

Especies Forestales en la Fitorremediación de Suelos Contaminados por Lixiviados en Rellenos  
Sanitarios de Zonas Andinas

Diego Fabián Carrillo Aparicio

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Forestal

Director

Diego Suescún Carvajal

MSc. Bosques y Conservación Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional de Educación a Distancia (IPRED)

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2024

### **Agradecimientos**

Quiero agradecer en primera instancia a mi madre, quien es mi fortaleza y siempre me ha impulsado en el proceso de formación profesional. A mi hermana, quien es mi apoyo y buen modelo en el camino académico. Igualmente, a una mujer muy especial quien me ha dado su cariño, comprensión y compañía durante mi proceso de formación. Gracias por su ayuda en mi camino de superación y en la realización de mis proyectos.

Del mismo modo, doy un agradecimiento especial a mi director Diego Suescún Carvajal por su acompañamiento, enseñanzas y orientaciones en la realización del trabajo de grado. A mis profesores, gracias por su paciencia, disposición y aportes en mi proceso de aprendizaje. A mis compañeros, por sus consejos y recomendaciones en el desarrollo de las clases.

Gracias a la Universidad Industrial de Santander por darme la oportunidad de crecer a nivel profesional y darme herramientas muy útiles durante mis años de formación. A Empresas Públicas Municipales de Málaga (EPMM) por su acompañamiento en la realización del proyecto y disposición en los gastos del mismo.

**Tabla de contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	11
1. Objetivos .....	13
1.1 Objetivo general .....	13
1.2 Objetivos específicos .....	13
2. Marco teórico .....	14
2.1. Contaminación por lixiviados .....	14
2.2. Fitorremediación de suelos .....	14
2.3. Rellenos sanitarios .....	15
3. Metodología .....	16
3.1. Área de estudio .....	16
3.2. Diseño experimental .....	17
3.3. Recolección de datos.....	18
3.4. Análisis en laboratorio .....	20
3.5. Procesamiento de datos.....	20
4. Resultados .....	22
4.1. Condiciones iniciales de los suelos.....	22
4.2. Desarrollo y crecimiento de especies forestales .....	24
4.2.1. Evolución temporal de variables dendrométricas .....	24
4.2.2. Diferencias en el crecimiento y desarrollo de las especies .....	27
4.2.3. Relaciones entre variables dendrométricas .....	38
4.3. Determinación de elementos en el sistema foliar .....	41

4.3.1. Nitrógeno .....	41
4.3.2. Fósforo .....	42
4.3.3. Potasio.....	43
4.3.4. Calcio .....	44
4.3.5. Magnesio.....	45
4.3.6. Azufre .....	46
4.3.7. Boro.....	47
4.3.8. Hierro .....	48
4.3.9. Manganeso .....	49
4.3.10. Cobre.....	50
4.3.11. Zinc .....	51
4.4. Fitorremediación en suelo contaminado .....	52
5. Discusión.....	54
6. Conclusiones.....	56
7. Recomendaciones .....	58
Referencias bibliográficas.....	59
Apéndices.....	64

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Análisis iniciales de suelos .....	23
Tabla 2. Comparación de medias poblacionales independientes en altura. ....	28
Tabla 3. Comparación de medias poblacionales independientes en DAC.....	30
Tabla 4. Comparación de medias poblacionales independientes en diámetro de copa .....	32
Tabla 5. Comparación de medias poblacionales independientes en número de hojas.....	34
Tabla 6. Comparación de medias poblacionales independientes de la profundidad de la raíz.....	36
Tabla 7. Comparación del suelo contaminado con respecto al suelo con fitorremediación .....	54

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Zona de estudio.....	16
Figura 2. Distribución de especies forestales en contenedores de madera .....	18
Figura 3. Fórmula de comparación de medias poblacionales independientes .....	21
Figura 4. Correlación de Pearson.....	21
Figura 5. Textura de los suelos .....	22
Figura 6. Serie temporal en altura de especies forestales ante tratamientos.....	24
Figura 7. Serie temporal en DAC de especies forestales ante tratamientos.....	25
Figura 8. Serie temporal en diámetro de copa de especies forestales ante tratamientos .....	26
Figura 9. Serie temporal en número de hojas de especies forestales ante tratamientos.....	27
Figura 10. Diferencia en altura de las especies sometidas a tratamientos .....	29
Figura 11. Diferencia en DAC de las especies sometidas a tratamientos.....	31
Figura 12. Diferencia en diámetro de copa de las especies sometidas a tratamientos.....	33
Figura 13. Diferencia en número de hojas de las especies sometidas a tratamientos.....	35
Figura 14. Diferencias en profundidad de la raíz de las especies sometidas a tratamientos.....	37
Figura 15. Correlación de variables dendrométricas de la especie <i>Alnus acuminata</i> .....	38
Figura 16. Correlación de variables dendrométricas de la especie <i>Leucaena leucocephala</i> .....	39
Figura 17. Correlación de variables dendrométricas de la especie <i>Lafoesia acuminata</i> .....	39
Figura 18. Correlación de variables dendrométricas de la especie <i>Salix humboldtiana</i> .....	40
Figura 19. Correlación de variables dendrométricas de la especie <i>Sambucus nigra</i> .....	41
Figura 20. Concentración de nitrógeno en hojas .....	42

Figura 21. Concentración de fósforo en hojas .....	43
Figura 22. Concentración de potasio en hojas .....	44
Figura 23. Concentración de calcio en hojas .....	45
Figura 24. Concentración de magnesio en hojas .....	46
Figura 25. Concentración de azufre en hojas .....	47
Figura 26. Concentración de boro en hojas .....	48
Figura 27. Concentración de hierro en hojas .....	49
Figura 28. Concentración de manganeso en hojas .....	50
Figura 29. Concentración de cobre en hojas .....	51
Figura 30. Concentración de zinc en hojas .....	52
Figura 31. Textura de suelos contaminados.....	53

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Registro fotográfico .....	64
Apéndice B. Análisis inicial - suelo no contaminado .....	66
Apéndice C. Análisis inicial - suelo contaminado .....	66
Apéndice D. Análisis foliar de <i>Alnus acuminata</i> en suelo contaminado .....	67
Apéndice E. Análisis final - suelo contaminado .....	67
Apéndice F. Análisis foliar de <i>Alnus acuminata</i> en suelo no contaminado.....	68
Apéndice G. Análisis foliar de <i>Lafoensia acuminata</i> en suelo contaminado .....	68
Apéndice H. Análisis foliar de <i>Leucaena leucocephala</i> en suelo contaminado .....	69
Apéndice I. Análisis foliar de <i>Lafoensia acuminata</i> en suelo no contaminado.....	69
Apéndice J. Análisis foliar de <i>Salix humboldtiana</i> en suelo contaminado .....	70
Apéndice K. Análisis foliar de <i>Leucaena leucocephala</i> en suelo no contaminado .....	70
Apéndice L. Análisis foliar de <i>Sambucus nigra</i> en suelo contaminado .....	71
Apéndice M. Análisis foliar de <i>Salix humboldtiana</i> en suelo no contaminado .....	71
Apéndice N. Análisis foliar de <i>Sambucus nigra</i> en suelo no contaminado .....	72

## Resumen

**Título:** Especies Forestales en la Fitorremediación de Suelos Contaminados por Lixiviados en Rellenos Sanitarios de Zonas Andinas\*

**Autor:** Diego Fabián Carrillo Aparicio (1)\*\*

**Palabras Clave:** Crecimiento vegetal, material vegetal, propiedades químicas del suelo, residuos sólidos.

**Descripción:** La gestión de residuos sólidos a nivel mundial es insuficiente. Las actividades de almacenamiento generan lixiviados que pueden afectar negativamente las propiedades físicas y químicas del suelo. A partir de esto, se plantea evaluar la eficiencia de cinco especies forestales como alternativa de fitorremediación en suelos contaminados por lixiviados. Para este fin, se realizaron dos análisis iniciales con el objetivo de determinar las propiedades en suelo no contaminado y suelo contaminado con lixiviado. Posteriormente, se establecieron cinco individuos de cada especie en los dos tratamientos (suelo contaminado y no contaminado) para comparar su desarrollo y crecimiento al transcurrir 20 semanas. A partir de ello, se cuantificó mediante análisis foliares la acumulación de elementos en las plántulas establecidas y se evalúa el grado de fitorremediación obtenido de las especies en suelo contaminado mediante un último análisis químico de suelos. Como se esperaba, se determinó que las especies ubicadas en suelo contaminado obtuvieron un menor crecimiento y desarrollo en al menos cuatro de las cinco variables evaluadas. Se encontró que la especie *Leucaena leucocephala* obtuvo mejor rendimiento al absorber una mayor concentración de hierro en sus hojas. Del mismo modo, la especie *Salix humboldtiana* absorbió una mayor concentración de zinc y azufre en comparación de las otras especies. El suelo contaminado a partir del tratamiento de fitorremediación obtuvo una menor concentración en la mayoría de los elementos. Se concluye que los suelos contaminados influyen de manera negativa en el crecimiento de la altura, diámetro, diámetro de copa, profundidad de la raíz y en la cantidad de hojas que pueden presentar las especies forestales. Por último, el buen crecimiento de la raíz en suelo contaminado de las especies *Alnus acuminata* y *Leucaena leucocephala* las hacen prometedoras en los procesos de fitorremediación de suelos.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Instituto de Proyección Regional de Educación a Distancia (IPRED). Programa de Ingeniería Forestal. Director: Diego Suescún Carvajal. MSc. Bosques y Conservación Ambiental.

### Abstract

**Title:** Forest Species in the Phytoremediation of Soils Contaminated by Leachate in Andean Landfills\*

**Author:** Diego Fabián Carrillo Aparicio\*\*

**Key Words:** Plant growth, plant material, soil chemical properties, solid wastes.

**Description:** Solid waste management worldwide is inadequate. Storage activities generate leachates that can negatively affect the physical and chemical properties of the soil. Based on this, we propose to evaluate the efficiency of five forest species as phytoremediation alternatives in soils contaminated by leachates. For this purpose, two initial analyses were carried out to determine the properties of non-contaminated soil and soil contaminated with leachate. Subsequently, five individuals of each species were established in the two treatments (contaminated and non-contaminated soil) to compare their development and growth after 20 weeks. From this, the accumulation of elements in the established seedlings was quantified by foliar analysis and the degree of phytoremediation obtained from the species in contaminated soil was evaluated by a final soil chemical analysis. As expected, it was determined that the species located in contaminated soil obtained less growth and development in at least four of the five variables evaluated. It was found that the *Leucaena leucocephala* species obtained better performance by absorbing a higher concentration of iron in its leaves. Similarly, the *Salix humboldtiana* species absorbed a higher concentration of zinc and sulfur compared to the other species. The contaminated soil from the phytoremediation treatment obtained a lower concentration of most of the elements. It is concluded that contaminated soils have a negative influence on the growth of height, diameter, crown diameter, root depth and the number of leaves that forest species can present. Finally, the good root growth in contaminated soil of *Alnus acuminata* and *Leucaena leucocephala* species makes them promising in soil phytoremediation processes.

---

\* Degree Work

\*\*Institute of Regional Projection of Distance Education (IPRED). Forestry Engineering Program. Director: Diego Suescún Carvajal. MSc. Forestry and Environmental Conservation.

## Introducción

La contaminación de suelos y aguas superficiales está ligada al almacenamiento de residuos sólidos a cielo abierto. Sin embargo, la gestión de estos residuos a nivel global es insuficiente, llegando a afectar a millones de personas (International Solid Waste Association, 2021). Del mismo modo, la población y economía mundial ha aumentado en el último siglo, estos procesos, han acelerado la producción de residuos sólidos municipales en todo el mundo (Ren et al., 2022). En Colombia, la acumulación de residuos ascendió a 26.150.000 toneladas para el año 2020, esto junto a las prácticas deficientes para la captación de las aguas de escorrentía provocada por la lluvia conlleva a un aumento en los lixiviados generados en los depósitos (DANE, 2019).

Las actividades programadas en los Planes de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PGIRS) en los municipios de García Rovira, poseen una baja implementación (Tibaduiza, 2013). Como resultado, los residuos generan lixiviados que a su vez pueden producir cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo (Quintero et al., 2017). Estos lixiviados al infiltrarse alteran las propiedades de las aguas subterráneas y posteriormente las superficiales. Estas últimas, pueden ser fuente de consumo para las plantas, animales o comunidades rurales y urbanas aledañas a las fuentes hídricas (Montalvo & Quispe, 2019). Además, la presencia de compuestos presentes en los vertederos afecta de manera negativa el desarrollo de cobertura vegetal presente en la zona (Ramalho et al., 2023).

Los productos derivados del almacenamiento de los residuos urbanos son altamente contaminantes para el medio ambiente. Por ende, los tratamientos para mitigar estos efectos están alineados a impulsar el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Entre estos, están consignados: “salud y bienestar”, “agua limpia y saneamiento” y “vida de ecosistemas

terrestres” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, [PNUD], 2015). Lo anterior, en conjunto a la escasez de estudios realizados a nivel local, genera una necesidad de investigar los efectos causados por los lixiviados junto a los beneficios que pueden brindar la implementación de especies forestales.

Por lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las especies forestales aptas para implementar como alternativa de fitorremediación en suelos afectados por lixiviados derivados del relleno sanitario en el municipio de Málaga, Santander? Del mismo modo, el presente estudio estaría encaminado a contribuir con algunos objetivos de la actualización del PGIRS del municipio, dentro de los cuales está consignado: realizar los trabajos de restauración final de tal manera que se mitigue y compense los cambios paisajísticos y de uso del suelo que se generaron por la actividad de la PTRS en el municipio de Málaga y adoptar las medidas de restauración forestal en el predio.

Con la implementación de especies forestales, además de mejorar las condiciones de los suelos se espera que aporten diversos servicios ambientales. Entre estos, se resalta la regulación en la calidad del aire, captura de carbono, aumento en la fertilidad de los suelos (al contar con mayor disponibilidad de materia orgánica) y que actúen como amortiguadoras de sustancias tóxicas (Trujillo-Narcía et al., 2012). Igualmente, la silvicultura urbana promueve el desarrollo sostenible y el bienestar de las personas al estar asociado con un estado de salubridad (Shiraishi, 2022).

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Evaluar la eficiencia de cinco especies forestales, como alternativa de fitorremediación de suelos contaminados por lixiviados en el relleno sanitario de Málaga Santander.

### **1.2 Objetivos específicos**

Determinar las propiedades químicas de los suelos con y sin lixiviados provenientes del relleno sanitario.

Comparar el crecimiento en diámetro a la altura del cuello (DAC), altura, área de copa y número de hojas de cinco especies forestales plantadas en los dos tratamientos.

Cuantificar mediante análisis foliares la acumulación de elementos en las plántulas establecidas.

Examinar el grado de fitorremediación obtenido de las especies en suelo contaminado por lixiviado.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Contaminación por lixiviados**

Los lixiviados son producto de la degradación de los residuos almacenados en los rellenos sanitarios mediante complejos procesos fisicoquímicos y biológicos (García-Colindres et al., 2022). Los diferentes componentes de los desechos tanto sólidos como líquidos se degradan mediante procesos naturales. El peso de estos residuos influye en la compresión de la materia orgánica almacenada en los vertederos, como producto, la humedad de los residuos es transportada por el agua de la precipitación e infiltrada en los suelos (Anayhuaman, 2021).

Los factores climáticos y los tipos de materiales depositados en los vertederos son los que intervienen mayormente en la generación de lixiviados (Anayhuaman, 2021), los cuáles alteran las propiedades de los suelos. Entre las principales afectaciones, se encuentra el aumento de los metales pesados y la disminución en la tasa de compuestos orgánicos (Moura & Mondelli, 2020). Del mismo modo, las aguas subterráneas son contaminadas por la presencia de lixiviados, donde la concentración de contaminantes aumenta a medida que disminuye la distancia entre éstas y el relleno sanitario (García-Colindres et al., 2022).

### **2.2. Fitorremediación de suelos**

La fitorremediación es un método utilizado para descontaminar, metabolizar, extraer y degradar metales pesados o contaminantes del suelo de forma natural. Esto es apropiado para descontaminar grandes áreas o para finalizar la descontaminación de zonas restringidas a largo plazo (Velásquez, 2017). Del mismo modo, esta alternativa es más sostenible, eficiente y económica que otros métodos (Shen et al., 2023). En este proceso, la fitoextracción puede capturar

contaminantes y metales pesados de los suelos mediante las raíces y posteriormente translocarlos al interior de la planta (González, 2008).

Mediante procesos biológicos, las plantas y microorganismos degradan el material orgánico e inorgánico, absorben los contaminantes y aumentan constantemente la fertilidad del suelo (Mahar et al., 2016). Los tratamientos de fitorremediación en donde se establecen asociaciones con plantas y microorganismos, bacterias u hongos micorrícicos, son más eficientes para la disminución de metales pesados, toxicidad e hidrocarburos. Así mismo, las plantas dificultan que el viento y agua subterránea extienda la contaminación a otras áreas. Sin embargo, la fitorremediación del suelo conlleva un transcurso de tiempo que puede durar de meses a años. Esto se debe a que no requiere adicionar sustancias químicas, las cuales pueden llegar a ser más peligrosas y dañinas para el suelo que los mismos contaminantes (Velásquez, 2017).

### **2.3. Rellenos sanitarios**

Los rellenos sanitarios, son conocidos globalmente como el método más común y económico para almacenar los residuos sólidos de los municipios (Ren et al., 2022). En Colombia, el ministerio de vivienda en el Decreto 1077 de 2015 define un relleno sanitario como un sitio diseñado para controlar, operar y compactar los residuos sólidos, gases y lixiviados (Gómez, 2022), dando solución a la disposición final de los mismos que son producto de las actividades antrópicas en las áreas urbanas. Su objetivo es no perjudicar los recursos naturales tales como el agua, suelo y aire, así mismo, evitar la propagación de enfermedades, el deterioro del paisaje, los malos olores y los impactos negativos en el ambiente (Fernández & Flores, 2023).

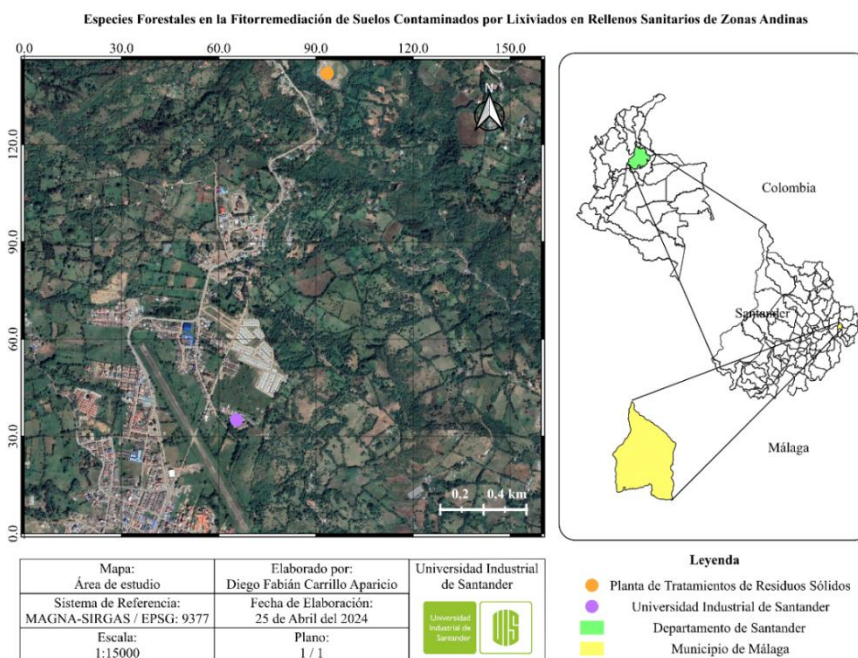
### 3. Metodología

#### 3.1. Área de estudio

El departamento de Santander está ubicado en la Cordillera Oriental del país y cuenta con siete provincias, entre ellas, la provincia de García Rovira que se localiza hacia el este del departamento y su capital es el municipio de Málaga, el cual limita por el oriente con Enciso, por el occidente con Molagavita y San Andrés, por el norte con Concepción y hacia el sur con San José de Miranda. El municipio cuenta con una temperatura de 17°C, precipitación media anual de 1400 mm y altitudes que van desde los 1600 hasta los 3400 m s. n. m. (Tibaduiza, 2013). Su área es de 58 km<sup>2</sup> (2,8 km<sup>2</sup> en zona urbana y 55,1 km<sup>2</sup> en zona rural), su red hídrica proviene totalmente a la subcuenca del río Servitá. Dentro de las principales redes hídricas se destacan las quebradas: La Magnolia y Los Molinos (Arenales et al., 2020).

**Figura 1.**

*Zona de estudio*



El municipio presenta una población aproximada de 19.884 personas, 347,7 por km<sup>2</sup>. Estas personas habitan en 6032 viviendas de las cuáles 5239 (86%) cuentan con el servicio de recolección de residuos (DANE, 2018). El presente estudio, se desarrolló en el relleno sanitario del municipio y el campus de la UIS sede Málaga. Inicialmente, en el relleno sanitario se realizó un muestreo de suelos con la finalidad de determinar sus propiedades fisicoquímicas. Luego, en el campus de la UIS se realizó el experimento y toma de datos (Figura 1).

La planta de tratamientos de residuos sólidos se localiza en las coordenadas geográficas 6.721355, -72.724297. Del mismo modo, dentro del municipio esta se ubica en la vereda Pescaderito, predio Agua blanca a 2,5 km de distancia con referencia a la cabecera municipal. El relleno sanitario está clasificado de categoría 1, ya que ingresa un promedio de 11,5 ton por día. Por lo tanto, su producción de residuos per cápita es de 0,92 kg/Hab – día (Herrera Ortiz, 2023).

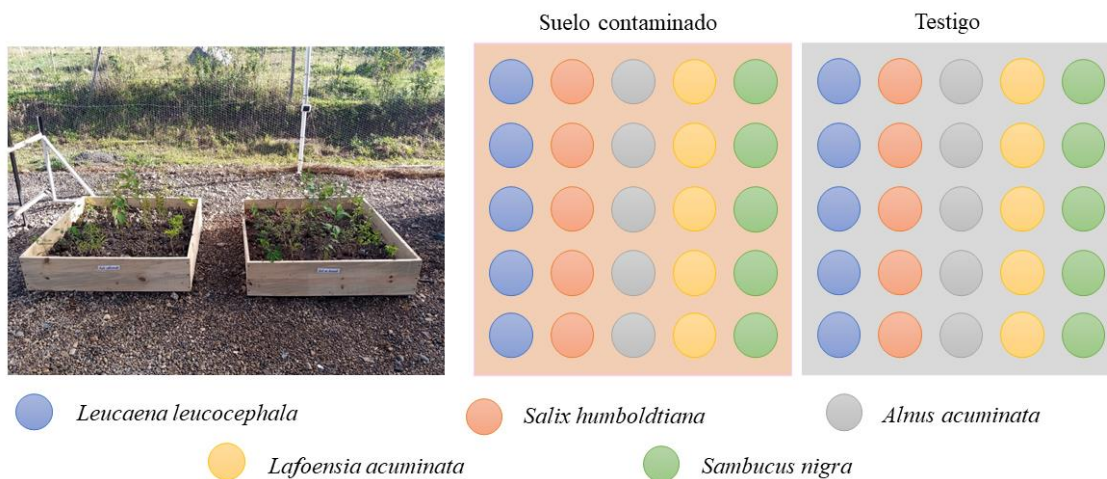
### **3.2. Diseño experimental**

Se realizaron dos análisis químicos de suelos, el primero en un suelo contaminado con lixiviado extraído del sistema de recirculación del relleno sanitario, y el segundo en un suelo no contaminado. Posteriormente, se recolectaron muestras de ambos tipos de suelos (contaminado y no contaminado) y se llevaron a las instalaciones de la UIS con el propósito de implementar eras de crecimiento y sembrar cinco especies forestales para monitorear su crecimiento y desarrollo. Las especies forestales seleccionadas fueron: *Salix humboldtiana* Willd., *Alnus acuminata* Kunth, *Lafoensia acuminata* (Ruiz & Pav.) DC., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit y *Sambucus nigra* L. Estas especies se seleccionaron con base a la disponibilidad del material vegetal en el vivero del municipio, por la adaptación que tienen al clima altoandino, y por ser especies nativas y representativas de la región.

Por cada especie se plantaron cinco individuos de dos meses de germinación, tanto en las muestras de suelo contaminado como no contaminados (Figura 2). Desde su siembra, a escala semanal se midieron diferentes variables de crecimiento (diámetro a la altura del cuello (DAC), altura, diámetro de copa y número de hojas) por un periodo de 5 meses. Posteriormente, se realizó un último muestreo de suelos con la finalidad de determinar el cambio de propiedades químicas que posee el suelo contaminado luego del crecimiento de las plántulas. Para finalizar, se realizaron 10 muestreos foliares (una muestra por especie plantada en cada tipo de suelo) y se enviaron al laboratorio con el objetivo de determinar la cantidad de elementos químicos que poseen las especies en los diferentes tratamientos.

### Figura 2.

*Distribución de especies forestales en contenedores de madera*



### 3.3. Recolección de datos

Se colectó una muestra compuesta de suelo contaminado con lixiviado proveniente del relleno sanitario del municipio y otra sin contaminantes. Se implementó un mapa para localizar los 10 puntos en donde se realizaron las submuestras por sitio en forma de “zigzag” como se recomendó por la guía de muestreo de suelos emitida por el laboratorio (Laboratorio Químico de

Consultas Industriales, 2020). Luego, se utilizó un azadón para limpiar los sitios de muestreo y un barreno para la extracción de las muestras a 20 cm de profundidad. Se mezclaron en un recipiente y se extrajeron 500 g de muestra de suelo para empacar en bolsas herméticas y enviar al laboratorio. Las áreas donde se extrajeron las submuestras de suelo contaminado y no contaminado poseen 0,32 y 0,21 ha, respectivamente.

Por otro lado, a las plántulas establecidas en los contenedores se les midieron las variables dendrométricas mediante los siguientes instrumentos: para DAC se implementó un pie de rey y para la altura y el diámetro de copa se usó una cinta métrica (para el último, se tomaron dos datos pertenecientes a los ángulos perpendiculares entre ellos y se realizó un promedio). Posteriormente, se contó el número de hojas de cada plántula. Estas actividades se realizaron cada semana (todos los domingos) durante los cinco meses posteriores al establecimiento de las plántulas. Luego, se colectaron las hojas de cada individuo y se mezclaron con las otras de la especie establecida en el mismo contenedor. En este muestreo, se evitó colectar hojas terminales o con signos de marchitez con la finalidad de obtener resultados acertados en los análisis de laboratorio. Esto se realizó con cada especie en los diferentes tipos de tratamiento, dando como resultado 10 muestras cada una con 100 g para enviar al laboratorio.

Posteriormente, se extrajeron los individuos de los contenedores y se midió con una cinta métrica la profundidad de la raíz. Para finalizar, se realizó el último muestreo de suelo en el contenedor con suelo proveniente del relleno sanitario. Se tomaron nueve puntos como referencia y se extrajo una muestra de 500 g para enviar al laboratorio. Esto con el propósito de determinar la variación de las propiedades que posee el suelo tras la implementación de las especies forestales.

### **3.4. Análisis en laboratorio**

Las muestras colectadas se llevaron al Laboratorio Químico de Consultas Industriales ubicado en la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Allí, se elaboraron los tres análisis de suelos completos y 10 foliares. Dentro del análisis de suelos, se incluyó la caracterización del pH, textura, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y elementos como: carbono, fósforo, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, cobre, zinc, boro y azufre. Estos, se realizaron mediante los métodos analíticos: Electrométrico relación 1:1 con agua destilada, colorimétrico de Walkley Black, colorimétrico de Bray II, absorción atómica, método de Bouyoucous y turbidimétrico. En el análisis foliar se determinaron los siguientes elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc, boro y azufre. Estos resultados, se determinaron mediante los siguientes métodos analíticos: Kjeldahi – Titrimétrico, digestión del tejido vegetal vía seca por espectrofotométrica UV-visible y de absorción atómica, calcinación – cuantificación según el método de azometina y cuantificación turbidimétrica.

### **3.5. Procesamiento de datos**

Una vez conformada la base de datos, mediante tablas dinámicas se realizó el promedio de las variables: DAC, altura, diámetro de copa y número de hojas de los cinco individuos pertenecientes a cada especie. Con esto, se obtuvieron datos de crecimiento en los diferentes tipos de suelos durante veinte semanas. Posteriormente, se importaron los datos a R y se realizaron las figuras de series temporales con respecto al incremento de las variables por especie. Del mismo modo, se realizaron los diagramas de caja y bigotes para comparar el crecimiento y desarrollo de los individuos de la misma especie. Con la finalidad de determinar la significancia estadística de los resultados entre tratamientos, se realizó la prueba T-Test de Apin-Welch en cada una de las

variables observadas (Figura 3). Con esto, se realizaron las pruebas de Shapiro-Wilks para comprobar el supuesto de normalidad y la prueba de Levene para hallar la homocedasticidad. Se formularon dos hipótesis:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existen diferencias significativas entre los tratamientos.

### Figura 3.

*Fórmula de comparación de medias poblacionales independientes*

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{SE}$$

*Nota:* Donde SE es el error estándar de una distribución T-student. Tomado de: [https://cienciadedatos.net/documentos/12\\_t-test](https://cienciadedatos.net/documentos/12_t-test), por J. Rodrigo, 2016.

Con la finalidad de representar las texturas de los análisis de suelos, se implementó el sistema de clasificación “USDA” de la librería soiltexture. Para finalizar, se realizaron correlaciones de Pearson con el objetivo de comparar las relaciones que presentaron las variables dendrométricas de cada especie ante los diferentes suelos (contaminado – no contaminado) (Figura 4). Todos los procesamientos se realizaron en Excel y el software de análisis estadístico R en su versión 4.3.3.

### Figura 4.

*Correlación de Pearson*

$$\rho_{XY} = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X) \cdot Var(Y)}}$$

*Nota:* Tomado de: <https://www.probabilidadyestadistica.net/coeficiente-de-correlacion-de-pearson/>.

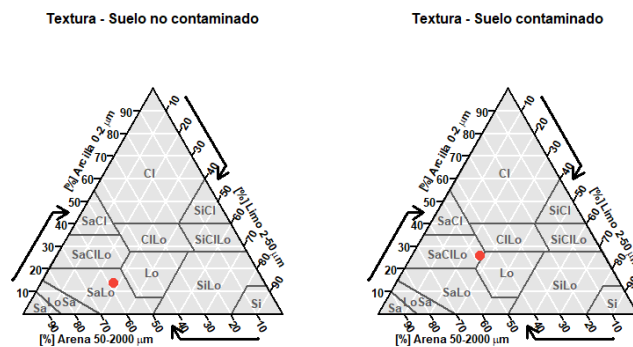
### 4. Resultados

#### 4.1. Condiciones iniciales de los suelos

Según los resultados obtenidos del laboratorio, el suelo no contaminado presenta una textura franco-arenosa, mientras que el suelo contaminado posee textura franco arcillo arenosa (Figura 5). En el suelo no contaminado la concentración de iones de hidrógeno (pH) es 5,6 y su contenido de materia orgánica es mediana (3,47%), también presenta niveles altos en los elementos de hierro, calcio, zinc, potasio y azufre. Por otro lado, el suelo contaminado con lixiviado presenta un mayor pH (6,6) pero una menor cantidad de materia orgánica (1,78%). Este suelo contaminado presenta niveles altos en los elementos calcio y azufre. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en ambos suelos es similar. Finalmente, la conductividad eléctrica es mayor en el suelo contaminado (Tabla 1).

**Figura 5.**

*Textura de los suelos*



**Tabla 1.***Análisis iniciales de suelos*

Elemento		Suelo no contaminado	Suelo contaminado
<b>pH</b>		5,6	6,6
<b>%C</b>		3,47	1,78
<b>P (ppm)</b>		215	119
<b>Meq/100 g suelo</b>	Ca	15,8	28,1
	Mg	2,63	1,10
	Na	0,15	0,64
	K	2,67	2,57
	B	0,30	0,45
	Fe	265	32,8
	Mn	5,66	1,36
	Cu	2,34	1,00
	Zn	12,0	5,69
	S	10,5	17,8
<b>CIC (meq/100g)</b>		32,8	32,2
<b>CE (mmhos/cm)</b>		0,12	0,39

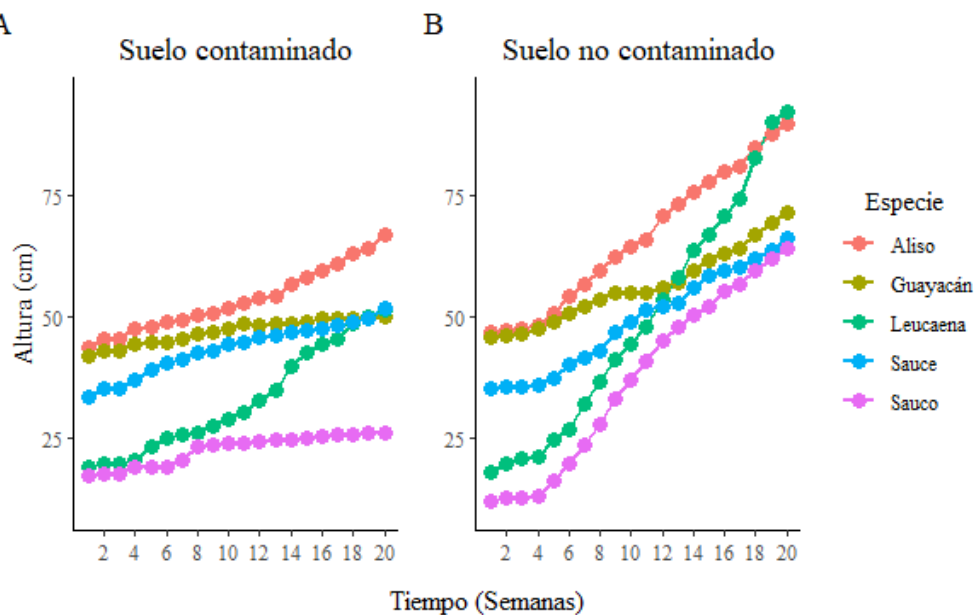
## 4.2. Desarrollo y crecimiento de especies forestales

### 4.2.1. Evolución temporal de variables dendrométricas

**4.2.1.1. Altura.** Se refleja un mayor crecimiento en la altura (crecimiento primario) de las especies en el suelo no contaminado. En las primeras cuatro semanas, se observa un crecimiento similar de los individuos de la misma especie en ambos contenedores. A partir de la quinta semana todos los individuos ubicados en el suelo sin contaminantes aumentan su crecimiento. Por otro lado, el crecimiento de las especies ubicadas en el suelo con presencia de lixiviados es más constante con excepción de la especie *Leucaena leucocephala* (Figura 6).

#### Figura 6.

Serie temporal en altura de especies forestales ante tratamientos

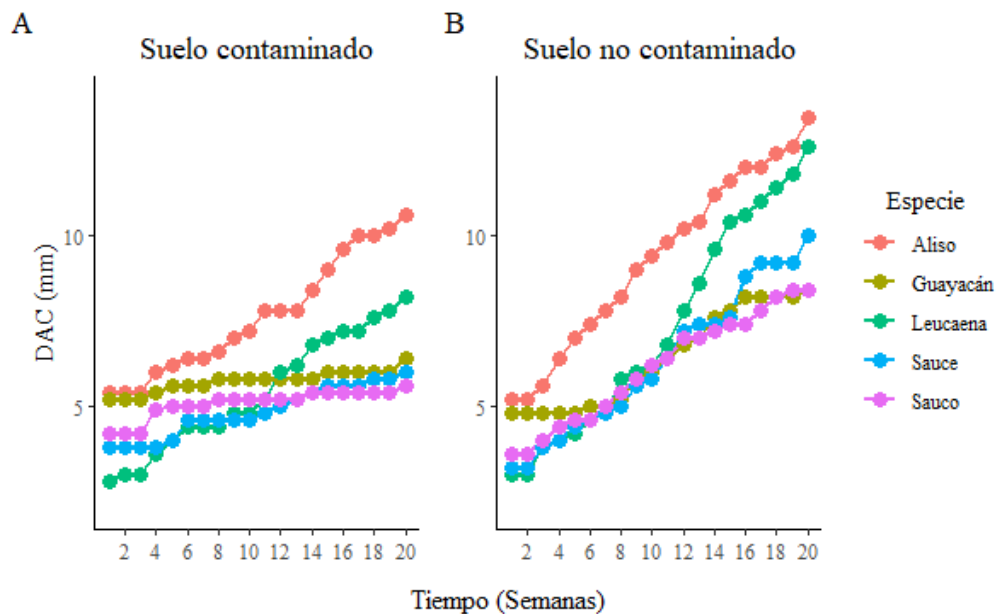


**4.2.1.2. Diámetro a la altura del cuello.** En el crecimiento de DAC (crecimiento secundario), las especies *Alnus acuminata* y *Leucaena leucocephala* resaltaron por presentar mayores valores de DAC en los dos tratamientos. Las especies *Lafoensia acuminata*, *Salix humboldtiana* y *Sambucus nigra* presentaron un mayor crecimiento en el suelo sin lixiviado con

referencia al otro tratamiento. Del mismo modo, estas últimas presentaron un crecimiento mínimo en esta variable durante el periodo del estudio (Figura 7).

### Figura 7.

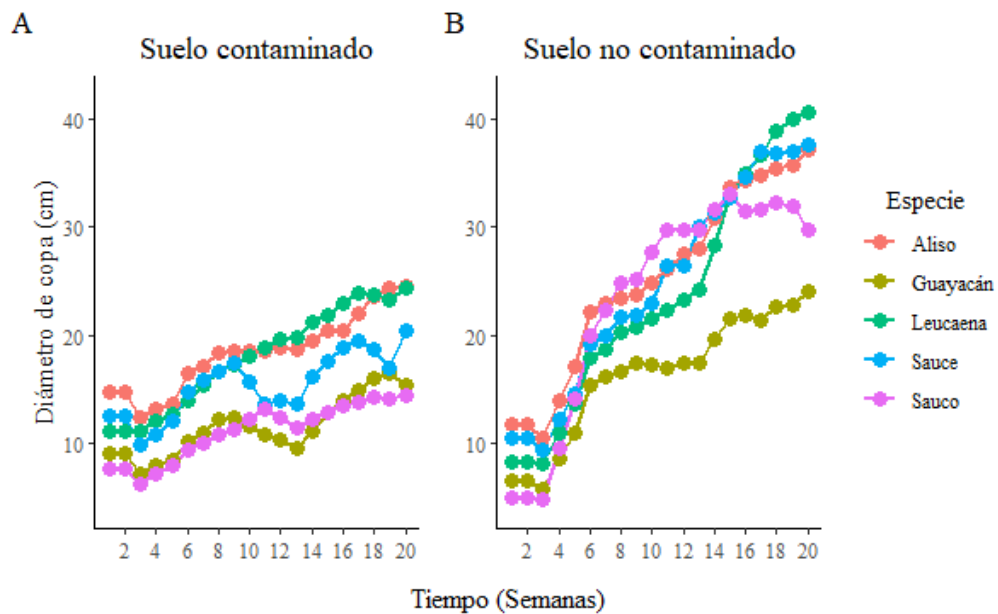
*Serie temporal en DAC de especies forestales ante tratamientos*



**4.2.1.3. Diámetro de copa.** Las diferentes especies presentaron un aumento o disminución del diámetro de copa a medida que se realizaron las mediciones. Sin embargo, *Leucaena leucocephala* presentó un mayor diámetro de copa con respecto a las otras especies en los dos contenedores. Por otro lado, los individuos pertenecientes a la especie *Lafoensia acuminata*, presentaron un menor crecimiento en esta variable (Figura 8).

**Figura 8.**

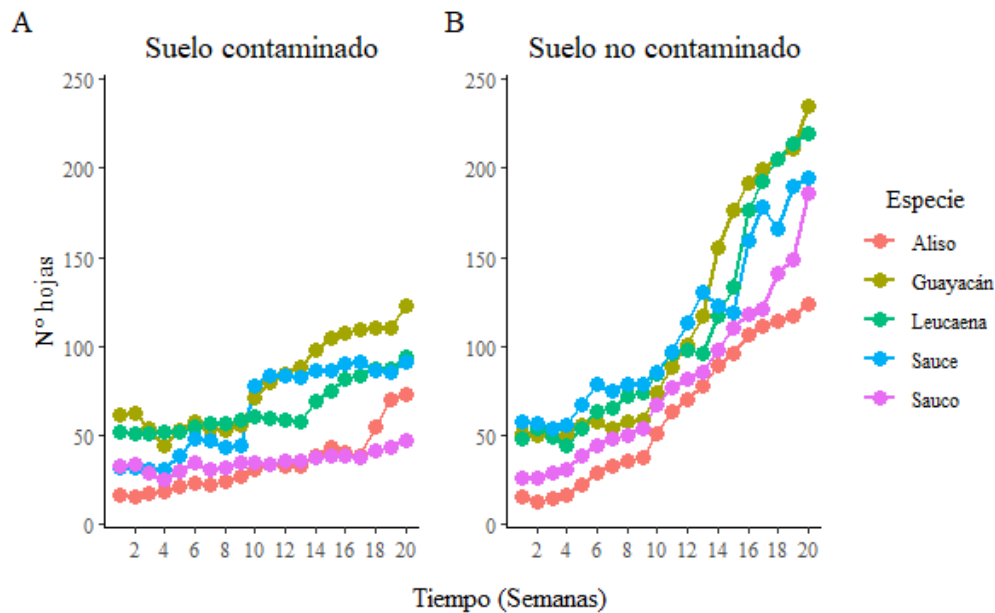
*Serie temporal en diámetro de copa de especies forestales ante tratamientos*



**4.2.1.4. Número de hojas.** En las primeras semanas de medición, se observa un bajo crecimiento en la cantidad de hojas que posee cada especie en los dos tipos de suelos (contaminado y no contaminado). Aun así, los individuos plantados en el suelo no contaminado por lixiviados aumentaron más su número de hojas desde la décima semana con respecto a los individuos ubicados en el suelo contaminado. La especie *Sambucus nigra*, obtuvo un crecimiento deficiente en el suelo contaminado. Por otro lado, esta misma especie presentó hasta cuatro veces más la cantidad de hojas en el suelo no contaminado (Figura 9).

**Figura 9.**

*Serie temporal en número de hojas de especies forestales ante tratamientos*



#### 4.2.2. Diferencias en el crecimiento y desarrollo de las especies

**4.2.2.1. Altura.** Existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el crecimiento en altura de las especies *Alnus acuminata*, *Lafoensia acuminata* y *Leucaena leucocephala*. Por otro lado, la altura de la especie *Salix humboldtiana* no difiere significativamente entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ). Para el caso de la especie *Sambucus nigra*, los datos correspondientes a el suelo no contaminado no cumplen con el supuesto de normalidad ( $p < 0,05$ ), por lo tanto, la comparación de medidas poblacionales independientes (T-Test) no posee las condiciones requeridas para considerarse en el análisis estadístico (Tabla 2).

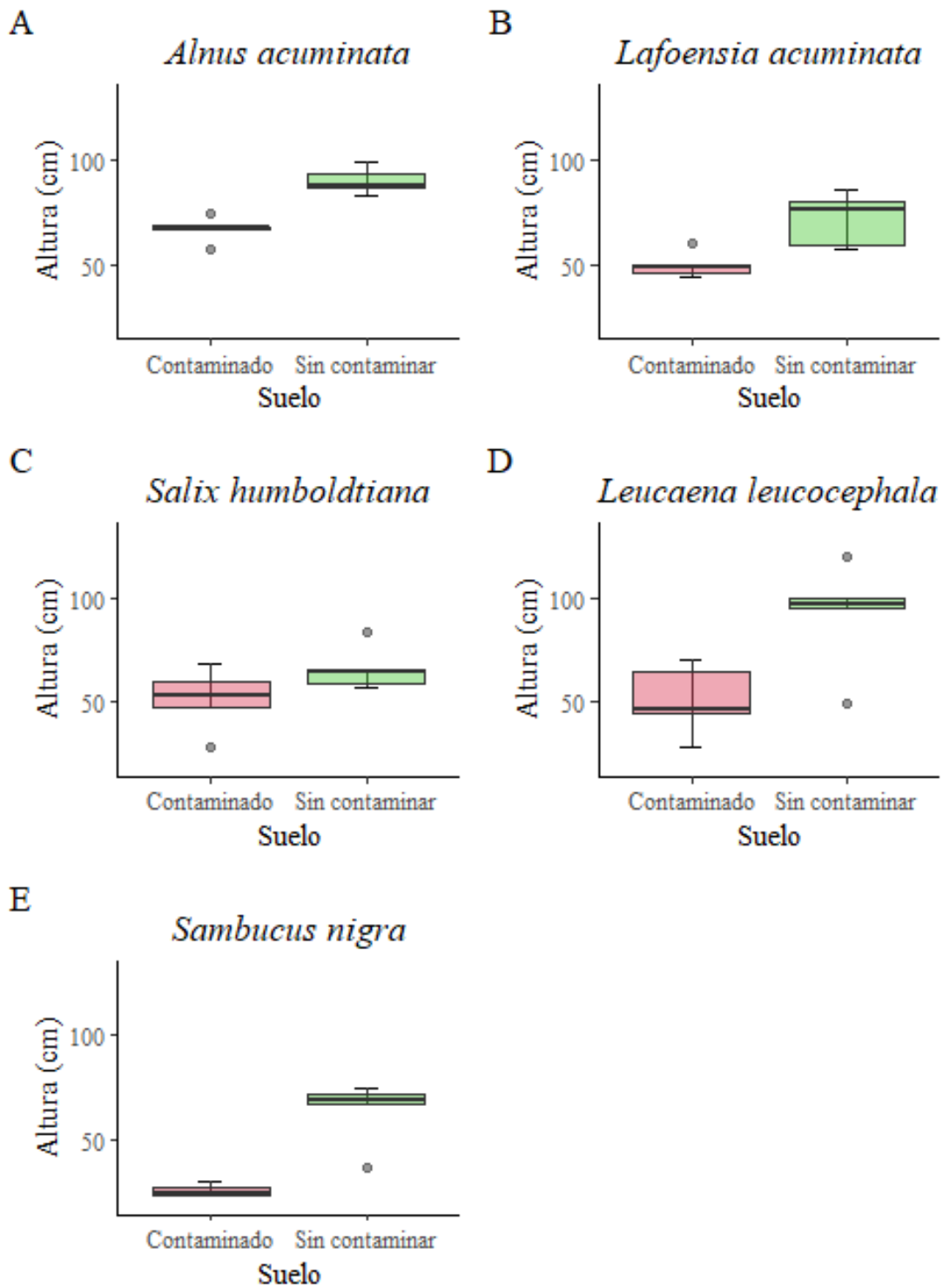
**Tabla 2.***Comparación de medias poblacionales independientes en altura.*

<b>Especie</b>	<b>T. Normalidad</b>	<b>T. Homocedasticidad</b>	<b>P. Valor</b>
<i>Alnus</i>	Suelo contaminado (0,3238)		
<i>acuminata</i>	Suelo no contaminado (0,8109)	0,7898	0,00034
<i>Lafoensia</i>	Suelo contaminado (0,3119)		
<i>acuminata</i>	Suelo no contaminado (0,3351)	0,1848	0,01553
<i>Leucaena</i>	Suelo contaminado (0,6771)		
<i>leucocephala</i>	Suelo no contaminado (0,2201)	0,7786	0,02182
<i>Salix</i>	Suelo contaminado (0,8067)		
<i>humboldtiana</i>	Suelo no contaminado (0,1873)	0,5477	0,11360
<i>Sambucus</i>	Suelo contaminado (0,2073)		
<i>nigra</i>	Suelo no contaminado (0,0233)	0,2893	0,00473

La comparación de crecimiento en altura de los individuos de cada especie sometidas a los diferentes tratamientos se evidencia en la (Figura 10).

**Figura 10.**

*Diferencia en altura de las especies sometidas a tratamientos*



**4.2.2.2. Diámetro a la altura del cuello.** En la variable DAC se encuentran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en las especies *Leucaena leucocephala* y *Alnus acuminata*. Por otro lado, los datos obtenidos de las especies *Salix humboldtiana*, *Sambucus nigra*, y *Lafoensia acuminata* no cumplen el supuesto de normalidad ( $p < 0,05$ ) y en consecuencia los valores obtenidos en la prueba T-Test no son confiables (Tabla 3).

**Tabla 3.**

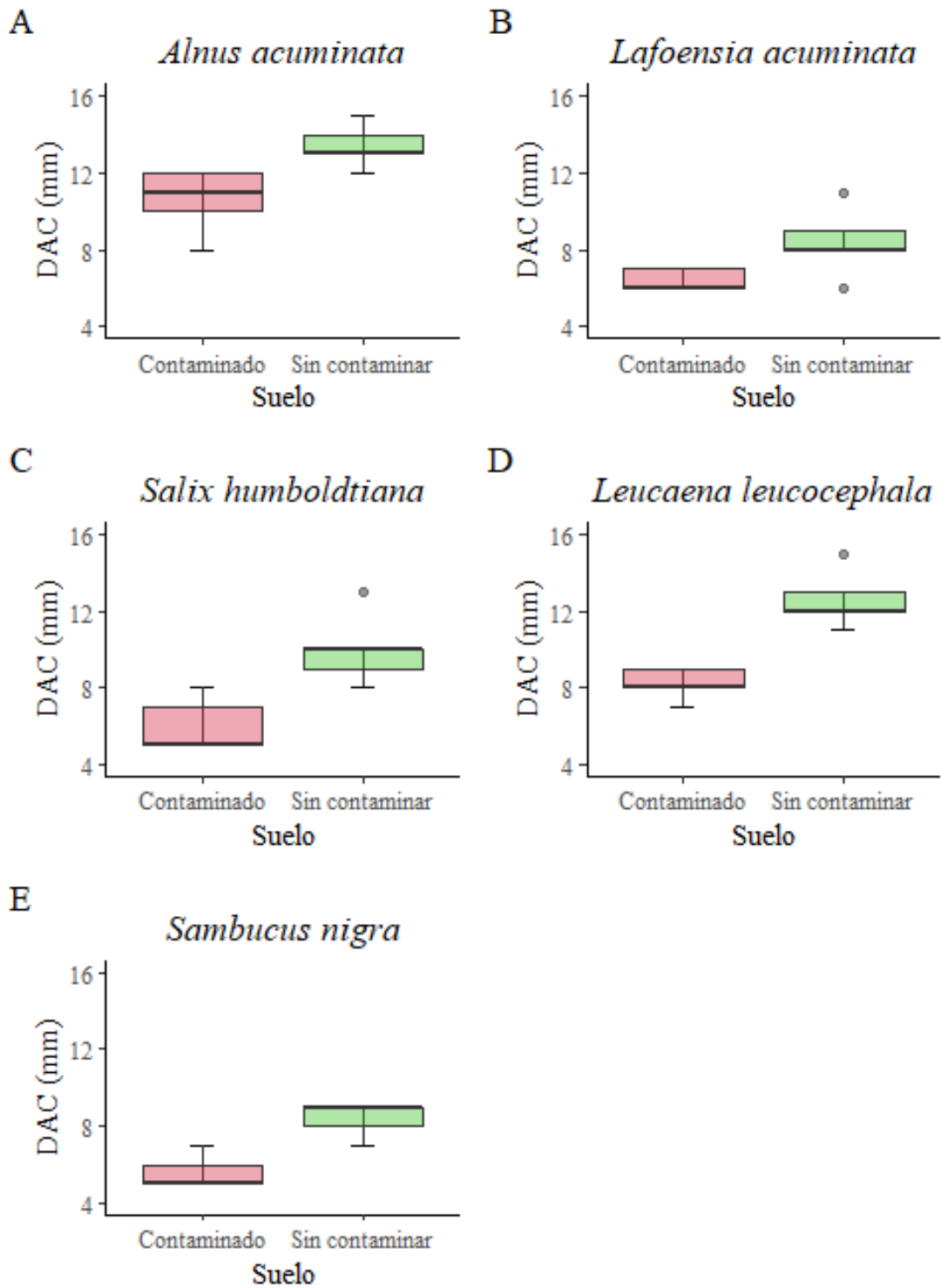
*Comparación de medias poblacionales independientes en DAC*

Especie	T. Normalidad	T. Homocedasticidad	P. Valor
<i>Alnus acuminata</i>	Suelo contaminado (0,314)	0,5346	0,01734
<i>Lafoensia acuminata</i>	Suelo no contaminado (0,814)		
<i>Lafoensia acuminata</i>	Suelo contaminado (0,00647)	0,2415	0,68020
<i>Lafoensia acuminata</i>	Suelo no contaminado (0,8258)		
<i>Leucaena leucocephala</i>	Suelo contaminado (0,314)	0,5237	0,00129
<i>Leucaena leucocephala</i>	Suelo no contaminado (0,4925)		
<i>Salix humboldtiana</i>	Suelo contaminado (0,0422)	0,8220	0,00587
<i>Salix humboldtiana</i>	Suelo no contaminado (0,4532)		
<i>Sambucus nigra</i>	Suelo contaminado (0,0459)	1,0000	0,00112
<i>Sambucus nigra</i>	Suelo no contaminado (0,0459)		

La comparación de crecimiento del diámetro a la altura del cuello de los individuos de cada especie sometidas a los diferentes tratamientos se evidencia en la (Figura 11).

**Figura 11.**

*Diferencia en DAC de las especies sometidas a tratamientos*



**4.2.2.3. Diámetro de copa.** Existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el diámetro de copa en todas las especies estudiadas, de las cuales, se destaca una mayor disimilitud en las especies *Sambucus nigra* y *Salix humboldtiana*, seguidas de las especies *Leucaena leucocephala*, *Lafoensia acuminata* y *Alnus acuminata* (Tabla 4).

**Tabla 4.**

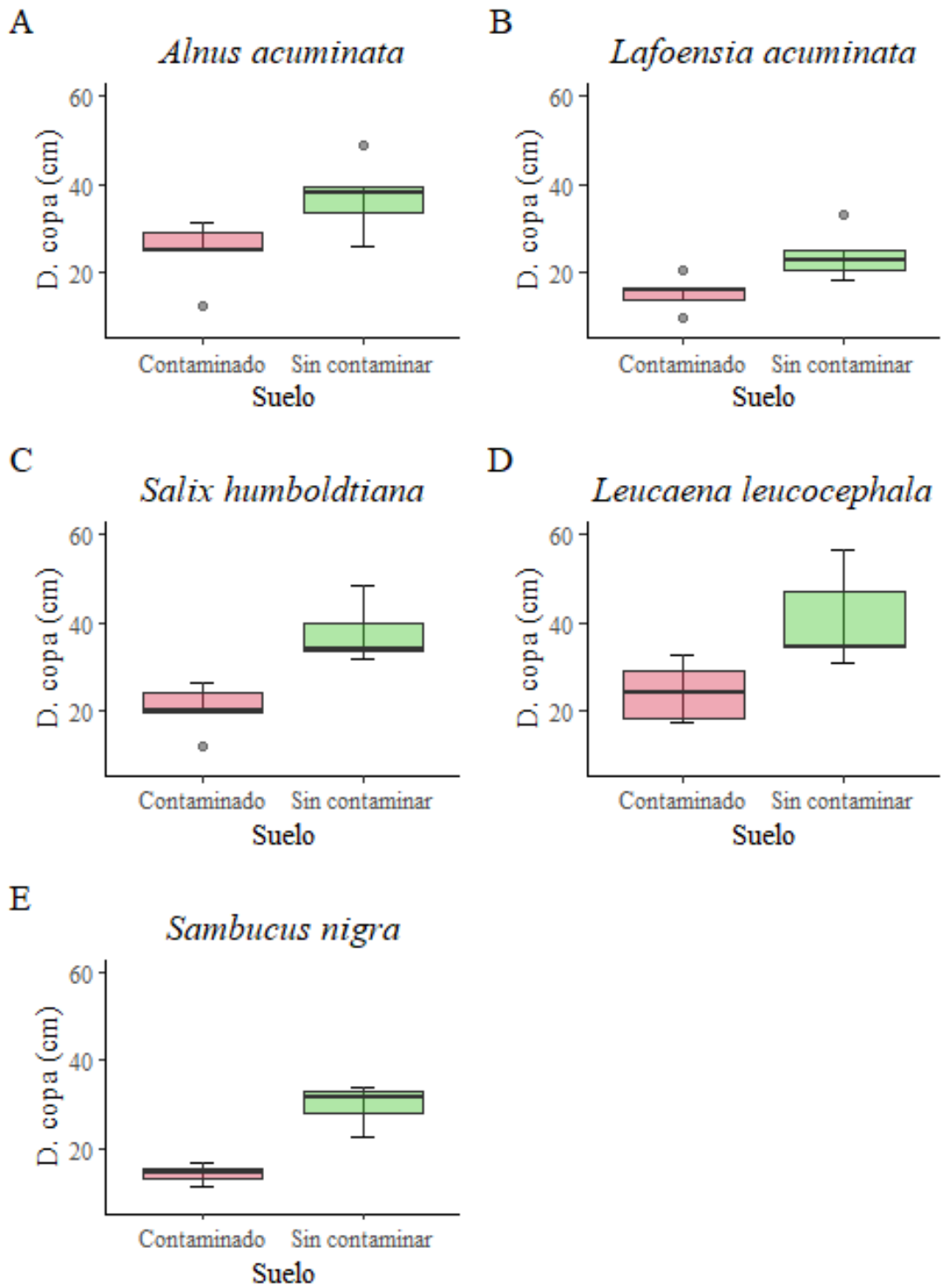
*Comparación de medias poblacionales independientes en diámetro de copa*

<b>Especie</b>	<b>T. Normalidad</b>	<b>T. Homocedasticidad</b>	<b>P. Valor</b>
<i>Alnus acuminata</i>	Suelo contaminado (0,2456) Suelo no contaminado (0,9598)	0,7315	0,03608
<i>Lafoensia acuminata</i>	Suelo contaminado (0,9312) Suelo no contaminado (0,5061)	0,5765	0,02501
<i>Leucaena leucocephala</i>	Suelo contaminado (0,5527) Suelo no contaminado (0,2505)	0,5930	0,02381
<i>Salix humboldtiana</i>	Suelo contaminado (0,7006) Suelo no contaminado (0,1827)	0,8043	0,00258
<i>Sambucus nigra</i>	Suelo contaminado (0,9952) Suelo no contaminado (0,3946)	0,3023	0,00074

La comparación en el crecimiento del diámetro de copa de los individuos pertenecientes a cada especie sometidas a los diferentes tratamientos se evidencia en la (Figura 12).

**Figura 12.**

*Diferencia en diámetro de copa de las especies sometidas a tratamientos*



**4.2.2.4. Número de hojas.** Todas las especies presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la cantidad de hojas que poseen con respecto a los tratamientos. Las especies que muestran una mayor diferencia son *Sambucus nigra* y *Lafoensia acuminata*, seguidas de los individuos pertenecientes a las especies *Leucaena leucocephala*, *Alnus acuminata*, *Salix humboldtiana* (Tabla 5).

**Tabla 5.**

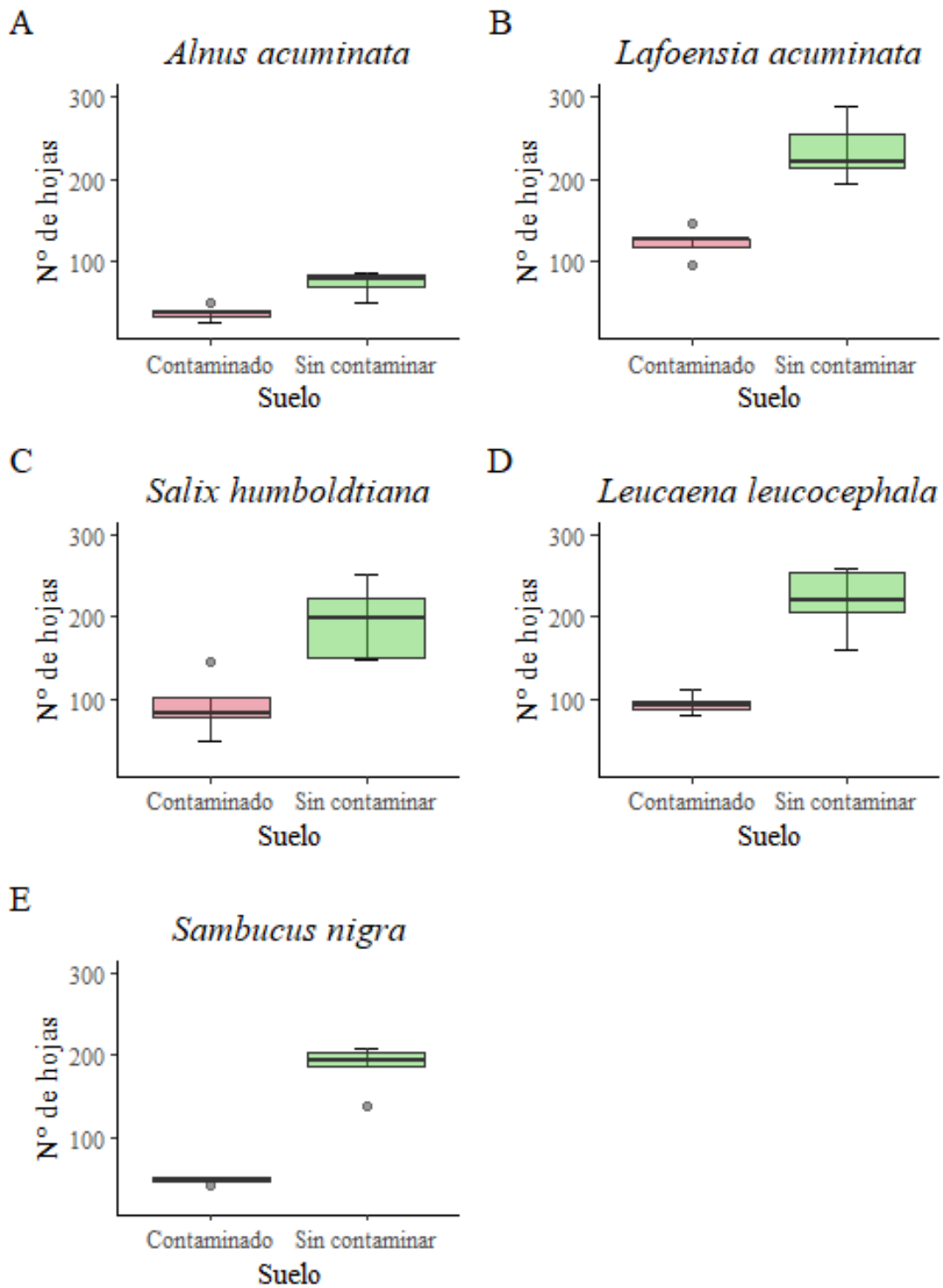
*Comparación de medias poblacionales independientes en número de hojas*

Especie	T. Normalidad	T. Homocedasticidad	P. Valor
<i>Alnus acuminata</i>	Suelo contaminado (0,9598) Suelo no contaminado (0,2991)	0,4256	0,00306
<i>Lafoensia acuminata</i>	Suelo contaminado (0,8057) Suelo no contaminado (0,7007)	0,2985	0,00010
<i>Leucaena leucocephala</i>	Suelo contaminado (0,8691) Suelo no contaminado (0,6002)	0,0851	0,00144
<i>Salix humboldtiana</i>	Suelo contaminado (0,8413) Suelo no contaminado (0,4617)	0,4845	0,00431
<i>Sambucus nigra</i>	Suelo contaminado (0,7352) Suelo no contaminado (0,1248)	0,1692	0,00033

La comparación del número de hojas que presentan los individuos de cada especie sometidas a los diferentes tratamientos se evidencia en la (Figura 13).

**Figura 13.**

*Diferencia en número de hojas de las especies sometidas a tratamientos*



**4.2.2.5. Profundidad de la raíz.** Existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la longitud de la profundidad de las raíces en las especies *Sambucus nigra*, *Salix humboldtiana*, *Lafoensia acuminata* y *Leucaena leucocephala*; mientras *Alnus acuminata* no presenta diferencias ( $p > 0,05$ ). Por lo tanto, la profundidad de la raíz no difiere estadísticamente ante los tratamientos (Tabla 6).

**Tabla 6.**

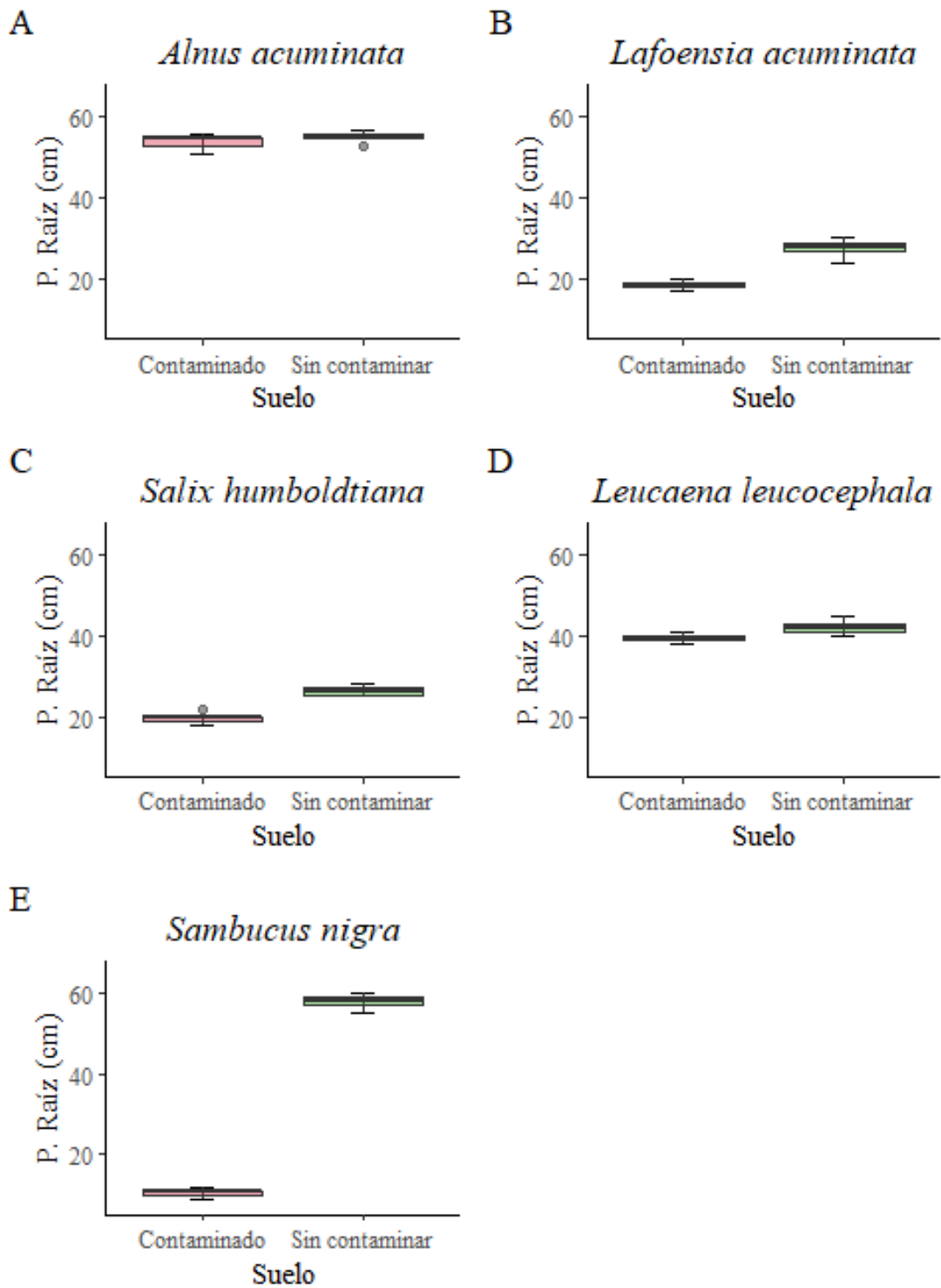
*Comparación de medias poblacionales independientes de la profundidad de la raíz*

Espece	T. Normalidad	T. Homocedasticidad	P. Valor
<i>Alnus acuminata</i>	Suelo contaminado (0,4399)	0,6586	0,3152
<i>Lafoensia acuminata</i>	Suelo no contaminado (0,7773)	0,3319	0,0002
<i>Leucaena leucocephala</i>	Suelo contaminado (0,814)	0,3706	0,0286
<i>Salix humboldtiana</i>	Suelo no contaminado (0,9276)	1,0000	0,0001
<i>Sambucus nigra</i>	Suelo contaminado (0,814)	0,3706	0,0000
	Suelo no contaminado (0,9276)		

La comparación en el crecimiento de la profundidad de la raíz de los individuos pertenecientes a cada especie sometidas a los diferentes tratamientos se evidencia en la (Figura 14).

**Figura 14.**

*Diferencias en profundidad de la raíz de las especies sometidas a tratamientos*

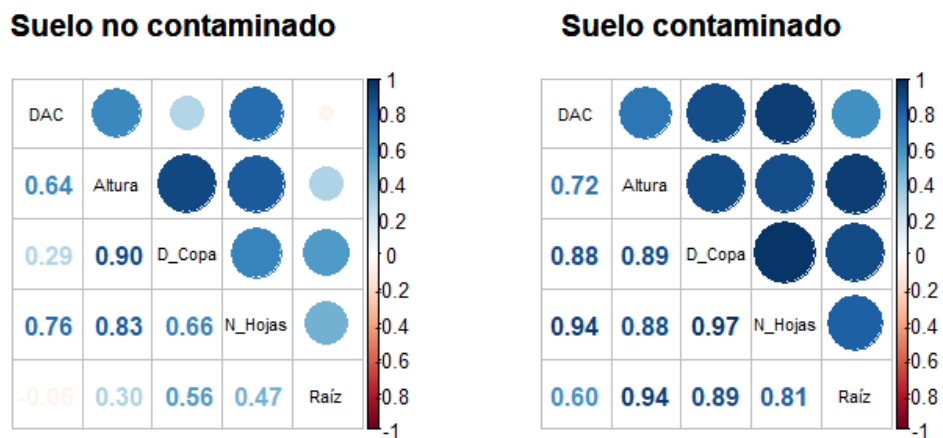


**4.2.3. Relaciones entre variables dendrométricas**

**4.2.3.1. Correlación de variables en la especie *Alnus acuminata*.** La especie tanto en suelo contaminado y no contaminado presenta correlaciones positivas en la mayoría de sus variables. Aun así, en suelo no contaminado se encontró una correlación negativa entre la profundidad de la raíz y DAC (-0,06). Por otro lado, en suelo contaminado esta correlación es positiva (0,6) (Figura 15).

**Figura 15.**

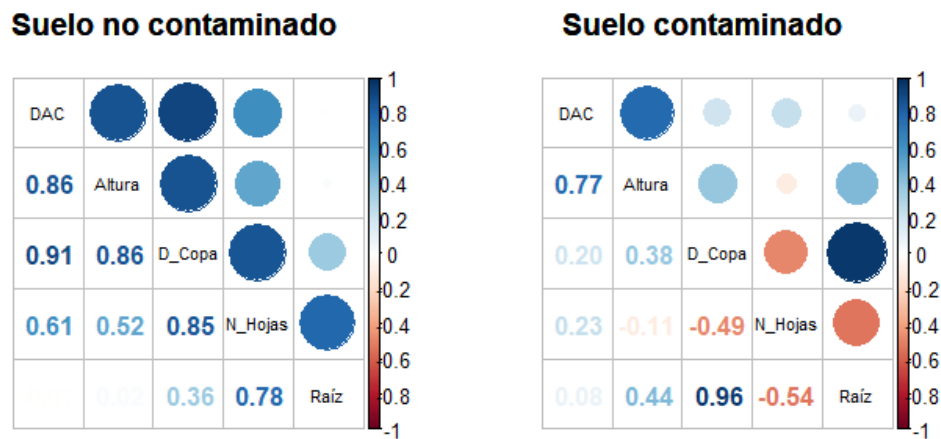
*Correlación de variables dendrométricas de la especie *Alnus acuminata**



**4.2.3.2. Correlación de variables en la especie *Lafoensia acuminata*.** En suelo contaminado se encontró una correlación negativa entre el diámetro de copa y número de hojas (-0,49) y entre la profundidad de la raíz y el número de hojas (-0,54). Por otro lado, en suelo contaminado estas variables presentan una correlación positiva de 0,85 y 0,78 respectivamente. (Figura 16).

**Figura 16.**

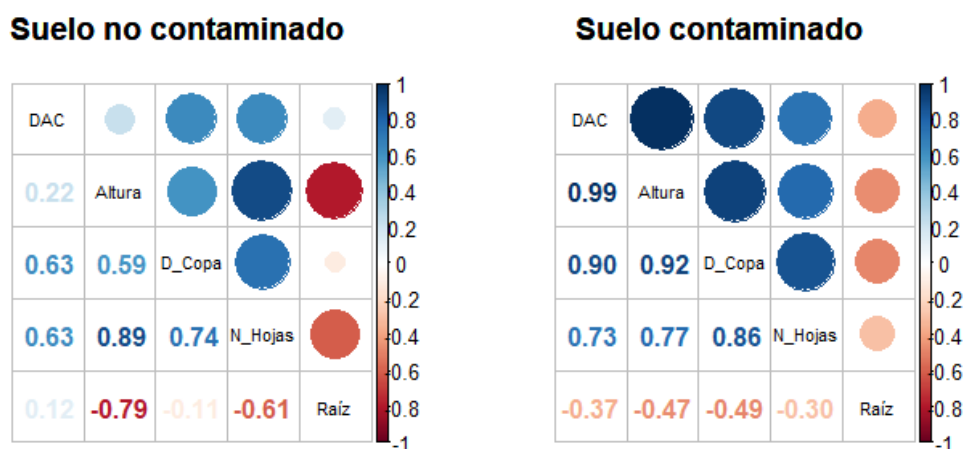
*Correlación de variables dendrométricas de la especie *Lafoensia acuminata**



**4.2.3.3. Correlación de variables en la especie *Leucaena leucocephala*.** Los individuos del suelo no contaminado se caracterizaron por presentar una baja correlación positiva entre las variables DAC y altura (0,22). Del mismo modo, se presentaron correlaciones negativas entre la altura y profundidad de la raíz (-0,79). Por otro lado, en el suelo contaminado los individuos tienden a aumentar el grado de relación entre el DAC y altura (0,99). Además, se presentan correlaciones negativas más homogéneas entre la raíz con respecto a otras variables (Figura 17).

**Figura 17.**

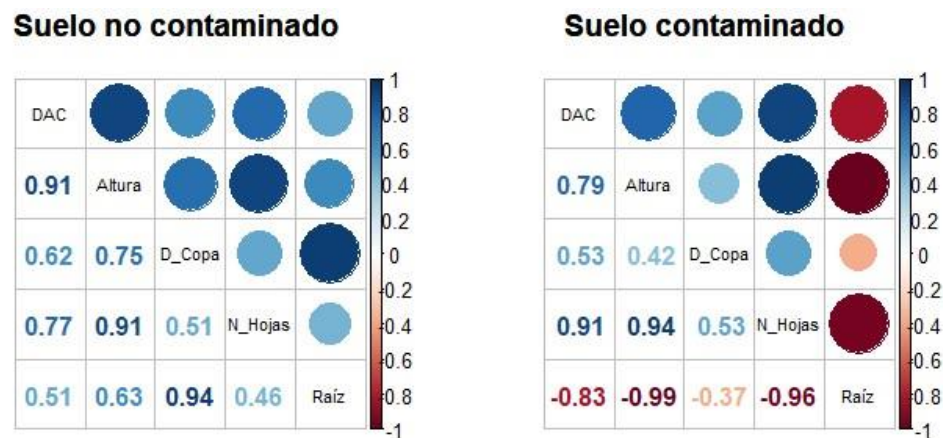
*Correlación de variables dendrométricas de la especie *Leucaena leucocephala**



**4.2.3.4. Correlación de variables en la especie *Salix humboldtiana*.** Los individuos sometidos al tratamiento de suelo no contaminado se caracterizan por presentar correlaciones positivas entre todas sus variables. Por otro lado, la especie en el suelo contaminado cambió drásticamente las relaciones que posee la profundidad de la raíz con las otras variables evaluadas, ya que la última tiende a presentar relaciones negativas que varían desde -0,37 hasta -0,99 (Figura 18).

**Figura 18.**

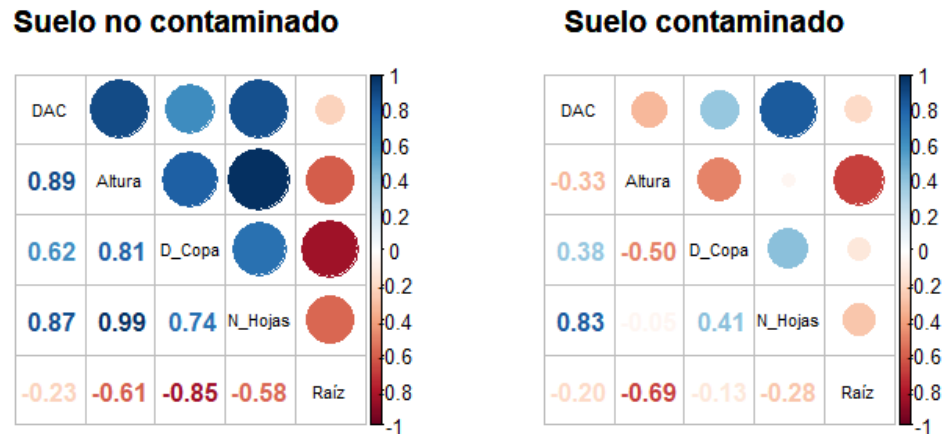
*Correlación de variables dendrométricas de la especie *Salix humboldtiana**



**4.2.3.5. Correlación de variables en la especie *Sambucus nigra*.** La especie en el suelo no contaminado presentó correlaciones positivas entre todas las relaciones de DAC, altura, diámetro de copa y número de hojas. Aun así, la correlación de estas variables con la profundidad de la raíz es negativa con valores de -0,23 hasta -0,85. Por otro lado, los individuos en el suelo contaminado cambiaron la forma de relacionarse, ya que únicamente se presentaron correlaciones positivas entre el DAC con el diámetro de copa (0,38), el DAC con el número de hojas (0,83) y el diámetro de copa con el número de hojas (0,41) (Figura 19).

**Figura 19.**

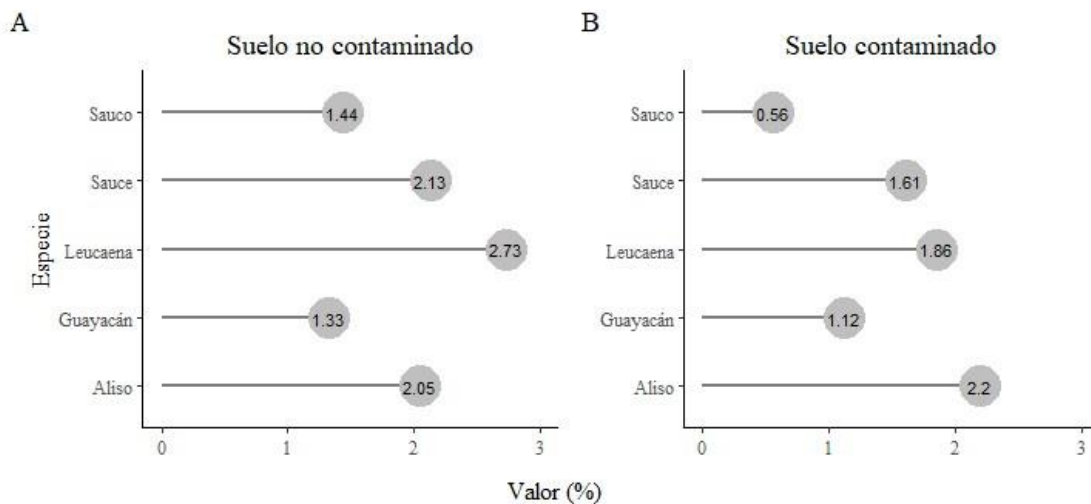
*Correlación de variables dendrométricas de la especie Sambucus nigra*



### 4.3. Determinación de elementos en el sistema foliar

#### 4.3.1. Nitrógeno

En el suelo no contaminado, las especies que presentan mayor porcentaje de nitrógeno son *Leucaena leucocephala* y *Salix humboldtiana*, mientras la de menor porcentaje fueron *Lafloensia acuminata* y *Sambucus nigra*. Por otro lado, la mayoría de las especies en el suelo contaminado con excepción de *Alnus acuminata* presentan una menor concentración de este elemento en el sistema foliar (Figura 20).

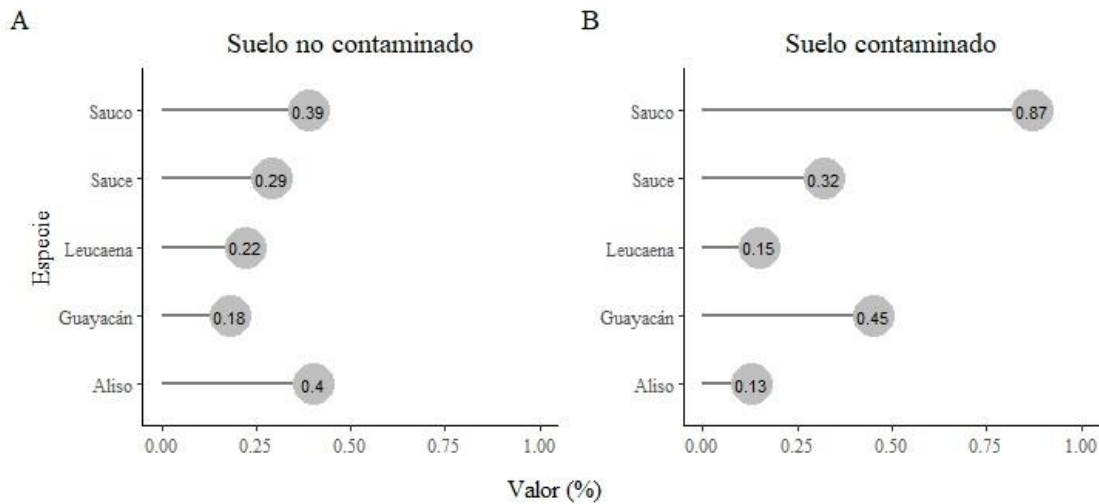
**Figura 20.***Concentración de nitrógeno en hojas*

#### 4.3.2. Fósforo

Las especies ubicadas en el suelo no contaminado presentan en general niveles bajos de este elemento. Entre estas, los individuos de *Lafoensia acuminata*, *Leucaena leucocephala* y *Salix humboldtiana* presentan menores concentraciones. Por otro lado, las especies *Sambucus nigra*, *Lafoensia acuminata* y *Salix humboldtiana* del suelo contaminado presentan mayores niveles del elemento con respecto al otro tratamiento (Figura 21).

**Figura 21.**

*Concentración de fósforo en hojas*

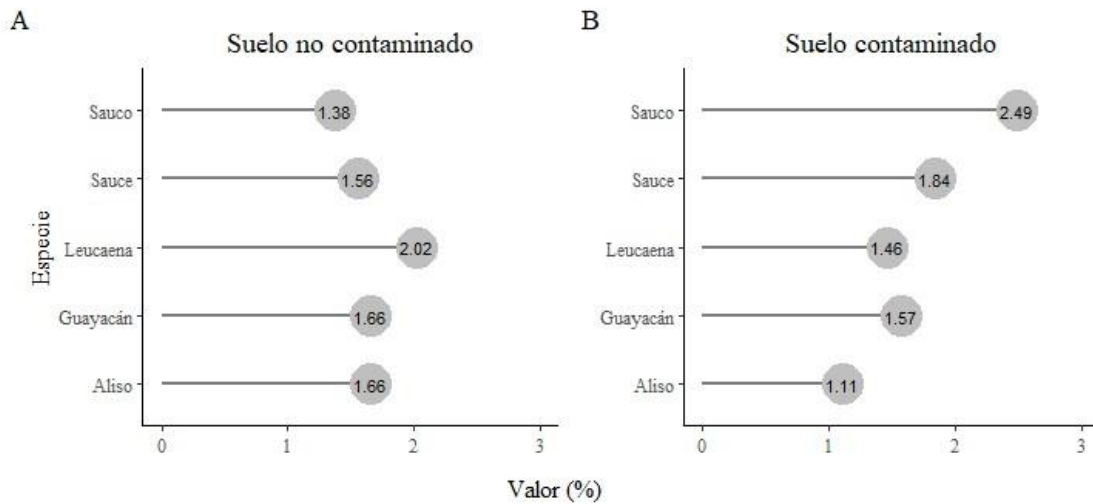


**4.3.3. Potasio**

En el suelo no contaminado, los porcentajes del elemento perteneciente a cada especie varían desde 1,38 hasta 2,02 %; donde el último valor pertenece a las hojas de la especie *Leucaena leucocephala*. Con respecto al suelo contaminado, los individuos de *Sambucus nigra* y *Salix humboldtiana* poseen mayores valores del elemento con respecto al otro tratamiento. Por ende, las especies *Lafoensia acuminata*, *Leucaena leucocephala* y *Alnus acuminata* poseen menores valores en comparación al suelo no contaminado (Figura 22).

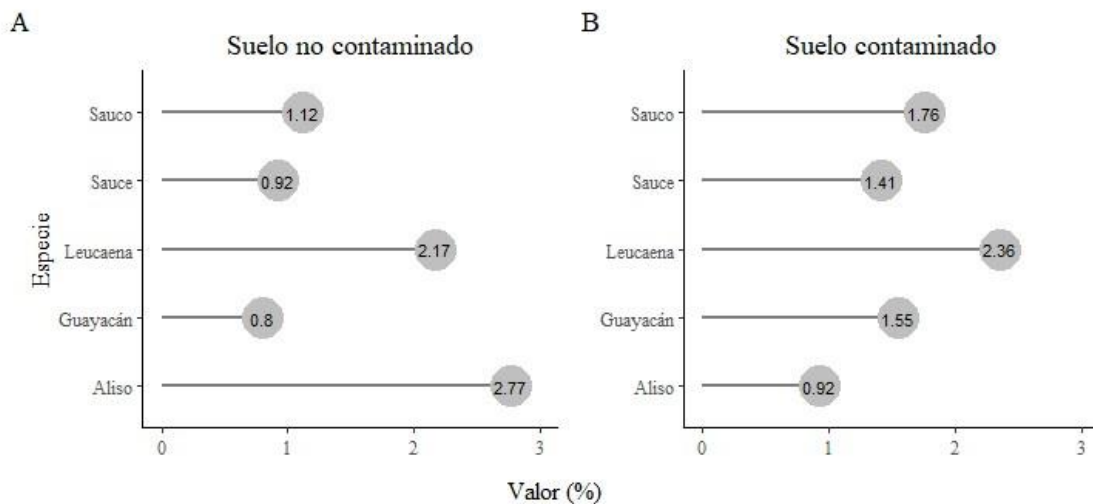
**Figura 22.**

*Concentración de potasio en hojas*



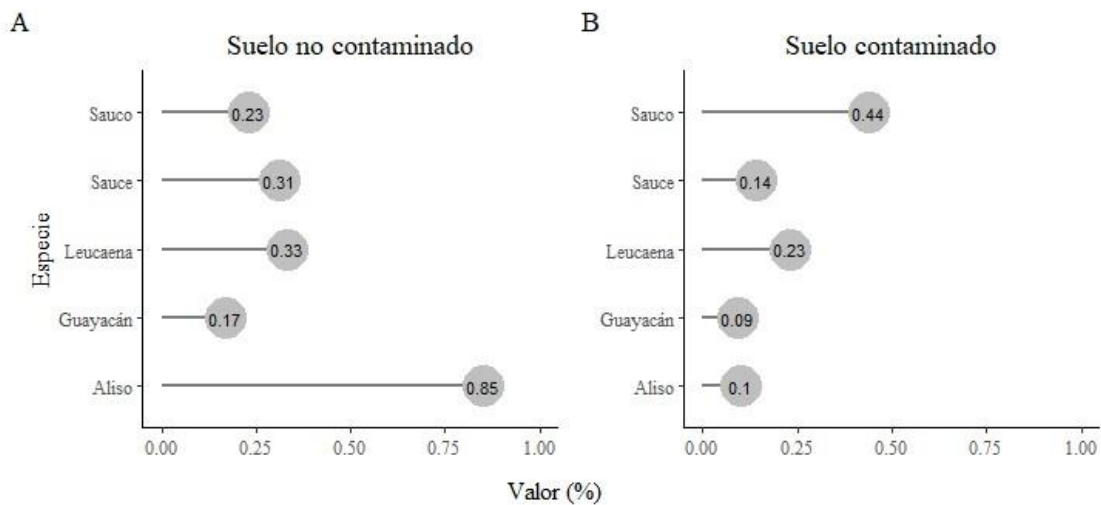
**4.3.4. Calcio**

En suelo no contaminado, las especies *Sambucus nigra*, *Salix humboldtiana* y *Lafoensia acuminata* presentan menores valores del elemento con referencia a las especies *Leucaena leucocephala* y *Alnus acuminata*. Por otra parte, la mayoría de las especies ubicadas en el suelo contaminado con excepción de *Alnus acuminata*, presentaron mayores niveles de calcio. Así mismo, en este tratamiento la especie *Leucaena leucocephala* posee un mayor nivel de este elemento en sus hojas con referencia a las demás especies (Figura 23).

**Figura 23.***Concentración de calcio en hojas*

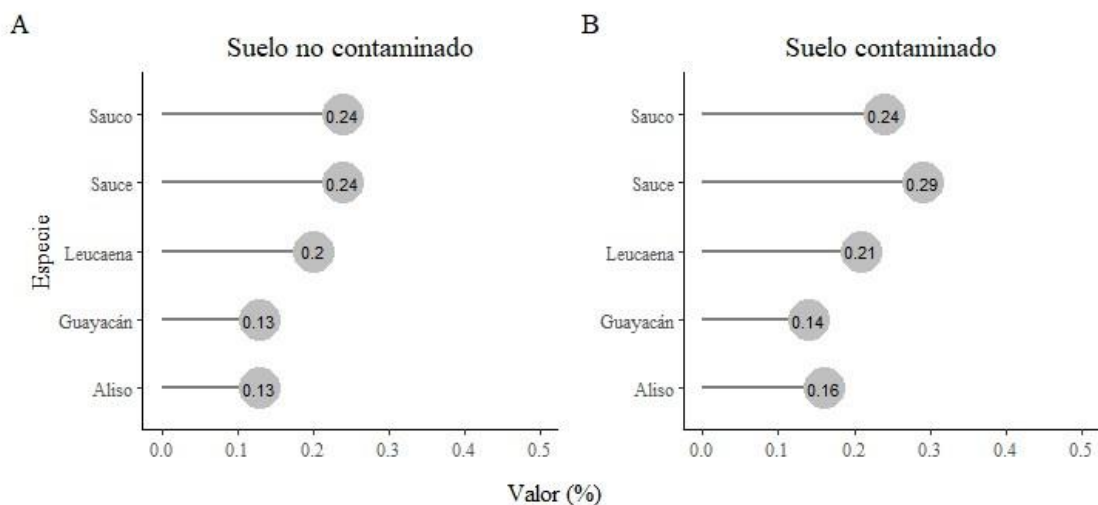
#### 4.3.5. Magnesio

En general, las especies presentaron un nivel menor al 1% de este elemento en los dos tratamientos. En el suelo no contaminado, la especie *Alnus acuminata* presentó un mayor porcentaje con respecto a los demás individuos. Por otra parte, en suelo contaminado la especie que presentó mayores niveles de este elemento es *Sambucus nigra*. Así mismo, la especie que presentó un mayor cambio entre concentraciones fue *Alnus acuminata*; ya que mostró un valor de 0,85% en suelo no contaminado y pasó a presentar en el suelo contaminado un 0,1% (Figura 24).

**Figura 24.***Concentración de magnesio en hojas*

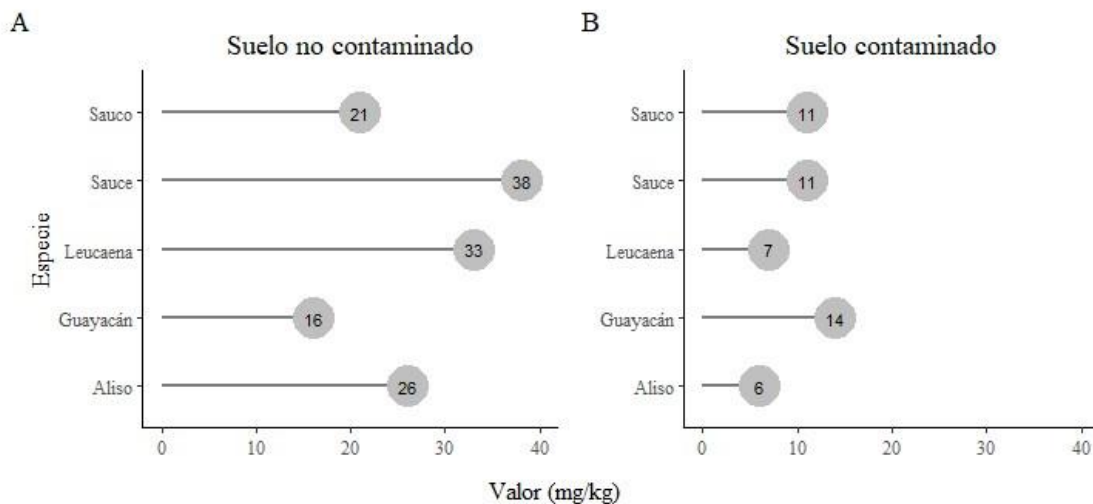
#### 4.3.6. Azufre

Del mismo modo que el magnesio, las especies en los dos tratamientos presentaron un valor menor al 1% de azufre. En suelo no contaminado, los resultados varían desde un 0,13 hasta un 0,24 %, en dónde las especies *Alnus acuminata* y *Lafoensia acuminata* presentaron el menor valor. Así mismo, las especies *Salix humboldtiana* y *Sambucus nigra* comparten el mayor porcentaje. Por otro lado, en el suelo contaminado todas las especies presentaron una mayor concentración de este elemento excluyendo los individuos de *Sambucus nigra*. Esta última, presenta un valor similar de 0,24% en los dos tratamientos (Figura 25).

**Figura 25.***Concentración de azufre en hojas*

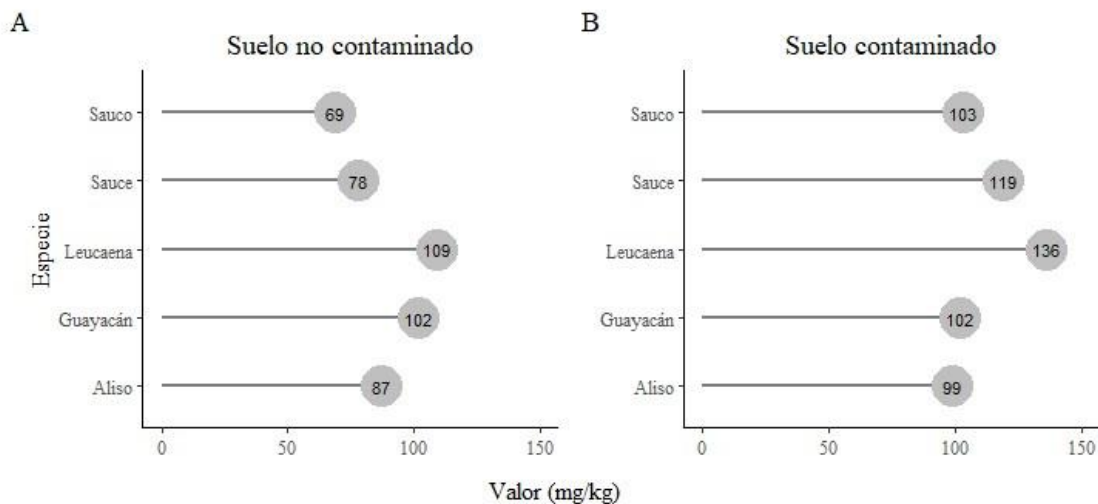
#### 4.3.7. Boro

En el suelo no contaminado, las especies *Sambucus nigra* y *Lafoensia acuminata* presentaron un menor valor con respecto a las demás especies en este tratamiento. En el mismo, las especies que presentaron mayores niveles del elemento son *Leucaena leucocephala* con 33 mg/kg y *Salix humboldtiana* con 38 mg/kg. Por otra parte, las especies ubicadas en suelo contaminado presentaron una menor concentración de este elemento con respecto al otro tratamiento. Estos últimos valores varían desde 6 mg/kg hasta 14 mg/kg donde el último valor lo posee la especie *Lafoensia acuminata* (Figura 26).

**Figura 26.***Concentración de boro en hojas*

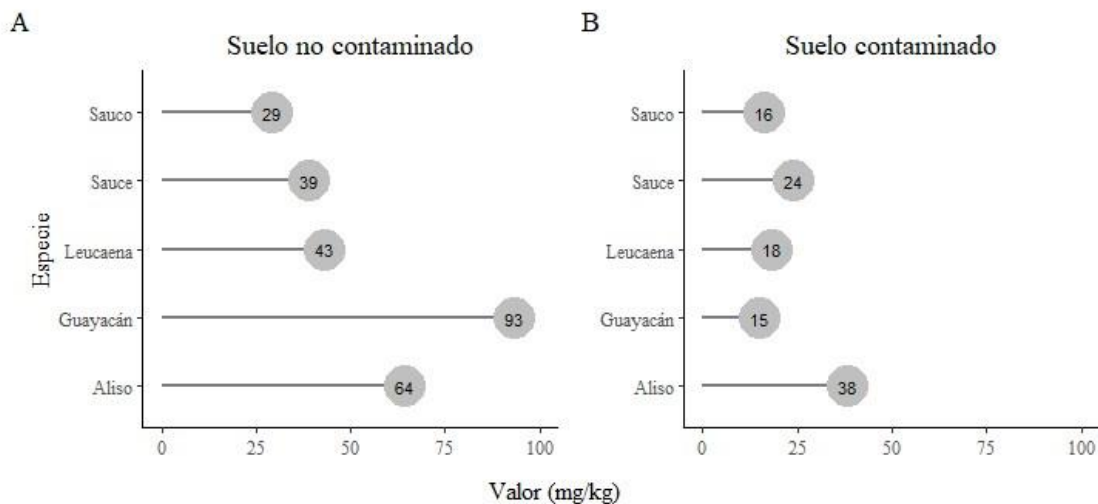
#### 4.3.8. Hierro

La concentración de este elemento en las especies evaluadas es mayor en comparación a los otros elementos. Este elemento en el suelo no contaminado presentó valores que varían desde 69 hasta 109 mg/kg, donde el valor mínimo lo obtuvo *Sambucus nigra* y el máximo *Leucaena leucocephala*. En el suelo contaminado, la concentración de este elemento en las especies aumentó con respecto al otro tratamiento con excepción de *Lafoensia acuminata*, esta última, obtuvo el mismo valor de 102 mg/kg en los dos tratamientos (Figura 27).

**Figura 27.***Concentración de hierro en hojas*

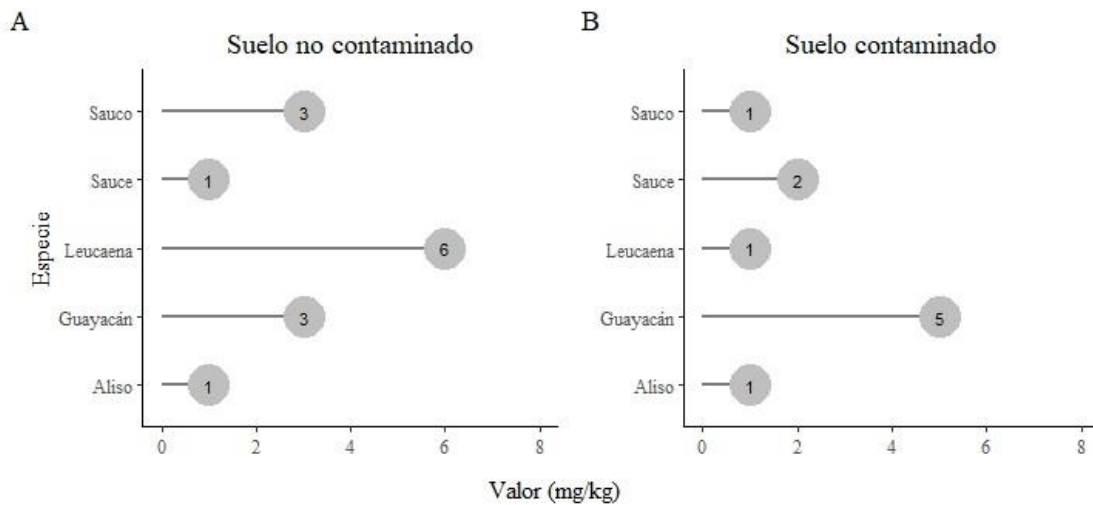
#### 4.3.9. Manganeso

Los valores de este elemento en el suelo no contaminado varían desde 29 hasta 93 mg/kg. Las especies *Sambucus nigra*, *Salix humboldtiana* y *Leucaena leucocephala* presentaron los menores niveles con respecto a las otras especies evaluadas. La especie *Lafoensia acuminata* presentó el mayor nivel de este elemento en este tratamiento (suelo no contaminado). Por otro lado, en el suelo contaminado los valores varían desde 15 hasta 38 mg/kg, por ende, en este tratamiento se presentaron menores concentraciones de este elemento con respecto a las especies ubicadas en el otro suelo. La especie *Alnus acuminata* presentó el mayor valor en este tratamiento (suelo contaminado) (Figura 28).

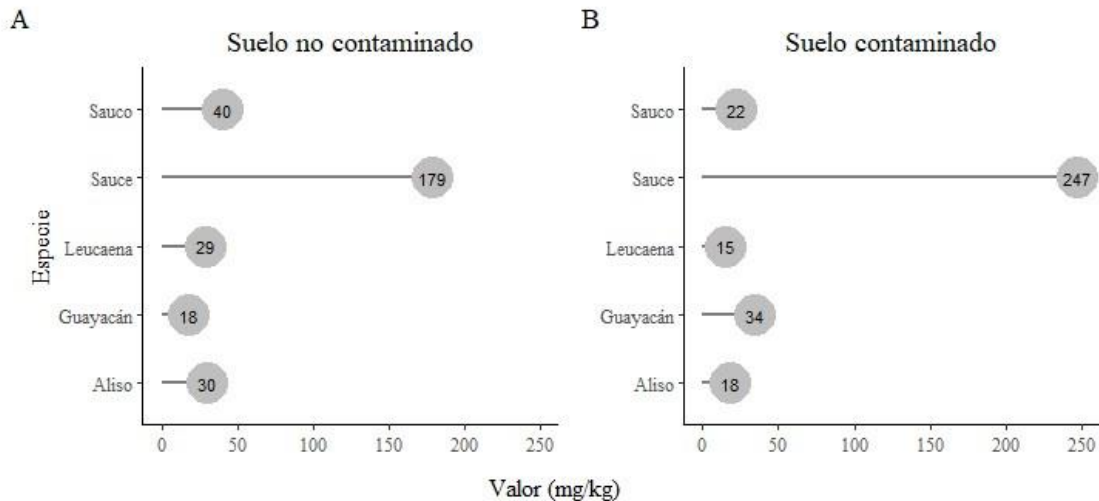
**Figura 28.***Concentración de manganeso en hojas*

#### 4.3.10. Cobre

En general, los niveles de cobre son bajos en ambos tratamientos; las especies ubicadas en suelo no contaminado presentaron valores que van desde 1 hasta 6 mg/kg, donde las especies *Salix humboldtiana* y *Alnus acuminata* presentaron el menor valor. Los individuos que presentaron el mayor valor en este tratamiento son los pertenecientes a la especie *Leucaena leucocephala*. Así mismo, los valores en el suelo contaminado varían desde 1 hasta 5 mg/kg. Las especies *Sambucus nigra*, *Leucaena leucocephala* y *Alnus acuminata* presentaron la menor concentración. En el mismo tratamiento, la especie que obtuvo la mayor concentración del elemento fue *Lafoensia acuminata* (Figura 29).

**Figura 29.***Concentración de cobre en hojas***4.3.11. Zinc**

En el suelo no contaminado, las especies *Lafoensia acuminata*, *Leucaena leucocephala*, *Alnus acuminata* y *Sambucus nigra* presentaron valores de 18, 29, 30 y 40 mg/kg, respectivamente. Estos valores son relativamente bajos con respecto a la especie *Salix humboldtiana*, ya que obtuvo 179 mg/kg. Así mismo, *Salix humboldtiana* fue la especie que presentó el mayor valor en suelo contaminado con 247 mg/kg; en este tratamiento los valores de las especies varían desde 15 hasta 34 mg/kg a excepción de *Salix humboldtiana* (Figura 30).

**Figura 30.***Concentración de zinc en hojas*

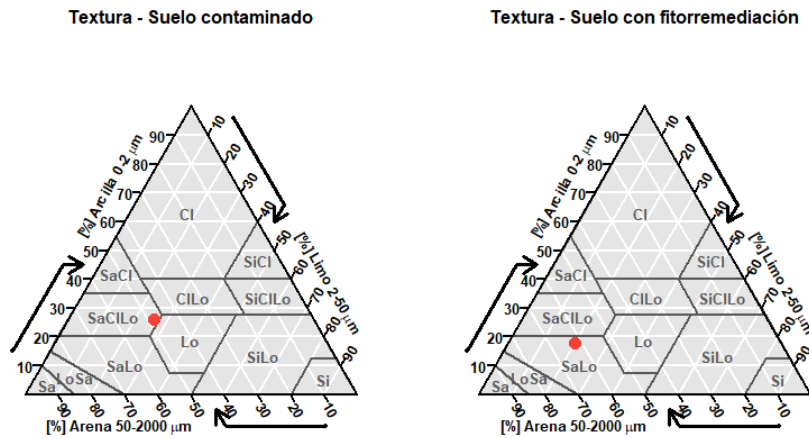
#### 4.4. Fitorremediación en suelo contaminado

El suelo sometido al tratamiento de fitorremediación obtuvo una textura franco arenoso (Figura 31). La muestra de suelo donde se ubicaron las plántulas (suelo con fitorremediación) presentó una disminución en la mayoría de las características evaluadas por el laboratorio con respecto al suelo proveniente del relleno sanitario (suelo contaminado). Dentro de estas características, el pH decreció una décima y el porcentaje de carbono disminuyó desde 1,78 hasta 1,37. Otros elementos también presentaron una disminución leve como son: calcio, magnesio, sodio, potasio, boro, hierro, manganeso, cobre, zinc y azufre. Igualmente, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuyó de 32,2 hasta 23,6 meq/100g. Del mismo modo, la conductividad eléctrica (CE) presentó una disminución de 0,39 hasta 0,16 mmhos/cm. Por último,

la única variable evaluada que se incrementó a partir del establecimiento de las plántulas fue el fósforo disponible, este paso de tener 119 a 123 ppm (Tabla 7).

**Figura 31.**

*Textura de suelos contaminados*



**Tabla 7.***Comparación del suelo contaminado con respecto al suelo con fitorremediación*

Característica		Suelo contaminado	Suelo con fitorremediación
	pH	6,6	6,5
	% C	1,78	1,37
	P (ppm)	119	123
meq/100g	Ca	28,1	23,0
	Mg	1,10	0,60
suelo (ppm)	Na	0,64	0,15
	K	2,57	0,45
	B	0,45	0,32
	Fe	32,8	17,7
	Mn	1,36	1,21
	Cu	1,00	0,94
	Zn	5,69	3,60
	S	17,8	13,4
	CIC (meq/100g)	32,2	23,6
	CE (mmhos/cm)	0,39	0,16

## 5. Discusión

El almacenamiento de residuos sólidos en los vertederos provoca problemas de contaminación e induce efectos nocivos para la salud humana. Estos, son productos de diferentes actividades antropogénicas y generan altas concentraciones de lixiviados que someten al ambiente

a varios procesos que conducen a la contaminación con metales pesados (Dagwar & Dutta, 2024). Para eliminar los metales pesados y demás micro contaminantes, se pueden implementar varias estrategias, entre ellas, el uso de plantas con potencial de descontaminación ambiental. Aun así, la efectividad de este método varía en función de la especie utilizada, la densidad de siembra, la estructura del compuesto a eliminar y el tipo y concentración de contaminantes. Además, la eficiencia en los procesos de fitorremediación incrementa a medida que aumenta el tiempo de contacto entre las plantas y el suelo (Polińska et al., 2021).

El clima es un factor importante que interviene en la variación alométrica de las plantas, por ejemplo, la dimensión de la copa puede cambiar en algunas especies según la disponibilidad de agua presente en el suelo (Wenyan et al., 2022); efecto que puede explicar las disminuciones en el diámetro de copa que presentaron los individuos con respecto a algunas semanas. Por otro lado, las especies que presentaron menos afectación en el crecimiento de la raíz principal ante el suelo contaminado fueron *Alnus acuminata*, seguida de *Leucaena leucocephala*. Este resultado es importante ya que la raíz permite mejorar la porosidad del terreno al estar ligada directamente en la dinámica de la estructura del suelo (Mueller et al., 2024).

La comparación de las medias poblacionales independientes, indican que la especie *Sambucus nigra* presentó mayores diferencias ante los tratamientos en el crecimiento de la raíz principal, número de hojas, diámetro de copa y DAC en comparación con las otras especies. Esto indica que *Sambucus nigra* es la especie con mayor afectación en el estudio por el suelo contaminado. La plasticidad y morfología que presentan las raíces ante entornos cambiantes influyen en el grado de adaptabilidad y supervivencia de las plantas (Yetgin, 2024). De este modo, según las variables evaluadas *Sambucus nigra* es la especie menos recomendada para implementar en suelos contaminados con lixiviados como alternativa de fitorremediación.

Por su parte, *Leucaena leucocephala* presentó una mayor concentración de hierro en las hojas con respecto a las demás especies; siendo tolerante a suelos con altas concentraciones de hierro el cual se acumula principalmente en sus raíces. Por ello, *Leucaena leucocephala* puede contribuir a estabilizar cantidades de hierro en suelos tropicales mediante los procesos de fitorremediación (Bomfim et al., 2021). Algunos individuos pertenecientes al género *Salix*, pueden absorber grandes contenidos de metales y zinc en sus hojas, lo que las hace propicias en los procesos de fitoextracción. A pesar de pertenecer al mismo género, estas capacidades varían entre especies (Dos Santos Utmazian et al., 2007). Los individuos de *Salix humboldtiana* del presente estudio, presentaron en el sistema foliar una mayor absorción de zinc junto al azufre con referencia a otras especies. Del mismo modo, esta especie no presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en altura con respecto a los tratamientos; por lo tanto, *Salix humboldtiana* puede considerarse apta para la fitorremediación de suelos contaminados con lixiviados.

## 6. Conclusiones

Los suelos contaminados con lixiviados influyen en el crecimiento en altura, DAC, diámetro de copa, profundidad de la raíz y desarrollo en el número de hojas de *Alnus acuminata*, *Lafoensia acuminata*, *Leucaena leucocephala*, *Salix humboldtiana* y *Sambucus nigra*; ya que tres de estas especies (*Alnus acuminata*, *Lafoensia acuminata* y *Salix humboldtiana*), presentaron diferencias significativas en cuatro de las cinco variables evaluadas, mientras que (*Leucaena leucocephala* y *Sambucus nigra*) presentaron diferencias en todas las variables. Del mismo modo, las especies *Salix humboldtiana* y *Sambucus nigra* presentaron cambios entre las relaciones

dendrométricas con respecto a los tratamientos. Por lo tanto, se puede considerar que los suelos contaminados interfieren en cómo se relacionan las variables de algunas especies entre sí.

Los cambios presentados en el suelo sometido al tratamiento de fitorremediación son relativamente bajos con respecto al tiempo en el que se implementó dicho tratamiento. Como se esperaba, disminuyó el porcentaje de materia orgánica en el suelo contaminado junto a otros elementos. Este cambio puede ser atribuido a la capacidad de absorber algunos nutrientes y elementos que necesitan las especies para su desarrollo. El crecimiento de la raíz principal de las especies *Alnus acuminata* y *Leucaena leucocephala* en suelo contaminado las hacen prometedoras en la fitorremediación y pueden considerarse aptas junto a la especie *Salix humboldtiana* por su capacidad de tolerar grandes cantidades de zinc y moderadas cantidades de azufre en sus hojas. Aun así, la especie *Leucaena leucocephala* puede superar la vegetación nativa del lugar, por lo tanto, se recomienda implementarla únicamente en lugares aislados donde no pueda afectar la biodiversidad.

## **7. Recomendaciones**

Si se quiere evaluar a profundidad cómo se relacionan las variables dendrométricas y cómo cambian las mismas ante suelos con propiedades diferentes, se recomienda incluir el porcentaje de humedad que presentan los suelos periódicamente. Con esto, se puede evaluar si existen relaciones entre el crecimiento de las variables y la capacidad de estrés hídrico que presentan las especies.

Se recomienda evaluar por más tiempo las diferencias que pueden llegar a presentar las especies a lo largo de su crecimiento y desarrollo. Del mismo modo, aumentar este factor en el estudio puede ayudar a determinar con más detalle los cambios que presentan los suelos ante el tratamiento de fitorremediación.

El estudio incluyó el análisis de varios elementos que presentaban los suelos y las especies forestales. Aun así, se pueden evaluar otras variables que se derivan de la presencia de lixiviados, tales como: metales pesados, nitrógeno amoniacal, materiales tóxicos y compuestos no biodegradables. Esto, con el fin de ampliar la escala de beneficios que pueden presentar los tratamientos de fitorremediación.

**Referencias bibliográficas**

- Anayhuaman, A. C. (2021). Factores que influyen en la generación de lixiviados en sus sistemas de tratamiento de recirculación y evaporación en los tres rellenos sanitarios de las provincias de Satipo, Huamanga y Chinchá - Perú.
- Arenales, O., Barrera, L., Carvajal, E., Celis, L., Durán, M., & Rodríguez, A. (2020). *Plan de desarrollo territorial - PTD "Málaga somos todos"*
- Bomfim, N. C. P., Aguilar, J. V., de Paiva, W. d. S., de Souza, L. A., Justino, G. C., Faria, G. A., & Camargos, L. S. (2021). Iron phytostabilization by *Leucaena leucocephala*. *South African Journal of Botany*, 138, 318-327. 10.1016/j.sajb.2021.01.013
- Dagwar, P. P., & Dutta, D. (2024). Landfill leachate a potential challenge towards sustainable environmental management. *Science of the Total Environment*, 926, 171668. 10.1016/j.scitotenv.2024.171668
- DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Retrieved 29/04/2024, from
- DANE. (2019). *Económica de flujo de Materiales Residuos sólidos*. junio 18, 2018.
- Dos Santos Utmazian, M. N., Wieshammer, G., Vega, R., & Wenzel, W. W. (2007). Hydroponic screening for metal resistance and accumulation of cadmium and zinc in twenty clones of willows and poplars. *Environmental Pollution*, 148(1), 155-165. 10.1016/j.envpol.2006.10.045

Fernández, J. P., & Flores, D. A. (2023). *Diseño de relleno sanitario de los Residuos sólidos urbanos del cantón Huaquillas de la provincia de el Oro*

García-Colindres, M. A., Castillo-Suárez, L. A., Bastida, C. Á, Linares-Hernández, I., & Martínez-Miranda, V. (2022). Los rellenos sanitarios como fuente de contaminación del agua subterránea por infiltración de lixiviados: efectos en la salud y el medio ambiente. *Ideas En Ciencias De La Ingeniería*, 1(2), 1-15.

Gómez, A. (2022). *Zonas aptas para la ubicación del relleno sanitario en el municipio de Ortega Tolima*

González, J. P. (2008). *Potencial de una especie de sauce (Salix spp) para fitorremediación de metales tóxicos en lixiviados*

Herrera Ortiz, N. (2023). *Plan de cierre, clausura y post clausura de la planta de tratamiento de residuos sólidos - PTRS del municipio de Málaga*

International Solid Waste Association, [. (2021). *The future of the waste management sector trends, opportunities and challenges for the decade*

Laboratorio Químico de Consultas Industriales. (2020). *Instrucciones para tomar una muestra de suelos*. Unpublished manuscript.

Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M. K., Lahori, A. H., Wang, Q., Li, R., & Zhang, Z. (2016). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 111-121.  
10.1016/j.ecoenv.2015.12.023

- Montalvo, J. S., & Quispe, M. (2019). *Contaminación del agua superficial por lixiviados de un relleno sanitario*
- Moura, G. M., & Mondelli, G. (2020). Temporal behavior analysis of leachate contamination in a tropical landfill. *Environmental Science and Pollution*,
- Mueller, C. W., Baumert, V., Carminati, A., Germon, A., Holz, M., Kögel-Knabner, I., Peth, S., Schlüter, S., Uteau, D., Vetterlein, D., Teixeira, P., & Vidal, A. (2024). From rhizosphere to detritosphere – Soil structure formation driven by plant roots and the interactions with soil biota. *Soil Biology and Biochemistry*, 193, 109396. 10.1016/j.soilbio.2024.109396
- Polińska, W., Kotowska, U., Kiejza, D., & Karpińska, J. (2021). Insights into the Use of Phytoremediation Processes for the Removal of Organic Micropollutants from Water and Wastewater; A Review. *Water (Basel)*, 13(15), 2065. 10.3390/w13152065
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, [PNUD]. (2015, *Los objetivos de desarrollo sostenible en acción*. UNDP. Retrieved 2023, from
- Quintero, A., Valencia, Y., & Lara, L. A. (2017). Effect of solid wastes leachates on a tropical soil. *Dyna*, 84(203), 283-290. 10.15446/dyna.v84n203.63875
- Ramalho, M., Jovanović, T., Afonso, A., Baía, A., Lopes, A., Fernandes, A., Almeida, A., & Carvalho, F. (2023). Landfill leachate treatment by immediate one-step lime precipitation, carbonation, and phytoremediation fine-tuning. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(4), 8647-8656. 10.1007/s11356-022-18729-7

- Ren, Y., Zhang, Z., & Huang, M. (2022). A review on settlement models of municipal solid waste landfills. *Waste Management (Elmsford)*, 149, 79-95. 10.1016/j.wasman.2022.06.019
- Shen, X., Ge, M., Handel, S. N., Wang, W., Jin, Z., & Kirkwood, N. G. (2023). Advancing environmental design with phytoremediation of brownfield soils using spontaneous invasive plants. *The Science of the Total Environment*, 883, 163635. 10.1016/j.scitotenv.2023.163635
- Shiraishi, K. (2022). The inequity of distribution of urban forest and ecosystem services in Cali, Colombia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 67, 127446. 10.1016/j.ufug.2021.127446
- Tibaduiza, J. A. (2013). *Evaluación de la implementación de los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) en los municipios de Cerrito, Enciso, Guaca, San Miguel Y Málaga de la provincia de García Rovira del departamento de Santander*
- Trujillo-Narcía, A., Rivera-Cruz, M. d. C., Lagunes-Espinoza, L. d. C., Palma-López, D. J., Soto-Sánchez, S., & Ramírez-Valverde, G. (2012). Efecto de la restauración de un fluvisol contaminado con petróleo crudo. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 28(4), 360-374.
- Velásquez, J. A. (2017). Contamination of soil and water by hydrocarbons in Colombia. Analysis of phytoremediation as a biotechnology strategy for recovery. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 8(1), 151-167.
- Wenyan, X., Weiwei, Z., & Yunming, C. (2022). Climate mediates the effects of forest gaps on tree crown allometry. *Forest Ecology and Management*, 525, 120563. 10.1016/j.foreco.2022.120563

Yetgin, A. (2024). Exploring the dynamic nature of root plasticity and morphology in the face of changing environments. *Ecological Frontiers*, 44(1), 112-119. 10.1016/j.chnaes.2023.07.008

Apéndices

Apéndice A.

Registro fotográfico

<p>Extracción de suelo del relleno sanitario</p>	<p>Implementación de especies en suelos</p>
	
<p>Muestreo de suelos del relleno sanitario</p>	<p>Medición de DAC</p>
	

Medición de alturas



Medición de diámetro de copa



Muestreo de análisis foliar





Empacado de muestras foliares



Apéndice B.


Análisis inicial - suelo contaminado

		<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS</b> <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>						Código: <b>F-AA-03</b> Versión: <b>02</b> Página 1 de 1		
		<b>RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS</b>								
<b>Cliente</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento</b>	Santander	<b>Finca</b>	Agua Blanca			
<b>Entidad</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis</b>	Marzo de 2024	<b>Municipio</b>	Málaga	<b>Cultivo</b>	Especies Forestales			
<b>Dirección</b>	Calle 13 #64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado</b>	Abril 03 de 2024	<b>Vereda</b>	Calchal					
<b>Análisis solicitado</b>	<b>Caracterización</b>	X	<b>Elementos menores</b>	X	<b>Azufre</b>	X	<b>C.I.C</b>	X	<b>C.E</b>	X

Código muestra	pH unid	%C	P (ppm)	Ca	Mg	Na	K	Al	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura	B	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC meq/100g	CE mmhos/cm
				meq/100g suelo									(ppm)							
24-0075	6,6	1,78	119	28,1	1,10	0,64	2,57	N.A	48	26	26	Fco-Arcillo-Arenoso	0,45	32,8	1,36	1,00	5,69	17,8	32,2	0,39


  

PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
pH: Potencial de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada Colorimétrico: Walkley Black K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> -H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Colorimétrico: Bray II, HCl 0,1 N-NH <sub>4</sub> F 0,03 N Absorción Atómica: Extracción: Acetato de Amonio Bouyoucos: Agua destilada Colorimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Extracción: Acetato de Amonio Electrométrico: Agua destilada	<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> Los métodos analíticos aplicados en el laboratorio son válidos únicamente para muestras de suelos, y no a otros materiales de características físicas similares. <b>Nota 4:</b> La contramuestra de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.	N.D.: No Detectable a la mínima concentración establecida por el método. N.S.: No Suministrado por el Cliente. N.A.: No Aplica. N.S.C.: No Solicitado por el Cliente. VoBo:  Luz Yolanda Vargas Fiallo Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144
<b>OBSERVACIONES: AS-01</b>			

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio CICELPA / Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1182 Telefax: (7) 6324861  
 E-mail: labquimicodesuelos@uis.edu.co y laboratorioquimicodesuelosuis@yahoo.com  
 Bucaramanga - Colombia

Apéndice C.


Análisis inicial - suelo no contaminado

		<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS</b> <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>						Código: <b>F-AA-03</b> Versión: <b>02</b> Página 1 de 1		
		<b>RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS</b>								
<b>Cliente</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento</b>	Santander	<b>Finca</b>	El Cedro			
<b>Entidad</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis</b>	Marzo de 2024	<b>Municipio</b>	Málaga	<b>Cultivo</b>	Especies Forestales			
<b>Dirección</b>	Calle 13 #64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado</b>	Abril 03 de 2024	<b>Vereda</b>	Guásimo					
<b>Análisis solicitado</b>	<b>Caracterización</b>	X	<b>Elementos menores</b>	X	<b>Azufre</b>	X	<b>C.I.C</b>	X	<b>C.E</b>	X

Código muestra	pH unid	%C	P (ppm)	Ca	Mg	Na	K	Al	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura	B	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC meq/100g	CE mmhos/cm
				meq/100g suelo									(ppm)							
24-0076	5,6	3,47	215	15,8	2,63	0,15	2,67	N.A	58	28	14	Fco-Arenoso	0,30	265	5,66	2,34	12,0	10,5	32,8	0,12

PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
pH: Potencial de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada Colorimétrico: Walkley Black K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> -H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Colorimétrico: Bray II, HCl 0,1 N-NH <sub>4</sub> F 0,03 N Absorción Atómica: Extracción: Acetato de Amonio Bouyoucos: Agua destilada Colorimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Extracción: Acetato de Amonio Electrométrico: Agua destilada	<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> Los métodos analíticos aplicados en el laboratorio son válidos únicamente para muestras de suelos, y no a otros materiales de características físicas similares. <b>Nota 4:</b> La contramuestra de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.	N.D.: No Detectable a la mínima concentración establecida por el método. N.S.: No Suministrado por el Cliente. N.A.: No Aplica. N.S.C.: No Solicitado por el Cliente. VoBo:  Luz Yolanda Vargas Fiallo Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144
<b>OBSERVACIONES: AS-02</b>			

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio CICELPA / Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1182 Telefax: (7) 6324861  
 E-mail: labquimicodesuelos@uis.edu.co y laboratorioquimicodesuelosuis@yahoo.com  
 Bucaramanga - Colombia

Apéndice D.

Análisis final - suelo contaminado

		<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS</b> <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>						Código: <b>F-AA-03</b>	
		<b>RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS</b>						Versión: <b>02</b>	
								Página 1 de 1	

<b>Cliente</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento</b>	Santander	<b>Finca</b>	Agua Blanca	
<b>Entidad</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis</b>	Marzo de 2024	<b>Municipio</b>	Málaga	<b>Cultivo</b>	Especies Forestales	
<b>Dirección</b>	Calle 13 #64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado</b>	Abril 03 de 2024	<b>Vereda</b>	Calichal			
<b>Análisis solicitado</b>	<b>Caracterización</b>	X	<b>Elementos menores</b>	X	<b>Azufre</b>	X	<b>C.I.C</b>	X

**RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELOS**

Código muestra	pH unid	%C	P (ppm)	Ca	Mg	Na	K	Al	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura	B	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC meq/100g	CE mmhos/cm
				meq/100g suelo					(ppm)											
24-0077	6,5	1,37	123	23,0	0,60	0,15	0,45	N.A	62	20	18	Fco-Arenoso	0,32	17,7	1,21	0,94	3,60	13,4	23,6	0,16

PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
pH: Potencial de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada Colorimétrico: Walkley Black K2Cr2O7-H2SO4 Colorimétrico: Bray II. HCl 0,1 N-NH4F 0,03 N Absorción Atómica: Extracción: Acetato de Amonio Bouyoucos: Agua destilada Colorimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Extracción: Acetato de Amonio Electrométrico: Agua destilada	<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> Los métodos analíticos aplicados en el laboratorio son válidos únicamente para muestras de suelos, y no a otros materiales de características físicas similares. <b>Nota 4:</b> La contramuestra de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.	N.D.: No Detectable a la mínima concentración establecida por el método. N.S.: No Suministrado por el Cliente. N.A.: No Aplica. N.S.C.: No Solicitado por el Cliente.  <b>VoBo:</b>  <b>Luz Yolanda Vargas Fiallo</b> Directora Química. M.Sc Química UIS MP PQ 1144

**OBSERVACIONES: AS-03**

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio CICELPA / Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1182 Telefax: (7) 6324861  
E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co) y [laboratorioquimicodesuelos@yahoo.com](mailto:laboratorioquimicodesuelos@yahoo.com)  
Bucaramanga - Colombia

Apéndice E.

Análisis foliar de *Alnus acuminata* en suelo contaminado

		<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS</b> <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>						Código: <b>F-AA-03</b>	
		<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>						Versión: <b>01</b>	
								Página 1 de 1	

<b>Cliente:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento:</b>	Santander	<b>Finca:</b>	N.S.
<b>Entidad:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis</b>	Marzo - Abril de 2024	<b>Municipio:</b>	Málaga	<b>Cultivo:</b>	Aliso
<b>Dirección:</b>	Calle 13 # 64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado</b>	Abril 18 de 2024	<b>Vereda:</b>	N.S.		
<b>Teléfono:</b>	3118051029						

**RESULTADO DEL ANÁLISIS FOLIAR**

Código muestra	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Zn
	mg/kg										
F-018	2,20	0,13	1,11	0,92	0,10	0,16	6	99	38	1	18

PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
N: Nitrogeno P: Fósforo Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn B: Boro S: Azufre	Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal vía seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal vía seca y cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Calcinación a 540°C y cuantificación método Azometina - H Digestión vía Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica	<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 4:</b> El ensayo de Nitrogeno es subcontratado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.	N.D.: No detectable a la concentración mínima establecida por el método. N.S.: No Suministrado por el Cliente. N.A.: No Aplica

**OBSERVACIONES: A.F. - 03.**

**VoBo:**  
  
**Luz Yolanda Vargas Fiallo**  
Directora  
Química. M.Sc Química UIS  
MP PQ 1144

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio de Investigaciones de la facultad de ciencias (EDIC), Piso 6/ Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1469  
E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co)  
Bucaramanga - Colombia

Apéndice F.

Análisis foliar de *Alnus acuminata* en suelo no contaminado

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS</b> <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>				Código: <b>F-AA-03</b>						
	<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>				Versión: <b>01</b>		Página 1 de 1				
<b>Código muestra</b> <b>F-023</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	%						mg/kg				
	2,05	0,40	1,66	2,77	0,85	0,13	26	87	64	1	30

<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>	<b>NOTAS</b>	<b>ABREVIATURAS</b>
<b>N:</b> Nitrógeno <b>P:</b> Fósforo <b>Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn</b> <b>B:</b> Boro <b>S:</b> Azufre	Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal vía seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal vía seca y cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Calcinación a 540°C y cuantificación método Azometina – H Digestión vía Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica	<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 4:</b> El ensayo de Nitrógeno es subcontratado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.	<b>N.D.:</b> No detectable a la concentración mínima establecida por el método. <b>N.S.:</b> No Suministrado por el Cliente. <b>N.A.:</b> No Aplica

<b>OBSERVACIONES:</b> A.F. - 08.	<b>VoBo:</b>  <b>Luz Yolanda Vargas Fiallo</b> Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144
----------------------------------	---

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio de Investigaciones de la facultad de ciencias (EDIC), Piso 6/ Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1469  
 E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia

Apéndice G.

Análisis foliar de *Lafoensia acuminata* en suelo contaminado

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS</b> <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>				Código: <b>F-AA-03</b>						
	<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>				Versión: <b>01</b>		Página 1 de 1				
<b>Código muestra</b> <b>F-019</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	%						mg/kg				
	1,12	0,45	1,57	1,55	0,09	0,14	14	102	15	5	34

<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>	<b>NOTAS</b>	<b>ABREVIATURAS</b>
<b>N:</b> Nitrógeno <b>P:</b> Fósforo <b>Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn</b> <b>B:</b> Boro <b>S:</b> Azufre	Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal vía seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal vía seca y cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Calcinación a 540°C y cuantificación método Azometina – H Digestión vía Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica	<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 4:</b> El ensayo de Nitrógeno es subcontratado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.	<b>N.D.:</b> No detectable a la concentración mínima establecida por el método. <b>N.S.:</b> No Suministrado por el Cliente. <b>N.A.:</b> No Aplica

<b>OBSERVACIONES:</b> A.F. - 04.	<b>VoBo:</b>  <b>Luz Yolanda Vargas Fiallo</b> Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144
----------------------------------	---

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio de Investigaciones de la facultad de ciencias (EDIC), Piso 6/ Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1469  
 E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co)  
 Bucaramanga - Colombia

Apéndice H.

Análisis foliar de *Lafoensia acuminata* en suelo no contaminado

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>				Código: <b>F-AA-03</b>							
	<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>				Versión: <b>01</b>							
					Página 1 de 1							
<b>Cliente:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento:</b>	Santander	<b>Finca:</b>	N.S.					
<b>Entidad:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis</b>	Marzo - Abril de 2024	<b>Municipio:</b>	Málaga	<b>Cultivo:</b>	Guayacán					
<b>Dirección:</b>	Calle 13 # 64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado</b>	Abril 18 de 2024	<b>Vereda:</b>	N.S.							
<b>Teléfono:</b>	3118051029											
<b>RESULTADO DEL ANÁLISIS FOLIAR</b>												
<b>Código muestra</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	
<b>F-024</b>	1,33	0,18	1,66	0,80	0,17	0,13	16	102	93	3	18	
<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>												
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>				<b>NOTAS</b>				<b>ABREVIATURAS</b>			
<b>N:</b> Nitrógeno <b>P:</b> Fósforo <b>Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn</b> <b>B:</b> Boro <b>S:</b> Azufre	Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal vía seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal vía seca y cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Calcinción a 540°C y cuantificación método Azometina - H Digestión vía Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica				<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 4:</b> El ensayo de Nitrógeno es subcontratado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.				<b>N.D.:</b> No detectable a la concentración mínima establecida por el método. <b>N.S.:</b> No Suministrado por el Cliente. <b>N.A.:</b> No Aplica			
<b>OBSERVACIONES:</b> A.F. - 09.								<b>VoBo:</b>  <b>Luz Yolanda Vargas Fiallo</b> Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144				

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio de Investigaciones de la facultad de ciencias (EDIC), Piso 6/ Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1469  
E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co)  
Bucaramanga - Colombia

Apéndice I.

Análisis foliar de *Leucaena leucocephala* en suelo contaminado

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>				Código: <b>F-AA-03</b>							
	<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>				Versión: <b>01</b>							
					Página 1 de 1							
<b>Cliente:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento:</b>	Santander	<b>Finca:</b>	N.S.					
<b>Entidad:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis</b>	Marzo - Abril de 2024	<b>Municipio:</b>	Málaga	<b>Cultivo:</b>	Leucaena					
<b>Dirección:</b>	Calle 13 # 64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado</b>	Abril 18 de 2024	<b>Vereda:</b>	N.S.							
<b>Teléfono:</b>	3118051029											
<b>RESULTADO DEL ANÁLISIS FOLIAR</b>												
<b>Código muestra</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	
<b>F-016</b>	1,86	0,15	1,46	2,36	0,23	0,21	7	136	18	1	15	
<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>												
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>				<b>NOTAS</b>				<b>ABREVIATURAS</b>			
<b>N:</b> Nitrógeno <b>P:</b> Fósforo <b>Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn</b> <b>B:</b> Boro <b>S:</b> Azufre	Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal vía seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal vía seca y cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Calcinción a 540°C y cuantificación método Azometina - H Digestión vía Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica				<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 4:</b> El ensayo de Nitrógeno es subcontratado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.				<b>N.D.:</b> No detectable a la concentración mínima establecida por el método. <b>N.S.:</b> No Suministrado por el Cliente. <b>N.A.:</b> No Aplica			
<b>OBSERVACIONES:</b> A.F. - 01.								<b>VoBo:</b>  <b>Luz Yolanda Vargas Fiallo</b> Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144				

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio de Investigaciones de la facultad de ciencias (EDIC), Piso 6/ Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1469  
E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co)  
Bucaramanga - Colombia

Apéndice J.

Análisis foliar de *Leucaena leucocephala* en suelo no contaminado

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>				Código: <b>F-AA-03</b>						
					Versión: <b>01</b>						
	<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>				Página 1 de 1						
<b>Cliente:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra:</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento:</b>	Santander	<b>Finca:</b>	N.S.				
<b>Entidad:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis:</b>	Marzo - Abril de 2024	<b>Municipio:</b>	Málaga	<b>Cultivo:</b>	Leucaenol				
<b>Dirección:</b>	Calle 13 # 64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado:</b>	Abril 18 de 2024	<b>Vereda:</b>	N.S.						
<b>Teléfono:</b>	3118051029										
<b>RESULTADO DEL ANÁLISIS FOLIAR</b>											
<b>Código muestra</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	%						mg/kg				
<b>F-021</b>	2,73	0,22	2,02	2,17	0,33	0,20	33	109	43	6	29
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>				<b>NOTAS</b>			<b>ABREVIATURAS</b>			
<b>N:</b> Nitrógeno <b>P:</b> Fósforo <b>Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn</b> <b>B:</b> Boro <b>S:</b> Azufre	Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal vía seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal vía seca y cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Calcinación a 540°C y cuantificación método Azometina - H Digestión vía Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica				<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 4:</b> El ensayo de Nitrógeno es subcontratado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.			<b>N.D.:</b> No detectable a la concentración mínima establecida por el método. <b>N.S.:</b> No Suministrado por el Cliente. <b>N.A.:</b> No Aplica			
<b>OBSERVACIONES:</b> A.F. - 06.								<b>VoBo:</b>  Luz Yolanda Vargas Fiallo Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144			

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio de Investigaciones de la facultad de ciencias (EDIC), Piso 6/ Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1469  
E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co)  
Bucaramanga - Colombia

Apéndice K.

Análisis foliar de *Salix humboldtiana* en suelo contaminado

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>				Código: <b>F-AA-03</b>						
					Versión: <b>01</b>						
	<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>				Página 1 de 1						
<b>Cliente:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra:</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento:</b>	Santander	<b>Finca:</b>	N.S.				
<b>Entidad:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis:</b>	Marzo - Abril de 2024	<b>Municipio:</b>	Málaga	<b>Cultivo:</b>	Sauce				
<b>Dirección:</b>	Calle 13 # 64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado:</b>	Abril 18 de 2024	<b>Vereda:</b>	N.S.						
<b>Teléfono:</b>	3118051029										
<b>RESULTADO DEL ANÁLISIS FOLIAR</b>											
<b>Código muestra</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	%						mg/kg				
<b>F-017</b>	1,61	0,32	1,84	1,41	0,14	0,29	11	119	24	2	247
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>				<b>NOTAS</b>			<b>ABREVIATURAS</b>			
<b>N:</b> Nitrógeno <b>P:</b> Fósforo <b>Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn</b> <b>B:</b> Boro <b>S:</b> Azufre	Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal vía seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal vía seca y cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Calcinación a 540°C y cuantificación método Azometina - H Digestión vía Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica				<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 4:</b> El ensayo de Nitrógeno es subcontratado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.			<b>N.D.:</b> No detectable a la concentración mínima establecida por el método. <b>N.S.:</b> No Suministrado por el Cliente. <b>N.A.:</b> No Aplica			
<b>OBSERVACIONES:</b> A.F. - 02.								<b>VoBo:</b>  Luz Yolanda Vargas Fiallo Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144			

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio de Investigaciones de la facultad de ciencias (EDIC), Piso 6/ Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1469  
E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co)  
Bucaramanga - Colombia

**Apéndice L.**

*Análisis foliar de Salix humboldtiana en suelo no contaminado*

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>				Código: <b>F-AA-03</b>						
	<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>				Versión: <b>01</b>						
					Página 1 de 1						
<b>Cliente:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento:</b>	Santander	<b>Finca:</b>	N.S.				
<b>Entidad:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis</b>	Marzo - Abril de 2024	<b>Municipio:</b>	Málaga	<b>Cultivo:</b>	Sauce				
<b>Dirección:</b>	Calle 13 # 64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado</b>	Abril 18 de 2024	<b>Vereda:</b>	N.S.						
<b>Teléfono:</b>	3118051029										
<b>RESULTADO DEL ANÁLISIS FOLIAR</b>											
<b>Código muestra</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	%						mg/kg				
<b>F-022</b>	2,13	0,29	1,56	0,92	0,31	0,24	38	78	39	1	179
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>			<b>NOTAS</b>				<b>ABREVIATURAS</b>			
<b>N:</b> Nitrógeno <b>P:</b> Fósforo <b>Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn</b> <b>B:</b> Boro <b>S:</b> Azufre	Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal vía seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal vía seca y cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Calcinación a 540°C y cuantificación método Azometina - H Digestión vía Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica			<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 4:</b> El ensayo de Nitrógeno es subcontratado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.				<b>N.D.:</b> No detectable a la concentración mínima establecida por el método. <b>N.S.:</b> No Suministrado por el Cliente. <b>N.A.:</b> No Aplica			
<b>OBSERVACIONES: A.F. - 07</b>							<b>VoBo:</b>  <b>Luz Yolanda Vargas Fiallo</b> Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144				

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 - Edificio de Investigaciones de la facultad de ciencias (EDIC), Piso 6/ Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1469  
E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co)  
Bucaramanga - Colombia

**Apéndice M.**




*Análisis foliar de Sambucus nigra en suelo contaminado*

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>				Código: <b>F-AA-03</b>						
	<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>				Versión: <b>01</b>						
					Página 1 de 1						
<b>Cliente:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de recepción de la muestra</b>	Febrero 26 de 2024	<b>Departamento:</b>	Santander	<b>Finca:</b>	N.S.				
<b>Entidad:</b>	Empresas Públicas Municipales de Málaga	<b>Fecha de Análisis</b>	Marzo - Abril de 2024	<b>Municipio:</b>	Málaga	<b>Cultivo:</b>	Sauco				
<b>Dirección:</b>	Calle 13 # 64-58	<b>Fecha de Emisión de Resultado</b>	Abril 18 de 2024	<b>Vereda:</b>	N.S.						
<b>Teléfono:</b>	3118051029										
<b>RESULTADO DEL ANÁLISIS FOLIAR</b>											
<b>Código muestra</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	%						mg/kg				
<b>F-020</b>	0,56	0,87	2,49	1,76	0,44	0,24	11	103	16	1	22
<b>PARÁMETROS</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>			<b>NOTAS</b>				<b>ABREVIATURAS</b>			
<b>N:</b> Nitrógeno <b>P:</b> Fósforo <b>Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn</b> <b>B:</b> Boro <b>S:</b> Azufre	Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal vía seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal vía seca y cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Calcinación a 540°C y cuantificación método Azometina - H Digestión vía Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica			<b>Nota 1:</b> Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. <b>Nota 2:</b> Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. <b>Nota 3:</b> La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. <b>Nota 4:</b> El ensayo de Nitrógeno es subcontratado. <b>Nota 5:</b> Información y muestra suministrada por el cliente.				<b>N.D.:</b> No detectable a la concentración mínima establecida por el método. <b>N.S.:</b> No Suministrado por el Cliente. <b>N.A.:</b> No Aplica			
<b>OBSERVACIONES: A.F. - 05.</b>							<b>VoBo:</b>  <b>Luz Yolanda Vargas Fiallo</b> Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144				

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 - Edificio de Investigaciones de la facultad de ciencias (EDIC), Piso 6/ Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2499-1469  
E-mail: [labquimicodesuelos@uis.edu.co](mailto:labquimicodesuelos@uis.edu.co)  
Bucaramanga - Colombia

**Apéndice N.**

*Análisis foliar de Sambucus nigra en suelo no contaminado*

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>		Código: <b>F-AA-03</b>								
			Versión: <b>01</b>								
<b>RESULTADO ANÁLISIS DE FOLIAR</b>			Página 1 de 1								
<b>Cliente:</b> Empresas Públicas Municipales de Málaga <b>Entidad:</b> Empresas Públicas Municipales de Málaga <b>Dirección:</b> Calle 13 # 64-58 <b>Teléfono:</b> 3118051029	<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> Febrero 26 de 2024 <b>Fecha de Análisis:</b> Marzo - Abril de 2024 <b>Fecha de Emisión de Resultado:</b> Abril 18 de 2024	<b>Departamento:</b> Santander <b>Municipio:</b> Málaga <b>Vereda:</b> N.S.	<b>Finca:</b> N.S. <b>Cultivo:</b> Saúco								
<b>RESULTADO DEL ANÁLISIS FOLIAR</b>											
<b>Código muestra</b> <b>F-025</b>	<b>N</b> 1,44	<b>P</b> 0,39	<b>K</b> 1,38	<b>Ca</b> 1,12	<b>Mg</b> 0,23	<b>S</b> 0,24	<b>B</b> 21	<b>Fe</b> 69	<b>Mn</b> 29	<b>Cu</b> 3	<b>Zn</b> 40
			%			mg/kg					
<b>PARÁMETROS</b> N: Nitrógeno P: Fósforo Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn B: Boro S: Azufre	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b> Kjeldahl-Titrimétrico Digestión Tejido Vegetal via seca y cuantificación Espectrofotométrica UV-Visible. Digestión del tejido vegetal via seca y cuantificación por Espectrofotometria de Absorción Atómica. Calcinación a 540°C y cuantificación método Azometina - H Digestión via Húmeda-Abierta y cuantificación turbidimétrica			<b>NOTAS</b> Nota 1: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. Nota 2: Estos resultados son válidos unicamente para las muestras suministradas por el cliente. Nota 3: La contra muestra se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. Nota 4: El ensayo de Nitrógeno es subcontratado. Nota 5: Información y muestra suministrada por el cliente.			<b>ABREVIATURAS</b> N.D.: No detectable a la concentración mínima establecida por el método. N.S.: No Suministrado por el Cliente. N.A.: No Aplica				
<b>OBSERVACIONES:</b> A.F. - 10.						VoBo:  Luz Yolanda Vargas Fiallo Directora Química, M.Sc Química UIS MP PQ 1144					