).

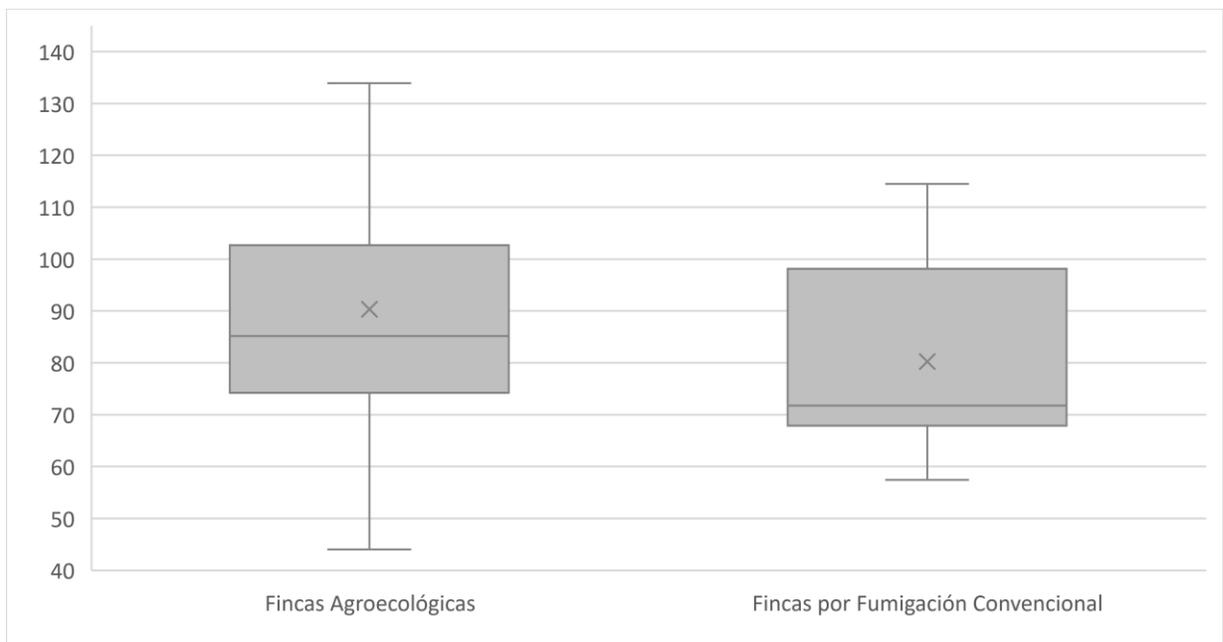


Figura 6. Diagrama de cajas de los valores del índice de germinación (IG).

Los valores presentados del índice de germinación determinaron que existe diferencia entre los dos tipos de fincas, por otra parte, el diagrama de cajas de las fincas agroecológicas muestra una mayor variabilidad de datos y su media es más alta que el diagrama de cajas de las fincas por fumigación convencional, esta clasificación se la realizó según Rodríguez et al. (2014).

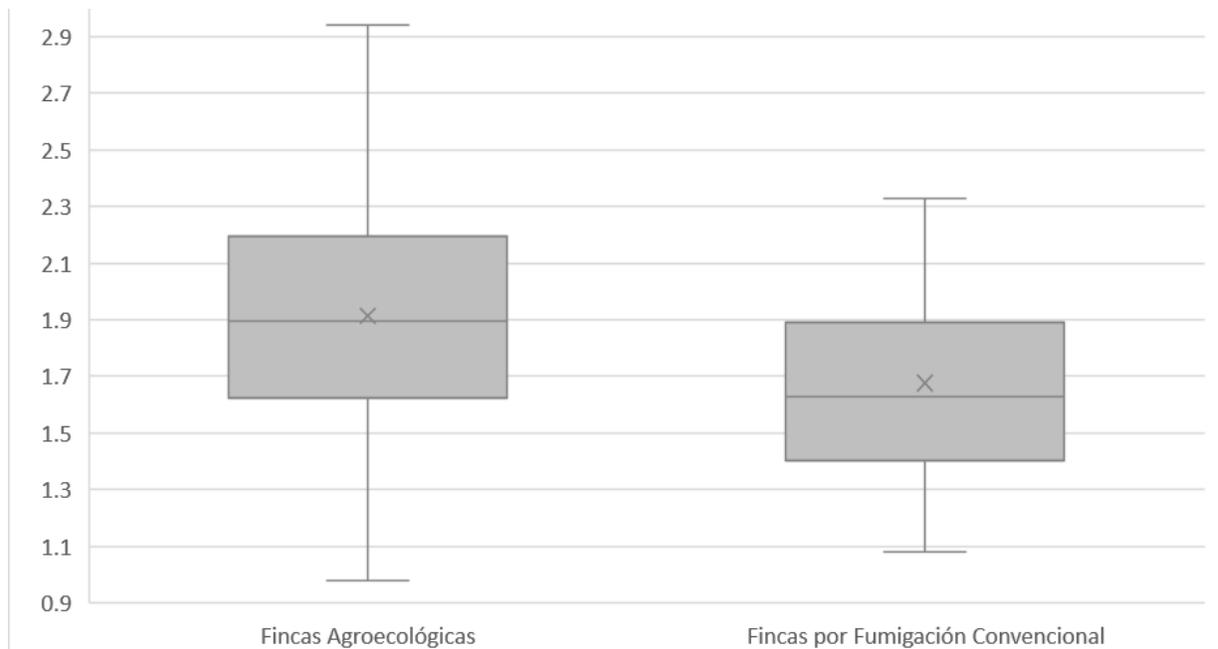


Figura 7. Diagrama de cajas de los valores de la longitud radicular.

Se puede observar que existe una pequeña diferencia en los datos de la longitud radicular entre los diagramas de caja de las fincas agroecológicas y fincas por fumigación convencional, es importante mencionar que las fincas agroecológicas presentan una mayor variabilidad en sus datos y una media más alta frente a las fincas por fumigación convencional, esta clasificación se la realizó según Rodríguez et al. (2014).

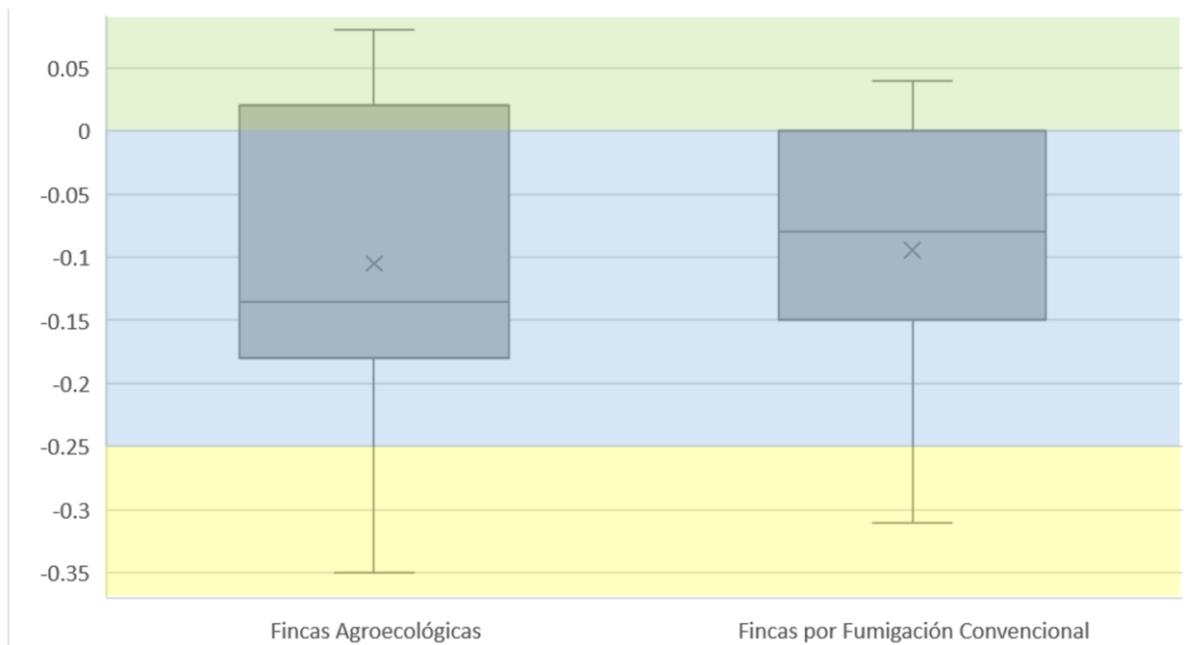


Figura 8. Diagrama de cajas de los valores del índice de germinación normalizado (IGN).

Los valores presentados por el índice de germinación normalizado, muestran una pequeña diferencia entre los dos tipos de finca, por otra parte, las fincas agroecológicas presentan mayor variabilidad de datos tanto en hormesis, baja toxicidad y toxicidad moderada frente a las fincas por fumigación convencional que concentran mayormente sus datos en baja toxicidad, esta clasificación se la realizó según Rodríguez et al. (2014).

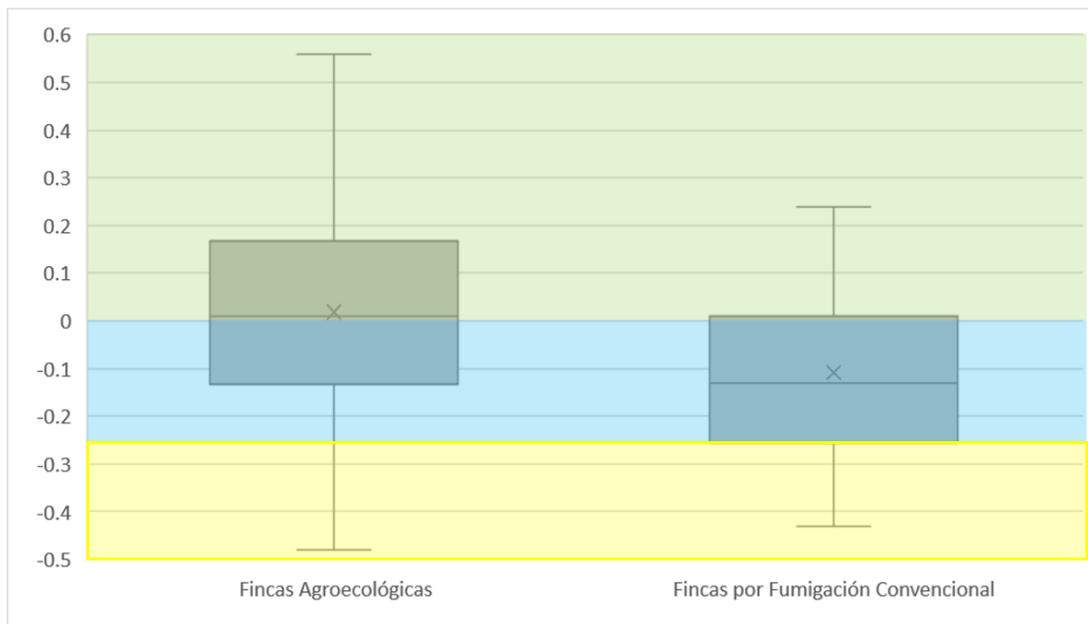


Figura 9. Diagrama de cajas de los valores del índice de elongación radicular normalizado (IER).

Los valores presentados por el índice de elongación radicular muestran diferencia entre los dos tipos de finca, por otra parte, las fincas agroecológicas presentan mayor variabilidad de datos tanto en hormesis, baja toxicidad y toxicidad moderada frente a las fincas por fumigación convencional que concentran mayormente sus datos en baja toxicidad, esta clasificación se la realizó según Rodríguez et al. (2014).

En todos los índices de toxicidad se puede apreciar una mayor variabilidad de datos enfocados a resultados positivos al crecimiento radicular por parte de las fincas agroecológicas, la agroecología es una práctica sustentable con el medio ambiente debido a que mantiene el suelo rico en nutrientes por la presencia de materia orgánica en el suelo, pues un suelo que mantiene sus propiedades permite el correcto funcionamiento y equilibrio de las cadenas tróficas de esta manera permite

que se desarrollen organismos que son capaces de transformar, mantener y generar materia orgánica asimilable para las plantas y por ende permite y estimula el crecimiento adecuado de raíces (UCM, s.f.).

Las fincas agroecológicas, en comparación a las fincas por fumigación convencional presentan menor toxicidad en todos sus niveles de calificación, e incluso se puede observar que existe una mayor adaptación de las plántulas de *Lactuca sativa*, por lo que generó una mayor cantidad de tratamientos que presentaron hormesis en relación a las fincas por fumigación convencional, esta afirmación se puede corroborar ya que en las fincas agroecológicas, por su sistema de cultivo existe una mayor presencia de materia orgánica y nutrientes naturales en el suelo, ya que esta práctica es capaz de regenerar, mejorar o mantener la salud de los ecosistemas en el suelo según la FAO (2015).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el presente trabajo de titulación se demostró mediante análisis estadísticos que si existen diferencias significativas en la concentración de elementos traza entre los diferentes modos de cultivo, determinando una mayor presencia de elementos traza en las fincas por fumigación convencional frente a las fincas agroecológicas.

Durante esta investigación se determinó que el porcentaje de germinación no es un factor considerable para determinar efectos toxicológicos, ya que la testa de la semilla protege al embrión de cualquier agente externo, por este motivo la semilla puede germinar independientemente del tipo de sustrato.

El crecimiento radicular si puede ser tomado como un indicativo considerable, ya que cuando la radícula tiene contacto con el sustrato alterado presenta variaciones en su crecimiento y puede existir anomalías en el desarrollo de la planta, por lo que en este trabajo de investigación se observó que el crecimiento radicular de las semillas de *Lactuca sativa* germinadas en el sustrato de las fincas agroecológicas es mayor al crecimiento radicular en las fincas por fumigación convencional.

En 19 de las 30 fincas analizadas se encontraron concentraciones de elementos traza que superan la norma ecuatoriana “Criterios de calidad del suelo” (TULSMA) Tabla 1. En 11 de las 15 parcelas manejadas de forma agroecológica y ocho de las 15 bajo manejo convencional.

Durante esta investigación se determinó que la concentración de elementos traza en suelo tiene una relación directa con el tipo de manejo agrícola que recibe el banano.

En este trabajo investigativo no se encontraron micronúcleos en células de radícula, tanto en plántulas desarrolladas en suelos bajo manejo agroecológico, como manejo convencional, esto puede ocurrir debido a que las concentraciones de elementos traza o metales pesados no son significativamente importantes para generar una alteración genética en las células de *Lactuca sativa*.

Los resultados de esta investigación determinaron que la toxicidad de suelos de cultivo de banano sobre *Lactuca sativa* es baja. Únicamente en siete de los 30 suelos analizados se observó una toxicidad moderada.

5.2. Recomendaciones

Sería importante realizar una investigación durante todo el ciclo de vida de la especie, para verificar si las respuestas se mantienen, o si los efectos toxicológicos aumentan a lo largo de las etapas de desarrollo.

Se debería analizar los elementos traza y metales pesados del suelo, y su biodisponibilidad.

Por otro lado, también se debería conversar con los propietarios de las fincas bananeras para conocer: historial de uso del suelo, listado de productos agrícolas utilizados. Además, de verificar espacialmente la disposición de las fincas en el espacio y así conocer si se está dando una contaminación indirecta.

Sería importante conocer las concentraciones originales de elementos traza y metales pesados en suelos del sector, a partir de áreas donde no se hayan realizado cultivos.

Para el tratamiento control o testigo se recomienda usar muestras tomadas de la misma zona de recolección, con factores climáticos, ambientales y características de suelo similares, o, por otra parte, usar sustrato con características controladas como la tierra de jardinería.

Para el análisis de micronúcleos se recomienda usar plantas con un desarrollo rápido y de mayor grosor radicular, para una mejor visualización de células.

En futuros trabajos de investigación se recomienda realizar una caracterización físico química del suelo, tomando variables importantes para el estudio como pH, concentración de materia orgánica y textura.

REFERENCIAS

- Alarcón Vera, A. L. (2015). Parte I: Aspectos fisiológicos y dinámica en suelo. Retrieved from <http://static.plenummedia.com/40767/files/20150523033838-el-boro-como-nutriente-esencial.pdf>
- Alarcón-Corredor, O. M. (2009). Los elementos traza. *Revista Médica de La Extensión Portuguesa - ULA*, 4(3), 107–124.
- Alloway B.J. (2013) Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In: Alloway B. (eds) *Heavy Metals in Soils. Environmental Pollution*, vol 22. Springer, Dordrecht
- Alm, E. (2003). Implications of Microbial Heavy Metal Tolerance in the Environment. 2(1985), 1–6.
- Asai, H. (1991). Discipline Pascal with descriptive environment; precise writing to learn programming and to avoid errors. *Computers and Education*, 16(4), 323–335. [https://doi.org/10.1016/0360-1315\(91\)90006-D](https://doi.org/10.1016/0360-1315(91)90006-D)
- ATSDR. (2007). Resumen de Salud Pública: Barrio. 1–7.
- Bagur-González, M. G., Estepa-Molina, C., Martín-Peinado, F., & Morales-Ruano, S. (2011). Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal(loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *Journal of Soils and Sediments*, 11(2), 281–289. <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0285-4>

- Baker, A. J. M. (1981). Accumulators and Excluders - Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1–4), 643–654. <https://doi.org/10.1080/01904168109362867>
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). Germination Ecology of Seeds with Physical Dormancy. In *Seeds*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416677-6.00006-8>
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2012). J. Derek Bewley · Kent J. Bradford Henk W.M. Hilhorst · Hiro Nonogaki.
- Bonilla adrian, L. M. (2010). Estado Del País. In *Estado del país. Informe Cero. Ecuador 1950-2010*.
- Bowen, H. J. M. (1979). *Environmental chemistry of the elements*. London: Academic Press.
- Cartaya-rubio, O., De, C., Pasto, S. J. De, & Habana, L. (2019). Toxicity of Cadmium in plants and strategies to reduce its effects. Case study : The tomato. 40(3).
- Casa, N. M., Río, L. A., & Sandalio, L. M. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas*, 17(3), 139–146. <https://doi.org/10.7818/re.2014.17-3.00>
- Cerón C., H. (1970). Desafíos del desarrollo económico del Ecuador. In *Economía y Negocios*. <https://doi.org/10.29019/eyn.v0i1.140>
- CONABIO. (s.f). *Lactuca sativa*. Recuperado el 30 de junio de 2020 de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21940_sg7.pdf

- Di Salvatore, M., Carafa, A. M., & Carratù, G. (2008). Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: A comparison of two growth substrates. *Chemosphere*, 73(9), 1461–1464. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.07.061>
- Enrique, E., & Paquita, N. (2015). La Problemática Ambiental Resultante De La Fumigación Aérea Con Plaguicidas a Bananeras De La Provincia El Oro, Ecuador. *Ciencia En Su PC*, (4), 75–87.
- Fagnano, M., Agrelli, D., Pascale, A., Adamo, P., Fiorentino, N., Rocco, C., ... Venterino, V. (2020a). Copper accumulation in agricultural soils: Risks for the food chain and soil microbial populations. *Science of the Total Environment*, 734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139434>
- Fagnano, M., Agrelli, D., Pascale, A., Adamo, P., Fiorentino, N., Rocco, C., ... Venterino, V. (2020). Copper accumulation in agricultural soils: Risks for the food chain and soil microbial populations. *Science of the Total Environment*, 734, 139434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139434>
- FAO. (2015). Agroecología para revertir la degradación del suelo y alcanzar la seguridad alimentaria. Recuperado el 3 de julio de 2020 de <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/318104/>
- Galán Huertos, E., & Romero Baena, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Macla*, 10, 48–60.
- Gonnelli C., Renella G. (2013) Chromium and Nickel. In: Alloway B. (eds) Heavy Metals in Soils. Environmental Pollution, vol 22. Springer, Dordrecht

Gualavisí Mijaelly y Quimbita Betty, (2018). “Cartografía geológica y zonificación de susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa en la zona de influencia del tramo tres (KP 225 al KP 351) del Oleoducto de Crudos Pesados – OCP Ecuador S.A.” Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Halsouet, P. y Miñambres, M. (2015). La Lechuga. Manual para su cultivo en agricultura ecológica. 16. Retrieved from <https://www.eneek.eus/files/2016/11/LECHUGA.pdf>

Hernández, Y., Rodríguez, P., Peña, M., Meriño, Y. y Cartaya, O. (2019). Toxicity of Cadmium in plants and strategies to reduce its effects. Case study: The tomato.

INEC. (2014). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 23. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1974.v2n2-09>

INIAP. (2020). Manejo De Enfermedades. Retrieved from <http://tecnologia.iniap.gob.ec/images/rubros/contenido/maracuya/9pudricion.pdf>

International, P. B. (2009). Primer Premier 6.0 Manual. (650), 89.

Kabata-Pendias, A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. pp. 365, 413.

Křístková, E., Doležalová, I., Lebeda, A., Vinter, V., & Novotná, A. (2008). Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic

resources. Horticultural Science, 35(3), 113–129.
<https://doi.org/10.17221/4/2008-hortsci>

L. Rodriguez. (2011). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible Materia orgánica y actividad biológica Qué es y qué hace. 1–28.

Larrea, C. (2005). Hacia una Historia Ecológica del Ecuador. In Universidad Andina Simon Bolivar, Sede Ecuador Corporacion Editora Nacional EcoCiencia. Retrieved from http://www.estudiosecologistas.org/documentos/ecopolitica/ecohistoria/eco_historia.pdf

Livingston, G. (2018). Determinación del grado de contaminación por presencia de metales pesados en suelos, raíces, hojas y frutas en plantas de banano debido al uso de agroquímicos en una finca ubicada en la Provincia de Los Ríos. Guayaquil, Ecuador.

López-Gutiérrez, M. D. L., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortíz, H., Valdez-Aguilar, L. A., Cabrera-De la Fuente, M., & Sandoval-Rangel, A. (2018). Selenio y su efecto en el estado antioxidante y la composición mineral de la lechuga. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (12), 2257. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.759>

Madejón P. (2013) Vanadium. In: Alloway B. (eds) Heavy Metals in Soils. Environmental Pollution, vol 22. Springer, Dordrecht

MAGAP. (2019). Sostenibilidad garantiza producción bananera del Ecuador. Recuperado el 3 de julio de 2020 de

<https://www.agricultura.gob.ec/sostenibilidad-garantiza-produccion-bananera-del-ecuador/>

Méndez, P., Ramírez, G., César, A., Gutiérrez, R., Alma, D., & García, P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44.

Méndez, P., Ramírez, G., César, A., Gutiérrez, R., Alma, D., & García, P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44.

Negra, S. (n.d.). Reducción Del Riesgo Asociado a Los Pesticidas. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i6840s.pdf>

Osman K.T. (2013) Concepts of Soil. In: *Soils*. Springer, Dordrecht

Orrono, D. I. (2002). Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium*: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad. 118. Retrieved from <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2011orronodanielaines.pdf>

Ortega, A. E., & Malavolta, E. (2012). Los más recientes micronutrientes vegetales. *Informaciones Agronómica de Hispanoamérica*, 7, 16–25.

Paul M. Muchinsky. (2012). *Ecotoxicología Acuática: Princípios E Aplicações*. Psychology Applied to Work: An Introduction to Industrial and Organizational

Psychology, Tenth Edition Paul, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Plant, J., Smith, D., Smith, B., & Williams, L. (2000). Environmental geochemistry at the global scale. *Journal of the Geological Society*, 157(4), 837–849.
<https://doi.org/10.1144/jgs.157.4.837>

PRO ECUADOR. (2020). Ficha Técnica de Estados Unidos – 2020. Recuperado el 3 de julio de 2020 de <https://www.proecuador.gob.ec/ficha-tecnica-de-estados-unidos/>

Ramírez Ortega, A., & San José Arango, C. (2006). El azufre en la naturaleza. *Anales de La Real Academia de Doctores*, 10(2), 33–46.

Rodríguez Romero, A. J., Robles Salazar, C. A., Ruíz Picos, R. A., López López, E., Sedeño Díaz, J. E., & Rodríguez Dorantes, A. (2014). Indices of germination and stretching *Lactuca sativa* radical in biomonitoring river water quality chalma. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 30(3), 307–316.

Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. In Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

Romoleroux, K., Cárate-Tandalla, D., Erlen, R., Navarrete, H. (2019). Plantas vasculares de los bosques de *Polylepis* en los páramos de Oyacachi. Recuperado el 3 de julio de 2020 de <https://bioweb.bio/floraweb/polylepis/>

Sobrero, M. C., & Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. *Imta*, 55–67. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

TULSMA. (2016). Texto Unificado De Legislación Secundaria De Medio Ambiente. 12–15.

Weerda, H., & Siegert, R. (1994). Komplikationen Der Ohrmuschelanlageplastik Und Ihre Behandlung. *Laryngo- Rhino- Otologie*, 73(7), 394–399.

Schmid, W. (1975). The micronucleus test. *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*, 31(1), 9–15. [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(75\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0165-1161(75)90058-8)

White P.J. (2018) Selenium in Soils and Crops. In: Michalke B. (eds) *Selenium. Molecular and Integrative Toxicology*. Springer, Cham

Zalacain, M., Sierrasesúmaga, L., & Patiño, A. (2005). El ensayo de micronúcleos como medida de inestabilidad genética inducida por agentes genotóxicos. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 28(2), 227–236. <https://doi.org/10.4321/s1137-66272005000300007>

ANEXOS

Anexo 1. Proceso de siembra y germinación de *Lactuca sativa* en el laboratorio CILAB salud de la Universidad Andina Simón Bolívar.

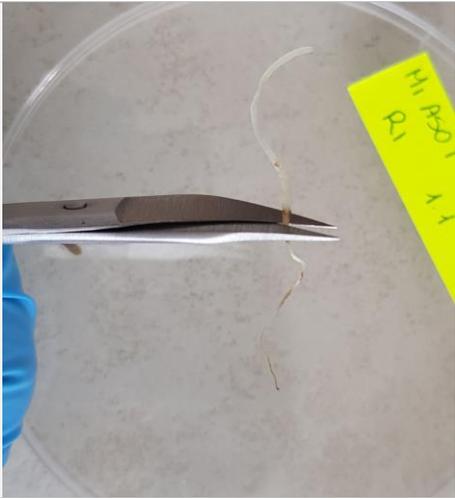
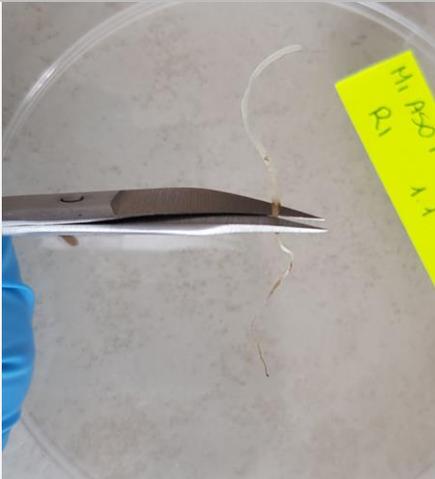
<p data-bbox="354 373 732 405">Semillas de <i>Lactuca sativa</i></p> 	<p data-bbox="1013 373 1243 405">Pesaje de suelo</p> 
<p data-bbox="358 861 678 892">Siembra en cajas Petri</p> 	<p data-bbox="1062 861 1146 892">Riego</p> 
<p data-bbox="423 1329 613 1360">Siembra total</p> 	<p data-bbox="1013 1329 1195 1360">Germinación</p> 
<p data-bbox="428 1808 609 1839">Germinación</p>	<p data-bbox="976 1808 1230 1839">Medición radicular</p>



Anexo 2. Resultados crudos de germinación, porcentaje de germinación y tamaño radicular.



Anexo 3. Protocolo para la evaluación de micronúcleos.

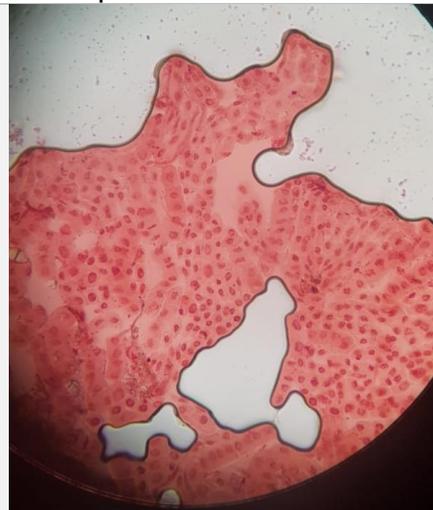
Toma de raíces	Almacenamiento de raíces
	
Almacenamiento de raíces en alcohol al 70%	Corte de la raíz
	
Muestra lista para observar	Observación en microscópio



Busqueda digital de micronúcleos



Busqueda de micronúcleos



Anexo 4. Tabla 1 “Criterios de calidad del suelo”, del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA).

Parámetro	Unidades*	Valor
Parámetros Generales		
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)		4*
Parámetros inorgánicos		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60

Tomada de (TULSMA, 2016)

Anexo 5. Valores del porcentaje de germinación relativa (GRS), crecimiento relativo radicular (CRR), índice de germinación (IG), índice de germinación normalizado (IGN) e índice de elongación radicular normalizado (IER).

Tratamiento	GRS	CRR	IG	LONGITUD RADICULA	IGN	IER
-------------	-----	-----	----	----------------------	-----	-----

Fincas Agroecológicas

M1 ASO1	80.77	98.74	79.7 5	1.86	-0.19	-0.01
M2 ASO2	80.77	105.01	84.8 2	1.98	-0.19	0.05
M3 ASO3	65.38	100.71	65.8 5	1.89	-0.35	0.01
M4 ASO4	103.85	128.99	133. 95	2.43	0.04	0.29
M5 ASO5	84.62	156.13	132. 11	2.94	-0.15	0.56
M6 ASO6	92.26	52.06	44.0 5	0.98	-0.08	-0.48
M7 ASO7	103.85	108.90	113. 09	2.05	0.04	0.09
M8 ASO8	96.15	88.90	85.4 8	1.67	-0.04	-0.11
M9 ASO9	103.85	80.98	84.1 0	1.52	0.04	-0.19
M10 ASO10	88.46	117.44	103. 89	2.21	-0.12	0.17
M11 ASO11	107.69	78.24	84.2 5	1.47	0.08	-0.22
M12 ASO12	73.08	93.19	68.1 0	1.75	-0.27	-0.07
M13 ASO13	84.62	116.97	98.9 8	2.20	-0.15	0.17
M14 ASO14	96.15	100.81	96.9 3	1.90	-0.04	0.01

M15 ASO15	84.62	85.53	72.3	1.61	-0.15	-0.14
			7			
Fincas por Fumigación Convencional						
M16 CAM01	84.62	115.52	97.7	2.17	-0.15	0.16
			5			
M17 CAM02	76.92	92.67	71.2	1.74	-0.23	-0.07
			8			
M18 CAM03	92.31	124.06	114.	2.33	-0.08	0.24
			52			
M19 CAM04	84.62	117.48	99.4	2.21	-0.15	0.18
			1			
M20 CAM05	84.62	99.33	84.0	1.87	-0.15	-0.01
			5			
M21 CAM06	96.15	75.08	72.1	1.41	-0.04	-0.25
			9			
M22 CAM07	92.31	76.87	70.9	1.45	-0.08	-0.23
			6			
M23 CAM08	100.00	103.48	103.	1.95	0.00	0.04
			48			
M24 CAM09	92.31	75.99	70.1	1.43	-0.08	-0.24
			4			
M25 CAM10	88.46	73.28	64.8	1.38	-0.12	-0.27
			3			
M26 CAM11	100.00	97.75	97.7	1.84	0.00	-0.02
			5			
M27 CAM12	103.85	80.74	83.8	1.52	0.04	-0.19
			4			

M28 CAM13	100.00	57.46	57.4	1.08	0.00	-0.43
			6			
M29 CAM14	88.46	73.28	64.8	1.38	-0.12	-0.27
			3			
M30 CAM15	69.23	99.50	68.8	1.87	-0.31	0.00
			9			

Anexo 6. Resultados crudos de germinación, porcentaje de germinación y tamaño radicular.

Tratamiento	Repetición	N° Plántulas Germinadas	Porcentaje de germinación	Tamaño de radícula en cm						Promedio radicular en cm
				1	2	3	4	5	6	
M1 ASO1	R1	3	50.00	2.8	2.7	3.4	-	-	-	1.91
	R2	5	83.33	0.5	1.1	2.5	2	0	-	
	R3	6	100.00	2.7	2.4	1.6	1.4	0.3	2.5	
	R4	4	66.67	0	1	2.5	2.7	-	-	
	R5	3	50.00	1.9	3	2	-	-	-	
M2 ASO2	R1	4	66.67	2.9	1.7	2.2	3	-	-	1.98
	R2	3	50.00	2.8	0.9	2.1	-	-	-	
	R3	5	83.33	2.4	2.4	2.3	2	-	-	
	R4	4	66.67	2.5	2.4	2.3	2	-	-	
	R5	5	83.33	2.6	0.1	2.9	0	0	-	
M3 ASO3	R1	2	33.33	3.2	3	-	-	-	-	1.89
	R2	3	50.00	2.5	2.3	1.9	-	-	-	
	R3	3	50.00	0	1.6	2.7	-	-	-	
	R4	4	66.67	2.2	0.2	0.2	0	-	-	
	R5	5	83.33	2.3	2.1	3	2.1	2.9	-	
M4 ASO4	R1	6	100.00	3	3	2.5	2.6	2.3	3.2	2.43
	R2	5	83.33	2.5	2.7	2.8	2.5	2.6	-	
	R3	5	83.33	3	2.3	2.2	2.9	2	-	
	R4	6	100.00	2.2	2.3	2.1	2.6	2.7	0	

	R5	5	83.33	2.8	2.5	2.2	0	4	-	
M5	R1	5	83.33	3.3	3.1	2.6	3.1	2.8	-	2.94
ASO5	R2	5	83.33	2.7	3	2.9	3	3.3	-	
	R3	4	66.67	3.2	2.8	3.1	3.3	-	-	
	R4	4	66.67	3.6	2.2	3.1	3	-	-	
	R5	4	66.67	2.9	2.4	2.8	2.4	-	-	
M6	R1	5	83.33	0.7	1.2	1	0.7	1.1	-	0.98
ASO6	R2	5	83.33	1	0.3	1.2	1.8	1.5	-	
	R3	5	83.33	0.5	1	0.7	1.7	0.8	-	
	R4	4	66.67	0.1	0	1	1.3	-	-	
	R5	5	83.33	1.3	1	0.7	2.1	0.8	-	
M7	R1	5	83.33	0	3	2.5	3	1.3	-	2.05
ASO7	R2	4	66.67	1.3	2.1	2	1.7	-	-	
	R3	6	100.00	0	2.5	3.4	3.1	2	2.7	
	R4	6	100.00	2.8	2.6	2.5	2	1.5	3.3	
	R5	6	100.00	0	2.1	2	1.7	2.2	2	
M8	R1	5	83.33	1.5	2.5	3	2	0.5	-	1.67
ASO8	R2	6	100.00	2.1	2	1.6	2.1	1.8	2.4	
	R3	5	83.33	2.5	1.6	2.5	1.1	2.5	-	
	R4	5	83.33	0	0.2	2.5	1.8	1.5	-	
	R5	4	66.67	0	0	2	2.1	-	-	
M9	R1	6	100.00	1.1	1.8	2	1.9	1.8	0.5	1.52
ASO9	R2	5	83.33	0.5	0.6	1.4	1.5	1	-	
	R3	5	83.33	0	1.7	1.6	1	-	-	
	R4	6	100.00	3.5	3	2.5	0.2	0	2	
	R5	5	83.33	2.5	0	3	2.5	2	-	
M10	R1	4	66.67	2.3	2.4	1.8	2.3	-	-	2.21
ASO10	R2	5	83.33	3.2	1.2	2.9	3	3	-	
	R3	4	66.67	3	2.4	3	2.3	-	-	
	R4	4	66.67	2.9	0.2	3	2	-	-	
	R5	6	100.00	2.6	0.1	2.8	0.8	2.6	1	
M11	R1	6	100.00	1	0.5	1.5	0.6	1.4	1.1	1.47
ASO11	R2	6	100.00	2	2.1	2	2	2.5	0	
	R3	6	100.00	0	2.2	0	0.9	2	2.7	
	R4	5	83.33	2.5	1.8	2	1	2.1	-	
	R5	5	83.33	2.4	2.6	2.3	0	0	-	
M12	R1	3	50.00	2.5	2.5	2.1	-	-	-	1.75
ASO12	R2	4	66.67	2.1	1	3	0.3	-	-	
	R3	3	50.00	2.3	2.1	0.5	-	-	-	
	R4	3	50.00	1.5	1.6	2	-	-	-	
	R5	6	100.00	2.1	2	1.5	0.5	2.2	1.5	
	R1	4	66.67	2.7	2.8	2.4	1.9	-	-	2.20
	R2	4	66.67	2.4	3.1	2.6	1.5	-	-	

M13 ASO1 3	R3	5	83.33	2.4	2.4	1.6	1.6	2.3	-	
	R4	6	100.00	1.2	2.6	2.3	2.3	1.1	2.3	
	R5	3	50.00	2.9	2.2	1.8	-	-	-	
M14 ASO 14	R1	5	83.33	0.8	0	1.7	3	-	-	1.90
	R2	5	83.33	2.7	2.1	2	1.8	2.4	-	
	R3	6	100.00	1.2	2.5	2.5	1.7	1.9	1.6	
	R4	4	66.67	2.1	2	1.5	1.5	2.5	-	
	R5	5	83.33	0.5	2	2.5	2	2.9	-	
M15 ASO1 5	R1	4	66.67	0	0	1.4	2.6	-	-	1.61
	R2	3	50.00	1.7	2	1	-	-	-	
	R3	4	66.67	1.5	1.8	1.8	1.3	2.8	-	
	R4	6	100.00	1.8	1.9	2	2.4	1.9	1.2	
	R5	5	83.33	0.6	0.6	2.2	3.1	1.4	-	
M16 CAMO 1	R1	4	66.67	0.7	2.6	3.8	2.5	-	-	2.17
	R2	4	66.67	1.7	2.3	2.5	2.6	-	-	
	R3	5	83.33	2.2	2.5	2	2.5	2.5	-	
	R4	4	66.67	2.8	1.6	2.5	2.1	-	-	
	R5	5	83.33	2.6	2	0.3	1.5	2	-	
M17 CAMO 2	R1	4	66.67	3.5	1.9	1.5	3.4	-	-	1.74
	R2	6	100.00	2.1	1.1	1.1	1.2	2.5	2	
	R3	3	50.00	1.1	1.5	1.2	-	-	-	
	R4	4	66.67	2.1	0.5	1.5	1.2	2	-	
	R5	3	50.00	2.1	2.1	1	-	-	-	
M18 CAMO 3	R1	6	100.00	2.6	2	2.5	3.5	2	2.6	2.33
	R2	5	83.33	2.5	2	2.5	2.7	3.5	-	
	R3	4	66.67	1	3.3	2.2	2.2	-	-	
	R4	4	66.67	3.1	2.2	2	1.3	-	-	
	R5	5	83.33	2.3	2	1.7	2	2.3	-	
M19 CAMO 4	R1	3	50.00	2	2.3	3.5	-	-	-	2.21
	R2	6	100.00	2	2.4	2	2	2.3	2.1	
	R3	5	83.33	1.4	2.6	2.5	2	2.2	-	
	R4	3	50.00	2.1	2.6	2.3	-	-	-	
	R5	5	83.33	1.8	1.3	2.5	2.5	-	-	
M20 CAMO 5	R1	5	83.33	2.1	0.3	0.6	1.1	0	-	1.87
	R2	6	100.00	3.6	2.5	0.2	0.4	2	2	
	R3	4	66.67	2.6	2.4	2.1	1.6	-	-	
	R4	4	66.67	2.3	2.6	2.8	2.9	-	-	
	R5	3	50.00	2.6	2.3	2.1	-	-	-	
M21 CAMO 6	R1	5	83.33	1.4	0.4	0.9	1.4	1.6	-	1.41
	R2	5	83.33	2.4	2.5	1	0	0.5	-	
	R3	6	100.00	2.5	1.2	2.5	2	0	0	
	R4	4	66.67	2	0.4	1.9	1.5	-	-	
	R5	5	83.33	1	0.7	2.8	2.7	2	-	

M22 CAM0 7	R1	6	100.00	2	2.6	0.5	1	1.4	0.5	1.45
	R2	3	50.00	2.9	1	1.5	-	-	-	
	R3	6	100.00	3	2.4	2.4	0.7	1.5	0.5	
	R4	5	83.33	0.5	2.2	0.9	0.6	0.3	-	
	R5	4	66.67	0.5	0.9	2.5	2.4	-	-	
M23 CAM0 8	R1	4	66.67	2	1.6	1.9	3	-	-	1.95
	R2	5	83.33	1.2	1.3	2.2	2	3.4	-	
	R3	6	100.00	1	1.5	1.3	1.4	2.1	1	
	R4	5	83.33	2.5	1.1	2.2	2.5	1.8	-	
	R5	6	100.00	3.4	4.1	0	2	2.5	1.6	
M24 CAM0 9	R1	5	83.33	0.6	0.5	0.5	1.6	1.7	-	1.43
	R2	4	66.67	0.5	1.8	1	2.1	-	-	
	R3	6	100.00	0	0.7	1.7	1.4	1.6	1.3	
	R4	3	50.00	1	2	1.5	-	-	-	
	R5	6	100.00	1.9	1.4	3	2	2	2.5	
M25 CAM1 0	R1	5	83.33	1.5	1	1.5	1.5	2.2	-	1.38
	R2	5	83.33	2.5	1	1.4	1	1.2	-	
	R3	5	83.33	0.2	1	1.5	1.5	1.5	-	
	R4	5	83.33	1.9	1	2	1	1.3	-	
	R5	3	50.00	1.5	1.5	1	-	-	-	
M26 CAM1 1	R1	5	83.33	1.6	0.3	3.1	1.6	0.6	-	1.84
	R2	6	100.00	1.9	1.9	1.9	1.7	2.5	2.5	
	R3	5	83.33	1.6	0.2	2.1	2.3	2.1	-	
	R4	5	83.33	2.5	2.4	2.2	1.6	1.8	-	
	R5	5	83.33	1.5	2.2	1.8	2.1	1.8	-	
M27 CAM1 2	R1	5	83.33	0.4	0.9	2	0.9	2	-	1.52
	R2	5	83.33	2	2.4	1.7	1.5	2.3	-	
	R3	6	100.00	0	1.5	0.5	1.9	1.8	2.5	
	R4	5	83.33	0	2.5	1.5	0	2.5	-	
	R5	6	100.00	2.5	0	2	2	2	1.7	
M28 CAM1 3	R1	5	83.33	1	0.6	1.6	0	1	-	1.08
	R2	4	66.67	0	1.9	1.5	2	-	-	
	R3	6	100.00	1.5	1.7	1.4	0.8	2.5	1.2	
	R4	5	83.33	1.5	0.9	0	0.5	1.7	-	
	R5	6	100.00	1	1.4	1.5	0.6	0	0.3	
M29 CAM1 4	R1	6	100.00	0	3	0.9	1.9	0.1	0	1.38
	R2	5	83.33	0.5	2.2	0.9	0.6	0.3	-	
	R3	4	66.67	0.5	0.9	2.5	2.4	-	-	
	R4	3	50.00	2.5	2.2	0.3	-	-	-	
	R5	5	83.33	2.7	2.5	2.5	2.1	0.2	-	
M30 CAM1 5	R1	3	50.00	2.5	2.2	0.4	-	-	-	1.87
	R2	5	83.33	2.7	2.5	2.5	2.1	0.2	-	
	R3	4	66.67	4	2.9	2.5	0.6	-	-	

TESTI GO	R4	3	50.00	3	3.2	2.1	-	-	-	1.88
	R5	3	50.00	0	3	0.9	1.9	0.1	0	
	R1	5	83.33	1.5	1.9	2	1.5	2	-	
	R2	5	83.33	2	2	1.5	2.5	2.5	-	
	R3	5	83.33	0	2	2.3	1.4	2	-	
	R4	6	100.00	2.1	1.2	2.5	1.6	2.4	2.5	
	R5	5	83.33	0	2	2	3	2.5	-	

