



FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

Universidad Nacional de La Pampa

**“USO DE CROMATOGRAFÍA EN PAPEL PARA EL
ANÁLISIS DE PROPIEDADES DEL SUELO EN BOSQUE DE
PROSOPIS CALDENIA BAJO DIFERENTES MANEJOS EN
LA RESERVA NATURAL PARQUE LURO”**

WENTENAO MELZI, Alejandra Anahí

**TESINA PRESENTADA PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERA EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

AÑO 2023



Prólogo

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniera en Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y la Facultad de Agronomía (UNLPam), durante el período comprendido entre Abril 2022 y Diciembre 2023 bajo la dirección de Dr. Cotroneo Santiago y bajo la codirección de Dr. Muiño Walter.

Alejandra Anahí Wentenao Melzi

12/12/2023



Agradecimientos

A la Universidad Nacional de La Pampa por seguir siendo una institución de educación pública, gratuita, laica y de calidad. Por permitirme realizar esta tesis de grado y brindarme los espacios necesarios en mi afán de iniciarme en un camino antes no explorado.

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por haberme brindado la oportunidad de formarme académicamente, ser un lugar de encuentros y múltiples aprendizajes.

A mi familia por su apoyo incondicional durante estos años, todo su amor y acompañamiento en cada paso.

Al codirector Walter Muiño quien supo guiarme, acompañarme en el muestreo y relevamiento, brindarme herramientas y su saber durante el desarrollo de esta tesina.

Al director Santiago Cotroneo por sus recomendaciones y sugerencias a pesar de la distancia, por haber accedido a dirigirme.

A Mirta Castaño, que fue la primera en darme el espacio en el laboratorio para iniciar la exploración de la técnica y con quien realizamos las primeras pruebas.

A Fabiola Pagliero por su predisposición en toda la gestión de los laboratorios para que pudiera realizar análisis por mi cuenta, ayudarme en la realización de los mismos y su tiempo.

A Mariela Ambrosino por su enorme paciencia en la explicación, interpretación y realización de los análisis estadísticos. Además de compartir sus saberes académicos, colaboró en formatos y estructuras del trabajo.

A Carlos Anzorena por presentarme la técnica, fue quien me impulsó a desarrollar mi tesina en base a la misma.

A Cristian Crespo por enseñarme el paso a paso de la cromatografía, compartirme su conocimiento adquirido tras años de observar cromatogramas y paciencia en el aprendizaje.



A Matías Melchor, compañero con quien iniciamos la investigación, realizamos nuestros primeros cromatogramas y armamos nuestro laboratorio casero cromatográfico.

A Gisela López y Mónica Álvarez Redondo, docentes que mostraron interés y que me alentaron en mi investigación en la cátedra de Manejo de Bosques Naturales.

A las jurados Gisela López, Patricia García Arhex y Lucía Fernández por sus dedicadas correcciones y sugerencias en la presentación de la tesina.

A Marcelo Warnes, por brindarme su conocimiento y experiencias, todas las llamadas y reuniones virtuales para esclarecer mis dudas.

A Florencia Varela por sus aportes, detalles y cuestionamientos que mejoraron la precisión del proyecto.

Al personal técnico de cada uno de los laboratorios donde realicé los análisis, por ayuda y enseñanzas. También a quienes facilitaron elementos, reactivos y protocolos.

Al personal de áreas protegidas de la Subsecretaría de Ambiente de La Pampa por brindarme los permisos de ingreso a la Reserva Provincial Parque Luro.

Todxs mis amigxs que estuvieron sosteniéndome, por su cariño y aliento durante todo el trayecto. Son la base.

Y finalmente a todas aquellas personas que se interesaron en la técnica, el proyecto, las que confiaron muestras de sus suelos para generar cromatogramas y las que me han ayudado de formas variadas, cuyos nombres no figuran aquí.

Alejandra Anahí Wentenao Melzi

12/12/2023



Resumen

Las áreas protegidas son espacios geográficos definidos dedicados a la conservación de la biodiversidad, de los recursos naturales, de servicios ambientales y de valores culturales y/o estéticos asociados. El suelo es uno de los recursos protegidos por sus múltiples funciones de reconocida importancia como base para el desarrollo de la vida. Como consecuencia de la sobre-explotación agrícola, el uso de agroquímicos, desmonte, incendios, combinados con eventos de sequías o inundaciones, los suelos se degradan. Para evaluar el estado de las propiedades (físicas, químicas y biológicas) de los suelos usualmente se realizan análisis cuantitativos en laboratorio. En este trabajo se explora un método cualitativo accesible para técnicos/as de campo y productores/as llamado cromatografía en papel circular. Para ello, se realizaron cromatogramas a partir de muestras de suelos de la Reserva Natural Parque Luro de áreas con distinto manejo (quema prescrita = Q, raleo selectivo, herbicida y triturado de residuos vegetales = RHT, control sin intervención = C) y se compararon con los resultados obtenidos por técnicas convencionales de laboratorio. En todos los tratamientos se observaron cromatogramas con atributos cualitativos y cuantitativos consistentes con los resultados de laboratorio, y diferencias estadísticamente significativas en algunos parámetros de ambas metodologías. Se destacan en el tratamiento RHT mayores porcentajes de carbono orgánico total y nitrógeno total, valores de pH más ácidos y coloraciones y tamaños del cromatograma (más oscuras todas las zonas y amplia zona central) que denotan mayor aireación, en relación a los tratamientos Q y C. Más allá de estas diferencias, los tres tratamientos del área protegida reflejaron buena salud del suelo. Los resultados de este trabajo permiten constatar la sensibilidad de la técnica a los cambios recientes en el suelo, aportan cromatogramas de referencia y una línea de base para la interpretación conjunta y el uso complementario de ambas técnicas en el área de estudio.



Abstract

Protected areas are defined geographical spaces dedicated to the conservation of biodiversity, natural resources, environmental services and associated cultural and/or aesthetic values. Soil is one of the resources protected due to its multiple functions of recognized importance as a basis for the development of life. As a consequence of agricultural overexploitation, the use of agrochemicals, clearing, fires, combined with drought or flood events, soils are degraded. To evaluate the state of the properties (physical, chemical and biological) of soils, quantitative analysis are usually carried out in the laboratory. This work explores a qualitative method accessible to field technicians and producers called circular paper chromatography. To this end, chromatograms were made from soil samples from the Parque Luro Natural Reserve from areas with different management (prescribed burning = Q, selective thinning, herbicide and shredding of plant residues = RHT, control without intervention = C) and they were compared with the results obtained by conventional laboratory techniques. In all treatments, chromatograms with qualitative and quantitative attributes consistent with laboratory results were observed, and statistically significant differences in some parameters of both methodologies. Highlights in the RHT treatment are higher percentages of total organic carbon and total nitrogen, more acidic pH values and colorations and sizes of the chromatogram (darker in all areas and a large central area) that denote greater aeration, in relation to the Q and C treatments. Beyond these differences, the three protected area treatments reflected good soil health. The results of this work allow us to verify the sensitivity of the technique to recent changes in the soil, provide reference chromatograms and a baseline for joint interpretation and complementary use of both techniques in the study area.



ÍNDICE

| | |
|--|------------|
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | IX |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XII |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. OBJETIVOS..... | 7 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL..... | 7 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 7 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 8 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDIO..... | 8 |
| 3.2 MUESTREO DE SUELOS Y TRATAMIENTOS..... | 8 |
| 3.3 ANÁLISIS CUANTITATIVOS DE LABORATORIO..... | 14 |
| 3.3.1 Físicos..... | 14 |
| 3.3.2 Químicos..... | 15 |
| 3.3.3 Biológicos..... | 16 |
| 3.4 ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO..... | 16 |
| 3.4.1. Valoración basada en atributos..... | 24 |
| 3.4.2 Valoración basada en mediciones..... | 25 |
| 3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 26 |
| 4. RESULTADOS..... | 27 |
| 4.1 ANÁLISIS CUANTITATIVOS DE LABORATORIO..... | 27 |
| 4.1.1 Físicos..... | 27 |
| 4.1.2 Químicos..... | 27 |
| 4.1.3 Biológicos..... | 29 |
| 4.2 ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO..... | 29 |
| 4.2.1 Valoración basada en atributos..... | 29 |
| 4.2.2 Valoración basada en mediciones..... | 31 |
| 5. DISCUSIÓN..... | 34 |
| 5.1 ANÁLISIS CUANTITATIVOS DE LABORATORIO..... | 34 |
| 5.2 ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO..... | 36 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 41 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 43 |



| | |
|---|-----------|
| 8. REFERENCIAS | 44 |
| 9. ANEXOS..... | 53 |
| ANEXO 1. PUNTOS GPS MUESTREO | 53 |
| ANEXO 2. CROMATOGRAMAS DE MUESTRAS COMPUESTAS..... | 54 |
| ANEXO 3. VALORACIÓN EN BASE A ATRIBUTOS | 63 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: A) Provincia Fitogeográfica del Espinal. B) Mapa del perímetro de la Reserva Provincial Parque Luro | 8 |
| Figura 2: Paisaje de sector de muestreo RHT. | 9 |
| Figura 3: Paisaje de sector de muestreo C..... | 10 |
| Figura 4: Paisaje del sector de muestreo Q. | 11 |
| Figura 5: Mapa ubicación de tratamientos dentro de RPPL..... | 12 |
| Figura 6: Mapa ubicación de puntos de muestreo en tratamiento RHT..... | 13 |
| Figura 7: Mapa ubicación de puntos de muestreo en tratamiento Q y ubicación de tratamiento C..... | 13 |
| Figura 8: Representación esquemática de la forma de extracción de las muestras con barreno en los 10 puntos de muestreo de cada tratamiento.. | 14 |
| Figura 9: Diseño de muestreo y composición de muestras compuestas..... | 14 |
| Figura 10: A) Barreno para la extracción de muestras. B) Muestreo | 17 |
| Figura 11: Muestras rotuladas y georreferenciadas..... | 17 |
| Figura 12: A) Establecimientos de marcas indicadoras en papel de filtro B) Marcas medidas sobre filtro. C) Marcas establecidas.. | 18 |
| Figura 13: A) Filtro molde. B) Filtro marcado por los elementos punzantes tomando como referencia el filtro molde. C) Filtros identificados con lápiz..... | 18 |
| Figura 14: A) Trazado de cuadrícula de 2 cm x 2 cm en papel de filtro. B) Pabilos enrollados con ayuda de clavo. | 19 |
| Figura 15: Colocación de pabilo en filtro para la ejecución de la impregnación de nitrato de plata..... | 19 |
| Figura 16: Secado de filtros recomendado intercalando hojas y papel secante. | 20 |
| Figura 17: A) Mortero. B) Tamiz de 2 mm. C) Identificación de erlenmeyers | 20 |
| Figura 18: A) Realización de agitación de muestra. B) Reposo final de muestras. C) Apreciación de acumulación de partículas más pesadas en el fondo de erlenmeyer..... | 21 |
| Figura 19: A) Extracción del sobrenadante y colocación en caja de Petri pequeña. B) Proceso de impregnación de filtro. C) Impregnación hasta marca de los 6 cm..... | 21 |

| | |
|---|----|
| Figura 20: Revelado de cromatogramas. | 22 |
| Figura 21: Identificación esquemática de las principales zonas de un cromatograma. | 23 |
| Figura 22: Mediciones realizadas en un cromatograma para su valoración y características patrones. | 25 |
| Figura 23: Mediciones desde el extremo hacia el centro del cromatograma. | 26 |
| Figura 24: a) Nitrógeno total (%), b) Carbono total (%) y c) relación COT/NT (%) registrados en los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$ | 28 |
| Figura 25: pH registrado en los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$ | 28 |
| Figura 26: a) Respiración microbiana ($\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) y b) Relación RM/COT (%) registrados en los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$ | 29 |
| Figura 27: Puntajes para los atributos en los cromatogramas: color, integración y forma asignados a los tratamientos: RHT, C y Q en a) Zona Central, b) Zona Interna, c) Zona Intermedia y d) Zona Externa. | 31 |
| Figura 28: Radio total (mm) medido en los cromatogramas de los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$ | 32 |
| Figura 29: Radio Zona Central (mm) medido en los cromatogramas de los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$ | 32 |
| Figura 30: Amplitud zona media (mm) medida en los cromatogramas de los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$ | 33 |
| Figura 31: Amplitud zona externa (mm) medida en los cromatogramas de los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$ | 33 |



ANEXO 2

| | |
|--|----|
| Figura A1: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta RHT 1 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos. | 54 |
| Figura A2: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta RHT 2 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos. | 55 |
| Figura A3: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta RHT 3 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos. | 56 |
| Figura A4: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Control 1 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos. | 57 |
| Figura A5: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Control 2 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos. | 58 |
| Figura A6: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Control 3 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos. | 59 |
| Figura A7: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Quemado 1 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos. | 60 |
| Figura A8: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Quemado 2 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos. | 61 |
| Figura A9: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Quemado 3 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos. | 62 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Listado de vegetación en tratamiento RHT ordenadas por especie..... | 10 |
| Tabla 2: Listado de vegetación en tratamiento C ordenadas por especie..... | 10 |
| Tabla 3: Listado de vegetación en tratamiento Q ordenadas por especie..... | 11 |
| Tabla 4: Clave de interpretación. Fuente: traducido y adaptado de Barros 2020..... | 24 |
| Tabla 5: Características de los cromatogramas. Fuente: adaptado de López Rubio 2022. | 26 |
| Tabla 6: Fracciones minerales promedio de contenido de arcillas, limos y arenas de cada tratamiento: RHT, C y Q..... | 27 |
| Tabla 7: Cromatogramas de representativos de cada tratamiento: RHT, C y Q..... | 29 |

ANEXO 1

| | |
|--|----|
| Tabla A1: Puntos GPS de las muestras en tratamientos RHT, C y Q. | 53 |
| Tabla A2: Puntajes asignados para atributos (color, forma e integración) en zona central, zona interna, zona interna, zona intermedia y zona externa del cromatograma en las nueve muestras compuestas..... | 63 |

1. INTRODUCCIÓN

Las áreas protegidas (AP) son espacios geográficos definidos dedicados a la conservación de la biodiversidad de los recursos naturales, de servicios ambientales y de valores culturales y/o estéticos asociados. En Argentina, inicialmente el objetivo de la creación de estos espacios fue el de preservar las bellezas escénicas y paisajísticas, lo cual se ha mantenido, pero en el transcurso del tiempo se le ha comenzado a dar mayor importancia a aspectos ambientales, culturales, científicos, educativos y sociales (Morea, 2014).

Dentro de las funciones de las áreas protegidas se pueden mencionar la conservación de la estabilidad, funcionalidad y configuración de los ecosistemas; su desempeño como reservorios de biodiversidad, la regulación del clima, la provisión de materias primas y recursos entre otros. Existen diferentes formas de clasificar las funciones, por ejemplo Barragán (2001) en su trabajo presenta un detallado listado de las funciones que concilia los sistemas naturales con los económicos, donde las divide en reguladoras, productivas, portadoras e informativas. A pesar de los múltiples beneficios que brindan no suelen contar con el apoyo necesario frente a otras alternativas económicas de explotación a corto plazo, esto suele estar asociado a que se desconocen sus funciones e impactos en el largo plazo, además de las ventajas de lograr ejecutar un adecuado plan de manejo.

El bosque nativo es uno de los ecosistemas que se preservan en las AP, entendido como “los ecosistemas forestales naturales compuestos predominantemente por especies arbóreas nativas maduras, con diversas especies de flora y fauna asociadas, en conjunto con el medio que las rodea –suelo, subsuelo, atmósfera, clima, recursos hídricos-, conformando una trama interdependiente con características propias y múltiples funciones, que en su estado natural le otorgan al sistema una condición de equilibrio dinámico y que brinda diversos servicios ambientales a la sociedad, además de los diversos recursos naturales con posibilidad de utilización económica” según el artículo 2° de la Ley N°26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos (2007). La superficie de bosque nativo a nivel nacional es de aproximadamente 47.900.000 hectáreas, mientras que la superficie estimada para la ecorregión del Espinal según Cabrera (1994) es de 5.622.536 hectáreas, las cuales representan el 11,3% de los bosques nativos del país. Las provincias de La Pampa y Entre Ríos concentran el 64% de los bosques de la región (MAyDS, 2020).

El paisaje que caracteriza la ecorregión del Espinal es el de llanura plana a suavemente



ondulada, ocupada por bosques bajos, sabanas y pastizales sobre suelos loésicos y arenosos. Tiene una extensión de 29.952.988 hectáreas (SIB, 2023) luciendo como un gran arco que envuelve por el oeste al Pastizal, presenta un clima variable que va desde cálido y húmedo en el norte a templado y seco con marcados déficits hídricos en el oeste-sur. Se puede dividir en 3 subregiones o distritos: Espinal del Ñandubay, Espinal de los Algarrobos y Espinal del Caldén (Burkart *et al.*, 1999).

El Distrito del Caldén ubicado más al sur presenta un clima semiárido, considerado la transición entre la ecorregión de la Pampa y el Monte. El caldén (*Neltuma caldenia*) forma bosques xerófilos más o menos abiertos (caldenal), de unos ocho a diez metros de altura acompañado de un rico estrato gramíneo, además de otras especies leñosas como algarrobo (*Neltuma flexuosa*), chañar (*Geoffroea decorticans*) y sombra de toro (*Jodina rombifolia*) y molle negro (*Schinus fasciculata*). Según el Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos en la provincia de La Pampa el caldenal cubre aproximadamente 1.970.150 hectáreas (MAyDS, 2020).

Los continuos cambios de uso de la tierra y la creciente demanda de recursos naturales por parte de la población disminuyen o utilizan los espacios disponibles que quedan aún en condiciones naturales. El avance de la frontera agropecuaria ha convertido superficies forestales en tierras para agricultura e intensificado las actividades agrícolas, siendo estas las principales causas de la degradación de los ecosistemas actualmente. El mayor impacto se genera por la fuerte presión de uso de los suelos, promovida por una complejidad de factores naturales (variaciones climáticas), económicos (precios y rentabilidad de la ganadería y agricultura), sociales (cambios en la tenencia de la tierra) y tecnológicos (siembra directa, uso de agroquímicos, fertilizantes sintéticos, semillas modificadas genéticamente) (SAyDS, 2006).

El ecosistema del caldenal ha tenido una historia de manejo que ha llevado a su degradación, inicialmente por el escaso conocimiento del impacto que se generaría a nivel ambiental con su desmonte y tala. Durante fines del siglo XIX hubo un intenso proceso de deforestación en esta región, seguido del reemplazo de ganadería ovina por bovina de cría bajo pastoreo continuo. Esto ocasionó que las formaciones boscosas nativas se fueran arbustizando, disminuyendo la proporción de pastos de mejor calidad forrajera y aumentando la implementación de prácticas de manejo, como el rolado o la quema prescripta recurrente,



orientadas a recuperar la productividad forrajera (Real Ortellado, 2020).

Para contrarrestar esta tendencia a mayores pérdidas, en el país se ha desarrollado una red de 539 áreas protegidas que continentalmente cubren una superficie de 44.203.352 hectáreas, representando el 15,90 % de la superficie terrestre del país considerando además la existencia de áreas marinas protegidas (MAyDS, 2023). Se observa una tendencia a la creación de nuevas áreas protegidas y el desarrollo de una legislación cada vez más interesada en la protección del recurso forestal debido a la existencia de una mayor preocupación de la sociedad por los problemas ambientales (SAyDS, 2006). Se pueden encontrar diferentes tipos de áreas protegidas incluyendo AP nacionales, provinciales y municipales en el Espinal. Dentro de las 5 áreas protegidas provinciales (SALP, 2023) que conservan una muestra de esta ecorregión se encuentra la reserva de mayor superficie protegida de bosques de caldén, la Reserva Provincial Parque Luro (RPPL).

Dentro de RPPL se observan diferentes fisonomías del bosque, hacia el Noreste existe un sector de bosque denso con arbustal abierto en buen estado de conservación (40-65% de cobertura del estrato arbóreo y 20-40 % de cobertura del estrato arbustivo) y otro sector Sureste de bosque cerrado con arbustos (75-100% de cobertura arbórea y hasta 40% de cobertura arbustiva) según el esquema de clasificación propuesto por la Dirección de Recursos Naturales en el Anexo I de la Disposición N°337/16. En el marco del Plan de Conservación de Bosque Nativo de la RPPL se desarrollaron dos actividades vinculadas al ecosistema del caldenal en los sectores previamente mencionados: un plan operativo ante incendios forestales y un plan de intervenciones. Dentro de este último, se incluyeron tareas de raleo manual selectivo con motosierras y aplicación de herbicida en tocones, al material que no contaba con las dimensiones requeridas para postes o leña se lo pasaba por la trituradora y posteriormente era dispuesto sobre la superficie del suelo (POA, 2019).

Las intervenciones que se realizan en el bosque procuran la conservación del caldenal, incluyendo el suelo y las comunidades de flora y fauna nativa que habitan. Es importante proteger los paisajes de referencia ya que son los ecosistemas que sirven para evaluar los resultados de las intervenciones para la restauración, son útiles como puntos de referencia para comprender los procesos ecológicos ya que son sistemas altamente dinámicos (Sayer, 2005). Además, se debe considerar que, ante los inminentes efectos del cambio climático, las áreas protegidas cobrarán mayor importancia en los mecanismos de adaptación como



zonas seguras que ofrecen a la biodiversidad hábitats de buena calidad y son menos vulnerables a las condiciones climáticas extremas, además de funcionar como reservorios de genética (Mansourian *et al.*, 2009).

Entre los recursos naturales a los que se les brinda protección se encuentra el suelo, un recurso natural no renovable a escala temporal de la vida humana (FAO, 2015) considerado el sistema viviente de mayor dimensión de los ecosistemas (Acosta, 2007; Sánchez *et al.*, 2012). El suelo brinda sostén y permite el crecimiento de la vegetación proporcionando una fuente de agua y de nutrientes, funciona como hábitat de una amplia variedad de organismos y provee servicios ambientales como la captura de carbono, la amortiguación de disturbios o la depuración de contaminantes. (Geissert e Ibañez, 2008) El suelo es un sistema abierto en constante evolución, constituido por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una gaseosa y una líquida. Su formación es un proceso lento y complejo que involucra cambios físicos (causados por la acción del clima), químicos (por acción del agua, oxígeno, dióxido de carbono y los compuestos orgánicos) y biológicos (realizados por la flora, macrofauna, mesofauna y microfauna) (García *et al.*, 2012). Sin embargo, su degradación puede ocurrir rápidamente y sus tasas de regeneración son extremadamente lentas. Esto tiene consecuencias sobre su estructura y las redes metabólicas que sostiene (bajo y sobre el suelo), las cuales mantienen una constante interacción con el entorno afectando así la provisión de materia y energía (Sánchez *et al.*, 2012).

Debido a las características variables del ambiente, los suelos en la provincia de La Pampa se destinan a diferentes tipos de producciones agropecuarias que constituyen la base de la economía local. En el sector centro-este y noreste (especialmente) se concentra la producción agrícola por la presencia de suelos fértiles y mayores precipitaciones. Por su parte, la producción bovina (como también la apícola) se encuentra distribuida en toda la provincia, abarcando también las regiones centro y oeste cubiertas por vegetación leñosa (Real Ortellado, 2020).

Se sabe que el tipo de manejo puede generar cambios en la calidad de los suelos, entendida como “su capacidad para sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat” (García *et al.*, 2012). Para determinar el estado de los suelos se suelen realizar una serie de análisis cuantitativos convencionales estandarizados (Trio Maseda, 2016; Salinas Ovalle, 2019),



físicos (ej. textura, densidad aparente, tasa de infiltración), químicos (ej. pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica, nitrógeno) y biológicos (ej. respiración microbiana).

No obstante, existen métodos cualitativos no convencionales que suelen ser utilizados en el ámbito de diferentes disciplinas donde prevalece un enfoque holístico de los ecosistemas, como la agroecología, y que buscan ampliar el repertorio de técnicas accesibles para los productores/as y técnicos/as de campo. Estas técnicas no suponen contradicción alguna con las técnicas convencionales sino una ampliación y enriquecimiento de las mismas que, mediante el uso complementario, podrían ampliar el alcance de las técnicas de análisis de suelo (Trio Maseda, 2016).

El término cromatografía fue acuñado por primera vez en 1906 por el botánico Mijaíl Tswett quien utilizaba la cromatografía en columna para separar extractos vegetales coloreados. La palabra se compone de los términos griegos χρώμα (chrōma) que se traduce como “color” y γράφω (gráphō) que significa “escribir”, por ende, la palabra cromatografía significaría “escritura del color” o “registro del color” (Definiciona, 2023). La técnica consiste en un método físico de separación en el que los componentes a separar se distribuyen en dos fases, una de las cuales es estacionaria (fase estacionaria) mientras que la otra (fase móvil) se mueve en una dirección definida (IUPAC, 1997) . Posteriormente el químico Ehrenfried Pfeiffer (1899-1961) desarrolló la cromatografía circular utilizando muestras de suelo, basándose en sus estudios de microbiología y bioquímica (Pfeiffer, 1984) en sus investigaciones asociadas a la biodinámica.

Entre los llamados métodos de formación de imágenes se encuentra la cromatografía en papel circular, una técnica de análisis cualitativo que ha sido utilizada en suelos (Abad Santana, 2014; Cotroneo *et al.*, 2018; Medina Saavedra *et al.*, 2018; Trio Maseda, 2016), compostas (Heredia Reyes, 2012; Pfeiffer, 1984; Restrepo y Pinheiro, 2011) y biofertilizantes (Kumar *et al.*, 2014; Medina Saavedra *et al.*, 2018; Callisaya *et al.*, 2023). Este método físico de separación permite, a su vez, observar las relaciones entre los componentes que los constituyen mediante la interpretación de imágenes y detectar indicadores que no pueden ser determinadas por análisis cuantitativos, como por ejemplo la integración de las fracciones del suelo, es decir las interacciones entre los componentes químicos, físicos y biológicos.

Un cromatograma representa una imagen del estado actual del suelo, donde se puede observar la condición (integración o no) de las fracciones mineral, orgánica y biológica (Hernández Godínez, 2018), Follador (2015) describe el método como capaz de “retratar” los procesos biológicos. La interpretación del mismo es relativa y se realiza mediante la comparación con un cromatograma de referencia, obtenido a partir de un suelo en óptima condición (frecuente, suelos de áreas de reserva). Es un análisis de bajo costo, práctico porque los resultados se pueden interpretar rápidamente, fácil de ejecutar y accesible ya que puede ser realizado por cualquier persona que sea conocedora de la técnica, tampoco es necesaria una gran infraestructura de laboratorio. Puede ser utilizado como un indicador integrador de los distintos componentes del suelo y permite monitorizar constantemente la respuesta o impacto producido por las diferentes prácticas de manejo de los sistemas agrícolas (López Rubio, 2022)), lo cual podría ser adaptado a la respuesta de los sistemas naturales.

En investigaciones como la de Herrera Toapanta (2022) realizan los cromatogramas con sus respectivos análisis de suelo cuantitativos de laboratorio para develar ausencias o excesos vinculados a la fertilidad, con el objetivo de orientar los manejos o uso de enmiendas para lograr una mayor eficiencia de los cultivos. Consideran que la permanente constatación de los análisis cualitativos y cuantitativos pueda constituirse en una práctica de reconocimiento de la calidad de suelos que en el futuro solo requiera de la realización de los cromatogramas. Debido a su análisis de carácter relativo y valor a nivel local, los resultados de la cromatografía en papel pueden ganar robustez al ser comparados con resultados de análisis convencionales de los mismos suelos (Korkornaczka *et al.*, 2016; Perumal *et al.*, 2016; Trio Maseda, 2016; Aguirre *et al.*, 2019; Ford *et al.*, 2021; Tumbaco Chavarria, 2021; López Rubio, 2022). También se discute si mediante el estudio de secuencias de ADN de la diversidad microbiana es posible explicar mejor los cambios en las características del cromatograma que a través de la vinculación con los análisis cuantitativos de laboratorio (Ford *et al.*, 2021). Existen también estudios donde se han generado bases de datos para la comparación estadística del espectro RGB asociado al contenido de elementos, como el fósforo (Salinas Ovalle, 2019).

En la región del Caldenal no existen trabajos que contribuyan a realizar comparaciones entre los métodos convencionales estandarizados con los no convencionales. Tampoco existen



estudios del bosque dentro de áreas protegidas mediante métodos cromatográficos, la mayoría de las investigaciones asociadas a la cromatografía de suelo son dentro de sistemas productivos. La investigación más próxima al ecosistema de bosque es la de Aguirre *et al.* (2019) realizada en el campus de la Universidad de Magdalena en zona de vida del Bosque Seco Tropical. En virtud de ello, en este trabajo se investigó el potencial del método de cromatografía en papel circular de Pfeiffer para evaluar el estado de los suelos del bosque dentro de un área protegida.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la potencialidad de la cromatografía en papel para el diagnóstico de las propiedades del suelo en áreas de Bosque de Caldén bajo distinto régimen de disturbios.

2.2 Objetivos específicos

- Generar cromatogramas de referencia para suelos de bosque de *Neltuma caldenia* de áreas no intervenidas.
- Evaluar las diferencias entre cromatogramas de suelos de bosques bajo diferente historia de disturbios (quema prescripta, raleo selectivo + aplicación de herbicida + triturado) y los cromatogramas de referencia.
- Analizar la relación entre los resultados del análisis de cromatogramas y los análisis de laboratorio de algunas propiedades- físicas, químicas y biológicas- de los mismos suelos.

3. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

El estudio fue llevado a cabo en la Reserva Provincial Parque Luro (RPPL) (36°55' S, 64°17' O) ubicada en el Departamento Toay en la provincia de La Pampa a 35,7 km de la ciudad de Santa Rosa (Fig. 1). Desde el punto de vista fitogeográfico pertenece al Distrito del Caldén de la Provincia del Espinal (Cabrera, 1994). El clima es templado con temperaturas máximas superiores a 35°C en verano y temperaturas mínimas de -6°C. La precipitación media para esta zona es de 676 mm y los vientos son predominantes del Sector Norte con mayor velocidad durante los meses de primavera. El suelo del área de estudio es de tipo haplustol éntico, presenta textura franco arenosa con poca diferenciación de horizontes y leve estructuración (Cano *et al.*, 1980).

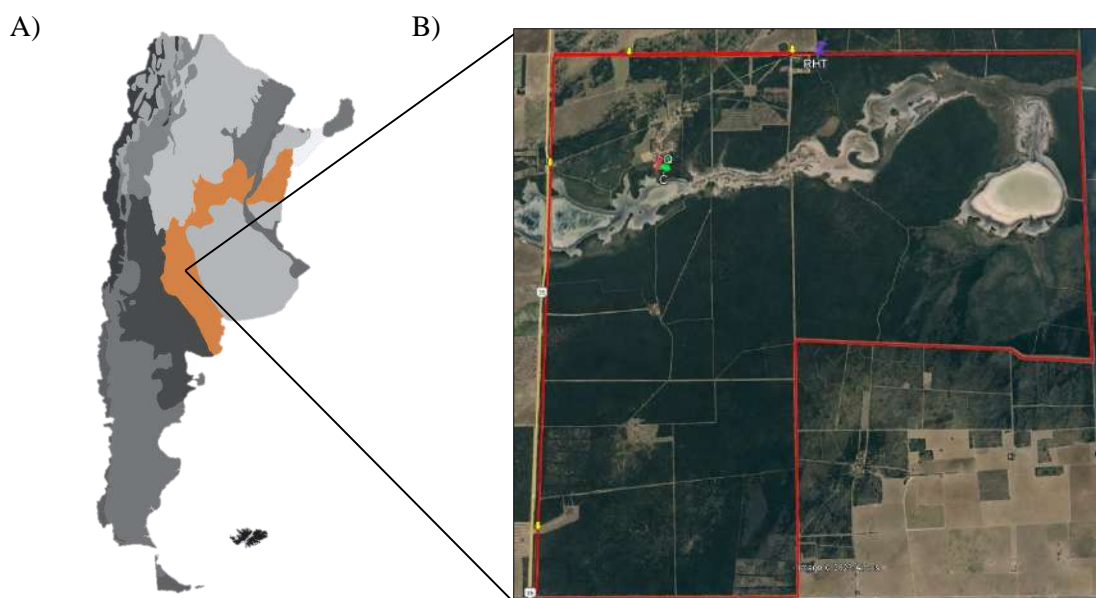


Figura 1: A) Provincia Fitogeográfica del Espinal. B) Mapa del perímetro de la Reserva Provincial Parque Luro (perímetro en color rojo). *Fuente:* edición sobre imagen *Google Earth 2023*.

La RPPL fue creada el 30 de mayo de 1996 (Ley Provincial N°1.689) con el objetivo de establecer un área protegida del ecosistema del caldenal. Dentro de la reserva la vegetación dominante es un bosque abierto caducifolio de *Neltuma caldenia* (5.900 ha), unidad de vegetación en la que se centra este trabajo. Otros ambientes son el salitral (790 ha) y médano/pastizal psamófilo (450 ha) (Duval, 2017).

3.2 Muestreo de suelos y tratamientos

Durante la primavera en noviembre del año 2020, dentro de la comunidad de bosque, se

seleccionaron 3 áreas de muestreo, dos de ellas que habían sido intervenidas bajo diferente manejo dentro del Plan Operativo Anual (POA) de la RPPL: I) raleo selectivo, aplicación de herbicida y triturado (RHT), II) área control (C) y III) quema prescrita (Q) en el sector cortafuego. En cada área se realizó un relevamiento de la vegetación con el fin de identificar las especies presentes y la condición actual de la vegetación.

Tratamientos:

- I. Tratamiento RHT: raleo selectivo combinado con tratamiento manual y con motosierra, donde posteriormente se realizó aplicación de herbicida sólo en tocones y la utilización de una trituradora forestal con los residuos forestales (Fig. 2). Tareas realizadas con el fin de prevenir la incidencia y expansión de fuegos mediante la disminución del material combustible durante el período de marzo a agosto de 2019. La vegetación corresponde a un bosque de caldén maduro con tres estratos bien diferenciados: arbóreo, arbustivo y herbáceo conformado por especies típicas de esta comunidad (Tabla 1). La mayoría de las especies registradas fueron nativas, siendo 10 especies nativas y 1 exótica. Esta última, presente en gran proporción (*Chenopodium album*) es consecuencia de una alta disponibilidad de nutrientes y de ingreso de luz inmediato debido al tratamiento de raleo y triturado.



Figura 2: Paisaje de sector de muestreo RHT. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

Tabla 1: Listado de vegetación en tratamiento RHT ordenadas por especie.

| Especie | Nombre vulgar |
|---|-----------------|
| <i>Aloysia gratissima</i> | Azahar de monte |
| <i>Bromus catharticus var rupestris</i> | Cebadilla |
| <i>Chenopodium album</i> | Quínoa |
| <i>Clematis montevidensis</i> | Barba de viejo |
| <i>Geoffroea decorticans</i> | Chañar |
| <i>Jarava ichu</i> | Paja blanca |
| <i>Lycium chilense</i> | Yaoyín |
| <i>Nassella tenuissima</i> | Paja fina |
| <i>Neltuma caldenia</i> | Caldén |
| <i>Schinus fasciculata</i> | Molle |
| <i>Setaria lachnea</i> | Cola de zorro |

- II. Tratamiento C: reserva de bosque caducifolio con 26 años de clausura (Fig. 3). La caracterización de la comunidad (Tabla 2) es similar a la indicada en el área RHT. Se observaron aquí algunos componentes adicionales, como *Atriplex undulata*, que denotan la influencia de cierta salinidad en el suelo por cercanía a la costa de la laguna. La presencia de *Chenopodium album* indica cierto estado de alteración como son las áreas de suelo desnudo en las que esta especie encuentra condiciones apropiadas para su establecimiento.



Figura 3: Paisaje de sector de muestreo C. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

Tabla 2: Listado de vegetación en tratamiento C ordenadas por especie.

| Especie | Nombre vulgar |
|--------------------------|---------------|
| <i>Atriplex undulata</i> | Zampa crespa |

| | |
|--|----------------|
| <i>Bromus catharticus</i> var <i>rupestris</i> | Cebadilla |
| <i>Chenopodium album</i> | Quínoa |
| <i>Geoffroea decorticans</i> | Chañar |
| <i>Jarava ichu</i> | Paja blanca |
| <i>Jodina rhombifolia</i> | Sombra de toro |
| <i>Lycium chilense</i> | Yaoyín |
| <i>Nassella tenuissima</i> | Paja fina |
| <i>Neltuma caldenia</i> | Caldén |
| <i>Schinus fasciculata</i> | Molle |

III. Tratamiento Q: quema prescrita cercana a la zona de ingreso a la reserva que se descontroló por factores climáticos y se convirtió en un incendio en agosto de 2018. El muestreo se realizó en el sector más afectado en relación a su severidad y muerte del dosel, en el límite Este del área quemada donde se inició un cortafuego (Fig. 4). En esta comunidad se observaron los efectos propios de un disturbio antrópico como es el fuego de alta intensidad. La desaparición de especies arbustivas y herbáceas que se encuentran representadas en las anteriores comunidades fue un indicador de esta situación (Tabla 3). La destrucción de un banco de semillas de la comunidad original por las altas temperaturas se evidenció aquí por la presencia de terófitas como *Chenopodium album*, *Descurainia erodiifolia*, *Lepidium auriculatum* y *Lepidium bonariense* que encuentran un nicho adecuado para desarrollarse. La aparición de *Amelichloa brachychaeta*, una especie pirófila ausente en las anteriores comunidades constituye otro indicador de ese disturbio.



Figura 4: Paisaje del sector de muestreo Q. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

Tabla 3: Listado de vegetación en tratamiento Q ordenadas por especie.

| Especie | Nombre vulgar |
|--------------------------------|---------------|
| <i>Amelichloa brachychaeta</i> | Pasto puna |
| <i>Atriplex undulata</i> | Zampa crespá |
| <i>Chenopodium album</i> | Quínoa |
| <i>Condalia microphylla</i> | Piquillín |

| | |
|--------------------------------|---------------------|
| <i>Descurainia erodiifolia</i> | Altamisa colorada |
| <i>Geoffroea decorticans</i> | Chañar |
| <i>Hordeum stenostachys</i> | Centenillo |
| <i>Jarava ichu</i> | Paja blanca |
| <i>Lepidium auriculatum</i> | Yerba de la pastora |
| <i>Lepidium bonariense</i> | Yerba de la pastora |
| <i>Lycium chilense</i> | Yaoyín |
| <i>Melica argyrea</i> | Cebadilla agria |
| <i>Nassella tenuissima</i> | Paja fina |
| <i>Neltuma caldenia</i> | Caldén |
| <i>Schinus fasciculata</i> | Molle |
| <i>Senecio subulatus</i> | Romerillo |
| <i>Setaria viridis</i> | Cola de zorro |
| <i>Solanum alaeagnifolium</i> | Revienta caballo |

En cada área (Fig. 5) se tomaron 3 muestras compuestas de suelo que constituyen pseudoréplicas. A fin de abarcar la heterogeneidad espacial de cada área, cada muestra está compuesta por 10 submuestras tomadas al azar (Fig. 6 y Fig. 7) obtenidas a lo largo de una transecta de 120-150 m distanciadas a aproximadamente 15 m entre sí (Fig. 8). Cada punto de muestreo fue georreferenciado mediante GPS (ANEXO 1).



Figura 5: Mapa ubicación de tratamientos dentro de RPPL. *Fuente:* edición sobre imagen *Google Earth* 2023.

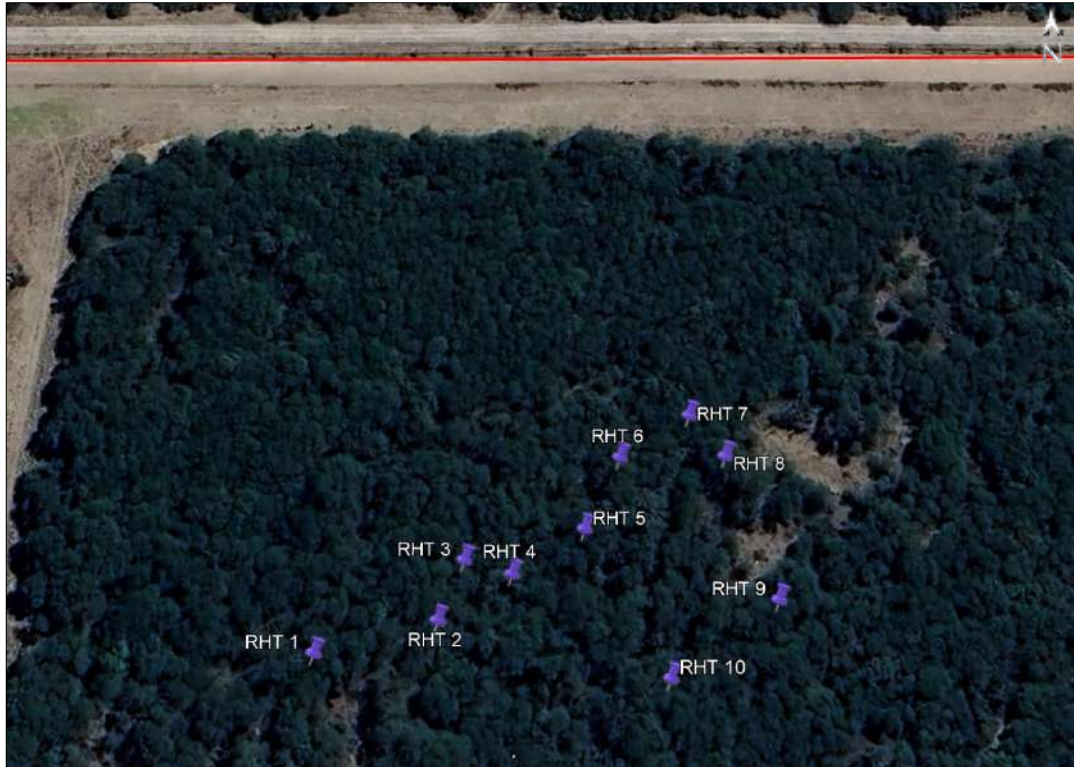


Figura 6: Mapa ubicación de puntos de muestreo (ANEXO 1) en tratamiento RHT (marcador violeta).

Fuente: edición sobre imagen *Google Earth 2023*.

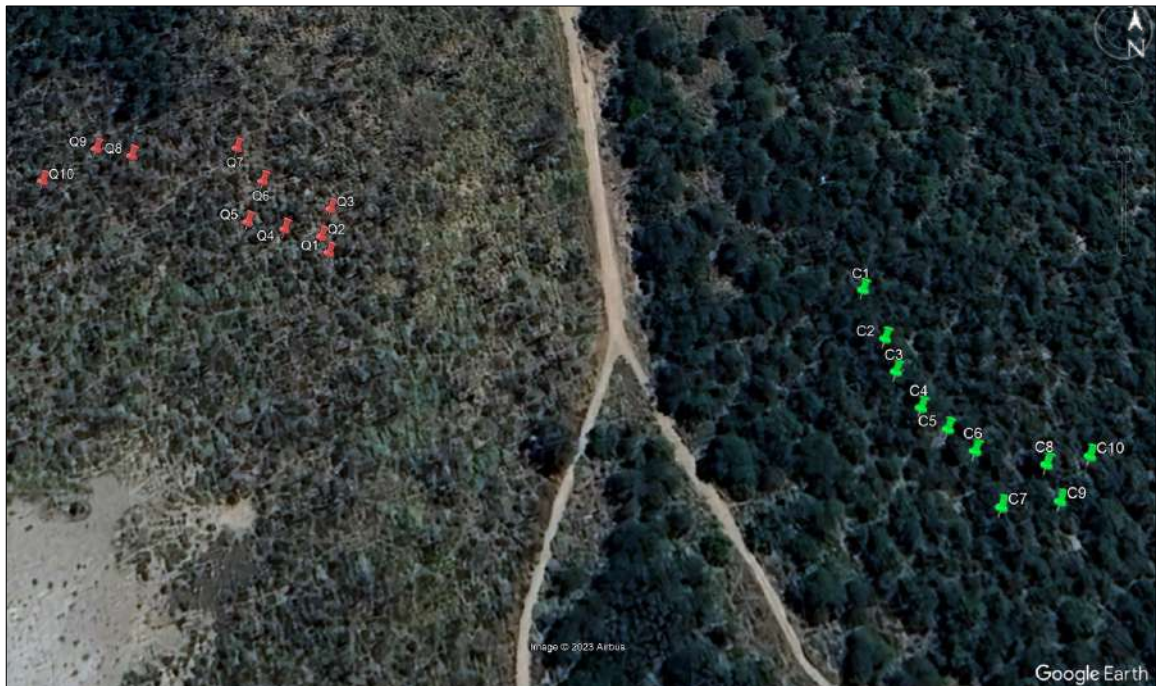


Figura 7: Mapa ubicación de puntos de muestreo (ANEXO 1) en tratamiento Q (izquierda, marcador rojo) y ubicación de tratamiento C (derecha, marcador verde). *Fuente:* edición sobre imagen *Google Earth 2023*.

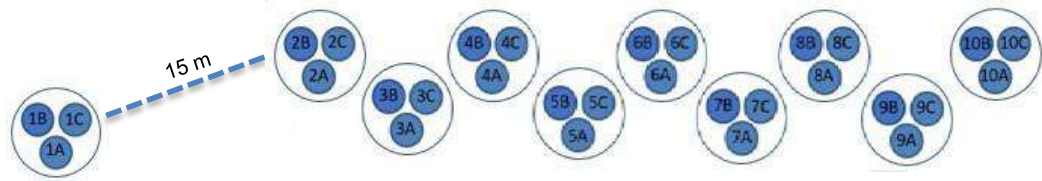


Figura 8: Representación esquemática de la forma de extracción de las muestras con barreno en los 10 puntos de muestreo de cada tratamiento. *Fuente:* elaboración propia.

Las muestras de suelo se colectaron con un barreno a una profundidad de 20 cm desde la superficie. En cada punto se realizaron 3 extracciones (A, B, C) a una distancia de 15 cm entre sí. Se obtuvieron así un total de 9 muestras compuestas (Fig. 9) que posteriormente se utilizaron para realizar los análisis cuantitativos (físicos, químicos y biológicos) y los análisis cromatográficos. Estas muestras fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm para hacer las determinaciones.



Figura 9: Diseño de muestreo y composición de muestras compuestas. *Fuente:* elaboración propia.

3.3 Análisis cuantitativos de laboratorio

- 3.3.1 Físicos: textura (Hidrómetro de Bouyoucos).
- 3.3.2 Químicos: pH actual, C orgánico total (Walkley & Black), N total (método Kjeldahl).
- 3.3.3 Biológicos: respiración microbiana (desprendimiento de CO₂).

3.3.1 Físicos



3.3.1.1 Textura: Método del Hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962)

Esta determinación permite cuantificar las fracciones texturales de los componentes minerales del suelo basado en la ley de Stocks. A través de la estimación de los porcentajes de arcilla, limo y arena se define la clase textural. Las clases texturales dentro del sistema USDA son 12 y se disponen en un triángulo textural (Soil Survey Staff, 2010). La determinación se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, UNLPam.

3.3.2 Químicos

3.3.2.1 pH: pH actual (Marbán y Ratto, 2005)

Permite cuantificar los iones H^+ presentes en la solución de suelo, el valor obtenido indica la acidez o alcalinidad del suelo. La determinación se hizo en una relación 1: 2,5 suelo: agua destilada, por potenciometría, la misma se realizó en el Laboratorio de Microbiología Aplicada de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam.

3.3.2.2 Carbono orgánico total (COT): Método Walkley & Black (Walkley, 1947)

Con este análisis se puede calcular el carbono orgánico oxidable, a partir del cual se puede estimar el contenido de materia orgánica multiplicando el valor de COT por el factor de Van Benmelen. Los resultados se expresaron en porcentajes (%). Se realizó en el Laboratorio de Microbiología Aplicada de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam.

3.3.2.3 Nitrógeno total (NT): método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982)

Permite obtener el valor total de las fracciones de nitrógeno orgánico e inorgánico por medio de una digestión húmeda de las muestras de suelo. Los resultados se expresaron en porcentajes (%). La determinación se realizó en el Laboratorio de Química de la Facultad de Agronomía, UNLPam.

Para cada muestra compuesta de suelo se calculó además la relación COT/NT, relación que tiene efectos en los procesos de descomposición y el ciclo del nitrógeno.

3.3.3 Biológicos

3.3.3.1 Respiración microbiana (RM) (Frioni, 1999)

Se determina evaluando el CO₂ liberado por gramo de suelo a partir de la incubación del mismo, para lo cual es necesario conocer previamente el porcentaje de humedad de las muestras. Unidad: ug C-CO₂. g⁻¹. d⁻¹. Se realizó en el Laboratorio de Microbiología Agrícola de la Facultad de Agronomía, UNLPam.

Se calculó también la relación RM/COT, también llamada susceptibilidad a la degradación biológica del carbono orgánico (Martínez *et al.*, 2019).

3.4 Análisis Cromatográfico

Con cada muestra de suelo se realizaron dos cromatogramas con el método propuesto por Restrepo y Pinheiro (2011) y en el caso de detectar fallas o anomalías (evidentes cuando ambos cromatogramas difieren entre sí) se realizaron cromatogramas adicionales hasta lograr uniformidad entre ellos. Los cromatogramas se realizaron en su totalidad en una misma jornada de trabajo. Descripción del procedimiento:

1. Obtención de muestra: se seleccionó el lugar para extraer la muestra, se despejó la superficie de vegetación u otros componentes como rocas, ramas o broza (Fig. 10) y se barrenó. Las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico con su etiqueta de identificación georreferenciada (Fig. 11). Inmediatamente luego del traslado se procedió a abrir las bolsas y se inició el proceso de secado.

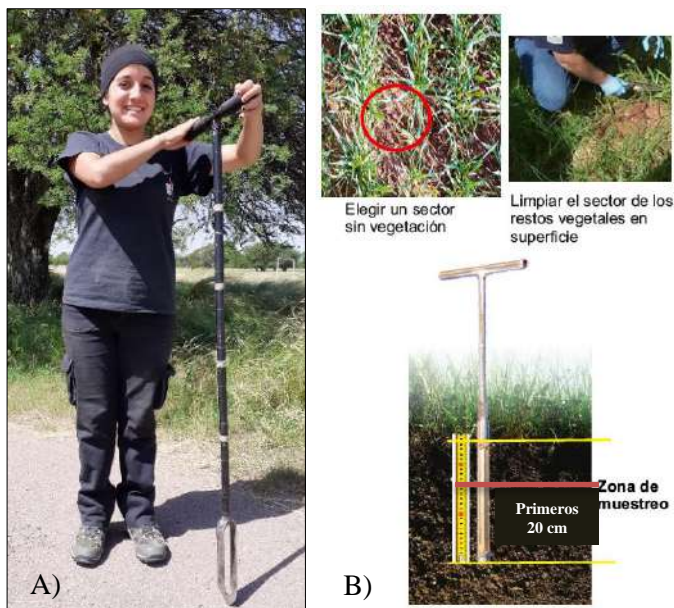


Figura 10: A) Barreno para la extracción de muestras. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.
B) Muestreo. *Fuente:* Warnes, 2015.



Figura 11: Muestras rotuladas y georreferenciadas. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

2. Secado de la muestra: el secado se realizó a temperatura ambiente, en un lugar donde no estuvieran en contacto con radiación solar directa; con mantener las bolsas abiertas fue suficiente, también se puede esparcir la muestra sobre un papel.
3. Preparación de filtros: se utilizó papel de filtro circular Whatman N°4 de 150 mm de diámetro, 22,5 mm de diámetro capilar y velocidad de flujo rápida.
Se le establecieron las marcas que indicadoras de las corridas (Fig. 12A), con la ayuda del clavo se fijó el centro del cromatograma insertándolo en el centro del papel de filtro y con una aguja (Fig. 12C) se hizo una marca a los 4 cm desde el centro y a los 6 cm (Fig. 12B).

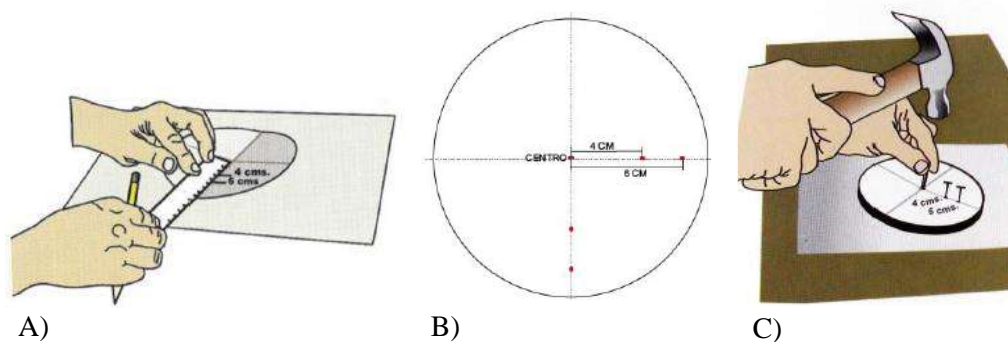


Figura 12: A) Establecimientos de marcas indicadoras en papel de filtro. *Fuente:* Restrepo y Pinheiro, 2011. B) Marcas medidas sobre filtro. *Fuente:* Warnes, 2015. C) Marcas establecidas. *Fuente:* Restrepo y Pinheiro, 2011.

Para facilitar operativamente este paso, se utilizó un “filtro molde” (Fig. 13A) el cual que se colocó sobre el filtro al que se le van a establecer las marcas y directamente se le atraviesan los elementos en los huecos establecidos (Fig. 13B). Luego, con un lápiz, se los identificó con el nombre de la muestra de suelo a analizar (Fig. 13C).

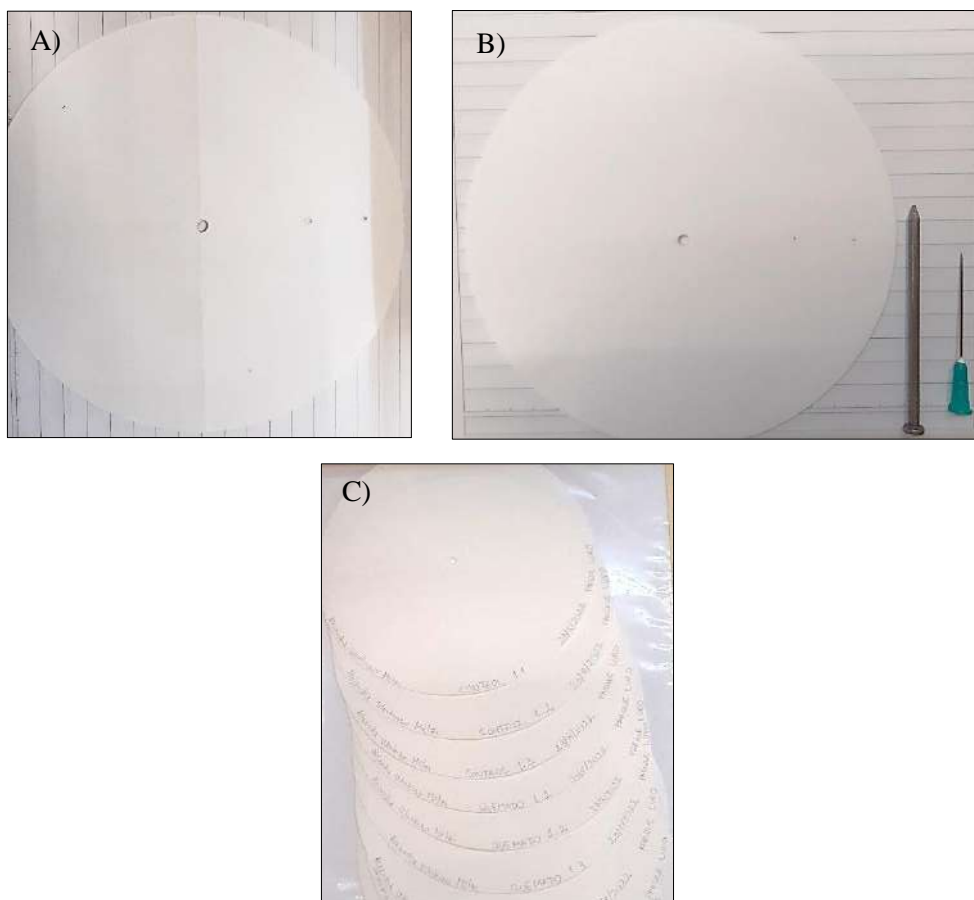


Figura 13: A) Filtro molde. B) Filtro marcado por los elementos punzantes tomando como referencia el filtro molde. C) Filtros identificados con lápiz. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

4. Elaboración de pabilos de impregnación: estos elementos son rollos de papel obtenidos de recortar con una tijera un papel de filtro en pequeños cuadrados de 2 cm x 2 cm (Fig. 14A), se enrollan sobre sí mismos formando un pequeño cilindro como muestra la Figura 14B. Se deben calcular el doble de la cantidad de muestras, ya que se utilizan para la impregnación de ambos reactivos.

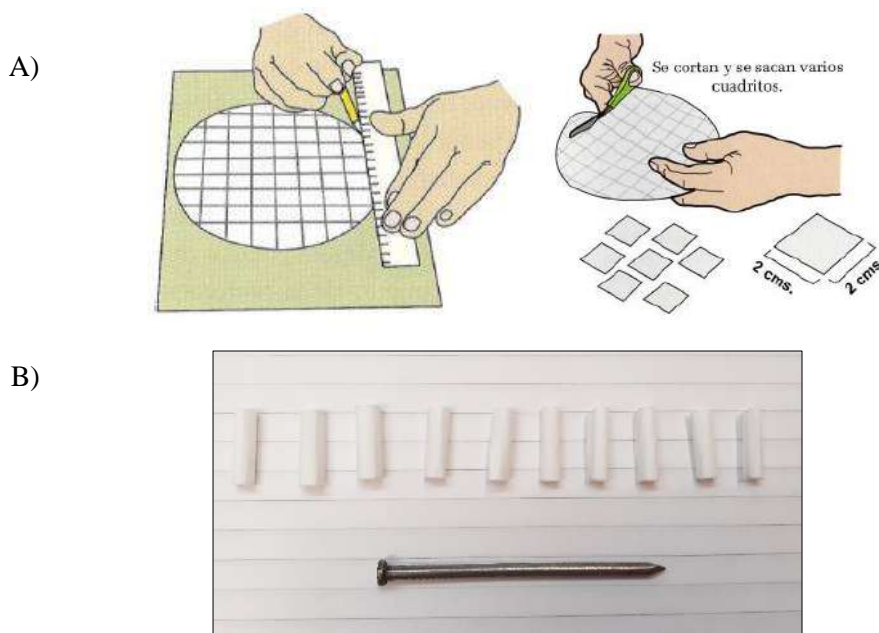


Figura 14: A) Trazado de cuadrícula de 2 cm x 2 cm en papel de filtro. *Fuente:* Restrepo y Pinheiro, 2011. B) Pabilos enrollados con ayuda de clavo. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

5. Impregnación del papel de filtro: el papel de filtro se impregnó con una solución de nitrato de plata (AgNO_3) al 0,5% a través de un pabilo insertado en el centro del cromatograma de forma transversal hasta que alcanzó la marca de los 4 cm, en ese momento se retiró el pabilo para desecharlo. En la caja de Petri (de menor tamaño) se dispusieron 2 ml de solución por filtro, la cual se colocó dentro de otra caja de Petri de mayor diámetro (Fig. 15).

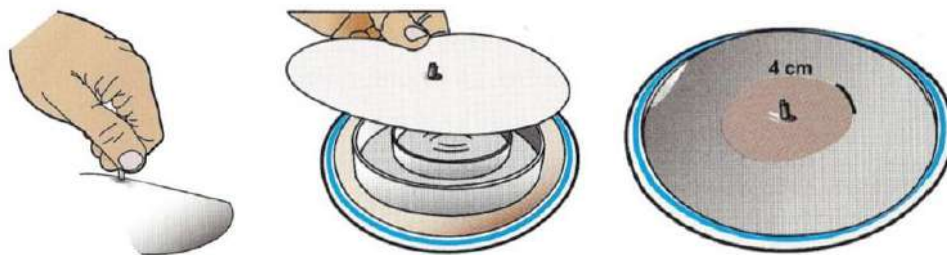


Figura 15: Colocación de pabilo en filtro para la ejecución de la impregnación de nitrato de plata. *Fuente:* Restrepo y Pinheiro, 2011.

Luego los filtros se dejaron secar a oscuras entre papeles secantes y hojas durante

4 a 6 horas (máximo 12 horas) dentro de una caja. Los mismos debieron ser manipulados con cuidado de no dejar huellas táctiles ni manchas, tarea para la cual se utilizaron guantes. Es importante recordar no realizar ningún tipo de presión sobre la pila de hojas, papel secante y filtros intercalados (Fig. 16) cuando se los están colocando dentro de la caja de secado.

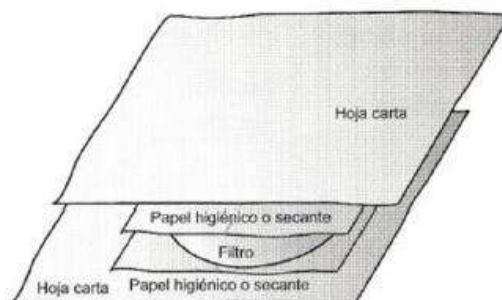


Figura 16: Secado de filtros recomendado intercalando hojas y papel secante. *Fuente:* Restrepo y Pinheiro, 2011.

6. Separación de componentes del suelo: por cada muestra de 5 gramos de suelo seco, molido con la ayuda de un mortero de cerámica (Fig. 17A) y tamizado (2 mm) (Fig. 17B) se usaron 50 ml de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 1%. Cada erlenmeyer de 250 ml fue rotulado con el nombre de la muestra (Fig. 17C).



Figura 17: A) Mortero. B) Tamiz de 2 mm. C) Identificación de erlenmeyers. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

La muestra dentro del erlenmeyer se agitó mediante movimientos circulares (6 giros a la derecha y 6 giros a la izquierda, repetir este procedimiento 6 veces) en tres momentos: inmediatamente (0 minutos), a los 15 minutos y a los 60 minutos (Fig. 18A). Luego se dejó en reposo absoluto durante seis horas (Fig. 18B) y se trabajó posteriormente con el sobrenadante (Fig. 18C).

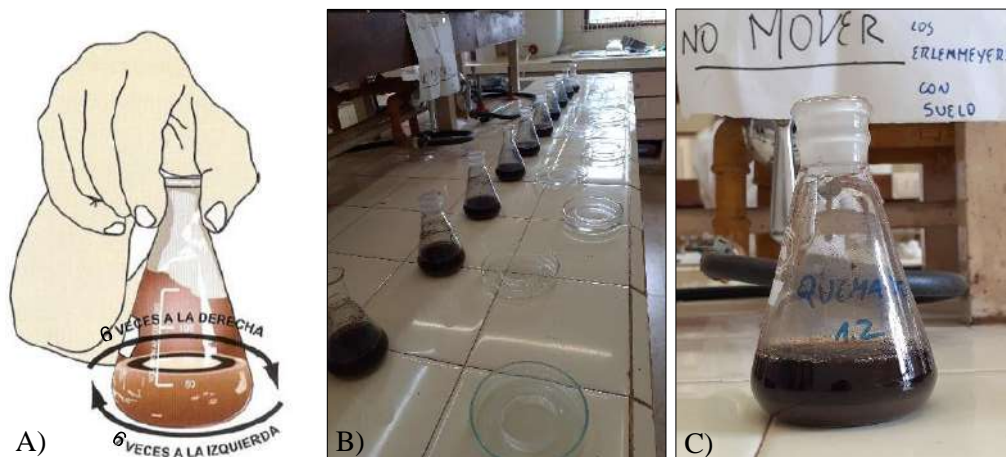


Figura 18: A) Realización de agitación de muestra. *Fuente:* Restrepo y Pinheiro, 2011. B) Reposo final de muestras. C) Apreciación de acumulación de partículas más pesadas en el fondo de erlenmeyer. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

7. Corrida de la muestra: sin agitar la muestra, con una pipeta se extrajeron 10 ml del sobrenadante de la solución del suelo con NaOH y se colocaron sobre una caja de Petri pequeña (Fig. 19A) para nuevamente sumergir un nuevo cilindro de papel o pabalo, en el centro del papel de filtro impregnado con AgNO_3 (Fig. 19B). La impregnación del filtro se efectuó hasta que alcanza la marca de los 6 cm (Fig. 19C).

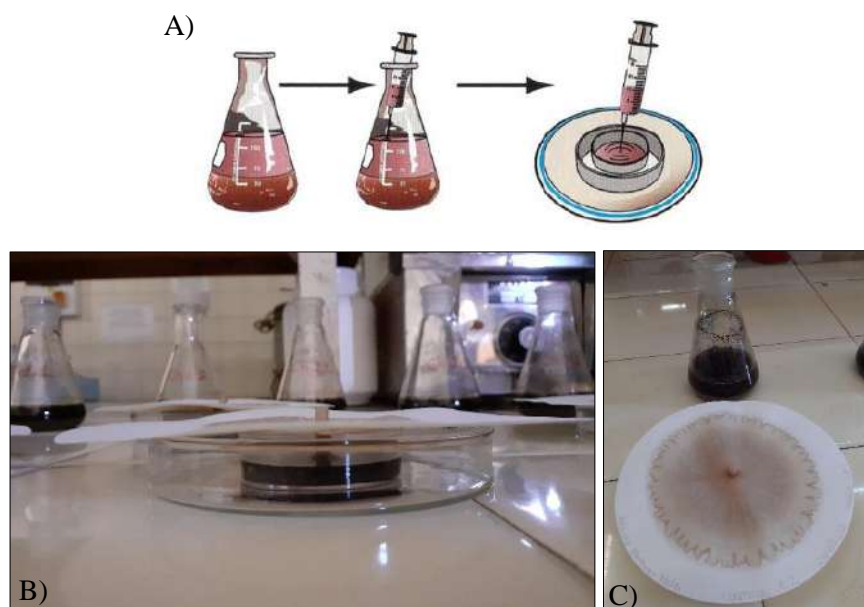


Figura 19: A) Extracción del sobrenadante y colocación en caja de Petri pequeña. *Fuente:* Restrepo y Pinheiro, 2011. B) Proceso de impregnación de filtro. C) Impregnación hasta marca de los 6 cm. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

8. Revelado: una vez secos, los discos se colocaron sobre en una ventana mediante un trozo de cinta de papel (Fig. 20). Es importante que los cromatogramas no se encuentren expuestos a la radiación solar directa para que se fije lentamente el revelado de la imagen del suelo muestreado. El revelado se efectuó durante una semana aproximadamente.



Figura 20: Revelado de cromatogramas. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

9. Archivo: finalizado el revelado, se procedió a escanear los cromatogramas a color (resolución 300 dpi) en formato TIF y se conservaron en un archivador (carpeta por ejemplo) colocando una hoja de papel entre cada disco para evitar que reaccionen entre sí.

El análisis de las características de los cromatogramas, la mayoría de las veces, es mediante el análisis cualitativo de las zonas (central, interna, intermedia y externa) (Fig. 21) que componen la imagen obtenida teniendo en cuenta su presencia, tamaño, color, formas, radiación e integración entre las mismas. La interpretación de los cromatogramas de suelos de áreas intervenidas se hace en relación al resultado de cromatogramas de referencia de zonas no intervenidas, las que se asume poseen suelos en excelente condición (Restrepo y Pinheiro, 2011). En dichos cromatogramas se analizan las cualidades y el tamaño de las diferentes zonas que los componen.

Los cromatogramas presentan diferentes zonas:

- La zona central (ZC) indica la oxigenación del suelo, suelos bien oxigenados presentan un color crema y se integra suavemente con la siguiente zona, en cambio

en suelos menos oxigenados el color puede ser oscuro o blanco y sus límites bien definidos.

- La zona interna (ZI) es donde se producen las reacciones con los minerales de la muestra y se encuentran las moléculas más pesadas, su entramado (formas de caminos o “plumas” desde el centro atravesando esta zona) refleja su relación con la microbiología del suelo. Su tamaño, color y formas son las características que permiten su interpretación.
- La zona intermedia (ZINT) (también llamada proteica o de la materia orgánica) refleja el contenido de carbono o materia orgánica y su integración con la zona externa indica su vinculación con la actividad biológica del suelo, ya que puede existir esta zona, pero su mera presencia no indica que precisamente esté integrada al suelo.
- La zona externa (ZE) (enzimática) está relacionada con las enzimas o el humus y se asocia con la vida en el suelo. Lo ideal es encontrar una zona externa con presencia de formas semejantes a nubes, pétalos o lunares color café en las terminaciones.

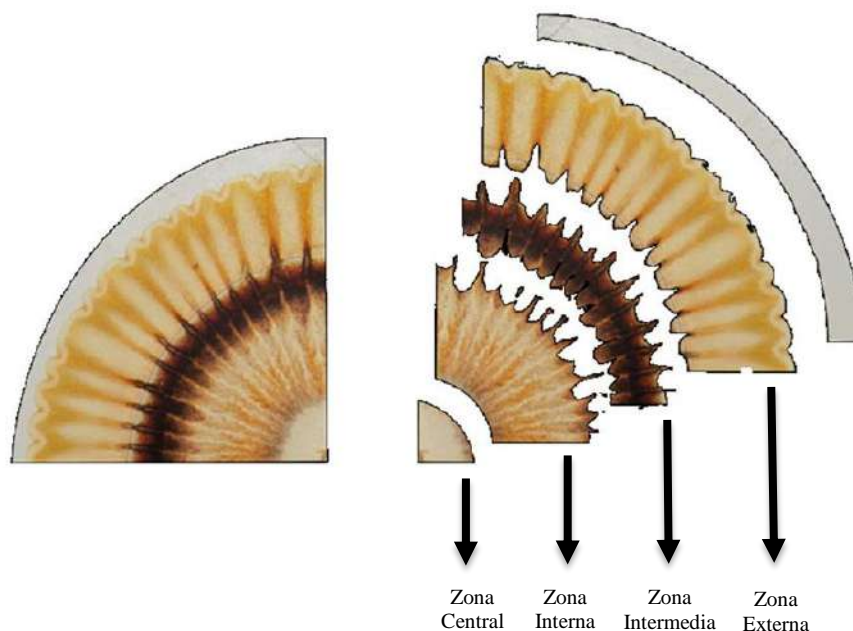


Figura 21: Identificación esquemática de las principales zonas de un cromatograma. *Fuente:* adaptado de Restrepo & Pinheiro, 2011.

Considerando estos aspectos, los cromatogramas fueron analizados bajo dos enfoques de

valoración: 1) valoración basada en atribución de puntos en una escala de valores visuales (de 1 a 3) para las características de color, forma e integración utilizando la clave de interpretación propuesta por Barros (2020) para cada una de las cuatro zonas antes mencionadas como se describe en la Tabla 4; y 2) valoración basada en las mediciones (mm) propuestas por Kokornaczyk *et al.*, (2016) utilizando un calibre.

3.4.1. Valoración basada en atributos

Tabla 4: Clave de interpretación. *Fuente:* traducido y adaptado de Barros 2020.

| ZONA | COLOR | FORMA | INTEGRACIÓN | PUNTAJE |
|------|---|---|---|---------|
| ZC | Color blanco o negro | Forma circular con borde liso definido | Transición de zona marcada por línea | 1 |
| | Color marrón claro | Forma circular con un borde liso ligeramente definido. | Desvanecimiento suave a la siguiente zona | 2 |
| | Color crema | Forma circular con borde irregular | Suave desvanecimiento y hendiduras en la zona próxima. | 3 |
| ZI | Color grisáceo, violeta o azulado. | Forma circular con borde liso definido | Ausencia de radiación. | 1 |
| | Color marrón oscuro o ligeramente grisáceo. | Forma circular con un borde liso ligeramente definido. | Presencia de radiación suave. | 2 |
| | Color marrón claro o amarillento. | Forma circular con borde irregular. | Presencia de radiación en forma de plumas. | 3 |
| Zint | Color gris muy oscuro o marrón muy oscuro. | Forma circular con borde exterior puntiagudo o grueso. | Ausencia de radiación y transición de Zint a la ZI marcada por una línea. | 1 |
| | Color marrón oscuro. | Forma circular con un borde exterior ligeramente puntiagudo, grueso o ligeramente irregular o una distancia inferior a 1,5 cm desde los valles del borde. | Presencia de radiación suave. | 2 |
| | Color marrón claro o amarillento. | Forma circular con un borde exterior de extremos irregulares y una distancia de al menos 1,5 cm desde los valles del borde. | Presencia de radiación en forma de plumas. | 3 |
| ZE | Color blanquecino. | Formas regulares de "dientes" o "brotos". | Ausencia de nubes. | 1 |
| | Color marrón claro sin manchas marrones o poco definidas. | Formas de "dientes" o "brotos" que no son muy regulares o formas grandes e irregulares. | Presencia de pocas nubes. | 2 |
| | Color marrón muy claro o amarillento con manchas marrón claro bien definidas. | Formas irregulares. | Presencia de muchas nubes (más de 3). | 3 |

Los atributos color y forma son posibles de analizar visualmente o utilizando una pequeña lupa. Para una mejor apreciación del atributo integración y así asignarle un puntaje, se invirtieron los colores de los cromatogramas utilizando un conversor de imagen online (PhotoAiD, 2023).

Cada uno de los atributos analizados en las zonas resultó en una puntuación de 1 a 3, siendo 1 para la condición no ideal, 2 para condición regular y 3 para condición ideal. Mediante la suma de los puntajes asignados se confeccionaron gráficos radiales para realizar la comparación entre los tratamientos respecto a los atributos presentes en las diferentes zonas.

3.4.2 Valoración basada en mediciones

Kokornaczyk *et al.* (2016) considera la medición de radio total (RT), radio de zona central (RZC) la más próxima a la perforación, amplitud zona intermedia (AZM) y amplitud zona externa (AZE) (Fig. 22). Todas las medidas se tomaron en vertical y en horizontal desde los extremos hacia el centro, se calcularon los valores medios (Fig. 23). Para esto se recurrió a la división del cromatograma en cuartos mediante una cruz superpuesta sobre un material transparente que permitiera la visión del cromatograma y redujera la manipulación del mismo al colocar el calibre por encima. Se respetaron las formas de picos o hendiduras de cada zona que se encontraba en la línea de la medición. Para la interpretación de las mediciones se utilizó como fuente la descripción del cromatograma propuesta por López Rubio (2022) (Tabla 5) que también aporta información sobre los atributos estudiados.

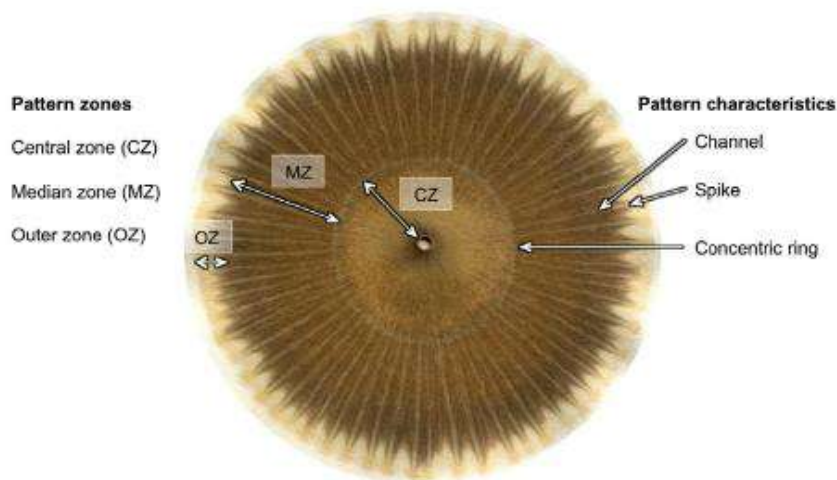


Figura 22: Mediciones realizadas en un cromatograma para su valoración (izquierda) y características patrones (derecha). *Fuente:* Kokornaczyk *et al.* 2016.

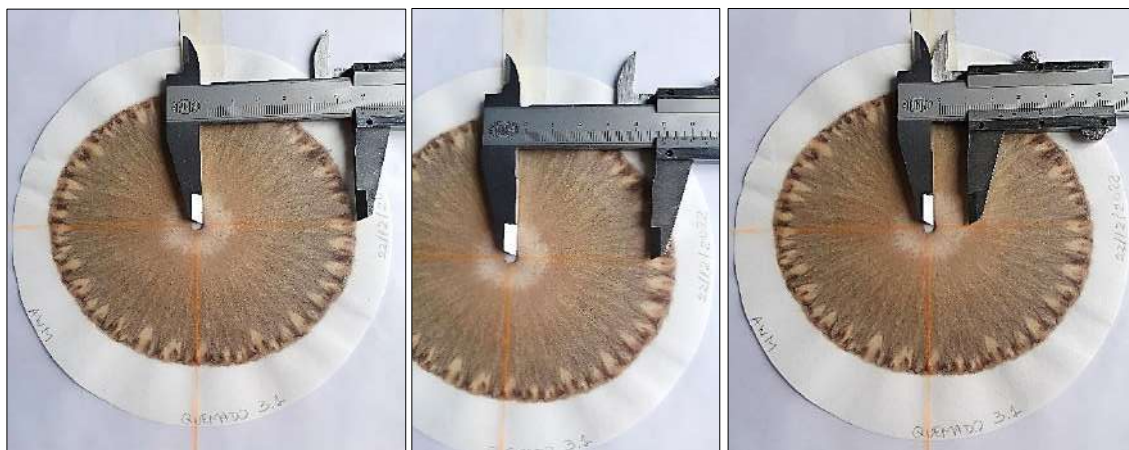


Figura 23: Mediciones desde el extremo hacia el centro del cromatograma. *Fuente:* Alejandra Wentenao Melzi.

Tabla 5: Características de los cromatogramas. *Fuente:* adaptado de López Rubio 2022.

| Características del cromatograma | Medida del parámetro | Interpretación | Abreviación |
|----------------------------------|--|--|-------------|
| Medición de Zonas | Radio Total (mm) | La suma de los componentes del suelo: minerales, carbono y humus. | RT |
| | Radio zona central (mm) | Los patrones en la zona central informan sobre la presencia de minerales, los cuales se detienen antes en el papel de filtro. Estado de la estructura y porosidad del suelo. | RZC |
| | Amplitud de zona intermedio (mm) | Esta zona indica la presencia de proteínas, carbono orgánico y materia orgánica. | AZM |
| | Amplitud de zona exterior (mm) | Las "nubes" en los extremos y formas de espigas indican la disponibilidad de nutrientes y humus para la vegetación. | AZE |
| Integración de las zonas | Ausente, leve o completamente integrado. | La integración de las diferentes zonas indica buena salud del suelo y la integración de los diferentes componentes en el mismo. | I |
| Canales | Ausentes, pocos o desarrollados | Los canales sugieren presencia de microbiología e integración. Un buen suelo presentará canales similares a plumas. | F |
| Picos | Ausentes, pocos o desarrollados | Los cabos anchos, largos y desiguales indican buenas condiciones del suelo, así como diversidad biológica. | F |
| Color | Intensidad del color | Colores cálidos y alta intensidad indican un suelo sano. Los colores más fríos sugieren suelos con menos carbono presente. | C |

3.5 Análisis Estadístico

Los datos cuantitativos de laboratorio y los obtenidos de la valoración en base a medidas de los cromatogramas se procesaron con el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020). Las variables se analizaron con ANOVA simple tomándose como factor: tratamiento. La comparación de medias se realizó mediante el Test de Tukey con un nivel de significancia del 0.05.

4. RESULTADOS

4.1 Análisis cuantitativos de laboratorio

4.1.1 Físicos

4.1.1.1 *Textura: Método del Hidrómetro de Bouyoucos*

Los tratamientos RHT y Q se situaron dentro de la misma clase textural, mientras que el tratamiento C presentó una textura Franca (Tabla 6).

Tabla 6: Fracciones minerales promedio de contenido de arcillas, limos y arenas de cada tratamiento: RHT, C y Q. *Fuente:* elaboración propia en *Excel 2013*.

| Muestra | Arcillas | Limos | Arenas | Textura |
|---------|----------|-------|--------|----------------|
| RHT | 6 | 30 | 64 | Franco Arenoso |
| C | 12 | 44 | 44 | Franco |
| Q | 8 | 38 | 54 | Franco Arenoso |

4.1.2 Químicos

4.1.2.1 *Nitrógeno total (NT), Carbono orgánico total (COT) y relación COT/NT*

Los diferentes tratamientos presentaron diferencias significativas, siendo RHT el que presentó mayores valores de porcentaje de NT respecto del Q y el C (Fig. 24a).

El tratamiento Q y el C son significativamente menores en porcentaje de COT a RHT, el cual posee mayor contenido, siendo así, más elevada su materia orgánica (Fig. 24b).

Respecto a la relación COT/NT si bien el análisis de datos no detectó diferencias significativas, se puede observar una tendencia a un porcentaje mayor y similar en C y RHT, y un menor porcentaje en el Q (Fig. 24c).

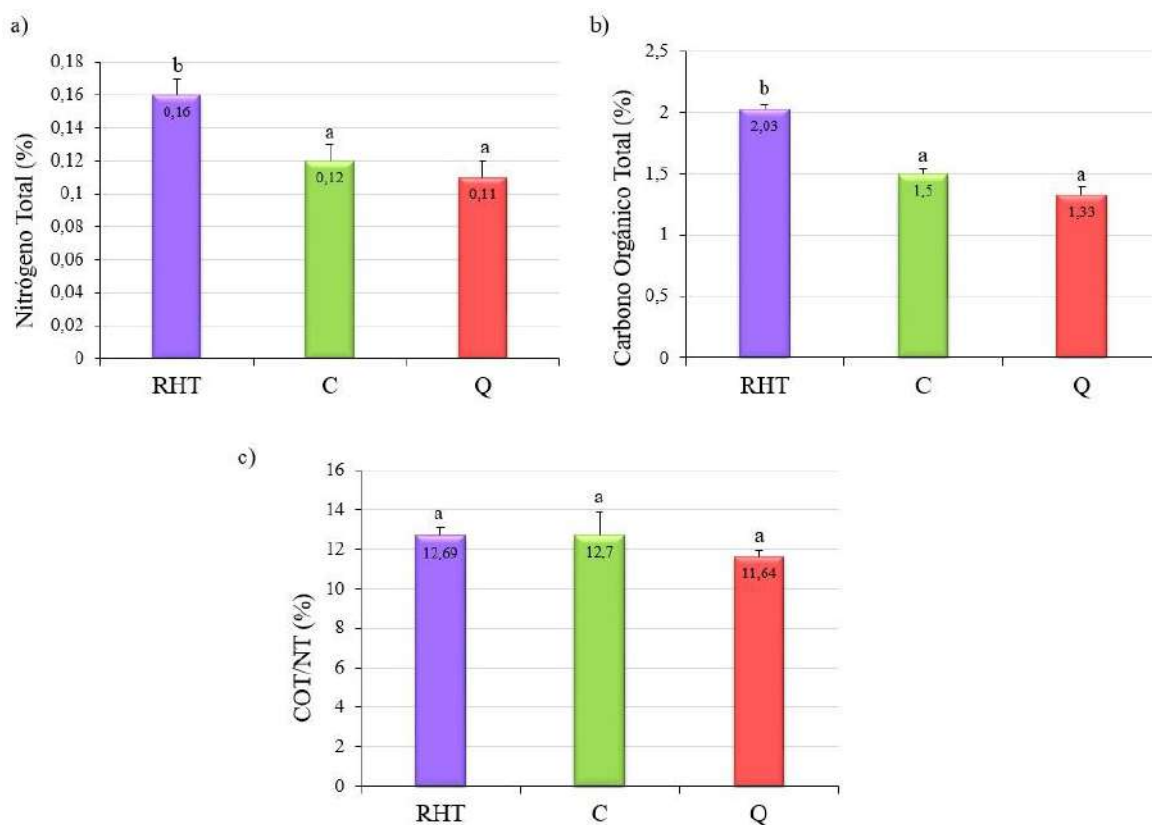


Figura 24: a) Nitrógeno total (%), b) Carbono total (%) y c) relación COT/NT (%) registrados en los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$. *Fuente:* elaboración propia en Excel 2013.

4.1.2.2 pH: pH actual

Los tratamientos C y Q presentaron un valor de pH significativamente más elevado que el tratamiento RHT (Fig. 25).

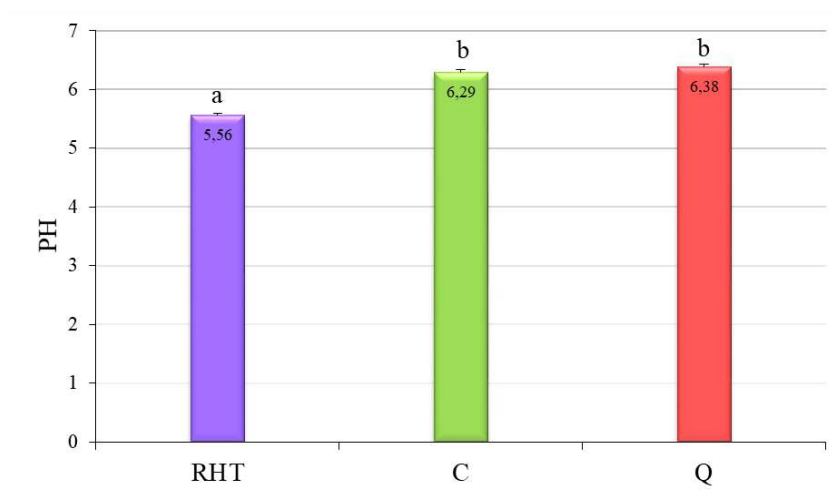


Figura 25: pH registrado en los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias

significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$.

Fuente: elaboración propia en Excel 2013.

4.1.3 Biológicos

4.1.3.1 Respiración microbiana y relación RM/COT

En ambas variables los análisis de datos no detectaron diferencias significativas. En el caso de la respiración microbiana se observó una tendencia a un incremento en la actividad de los microorganismos en las áreas en las que se aplicaron intervenciones versus el control (Fig. 26a). En cuanto a la relación RM/COT la tendencia indicaría que el tratamiento Q presenta una mayor relación que los otros dos tratamientos, siendo más contrastante con la situación del tratamiento RHT (Fig. 26b).

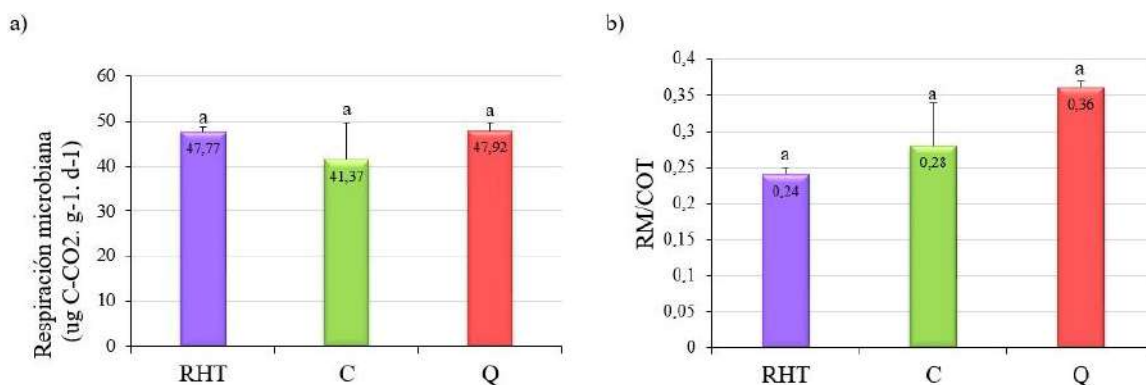
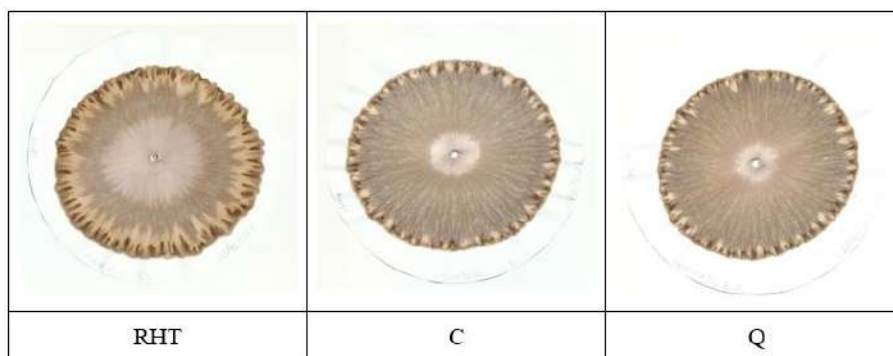


Figura 26: a) Respiración microbiana ($\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) y b) Relación RM/COT (%) registrados en los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$. *Fuente: elaboración propia en Excel 2013.*

4.2 Análisis cromatográfico

4.2.1 Valoración basada en atributos

Tabla 7: Cromatogramas representativos de cada tratamiento: RHT, C y Q. *Fuente: elaboración propia en Excel 2013.*



En la Tabla 7 se presenta un cromatograma representativo de cada tratamiento a fin de ejemplificar las diferencias visuales entre los mismos. Los puntajes promedio de los atributos color, integración y forma, de los cromatogramas de los tratamientos RHT, C y Q, se muestran en la figura 27. La imagen de los cromatogramas originales a color y presentados en colores invertidos se encuentra disponible en el ANEXO 2 (Cromatogramas de muestras compuestas). Los puntajes asignados a cada zona del cromatograma se encuentran en el ANEXO 3 (Valoración en base a atributos).

Los cromatogramas de C fueron los que obtuvieron mayores puntajes en relación a valoración de atributos, seguidos de Q y por último RHT. Las mayores diferencias se notaron en los puntajes en la ZI y ZE, sobre todo en los atributos color e integración.

Respecto a la ZC los cromatogramas de C y RHT presentaron una coloración crema ideal distinta de Q, el cual presenta un color marrón más claro denotando una condición regular. La forma circular con borde irregular solo se presentó en RHT, presentando Q una forma ligeramente más definida y C un estado intermedio. La integración con notables hendiduras en la zona siguiente estuvo presente en RHT, le sigue C con algunos cromatogramas que no presentaron las hendiduras pero si el suave desvanecimiento a la zona siguiente y Q sólo presentó ese tipo de desvanecimiento (Fig. 27a).

Para la ZI presentaron un color marrón claro C y Q en su mayoría, el tratamiento RHT presentó un color marrón oscuro. La forma circular con borde irregular fue detectada en C y Q en su totalidad, RHT se encuentra intermedio entre forma circular con borde ligeramente definido y forma circular con un borde liso ligeramente definido. La integración va decreciendo de C a Q a RHT, presentando esta primera la formación de canales en forma de plumas seguida por una radiación más suave con la aparición de algunos canales plumas y finalmente presencia de radiación suave respectivamente (Fig. 27b).

En la Zint ninguno de los tratamientos alcanzó el máximo puntaje, C y RHT presentaron color marrón oscuro, Q en promedio poseía coloraciones marrones más oscuras. La forma más desarrollada fue de RHT de extremos irregulares y una distancia de al menos 1,5 cm desde los valles del borde. Q y C también desarrollaban una forma circular con bordes ligeramente irregulares pero con una distancia inferior a 1,5 cm desde los valles del borde. La presencia de radiación en forma de plumas se desarrolló en C y Q siendo en la primera la

que presentó más cantidad de plumas que se fusionaban con las próximas, presentando una radiación más suave RHT (Fig. 27c).

En la ZE el tratamiento C presentó el color marrón más claro, seguido por Q con un marrón claro con manchas marrones poco definidas y RHT con color marrón claro. La forma en todos los tratamientos fue la ideal de formas irregulares. La integración va desde la presencia de muchas nubes en C, a la presencia de menos nubes en Q y finalmente presencia de pocas nubes RHT (Fig. 27d).

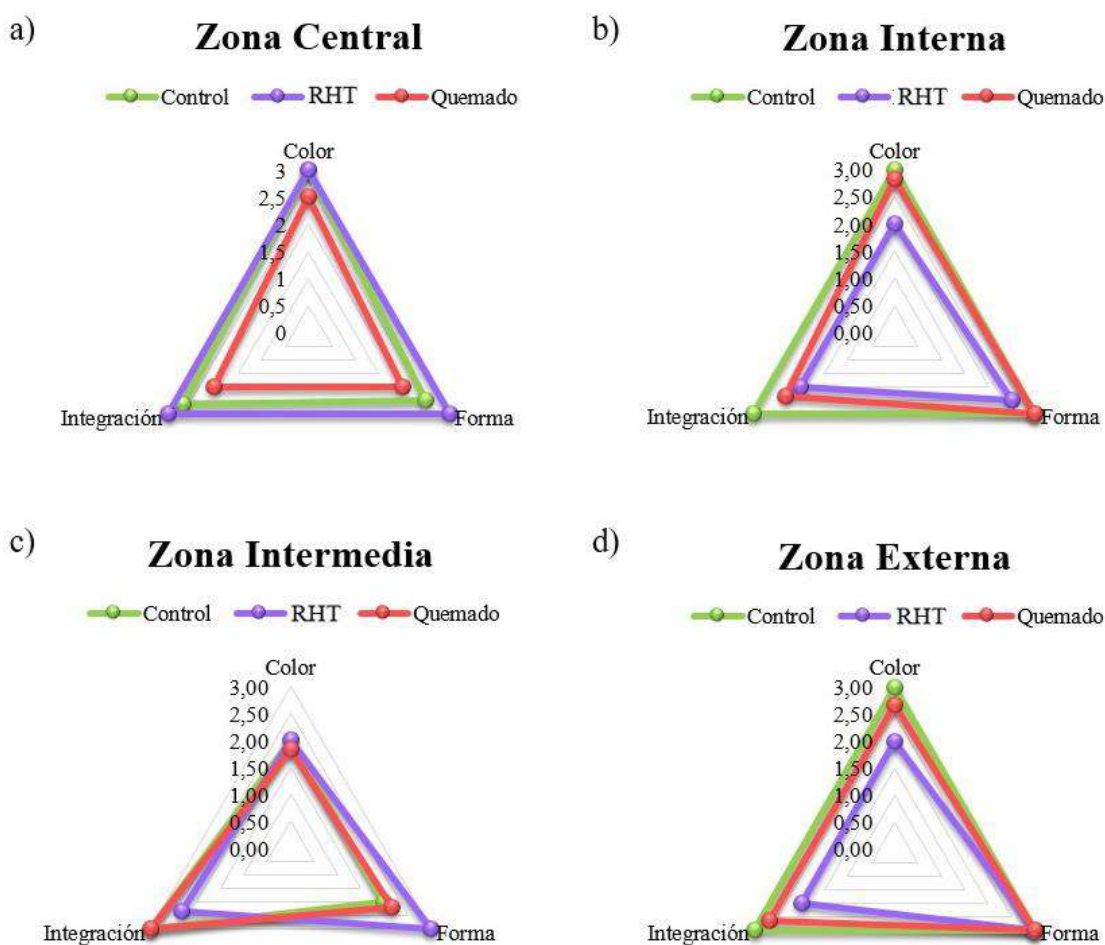


Figura 27: Puntajes para los atributos en los cromatogramas: color, integración y forma asignados a los tratamientos: RHT, C y Q en a) Zona Central, b) Zona Interna, c) Zona Intermedia y d) Zona Externa.

Fuente: elaboración propia en Excel 2013.

4.2.2 Valoración basada en mediciones

Existe efecto de los tratamientos sobre la variable radio total, aunque ninguno de los tratamientos difirió del control. No obstante, el tratamiento RHT presentó significativamente

mayor radio total que el tratamiento Q (Fig. 28).

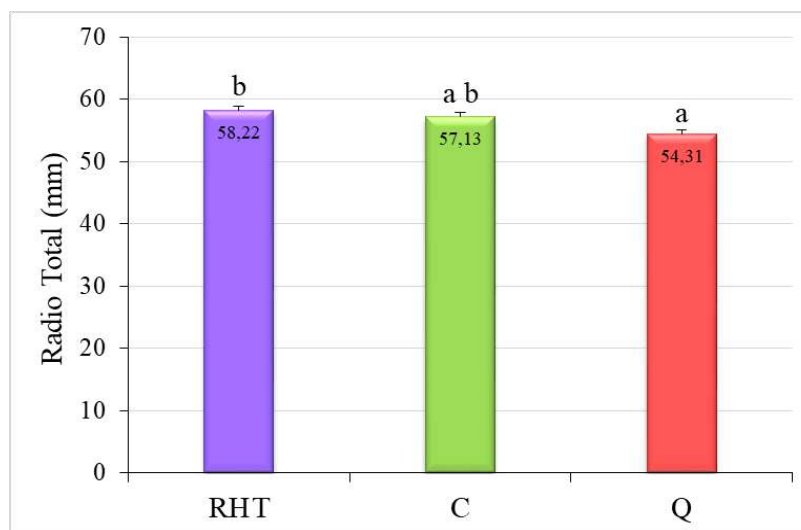


Figura 28: Radio total (mm) medido en los cromatogramas de los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio ± 1 error estándar de $n = 3$. *Fuente:* elaboración propia en *Excel 2013*.

El tratamiento RHT presentó un tamaño de radio de la zona central significativamente mayor a los tratamientos C y Q, superando más del doble de tamaño que este último (Fig. 29).

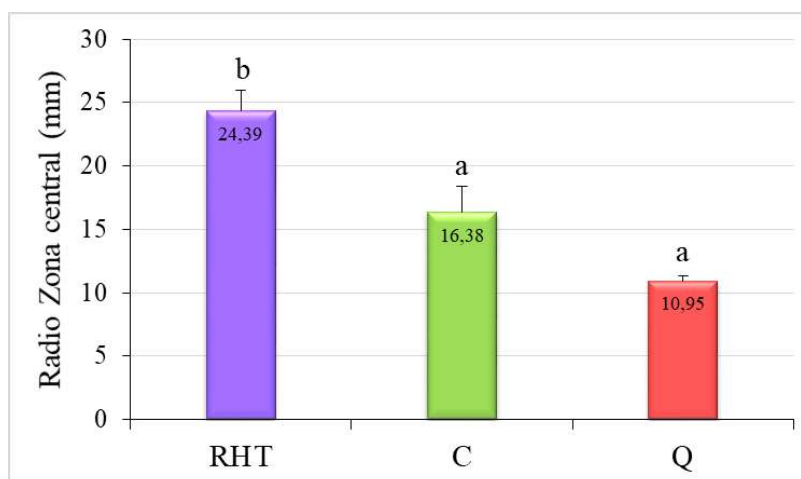


Figura 29: Radio Zona Central (mm) medido en los cromatogramas de los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio ± 1 error estándar de $n = 3$. *Fuente:* elaboración propia en *Excel 2013*.

Los tratamientos C y Q poseen significativamente un mayor tamaño de la amplitud de la zona media versus RHT, a la inversa de la medición anterior, ahora es Q el que supera, por casi el doble de tamaño, en amplitud a RHT (Fig. 30).

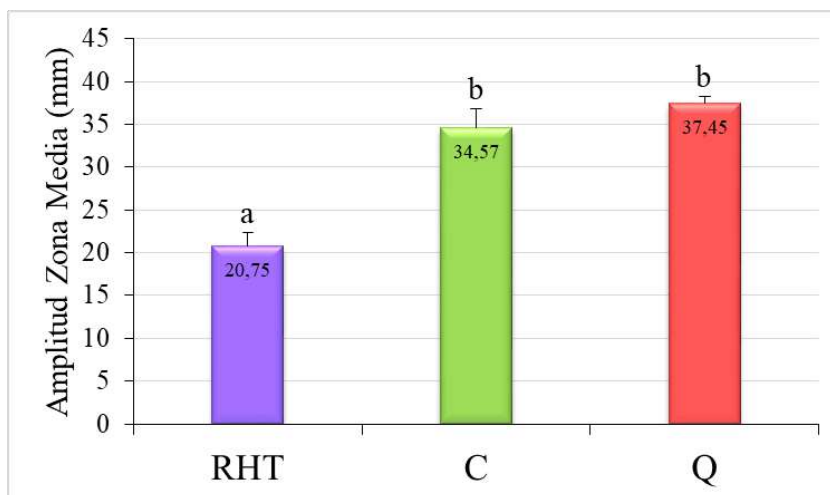


Figura 30: Amplitud zona media (mm) medida en los cromatogramas de los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$. *Fuente:* elaboración propia en *Excel 2013*.

El tratamiento RHT supera significativamente el tamaño de la amplitud de la zona exterior respecto a Q y C, duplicando sus tamaños a pesar de también presentar un grado de dispersión mayor (Fig. 31).

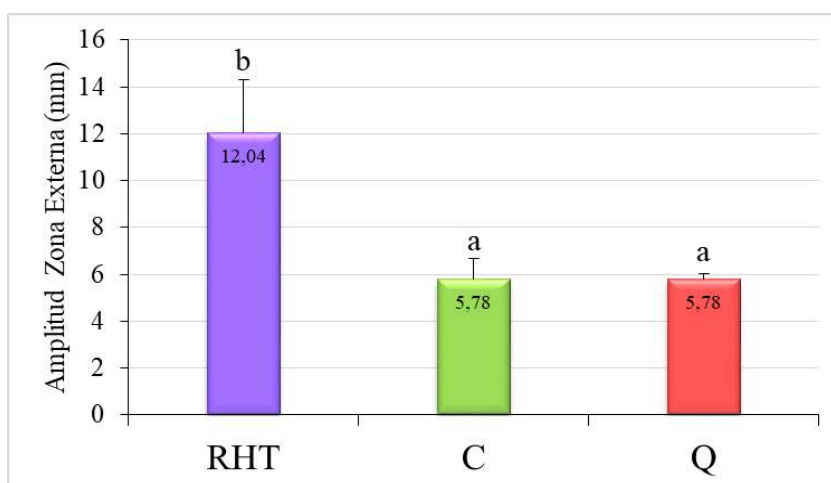


Figura 31: Amplitud zona externa (mm) medida en los cromatogramas de los diferentes tratamientos: RHT, C y Q. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar de $n = 3$. *Fuente:* elaboración propia en *Excel 2013*.

5. DISCUSIÓN

5.1 Análisis cuantitativos de laboratorio

Los suelos de las zonas analizadas son típicamente de textura franco-arenosa, por lo que los resultados obtenidos coinciden con los aportados por Gallia (2014) en la reserva estudiada.

Los resultados del porcentaje de NT indicaban mayor contenido en el tratamiento RHT (Fig. 24a) esto puede deberse a que durante la descomposición de residuos vegetales aumenta la liberación de nitrógeno (Quiroga *et al.*, 2012) como consecuencia del triturado que genera un aporte de material vegetal (principalmente biomasa leñosa) sobre la superficie del suelo. Especies vegetales como *Chenopodium album* (Tabla 1) son indicadoras de elevada disponibilidad de nutrientes además de tener mejores posibilidades de propagación debajo del dosel (Estanga Mollica, 2018).

El nivel de COT permite evaluar el estado de los suelos en cuanto a contenidos de materia orgánica. El mismo tiene una velocidad de variación o cambio dentro del rango lento a moderadamente rápido (Colagioia, 2020). El porcentaje de carbono orgánico fue mayor en RHT, (Fig. 24b), debido al suministro extra de carbono del material vegetal en descomposición proveniente del triturado. Situación que no sucedió en los demás tratamientos probablemente por qué; en C solo se encuentra la broza que se deposita naturalmente y en Q, de forma opuesta, se produjo una reducción de la cobertura vegetal a causa del efecto de la quema presentando incluso más áreas de suelo desnudo. Resultados similares a los obtenidos por Larroulet *et al.* (2020) donde la intervención de rolado, a pesar de ser distinta al raleo, también producía la incorporación de restos de hojas, tallos y tejidos vegetales al sistema mediante su transformación en un lapso de tiempo corto versus áreas quemadas y control.

Ambos indicadores bioquímicos (NT y COT), de forma independiente, mostraron diferencias significativas en las áreas estudiadas (Fig. 24a y b), esto sugiere que la realización de intervenciones que generan mantillos orgánicos tienen un impacto significativo en los parámetros químicos del suelo, ofreciendo fuentes naturales de materia orgánica, permeabilidad y mejor circulación de gases en el suelo (Pavlů *et al.*, 2021).

La relación COT/NT de los suelos no presentó diferencias significativas en los tratamientos (Fig. 24c), lo que indica que no habría variación en la calidad de la materia orgánica (Hepper

et al., 2022).

En base a la clasificación propuesta por Porta Casanellas *et al.*, (1999) los valores de pH (Fig. 25) de C y Q se encontraron dentro de un rango ligeramente ácido, el cual se caracteriza por presentar la máxima disponibilidad de nutrientes y se lo considera apropiado para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Mientras que RHT está dentro del rango denominado medianamente ácido también apto para el crecimiento de la vegetación. A pesar de ser una medición química simple, la asimilación de nutrientes del suelo es afectada debido a que determinados nutrientes no se encuentran disponibles para la vegetación en determinadas condiciones de pH (Azcarate *et al.*, 2012). Esta variable es una de las que responde más rápidamente, como se observó en el estudio de Pavlů *et al.* (2021) en donde ante la aplicación de diferentes coberturas, la respuesta más rápida a los cambios en la superficie del suelo fue observada en los valores de pH. Los resultados de este trabajo son consistentes con dicha observación, aunque en otros estudios sobre los efectos del raleo y triturado del bosque, no se han detectado cambios en esta variable (Miller, 2006).

Estudios previos realizados en zonas áridas y semiáridas muestran que la presencia de árboles del género *Neltuma caldenia* modifica las propiedades edáficas, entre ellas presentando un alto contenido de nutrientes como el nitrógeno y valores menores de pH bajo el dosel (Geesing *et al.*, 2000). Esto explicaría los valores menores de pH y mayores de COT y NT observados en el tratamiento RHT, donde el triturado habría generado un acelerado aporte de NT y COT.

Con respecto a la respiración microbiana (Fig. 26a) se requerirían más ensayos o aumentar el número de réplicas que permitan discernir si los resultados obtenidos son indicadores de una tendencia o si al aumentar el número de réplicas ya se podrían observar las diferencias, que en este estudio se divisaron de forma incipiente, convirtiéndose realmente en significativas. Al tratarse de un indicador que se caracteriza por su sensibilidad y considerable variabilidad (Martínez *et al.*, 2019) podría ocurrir que al aumentar el número de réplicas la tendencia se reafirme. Por otra parte, la respiración microbiana por sí sola no resulta el indicador más robusto de la actividad biológica. En futuros trabajos, la estimación del carbono en la biomasa microbiana (CBm, no medido en este trabajo) y el cálculo del coeficiente metabólico (qCO_2) que lo vincula con la respiración, permitirían contar con un indicador más confiable.

La tendencia observada en los resultados obtenidos en la relación RM/COT (Fig. 26b) puede estar estrechamente vinculada con la disponibilidad de material degradable en las diferentes áreas y la eficiencia de los microorganismos en el proceso de degradación. En el tratamiento Q donde esta relación tendió a ser mayor, la quema habría promovido la mayor disponibilidad de nitrógeno, necesario para la actividad microbiana y el carbono orgánico sería más susceptible a ser degradado (Martínez *et al.*, 2019). Situación contraria a lo que sucede en RHT donde existiría mucho material disponible y una menor tasa de respiración, por ende el carbono orgánico es menos susceptible a ser degradado. Los suelos bajo caldén reciben mayor aporte de materia orgánica fresca que los suelos sin cobertura de bosque, mientras que las condiciones para su descomposición y mineralización son poco favorables (Hepper *et al.*, 2013) sumándole a esto un aporte extra de materia orgánica, estas pueden ser las razones por las que la tasa de degradación no es suficiente en el tratamiento RHT.

En el área quemada (Tabla 3), luego de 2 años están presentes un buen número de las especies más representativas del área control (Tabla 2) reafirmando que el ecosistema del caldenal ha evolucionado junto al fuego ya que algunas de las especies vegetales nativas logran rebrotar o activan su banco de semillas. Debe tenerse en cuenta, en las acciones de manejo, que también aparecen un número considerable de terófitas oportunistas tales como *Chenopodium album*, *Descurainia erodiifolia*, *Lepidium auriculatum* o *Lepidium bonariense* que aprovechan la fertilidad temporal tras el incendio y el incremento de luz a nivel suelo (Carreira *et al.*, 1991).

Dentro de un bosque donde se ha realizado raleo y chipeado mecánico existe más ingreso de luz, hay más espacio y sustrato para el establecimiento de plantas tanto nativas como exóticas. El chipeado más grueso del material hace que se desarrollen menos especies invasoras (Van Donk *et al.*, 2021) lo cual es benéfico como práctica de conservación del bosque nativo y la prevención de incendios.

5.2 Análisis Cromatográfico

Numerosos estudios observaron que los cromatogramas provenientes de fragmentos de bosque más prístinos (sin o con menores intervenciones) son los de mejor calidad y los utilizan de referencia (Kokornaczyk *et al.*, 2016; Bezerra, 2018; Barros, 2020) como se realizó en este trabajo. En esta investigación se pudo generar información tanto cualitativa



como cuantitativa de los cromatogramas de referencia. A continuación se discuten las características de cada una de las zonas analizadas en el abordaje valoración en base a atributos y luego los resultados obtenidos en la valoración en base a medidas.

El color crema de la ZC (Fig. 27a) presentado por los cromatogramas C y RHT, es un indicador de buen suelo, de buena estructura y fuerza vital para establecer conexiones entre materia orgánica y la fase mineral (Restrepo y Pinheiro, 2011). Mientras que en Q el color del centro es un poco menos claro que en los demás tratamientos, quizás puede explicarse por la presencia de cenizas. El motivo de la coloración clara u oscura de la ZC, según Pinheiro (2001), se explica cuando la solución de hidróxido de sodio, que transporta sustancias minerales u orgánicas disueltas, pasa a través del papel de filtro impregnado con nitrato de Plata donde se produce la formación inmediata de hidróxido de plata, una sustancia inestable que rápidamente forma un precipitado oscuro de óxido de plata proporcional a la cantidad de sustancia. Si la muestra de suelo no tiene el metabolismo aeróbico, en la atmósfera del suelo se acumulan sustancias tóxicas (metano, amoníaco, fosfina, gas sulfuro, etc.) y no hay actividad de oxidación mineral, acción respiratoria, por lo que el color es oscuro o negro. Este color disminuye a medida que aumenta esta actividad, ya que la presencia de sustancias nitrogenadas, generadas por el metabolismo del suelo, hace soluble el precipitado de óxido de plata, volviéndolo color blanco o crema.

La ZC que obtuvo el mayor puntaje fue la de RHT por su mayor desarrollo y hendiduras con la siguiente zona (mejor integración), denotando buena aireación y ausencia de signos de compactación. En algunos de los cromatogramas el color fue marrón claro, puede deberse a la cantidad de materia orgánica que denota este suelo ya que en general todas las zonas manifiestan colores marrones intensos pero en algunos fue muy clara la zona interna resaltando la aireación posiblemente obtenida del mantillo que se generó como cobertura proveniente de los residuos vegetales depositados sobre su superficie.

En la ZI o también conocida como Zona Mineral (Fig. 27b), el color marrón claro es el ideal mientras que el marrón oscuro, menos deseable, de RHT puede ser debida a que aún se están incorporando componentes en la fracción mineral, íntimamente vinculado con la falta de canales que conecten esta zona con la siguiente, en los cromatogramas que si presentaron bordes irregulares y mayor formación de canales en forma de plumas se observa una mayor integración de las fracciones del suelo (Igor Graciano, 2020). Se observaron una gran

cantidad de diminutas "puntas de flecha", superpuestas desde la zona central hacia el borde de la zona exterior en caso de los cromatogramas de C. Cuanta mayor diversidad y armonía haya en esta zona y la integración con otras, mejor será la salud y calidad de vida de este suelo (Bezerra et al. 2018).

En la ZINT, respecto al color (Fig. 27c), según esta clave de interpretación el ideal sería un color marrón claro o amarillento, los cuales no se presentaron en los cromatogramas. Puede considerarse que para este tipo de ambiente (caldenal), el marrón oscuro presentado sea el ideal ya que la clave fue realizada para ambientes de zonas tropicales que difieren tanto en clima como a nivel paisaje de la vegetación presente. Se repite nuevamente la coloración más intensa de RHT, que esta vez estaría plenamente relacionada a una mayor actividad microbiana (Pfeiffer, 1984). Las formas puntiagudas en forma de espinas o agujas grisáceas revelan la falta de materia orgánica y actividad biológica humificadora, situación de suelos degradados (Restrepo y Pinheiro, 2011), situación no observada en ninguno de los tratamientos. En RHT las formas presentadas fueron diversas tanto en la forma de sus puntas como en sus tamaños, los cuales superaron los 1.5 cm a diferencia de los C y Q. El mayor desarrollo de radiación en esta zona también corresponde a C esto puede explicarse por la estabilidad de la materia orgánica y sus fracciones húmicas. En los demás tratamientos, los disturbios ocasionados, han generado variaciones en la materia orgánica ya sea reduciéndola o aumentándola por eso se observan colores más oscuros para materia orgánica joven (aún en proceso de descomposición) o radiación no tan desarrollada cuando no está completamente asimilada por el sistema o interactuando con las demás fracciones del suelo (Cercado Quiñonez, 2021). Es deseable la presencia de numerosos caminos ramificados y sinuosos, parecidos a una pluma (Restrepo y Pinheiro, 2011).

En ZE (Fig. 27d), se puede observar la biodiversidad microbiana a través de la biosíntesis de proteínas y polipéptidos solubles de la actividad microbiana en el suelo. El color marrón más claro con presencia de manchas bien definidas, observado en C, se debe a que la fracción nitrogenada-péptido-proteica pasa por las zonas anteriores y reacciona con los restos de nitrato de plata libre formando complejos como "pétalos", "nubes" que indican presencia de actividad enzimática (Bezerra, 2018). Cuanto más diversa es la vida en el suelo, mayor es la presencia de membranas que superan la zona intermedia y alcanzan con diferentes y variados picos (Pinheiro, 2011). Los valores de COT del suelo y la actividad microbiana están fuertemente correlacionados (Ford *et al.*, 2021).

En el tratamiento Q la ZE muestra un desarrollo similar al de C solo que con menos nubes enzimáticas, lo cual es llamativo como luego de un incendio de tal magnitud, la actividad microbiana en el transcurso de dos años se encuentra en funcionamiento de forma muy similar al sitio donde no hubo disturbio. Siendo que la mayoría de los microorganismos del suelo son muy sensibles a los cambios de temperatura, humedad y nutrientes (Larroulet *et al.*, 2022).

La integración es uno de los atributos más importantes y únicos que ofrece la técnica, donde mientras más zonas atraviesen los canales significa que hay mejor interacción entre las mismas. Patrones de rasgos radiales fuertemente marcados iniciados en ZC como en C, o desde ZI o ZINT corriendo hacia la periferia (indicadoras de características positivas del suelo como alto contenido de COT, NT y baja compacidad) se relacionan de forma inversa con la formación de características concéntricas, indicadoras de mala calidad de suelo (Kokornaczyk *et al.*, 2016), las cuales no se observaron en este trabajo.

Los cromatogramas de C se caracterizaron por presentar una coloración armoniosa con desvanecimientos al pasar de zona, radiación marcada desde la zona interior hasta la zona externa y la formación de canales en forma de plumas más desarrollada, permitiendo observar una mayor integración entre las zonas.

Los cromatogramas de C y Q visualmente son muy similares, esto podría tener relación con que en esta región el fuego es parte del funcionamiento natural del ecosistema porque no se observan cambios negativos en las propiedades del suelo. También puede pensarse desde un proceso de recuperación que tuvo el ecosistema en esos 2 años de no ser intervenido, la fracción mineral de Q es estable según el análisis cromatográfico de medida de AZM y la presencia de vegetación similar a C puede relacionarse.

Los cromatogramas del tratamiento RHT fueron los que visualmente más difirieron, es notable una coloración más oscura de todas las zonas y una amplia ZC que denota mayor aireación. La ZE fue la que presentó mayor diversidad de formas y tamaños, lo que remite a que existe alta actividad microbiana en procesos de descomposición de materia orgánica pero que no sea la suficiente porque la materia orgánica supera la tasa de respiración al no observarse casi nubes enzimáticas.

En la valoración en base a medidas se encontraron diferencias significativas en los valores obtenidos de las mediciones de los cromatogramas provenientes de los suelos de cada tratamiento. Se observa que en todos los casos el tratamiento RHT es el que tiene un comportamiento diferente al de C y Q. Puede que al ser el área con mayor número de intervenciones y más recientes, los cambios en el suelo se hagan más perceptibles y, en comparación con el área de referencia o menos intervención, sean más notorias. También se destaca que el tratamiento C obtiene valores intermedios en todas las mediciones, pero sin diferencias significativas a los de Q.

Si bien en cuanto al RT ninguno de los tratamientos difirió del control (Fig. 28), esto puede estar relacionado con el establecimiento de marcas, todos los filtros se dejan correr hasta los 60 mm. Más allá de que por cuestiones de humedad y la capilaridad, la corrida suele extenderse levemente más, tiene sentido que en general los cromatogramas presenten radios totales similares.

El RC de RHT de gran tamaño (Fig. 29), puede relacionarse directamente con la valoración en base a atributos de la ZC. Los patrones de esta zona informan sobre el estado de la estructura y la porosidad del suelo (López Rubio, 2022), la cual está relacionada con la aireación. Puede decirse entonces que en RHT la porosidad del suelo es mayor que en los demás tratamientos, también que es mayor la aireación.

La AZM (Fig. 30), engloba la ZI y ZINT de la valoración de atributos, responde a la presencia de proteínas, COT y materia orgánica (López Rubio, 2022). Teniendo en cuenta que RC en RHT es la zona de mayor tamaño, las otras dos zonas inherentemente tienen un menor tamaño en relación. En Q es la medida que más sobresale, por ende la de mayor contenido de minerales y materia orgánica incorporada en el sistema de forma estable.

Finalmente en los resultados obtenidos de AZE fueron mayores las medidas para RHT (Fig. 31), traduciéndose en mayor disponibilidad de nutrientes y humus para la vegetación (López Rubio, 2022). Información coherente con los datos obtenidos en COT y NT y las tendencias observadas en RM. Sin embargo la presencia de nubes enzimáticas fue mayor en los otros dos tratamientos, lo que remite nuevamente a que pueden estar existiendo procesos de descomposición de materia orgánica pero que la actividad microbiana no sea la suficiente.

6. CONCLUSIONES

En base a los objetivos específicos planteados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Los cromatogramas que conforman el tratamiento C fueron considerados los cromatogramas de referencia. Cumpliendo así con el objetivo de generar cromatogramas de referencia del caldenal que permitan realizar las comparaciones pertinentes con cromatogramas de suelos de bosques bajo diferente historia de disturbios (quema prescrita, raleo selectivo + aplicación de herbicida + triturado).

Los análisis químicos cuantitativos y los análisis cromatográficos mostraron diferencias significativas que permitieron una distinción entre los suelos de las 3 áreas estudiadas. Estableciéndose un contraste, en todos los casos, entre los tratamientos con intervenciones.

La cromatografía en papel circular es una técnica sensible en el corto plazo que permite observar cambios en el suelo del bosque de caldén bajo diferentes manejos.

Los cromatogramas de C fueron los que obtuvieron los mayores puntajes en el desarrollo de atributos, resultando los suelos de mejor calidad en base a esa valoración.

Los patrones de rasgos radiales fuertemente marcados presentes en todos los cromatogramas, a pesar de iniciar desde diferentes zonas, son indicadores de que los suelos estudiados son de alta calidad.

La realización de intervenciones que generen mantillos orgánicos tiene un impacto mayor en los parámetros químicos del suelo, en este caso en RHT se presentaron los mayores porcentajes de COT y NT, acompañado de un pH más ácido que en las otras áreas del bosque estudiadas.

Las mediciones de las zonas (RZC, AZM y AZE) fueron más representativas de las diferencias entre los tratamientos, por brindar una mayor información versus RT.

Se espera que este trabajo de investigación sirva de base para continuar estudiando la técnica, generar cromatogramas asociados a diferentes manejos y suelos pampeanos, quizás en algún momento, y que potencialmente forme parte de los análisis de suelo contemplados en las



investigaciones o tareas de diagnósticos como complemento. Si bien se trata de un estudio inicial, se encuentran resultados interesantes sobre los cuales es importante seguir trabajando.

Más allá de las diferencias encontradas entre los tratamientos, se corroboró que los tratamientos de quema prescrita o enriquecimiento mediante triturado + raleo reflejan suelos en buena condición y similares al control en el AP. Dando sustento a las prácticas de manejo aplicadas, siendo acertadas para los fines de conservación y mantenimiento del ecosistema ya que las propiedades del suelo no se ven afectadas de forma negativa.

7. RECOMENDACIONES

Realizar los cromatogramas durante la misma jornada de trabajo y no en días diferentes, esto reduce las variaciones que puedan generarse en los cromatogramas por cuestiones metodológicas y de manipulación de los filtros.

Profundizar el estudio para comprender las razones de por qué los cromatogramas siguen corriendo luego de haberles quitado el pabito, esto puede esclarecer las interpretaciones de radio total de los cromatogramas.

Sería sumamente interesante analizar los suelos en forma inmediata a las intervenciones post quema prescripta, para observar si hay cambios en los cromatogramas versus los cromatogramas realizados dos años después de la quema como se realizaron en este estudio. En general, realizar un seguimiento temporal de los manejos, que se realizaron o incluso que se harán a futuro, para observar la evolución de estos suelos y generar más información cromatográfica del área protegida con sus respectivos manejos. Debe tenerse en cuenta que los tiempos requeridos para observar diferencias entre los cromatogramas temporalmente se deben ir ajustando, hay experiencias de estudios donde no se observaron cambios significativos en el patrón de los cromatogramas por ser lapsos muy cortos como también por ser muy extensos.

Asociar más análisis respecto a la actividad microbiana, ya que hay estudios que encontraron que las características del cromatograma podrían responder más a las comunidades de microbios que algunas de las variables del suelo.

Desarrollar los muestreos incluyendo más análisis físicos, por ejemplo con infiltrómetros para obtener más información sobre el agua en el suelo y análisis de densidad para analizar la estructura y porosidad vinculadas a la zona mineral y central respectivamente.

En futuros estudios realizar análisis estadísticos de correlaciones entre las valoraciones cualitativas y las valoraciones cuantitativas cromatográficas, aportarían información valiosa de cómo analizar los patrones que se divisan.

8. REFERENCIAS

Abad Santana, F. J. (2014). Evaluación cualitativa mediante cromatografía, de la fertilidad de cinco suelos con diferentes manejos orgánicos y convencionales. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Cuenca, Ecuador.

Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio*, la génesis de la cultura universitaria, 3 (5), 55-60.

Aguirre, S. E., Piraneque, N. V y Díaz, C. J. (2019). Valoración del estado del suelo en zona de bosque seco tropical mediante técnicas analíticas y cromatogramas. *Información tecnológica*, 30 (6), 337-350.

Azcarate, P., Kloster, N. y Pérez Habiaga, G. (2012). Reacción del suelo: pH. En Quiroga, A. y Bono A. (Eds). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos* (págs. 19-25). Anguil: Ediciones INTA.

Barragán, K. B. (2001). Áreas Protegidas. *Boletín GEAS*, 2 (2), 9-18.

Barros, C. E. (2020). Contribuições da cromatografia circular de Pfeiffer para análise da saúde do solo. Tesis de posgrado para la obtención del título de Maestría en agroecología y desarrollo rural. Universidad Federal de São Carlos, Araras.

Bezerra, L. P. (2018). Implantação de sistemas agroforestais na agricultura familiar: um caminho para a transição agroecológica. Tesis de posgrado para la obtención del título de Maestría en agroecología y desarrollo rural. Universidad Federal de São Carlos, Araras.

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. Jor.* 54, 464-465.

Bremner, J. M. y Mulvaney, C. S. (1982). Total Nitrogen. En Page A.L. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties.* 2º ed. Am. Soc. (págs. 595-624). Wisconsin: Agronomy Soil Sci. Soc.

Burkart, R., Bárbaro, N. O., Sánchez, R. O y Gómez. D. A. (1999). Eco-regiones de la



Argentina. Administración de Parques Nacionales: Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.

Cabrera, A. L. (1994). Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Buenos Aires: Acme.

Callisaya, S. A., Terrazas Chavez, G. y Macías Villalobos, M. I. (2023). Elaboración de un biofertilizante mineralizado en la estación experimental de Choquenaira, Viacha - La Paz. Revista de investigación e innovación agropecuaria y de recursos naturales. 10 (1), 16-27.

Cano, E., Fernández, B. y Montes, M. A. (1980). Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa. UNLPam, Gobierno de la provincia de La Pampa e INTA, Buenos Aires.

Carreira, J. A., Niell, F. X. y Asensi, A. (1991). Sustitución de comunidades y concentración de nutrientes en plantas tras incendios forestales en una cuenca subárida del SE de España. Orsis, 6, 199-214.

Cercado Quiñonez, E. A. (2021). Evaluación cualitativa de suelos de la Parroquia Colonche mediante cromatografía de Pfeiffer. Trabajo de integración curricular para la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad.

Colagioia, J. A. (2020). Cromatografías circulares de Pfeiffer: ¿Anecdótico test de campo o análisis científico integral del suelo? Un abordaje desde la agroecología. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de La Plata, La Plata.

Cotroneo, S., Bosio, E., Facio, F., Estévez, P. y Jacobo, E. (2018). Uso de Cromatografías para la Evaluación Integral de Suelos en Bosques Nativos Restaurados por Campesinos del Norte de Argentina. Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires.

Definiciona. (2023). Cromatografía. Enciclopedia etimológica. <https://definiciona.com/cromatografia/>, visitado el 2 de agosto de 2023.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.



W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Disposición N°337/16. Anexo 1. Dirección de Recursos Naturales. Publicado en Decreto Reglamentario de la Ley N°2624, 25 de agosto de 2016. La Pampa.

Doran, J. E. y Parkin, T. (1994). Defining and assessing soil quality. En Doran, J.W., DC Coleman, Bezdieck, D.F y Stewart B.A. (Eds). Defining soil quality for a sustainable environment (págs. 25-37). Madison: SSSA.

Duval, V. S. (2017). Estudio integral de áreas protegidas: Reserva Provincial Parque Luro y Parque Nacional Lihué Calel, Provincia de La Pampa. Tesis doctoral para la obtención del título de Doctora en Geografía. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.

Estanga Mollica, M. E. (2018). Importancia de las interacciones bióticas directas e indirectas en la invasión de plantas exóticas. Tesis doctoral para la obtención del título de Doctora en Ciencias Agropecuarias. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

FAO. (2015). El suelo es un recurso no renovable y su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible. Roma, Italia.

Frioni, L. (1999). Procesos microbianos. Río Cuarto: Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.

Follador, B. (2015). Portraying Soils and Compost: Color, Form, and Pattern. In context, 34, 7-8.

Ford, B. M., Stewart, B. A., Tunbrigde, D. J y Tilbrook, P. (2021). Paper cromarography: An inconsist tool for assessing soil health. Geoderma, 383 (2021).

Gallia, M. C. (2014). Plasticidad fenotípica y adaptativa en respuesta a la sequía de plántulas de *Prosopis caldenia* Burkart de dos poblaciones del bosque semiárido del centro de Argentina”. Tesis de grado para la obtención del título de Licenciada en Ciencias Biológicas. Universidad de La Pampa, Santa Rosa.

García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.

Geesing, D., Felkre, P. y Bingham, R. L.(2000). Influence of mesquite (*Prosopis glandulosa*) on soil nitrogen and carbón development: Implications for global carbón sequestration. *Journal of Arid Environments*, 46(2), 157-180.

Geissert, D. e Ibañez, A. (2008). Calidad y ambiente físico químico de los suelos. En Manson, R. H., Hernández-Ortiz, V., Gallina, S. y Mehltreter K. (Eds.). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación* (págs. 213-221). México: Instituto de ecología A. C e Instituto Nacional de Ecología.

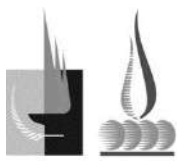
Hepper, E. N, Larroulet, M. S. y Ferreyra P. A. (2022). Influencia de la vegetación predominante sobre suelos del bosque de caldén. En Estelrich, H. D. y Suárez, C. E. (Eds.). *El bosque de caldén: un abordaje multidisciplinario para su manejo y conservación* (págs. 57-67). Santa Rosa: Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa.

Hepper, E. N., Larroulet, M.S., Belmonte, V. y Urioste, A. M. (2013). Propiedades edáficas de un suelo del caldenal pampeano en parches con diferente vegetación. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 23 (2), 5-15.

Heredia Reyes, C. A. (2012). Análisis de un Sistema de cromatografía de campo para evaluación de calidad de suelos y compost en empresas asociadas a ECOFAS. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí.

Hernández Godínez, O. (2018). Análisis de suelo y sus relaciones para una producción sana, por el método de cromatografía en papel. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

Herrera Toapanta, L. M. (2022). Caracterización de suelos mediante la técnica de cromatografía en papel en el área de influencia del sistema de agua de riego canal central



Toacaso, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. Proyecto de investigación presentado para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga.

Igor Graciano, L. S. M. Evaluating Pfeiffer chromatography for its validation as an indicator of soil quality. *Journal of agricultural studies*, 8 (3), 420-446.

IUPAC. (1997). *Compendium of chemical terminology* (2nd ed.). Oxford: Blackwell Scientific.

Kokornaczyk, M. O., Primavera, F., Luneia, R., Baumgartner, S. y Betti, L. (2016). Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. *Biological Agriculture & Horticulture*, 33(3), 1-15.

Kumar, D. S., Kumar, P. S., Rajendran, N. M., Kumar, V. U. y Anbuganapathi, G. (2014). Evaluation of vermicompost maturity using scanning electron microscopy and paper chromatography analysis. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62 (13), 2738-2741.

Larroulet, M. S., Hepper, E. N., Ferreyra, P. A., Iglesias, J. O. y Galantini, J. A. (2020). Carbono orgánico y actividad microbiana en un suelo del caldenal pampeano con diferentes manejos. *Ciencia del Suelo*, 38 (1), 95-105.

Larroulet, M. S., Ferreyra, P. A. y Hepper, E. N. (2022). Propiedades de los suelos del caldenal luego de quemas prescriptas. En Estelrich, H. D. y Suárez, C. E. (Eds.). *El bosque de caldén: un abordaje multidisciplinario para su manejo y conservación* (págs. 87-104). Santa Rosa: Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa.

Ley N° 1.689. Declaración de áreas protegidas a varios inmuebles provinciales. Art.1 (1996). Publicada en el Boletín Oficial, 12 de julio de 1996. La Pampa.

Ley N° 26.331. Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos. Art. 2 (2007). Publicada en Boletín Oficial, 26 de diciembre de 2007. Argentina.

López Rubio, J. F. (2022). Evaluación de la integridad ecológica del suelo en olivares con



prácticas agrícolas contrastadas. Trabajo final presentado para la obtención del título de Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas. Universidad de Alcalá, Valdepeñas.

Mansourian, A. B. (2009). La función de las áreas forestales protegidas en la adaptación al cambio climático. *UnasyIva*, 60, 63-69.

Marbán, L. y Ratto, S.E. (2005). *Tecnologías en análisis de suelos*. Buenos Aires: ACCS.

Martínez J. M, Galantini, J. A, Duval M. E y López, F. M. (2019). Soil quality assessment base don soil organic matter pools under long-term tillage systems of following tillage conversión in a semi-humid region. *Soil Use Manage*, 2020 (36), 400-409.

MAyDS. (2020). *Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: Informe Espinal y Delta e Islas del río Paraná: primera revisión*. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación.

MAyDS. (2023). *Áreas Protegidas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/areas-protegidas> , visitado el 21 de Junio 2023.

Medina Saavedra, T., Arroyo Figueroa, G., & Peña Caballero, V. (2018). Cromatografía de Pfaiffer en el análisis de suelos de sistemas productivos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(3), 665-673.

Miller, E. (2006). Effects of forest thinning and chipping on soil properties and understory vegetation at Heil Valley Ranch. <https://assets.bouldercounty.gov/wp-content/uploads/2017/03/research-report-2006Miller.pdf> , visitado el 4 de noviembre de 2023.

Morea, J. P. (2014). Situación actual de la gestión de las áreas protegidas de la Argentina. *Problemáticas actuales y tendencias futuras*. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(1), 57-75.

Pavlúa, L., Kodešová, R., Fér, M., Nikodem, A., Němec, F. y Prokeš, R. (2021). The impact of various mulch types on soil properties controlling water regime of the Haplic Fluvisol.

Soil & Tillage Research, 205, 1-16.

Perumal, K., Ananthi, S. y Arunkumar, J. (2016). Innovative and simplest alternative analytical technology (AAT) for testing soil nutrients. JOSSR, 1(1), 22-31.

Pfeiffer, E. E. (1984 edition, 1959). Chromatography Applied to Quality Testing: revised by Erica Sabarth. Wyoming: Bio-Dynamic Literature.

PhotoAiD. (2023). Inversor de colores gratuito. <https://photoaid.com/es/es/tools/invert> , visitado el 8 de noviembre de 2023.

Pinheiro, S. (2011). Cartilha da saúde do solo: Cromatografia de Pfeiffer. Porto Alegre: Salles Editora.

POA. (2019). Plan Operativo Anual. Plan de conservación de bosque nativo de la Reserva Provincial Parque Luro. Año 2. Documento técnico de la Dirección de Áreas Protegidas de la Subsecretaría de Ambiente de La Pampa.

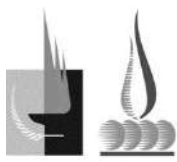
Porta Casanellas J., López Acevedo, R. M. y Roquero, C. (1999). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.

Prescott, C. E. (2002). The influence of the forest canopy on nutrient cycling. Tree Physiology, 22, 1193-1200.

Quiroga, A., Bono, A. y Frasier, I. (2012). Materia orgánica del suelo. En En Quiroga, A. y Bono A. (Eds). Manual de fertilidad y evaluación de suelos (págs.26-38). Anguil: Ediciones INTA.

Real Ortellado, M. (2020). Incendios, inundaciones y sequías en la pampa entre 1998 y 2018. Una mirada desde la perspectiva del riesgo y desastre ambiental. Semiárida, 30(2), 19-36.

Restrepo J. y Pinheiro S. (2011). Cromatografía imagen de vida y destrucción del suelo. (1ra edición). Cali: Feriva.



Salinas Ovalle, J. A. (2019). Procesamiento de imágenes de cromatografías de suelo enfocado a la interpretación de patrones de dispersión del color y su asociación con cualidades del suelo. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá.

SALP. (2023). Sistema provincial de áreas protegidas. Subsecretaría de Ambiente de La Pampa. <https://ambiente.lapampa.gob.ar/sistema-provincial-de-areas-prottegida.html>, visitado el 7 de julio de 2023.

Sánchez De P, M., Prager M, M., Naranjo, R. E., y Sanclemente, O. E. (2012). El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas. *Agroecología*, 7(1), 19–34.

SAyDS. (2006). Estado de conservación del Distrito de Caldén. Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Inventario de campo de la Región del Espinal, Distritos Caldén y Ñandubay. Buenos Aires: Dirección de Bosques.

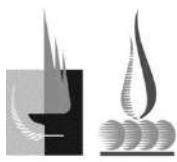
Sayer, J. (2005). Goals and targets of forest landscape restoration. En Mansourian S., Vallauri, D., Dudley, N., eds (in cooperation with WWF International). *Forest restoration in landscapes: beyond planting trees* (págs. 101-108). Nueva York: Springer.

SIB. (2023). Ecorregiones. Sistema de Información de Biodiversidad, Parques Nacionales, Argentina. <https://sib.gob.ar/ecorregiones>, visitado 10 de julio de 2023.

Soil Survey Staff. (2010). Claves para la taxonomía de suelos. Versión en español. Washington DC: USDA - NRCS.

Trio Maseda, M. (2016). Desarrollo y caracterización del método de dinamólisis capilar para el análisis de suelos contaminados: estudio de los suelos de Linares. Tesis doctoral para la obtención del título de Doctora Ingeniera de Minas. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Tumbaco Chavarria, A. J. (2021). Evaluación de la calidad de suelos de sistemas productivos de cultivos ciclo corto empleando la cromatografía. Trabajo de integración curricular para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Estatal Península de Santa Elena,



La Libertad.

Vázquez, M. E. y Millán, G. J. (2017). Acidez del suelo: Origen, diagnóstico, consecuencias y tratamiento. En Vázquez, M. E. (Ed). Manejo y conservación de suelos en especial énfasis en situaciones argentinas (págs. 229-271). Buenos Aires: AACCS.

Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63, 251–264.

Warnes, M. (2015). *Cromatografías: Manual de cromatografía plana de suelos*. Santa Fe: edición propia.



9. ANEXOS

ANEXO 1. Puntos GPS muestreo

Tabla A1: Puntos GPS de las muestras en tratamientos RHT, C y Q.

| Muestra | Lat | Long |
|---------|---------------|---------------|
| RHT 1 | 36°53'50.30"S | 64°13'40.20"O |
| RHT 2 | 36°53'50.10"S | 64°13'39.20"O |
| RHT 3 | 36°53'49.70"S | 64°13'39.00"O |
| RHT 4 | 36°53'49.80"S | 64°13'38.60"O |
| RHT 5 | 36°53'49.50"S | 64°13'38.00"O |
| RHT 6 | 36°53'49.00"S | 64°13'37.70"O |
| RHT 7 | 36°53'48.70"S | 64°13'37.10"O |
| RHT 8 | 36°53'49.00"S | 64°13'36.80"O |
| RHT 9 | 36°53'50.00"S | 64°13'36.40"O |
| RHT 10 | 36°53'50.50"S | 64°13'37.30"O |
| C 1 | 36°54'60.00"S | 64°15'35.70"O |
| C 2 | 36°55'0.30"S | 64°15'35.50"O |
| C 3 | 36°55'0.50"S | 64°15'35.40"O |
| C 4 | 36°55'0.70"S | 64°15'35.20"O |
| C 5 | 36°55'0.80"S | 64°15'35.00"O |
| C 6 | 36°55'0.90"S | 64°15'34.80"O |
| C 7 | 36°55'1.20"S | 64°15'34.60"O |
| C 8 | 36°55'0.90"S | 64°15'34.30"O |
| C 9 | 36°55'1.10"S | 64°15'34.20"O |
| C 10 | 36°55'0.80"S | 64°15'34.00"O |
| Q 1 | 36°55'0.40"S | 64°15'39.80"O |
| Q 2 | 36°55'0.30"S | 64°15'39.90"O |
| Q 3 | 36°55'0.10"S | 64°15'39.90"O |
| Q 4 | 36°55'0.30"S | 64°15'40.20"O |
| Q 5 | 36°55'0.30"S | 64°15'40.50"O |
| Q 6 | 36°54'60.00"S | 64°15'40.50"O |
| Q 7 | 36°54'59.80"S | 64°15'40.80"O |
| Q 8 | 36°54'60.00"S | 64°15'41.60"O |
| Q 9 | 36°54'60.00"S | 64°15'41.90"O |
| Q 10 | 36°55'0.30"S | 64°15'42.20"O |

ANEXO 2. Cromatogramas de muestras compuestas

A)

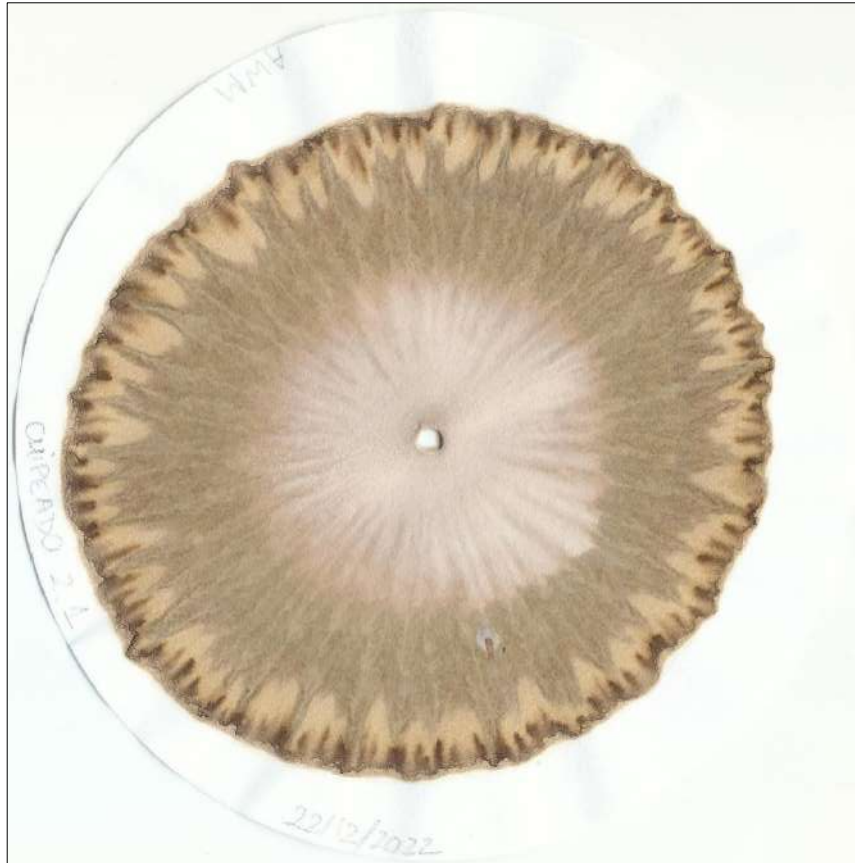


B)



Figura A1: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta RHT 1 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos.

A)



B)



Figura A2: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta RHT 2 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos.

A)

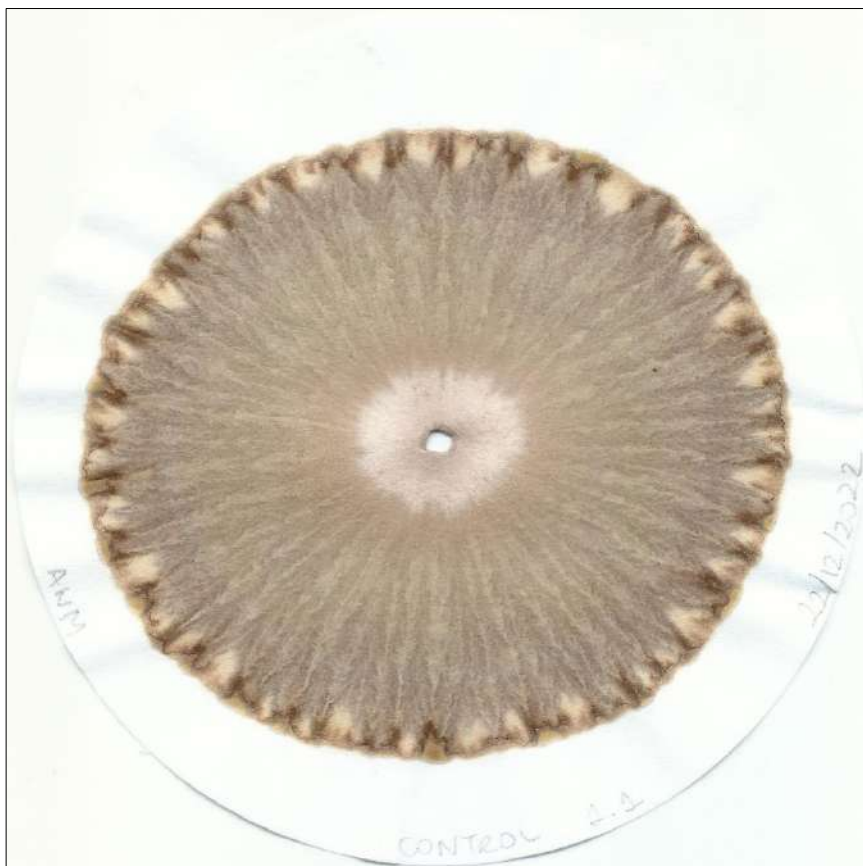


B)



Figura A3: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta RHT 3 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos.

A)



B)

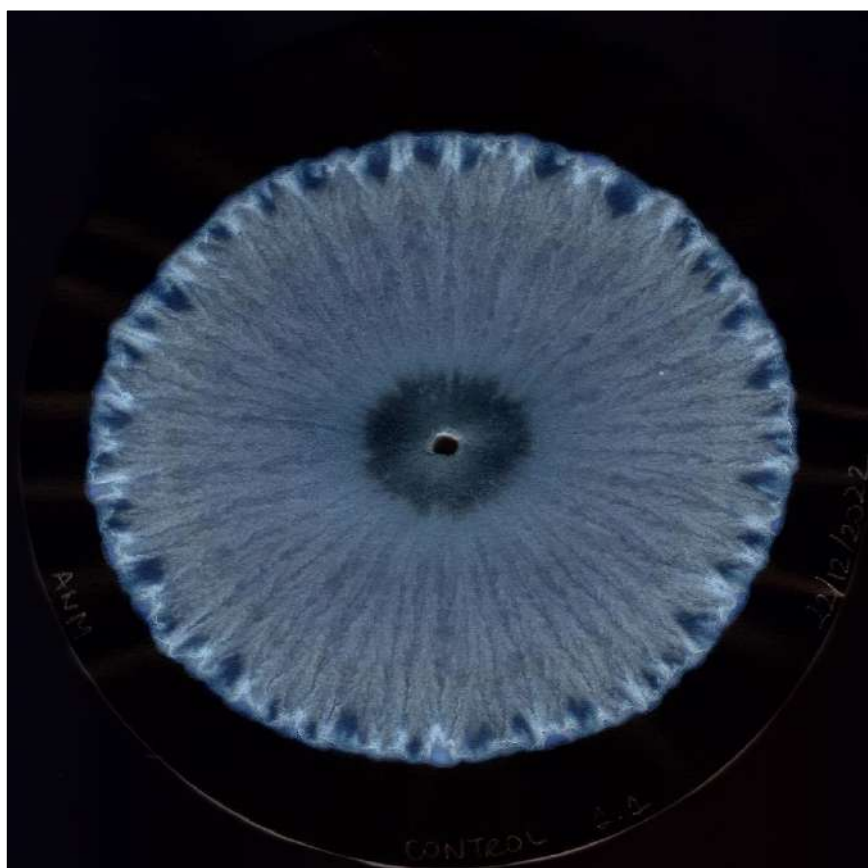


Figura A4: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Control 1 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos.

A)



B)

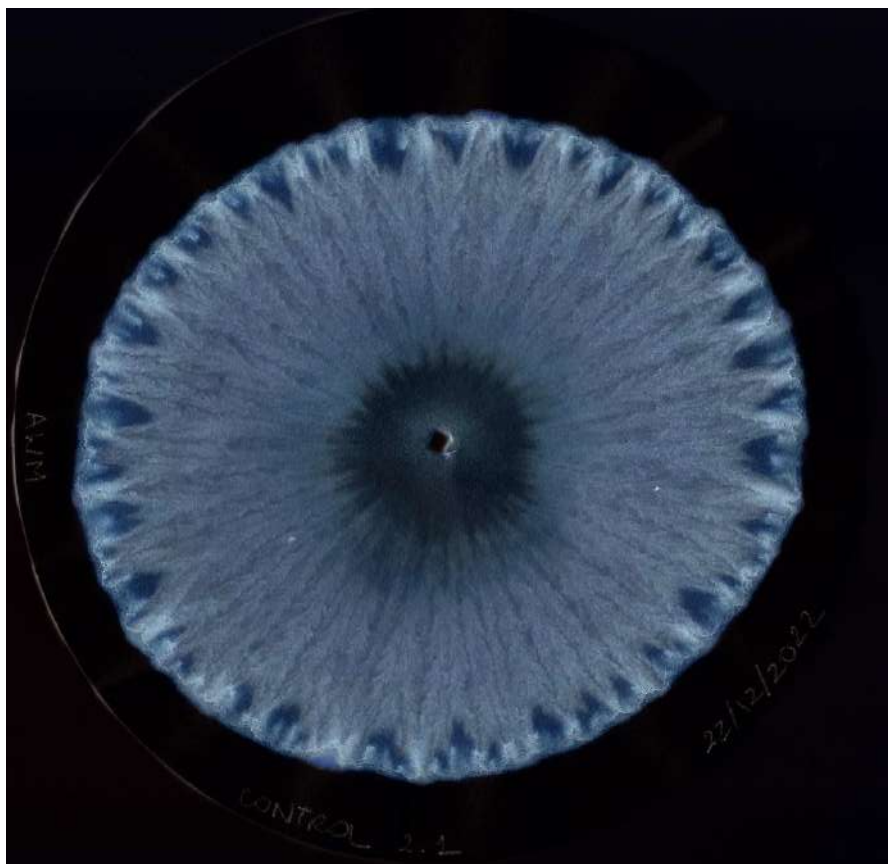
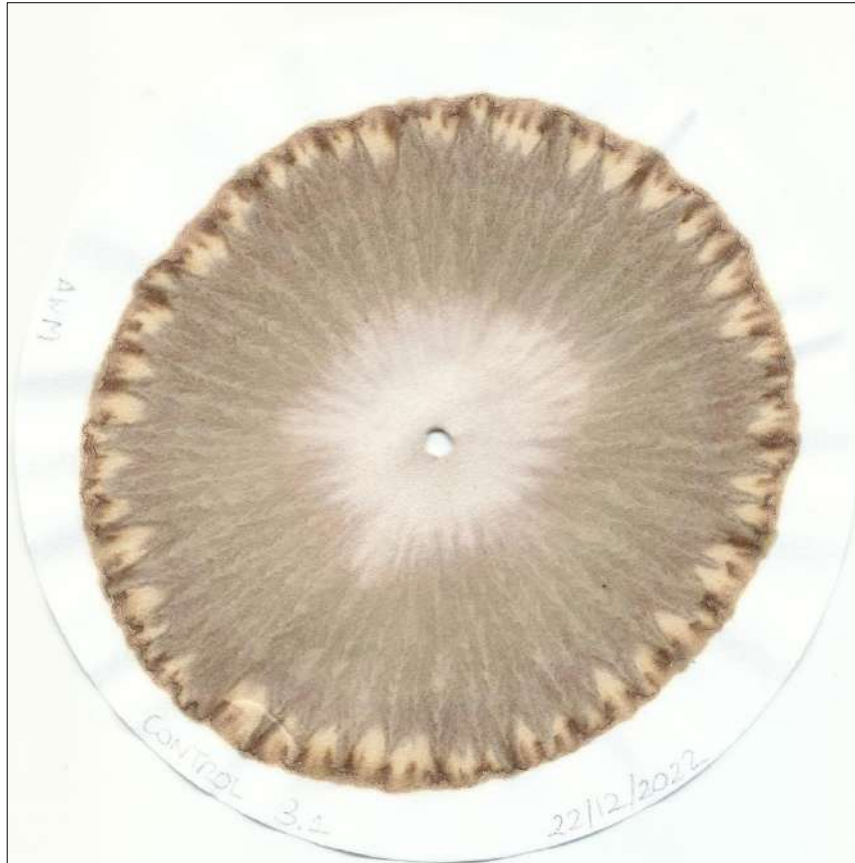


Figura A5: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Control 2 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos.

A)



B)

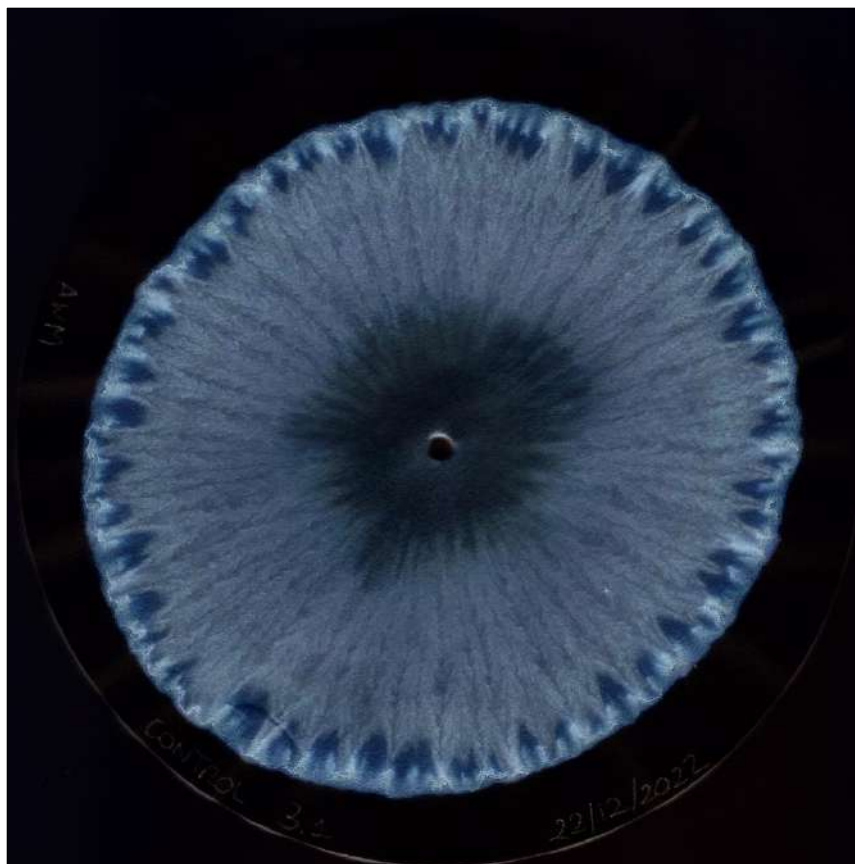
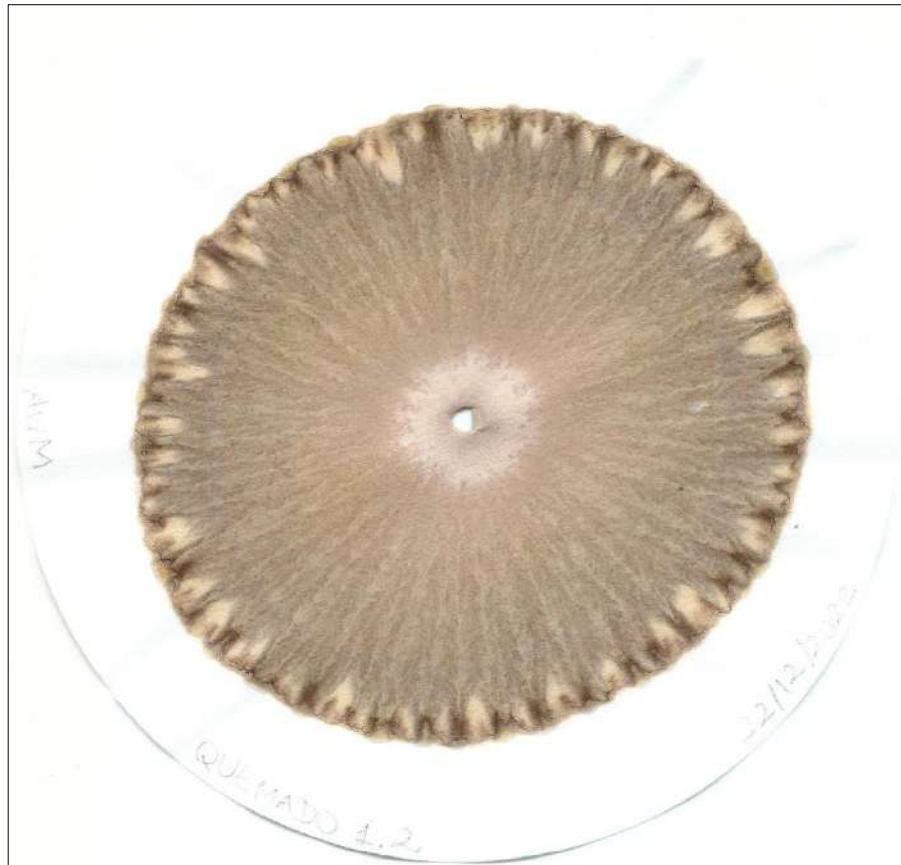


Figura A6: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Control 3 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos.

A)



B)

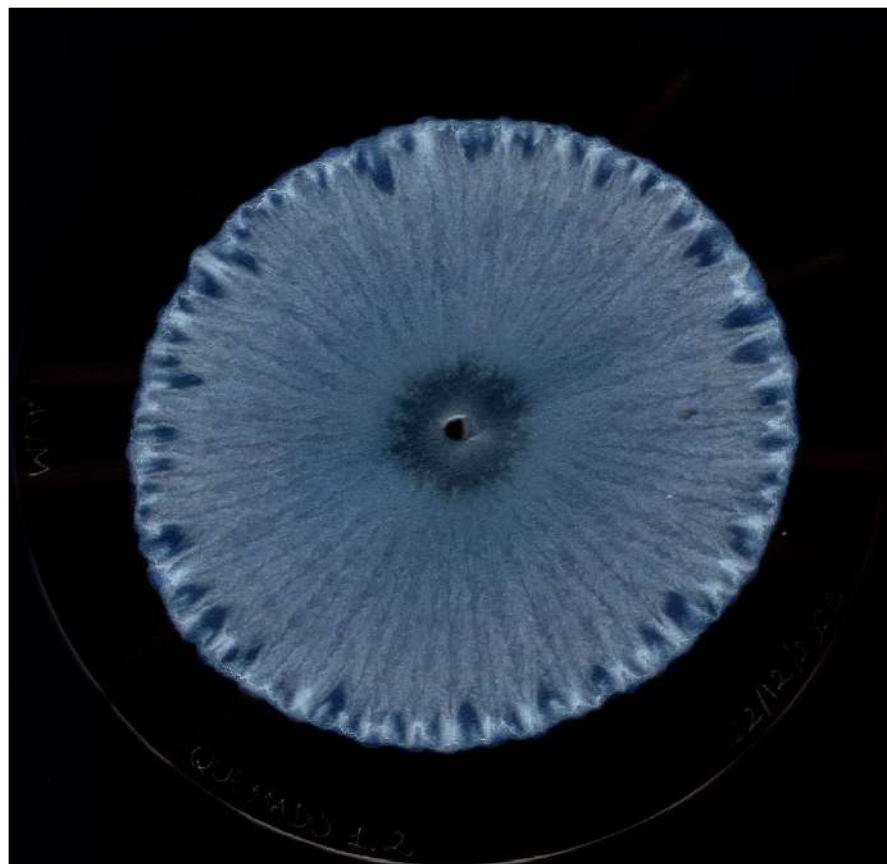
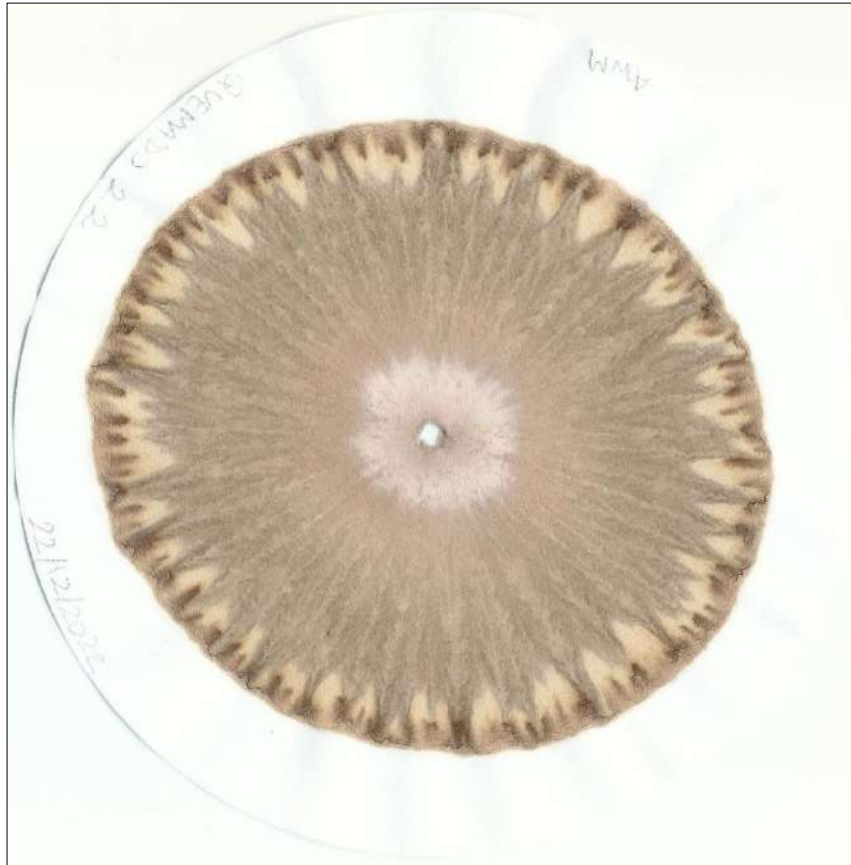


Figura A7: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Quemado 1 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos.

A)



B)



Figura A8: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Quemado 2 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos.

A)



B)

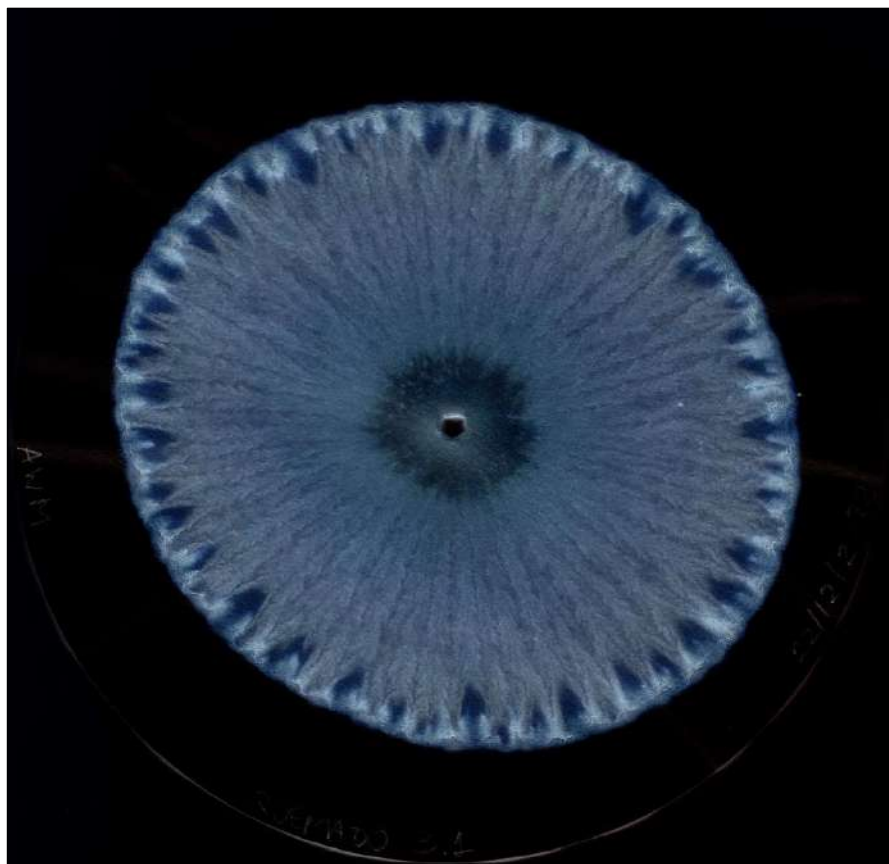


Figura A9: Cromatograma correspondiente a la muestra compuesta Quemado 3 Reserva Provincial Parque Luro (La Pampa). A) Color original y B) colores invertidos.

ANEXO 3. Valoración en base a atributos

Tabla A2: Puntajes asignados para atributos (color, forma e integración) en zona central, zona interna, zona interna, zona intermedia y zona externa del cromatograma en las nueve muestras compuestas.

| Muestras | ZC | | | ZI | | | ZINT | | | ZE | | | Puntaje |
|----------|-----|-----|---|-----|-----|-----|------|-----|---|-----|---|-----|---------|
| | C | F | I | C | F | I | C | F | I | C | F | I | |
| RHT 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 29 |
| RHT 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2,5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 30,5 |
| RHT 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 30 |
| C 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 32 |
| C 2 | 3 | 2,5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 33,5 |
| C 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 34 |
| Q 1 | 2 | 2 | 2 | 2,5 | 3 | 2 | 1,5 | 2 | 3 | 2,5 | 3 | 2,5 | 28 |
| Q 2 | 2,5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2,5 | 1,5 | 2,5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 31 |
| Q 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2,5 | 2,5 | 2 | 3 | 2,5 | 3 | 2,5 | 31 |