



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para obtener el grado académico de
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE.

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO DE PERMANENCIA DE LAS
TEMPERATURAS MÁXIMAS DE QUEMA SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS Y
QUÍMICAS DE UN HAPLUSTOL ÉNTICO DE LA REGIÓN CENTRAL DEL
CALDENAL”

SAWCZUK NATALIA

“SANTA ROSA (LA PAMPA)”

“ARGENTINA”

2009

PREFACIO

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero 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 el Laboratorio de Química, dependiente de Facultad de Agronomía, UNLPam, durante el período comprendido entre Abril de 2008 y Junio de 2009, bajo la dirección de HEPPEL Estela; y bajo la codirección de BELMONTE Valeria.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a mi directora de tesina, Estela Hepper, por todo lo que me brindó y enseñó éste tiempo; los conocimientos, los consejos, la paciencia, el cariño y la dedicación que constantemente me entregó. Su respaldo fue muy significativo para mí.

A Ana Urioste por su dedicación, apoyo y conocimientos transferidos. Por el afecto, preocupación y estímulo que siempre me dio.

Asimismo quiero destacar el contacto que Ernesto Morici realizó con Estela y Ana, abriéndome la puerta para el desarrollo de esta tesina. Gracias por su asesoramiento, apoyo, alegría e incentivo.

A Valeria Belmonte por asistirme en el análisis estadístico de los datos.

A Moni por la ayuda en cada salida de campo, los consejos, su amistad y buena onda.

A Ricardo Ernst por su bondad y compañerismo en los viajes.

Por la ayuda en las imágenes y en la traducción del resumen, le agradezco a Marina.

A la Universidad Nacional de La Pampa, por permitirme trabajar y sacar las muestras en el establecimiento Bajo Verde.

A la Facultad de Agronomía, por el espacio físico brindado en el laboratorio de química para el desarrollo experimental de la tesina; y a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, por la ayuda económica ofrecida.

A todas mis amigas y amigos, a los que encontré a lo largo de la carrera y a los de siempre, por todo su aguante, paciencia, comprensión, consejos, alegrías, cariño,

compañía. Muchas veces me refugie en ustedes y siempre estuvieron, en las buenas y en las malas. Por su amistad.

Y por último quiero agradecer a toda mi Familia, por todo su apoyo, ayuda, atención y afecto brindado. Porque siempre estuvieron a mi lado. A mi Mamá, a mi Papá y a Fede que siempre estuvieron y están en todo momento, fueron y son mi gran “sostén” y “cable a tierra”, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

Esta tesina está llena de aprendizaje, de enseñanzas, de buenos recuerdos, de valores, de muchas personas que tuve la suerte de encontrar en mi camino... Esto se logró por el aporte de todos ustedes, por eso, de corazón, una vez más MUCHAS GRACIAS!!!

7 de agosto de 2009

Natalia Sawczuk

Departamento de Recursos Naturales

“Facultad de Ciencias Exactas y Naturales”

“Universidad Nacional de La Pampa”.

RESUMEN

En la Provincia de La Pampa los productores ganaderos utilizan el fuego como una herramienta de manejo de los pastizales naturales con bosque de caldén. El efecto sobre propiedades físicas y constituyentes químicos y biológicos del suelo depende de la cantidad y duración de la transferencia de calor. El objetivo de este estudio fue detectar los tiempos de exposición al calor que pueden producir modificaciones en propiedades físicas y químicas del suelo. Se muestrearon los primeros 2,5cm del perfil de un potrero de 20ha de bosque de Caldén, en dos condiciones: suelo desnudo y suelo con broza. Las muestras sin disturbar se expusieron a dos temperaturas (200°C y 427°C) durante diferentes tiempos, dejando una muestra testigo. En cada muestra se determinó pH, carbono orgánico, nitrógeno total, fracciones de fósforo inorgánico, orgánico y asimilable, textura, cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico. La exposición al calor durante 45 minutos a 200°C afectó en mayor medida a las variables analizadas, se detectó una disminución en el contenido de carbono orgánico, nitrógeno total, y un aumento de pH el que condujo a una disminución de la disponibilidad de fósforo. A 427°C durante 15 minutos disminuyó el contenido de potasio intercambiable, siendo el único efecto similar al que se produjo a 200°C y 60 minutos. Una quema controlada que no supere los 200°C y los 30 minutos de permanencia del calor, no afectará el contenido de nutrientes, la textura y al complejo órgano mineral que actúan reteniendo cationes y agua del suelo.

‘Evaluation of the duration of the maximum burning temperature effects on physical and chemical properties of an Entic Haplustoll soil in the Central Semiarid Pampean Region’

ABSTRACT

In the province of La Pampa, cattle producers use fire as a tool for controlling natural grasslands within Calden woodland. Fire effect on the physical properties and the biological and chemical constituents of the soil depends on the quantity and duration of heat transference. The aim of this study was to detect the spans of heat exposure that can modify physical and chemical soil properties. The samples were obtained from the upper 2.5 cm of the soil profile in a 20-hectare field, situated in Calden woodland under two conditions: bare soil and waste covered soil. Without disturbing the samples, they were exposed to two different temperatures (200°C and 427°C) with different periods of exposure, and one was set aside as a control sample. In each sample, it was determined the pH, organic carbon, total nitrogen, fractions of organic, inorganic and available phosphorus, texture, exchangeable cations and cation exchange capacity. The exposure to heat during 45 minutes at 200°C had an important influence on the analyzed variables, it reduced the organic carbon content, the nitrogen content and it produced an increase of pH which led to a decrease of availability of phosphorus. With an exposure to heat at 427°C during 15 minutes the exchangeable potassium content was reduced, as it similarly happened at 200°C during 60 minutes. A controlled burn with temperatures under 200°C and exposure to heat for no more than 30 minutes will not affect the nutrient contents, the texture and the organic-mineral complex, which has an important role in retaining cations and water in soil profile.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Materiales y Métodos	
<i>Área de Estudio</i>	7
<i>Quema Controlada: Medición de Temperatura del Suelo</i>	8
<i>Muestreo y Ensayo de Laboratorio</i>	10
<i>Determinaciones Analíticas</i>	11
<i>Análisis Estadístico</i>	12
Resultados y Discusión	
<i>Efecto del Tiempo de Exposición al Calor sobre las Variables Edáficas</i>	13
<i>Efectos del Calentamiento a 427°C</i>	16
<i>Contribución de la Ceniza dejada por la Broza al Contenido de Nutrientes</i>	17
Conclusiones.....	20
Bibliografía.....	21
Anexo	

INTRODUCCIÓN

El fuego ha sido desde la antigüedad un elemento de modificación del paisaje, sea por acción humana o por acción climática. Este fenómeno es capaz de provocar un impacto sobre la estructura de diferentes comunidades; sus efectos pueden ser determinantes en la estabilidad y diversidad de los ecosistemas terrestres, incidiendo sobre distintas propiedades del suelo y sobre la biota que se desarrolla en él. Es una herramienta fácil de implementar, pero de no tan fácil predicción de sus resultados.

En la Provincia de La Pampa los productores ganaderos utilizan con frecuencia el fuego como una herramienta de manejo en los pastizales naturales con bosque de caldén. La quema prescrita es definida como un proceso controlado del uso del fuego por personal calificado, aplicado sobre cualquier tipo de material combustible, en un área específica, bajo condiciones climáticas seleccionadas, con el fin de lograr objetivos de manejo predeterminados bien definidos, quedando el fuego confinado al área tratada y en un marco de seguridad (Green 1981, Wade y Lunsford 1988, Weber & Taylor 1992). Nazar Anchorena (1988) señala numerosos beneficios de su uso, entre ellos la eliminación y/o control de plantas arbustivas, el incremento de la producción primaria, rejuvenecimiento de plantas leñosas, eliminación de material acumulado poco palatable, preparación de camas de siembra y el mejor manejo de la hacienda en los potreros. Entre los inconvenientes observados, señala la destrucción de la materia orgánica, subutilización de los potreros quemados durante un tiempo y la destrucción de especies valiosas. Por lo que es necesario evaluar las posibles consecuencias teniendo en cuenta ciertos factores como frecuencia de quema, época del año, humedad del aire y suelo, temperatura y velocidad del viento, entre otros.

El suelo es un componente fundamental de los ecosistemas: la productividad y sostenibilidad dependen de su calidad, la que se define como la capacidad de funcionar como un ecosistema diverso y resiliente, de soportar una productividad primaria y secundaria neta sostenible y de proteger la calidad del ambiente (Harris & Bezdicek, 1994). En general se sostiene que el fuego afecta al suelo por el impacto térmico y por las cenizas.

El calor que se transmite al suelo durante una quema controlada podría afectar el contenido y calidad de la materia orgánica y la textura, factores de los cuales depende la fertilidad física de los suelos. Entre las modificaciones producidas por el fuego sobre las propiedades químicas del suelo, se mencionan cambios en los contenidos de nutrientes

esenciales para la sostenibilidad a largo plazo de la producción del ecosistema. La materia orgánica presente en el suelo sufre procesos de descomposición que incluyen reacciones químicas y bioquímicas cuyas velocidades son dependientes de la temperatura. Davidson & Janssens (2006) analizan la sensibilidad de la descomposición de la materia orgánica del suelo con la temperatura, e indican que ésta depende del mayor o menor grado de descomposición del sustrato y de cuan protegida física o químicamente se encuentre. Respecto del primer factor, diferencian tres pools de materia orgánica del suelo mineral: microbiana, humificada e inerte, siendo la primera la más lábil, con alto contenido de nitrógeno y bajo de lignina, corto tiempo de residencia y más sensible a la temperatura; mientras que la llamada inerte posee bajo contenido de nitrógeno y alto de lignina, largo tiempo de residencia en el suelo y es discutido el grado de sensibilidad a la temperatura. Por otra parte estos pools de materia orgánica pueden encontrarse protegidos química y físicamente en el interior de agregados del suelo, los que limitan el acceso de los microorganismos y sus enzimas. La protección química de la materia orgánica está dada por la adsorción de la misma a las partículas minerales a través de enlaces covalentes o interacciones electrostáticas. El fuego actúa como agente mineralizador de la materia orgánica, aumentando el contenido de nutrientes disponibles en el suelo para el crecimiento de la pastura (Chapin & Van Cleve, 1981; Fassbender & Bornemisza, 1987). Hobbs & Schimel (1984) reportaron un incremento en la tasa de mineralización del nitrógeno del suelo, y por lo tanto, la disponibilidad de este elemento para la planta. El contenido de carbono orgánico del suelo es el resultado del balance entre ingresos y egresos de este elemento, un aumento en la velocidad de descomposición de la materia orgánica por efecto del calor, generará un flujo de CO₂ hacia la atmósfera produciendo pérdidas netas de carbono.

El contenido de nutrientes de los suelos puede disminuir, aumentar, o no verse alterado por efecto del fuego. Las pérdidas podrían deberse a volatilización, lavado, arrastre de las cenizas por corrientes de convección durante la quema o por erosión eólica posterior de las mismas (Giardina *et al.*, 2000). El enriquecimiento se puede atribuir a la mineralización de la materia orgánica del suelo y a la ceniza dejada por la biomasa aérea (Albanesi & Anriquez, 2003). Smith *et al.* (2001) indican incrementos en la concentración de fósforo total y de calcio total debido a una reducción física de las capas superficiales del suelo, mientras que atribuyen la disminución de nitrógeno total y carbono total a la volatilización de los mismos. Arocena & Opio (2003) encontraron aumentos de pH y de

calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables, mientras que no detectaron cambios en el contenido de nitrógeno total y disponible, luego de una quema prescrita. Castelli & Lazzari (2002) inmediatamente después de una quema controlada en el sudeste de la región del caldenal pampeano, detectaron aumentos del contenido de fósforo total y de azufre, incrementos de pH y de la capacidad de intercambio catiónico en suelos bajo cobertura de especies leñosas y de la disponibilidad de nitrógeno principalmente bajo especies herbáceas. Sertsu & Sanchez (1978) comprobaron, en estudios de laboratorio, que cuando el suelo ha soportado temperaturas de hasta 200°C durante 48 horas, existen algunos efectos benéficos como incremento de nitrógeno inorgánico, fósforo, hierro y manganeso disponibles, probablemente liberados durante la descomposición de la materia orgánica. Estos mismos autores reportan que con temperaturas superiores a 400°C se produjo la destrucción completa de la materia orgánica. Bissolino & Dagnino (2006), estudiaron el efecto de la temperatura de quema sobre las fracciones inorgánicas y orgánicas de fósforo de dos suelos de diferente textura del área del caldenal pampeano, y encontraron en general que cuando el suelo fue expuesto durante 5 minutos a 300°C y a 600°C aumentaron las fracciones más lábiles y disminuyeron las fracciones menos disponibles de fósforo. Estos autores sugieren que en ambos suelos se producirían pérdidas netas de fósforo por volatilización del fósforo orgánico. Giardina *et al.* (2000), Quaglia *et al.* (1999) encontraron aumentos de pH del suelo seguido de una quema. En suelos de la Región Semiárida central predominan los fosfatos de calcio (Buschiazzo *et al.*, 2000), por lo que un incremento de pH por efecto del fuego, provocará desplazamiento de los equilibrios de solubilidad de estos fosfatos, disminuyendo así el contenido de fósforo disponible.

El efecto de esta práctica de manejo sobre suelos del área del Caldenal en la provincia de La Pampa, comenzó a abordarse en los últimos años y se ha avanzado en el conocimiento de las temperaturas de quema que producen modificaciones químicas y texturales. Buschiazzo *et al.* (1991) encontraron que suelos de la Región Semiárida Pampeana Argentina, con altos contenidos de fracciones arcilla y limo tienen asociados altos contenidos de materia orgánica, atribuible a la formación de complejos organominerales. La pérdida de materia orgánica por efecto del fuego podría destruir estos complejos, lo que produciría efectos no deseados sobre el suelo, como la disminución de la estabilidad estructural, parámetro directamente relacionado con la susceptibilidad de erosionarse. Hepper *et al.* (2008) en su trabajo realizado en suelos Haplustoles énticos, uno franco y otro franco arenoso de esta región, tomaron varias muestras que fueron sometidas

a distintas temperaturas (100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C y 600°C) durante un tiempo de permanencia de 5 minutos; y detectaron que los contenidos de carbono orgánico en ambos suelos y de nitrógeno total en el suelo franco, disminuyeron significativamente a partir de la exposición a 500°C mientras que el contenido de nitrógeno total del suelo franco arenoso presentó una reducción a 600°C. Las pérdidas en los contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total se producirían por combustión de la materia orgánica del suelo y volatilización de los compuestos nitrogenados (Smith *et al.*, 2001). A altas temperaturas la materia orgánica presenta mayor grado de descomposición aumentando las formas de nitrógeno orgánico no hidrolizables y por lo tanto mineralizable (Walker *et al.*, 1986). Con respecto a la textura, Kettering *et al.* (2000), encontraron un drástico aumento del contenido de arena, disminución de limo y principalmente de arcilla, cuando el suelo fue expuesto a temperaturas extremas (mayores a 600°C) y a bajas temperaturas (100°C y 300°C) encontraron un aumento de la fracción de arena en los primeros 5 cm del perfil. Hepper *et al.* (2008) detectaron que en un suelo franco arenoso sometidos a temperaturas de 200°C y 300°C disminuyó la proporción de la fracción arena gruesa. Esta disminución fue atribuida a la ruptura de los feldspatos por acción del calor (Arocena & Opio, 2003), formándose partículas de tamaño menor como lo evidencia el aumento, a la misma temperatura, de la arena media. Por otra parte Hepper *et al.* (2008) encontraron que partiendo de los 400°C, la fracción de arcilla disminuyó, mientras que el limo fue la fracción más estable térmicamente. A partir de 500°C se produce la transformación del suelo franco en franco arenoso y del franco arenoso en arenoso franco con la consecuente pérdida de la capacidad de retención de cationes. Cuando la temperatura de quema alcanza 400°C aumenta el contenido de sodio y de potasio y disminuye el de magnesio intercambiable. Asimismo, la exposición de estos suelos a temperaturas de 500°C o superiores produce disminuciones drásticas de la capacidad de intercambio catiónico, asociadas a las disminuciones en la proporción de arcilla y materia orgánica, y en consecuencia disminuye la capacidad de retención de agua y de nutrientes, los que serán más susceptibles de ser lavados de la capa superficial después de una quema con la consecuente pérdida de fertilidad de estos suelos.

Debido a la multiplicidad de factores que pueden afectar a las propiedades del suelo sometido a una quema, la interpretación de los efectos producidos a campo es difícil si no se tiene conocimiento de cada uno individualmente. Los estudios realizados sobre suelos del área del caldenal encontraron a qué temperaturas de quema se producen modificaciones

en algunas propiedades físicas y químicas del suelo mineral, cuando el tiempo de exposición al calor fue de pocos minutos. Sin embargo la bibliografía analizada indica que el tiempo de permanencia de un fuego es muy variable, por lo tanto es necesario aportar información científica que determine la importancia de esta variable sobre los efectos de la quema en las propiedades edáficas, y en el aporte de nutrientes a partir de la ceniza de la necromasa. Dicho tiempo depende de la cantidad y calidad del combustible presente (Kunst & Bravo, 2003). Wright & Bailey (1982) encontraron que cuando la cantidad de combustible fino varió entre 7000 a 8000 Kg/ha las temperaturas por encima de 66°C persistieron entre 1 y 6 minutos, con cantidades entre 8000 y 14000 Kg/ha las temperaturas máximas alcanzadas fueron de 500 a 600°C y se mantuvieron entre 1 y 2 minutos. La permanencia de altas temperaturas en fuegos de combustibles gruesos puede ser alta. La combinación de temperatura máxima y tiempo de permanencia producirían un impacto térmico sobre el suelo que además dependerá de su contenido de humedad y de factores intrínsecos como la textura, factores que condicionan la transmisión del calor en el cuerpo del mismo.

A partir del análisis del conocimiento disponible se plantearon las siguientes hipótesis:

- Bajas temperaturas de quema asociadas a mayor tiempo de exposición del suelo al calor, provocarán modificaciones en algunas propiedades edáficas de similar magnitud que quemadas que desarrollen altas temperaturas durante corto tiempo.
- Largo tiempo de permanencia del calor, desarrollado durante una quema, provocará disminución del contenido de la fracción arcilla, aumentos de fracciones de arena y por lo tanto disminución de la capacidad de intercambio catiónico. Asimismo producirá disminuciones en el contenido de carbono orgánico, fósforo orgánico y nitrógeno total y aumentos de pH y del contenido de fósforo lábil.
- La quema de la necromasa del suelo producirá un aporte de sales que contribuirá a la modificación del contenido de los cationes intercambiables presentes en el suelo mineral.

Los objetivos generales consistieron en analizar el efecto del tiempo de exposición al calor sobre propiedades químicas y físicas del suelo; y aportar información científica que contribuya al uso sustentable del fuego como herramienta de manejo.

Los objetivos específicos planteados fueron:

- Determinar si la exposición de un suelo a bajas temperaturas durante mayor tiempo tendrá un efecto similar que a altas temperaturas y menor tiempo, sobre algunas propiedades edáficas.
- Detectar los tiempos de exposición al calor que producirán modificaciones en los valores de pH y los contenidos de carbono orgánico, nitrógeno total, fracciones de fósforo y cationes intercambiables del suelo.
- Determinar en que grado la ceniza dejada por la broza contribuye a modificar el contenido de nutrientes propios del suelo, y si este aporte está relacionado con el tiempo de permanencia del calor durante una quema.
- Encontrar si existe una relación funcional que exprese los cambios en las variables edáficas analizadas, según los distintos tiempos de exposición del suelo al calor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El sitio de estudio está ubicado en la región del caldenal, en la Provincia de La Pampa. El caldenal es una formación boscosa característica de la región central semiárida templada de Argentina, perteneciente a la provincia fitogeográfica del Espinal. En La Pampa se extiende entre las isohietas de 400 y 600 mm, ocupando principalmente áreas bajas y depresiones (Cano *et al.*, 1980). Este distrito se caracteriza por el dominio del caldén (*Prosopis caldenia* Burkart) que forma bosques mas o menos densos, sabanas con gramíneas, áreas medanosas con vegetación psammófila y matorrales o estepas halófilas sobre suelos salinizados (Cabrera, 1976).

En el bosque abierto la cobertura arbórea no supera el 20% (*Prosopis caldenia* y *Schinus fasciculatus*) y la proporción de especies forrajeras es importante (*Poa ligularis*, *Piptochaetium napostaense*, *Stipa tenuis*, *Digitaria californica*, *Bothriochloa springfieldii*), mientras que en el bosque denso la cobertura arbórea supera el 50% y entre las gramíneas predominan las especies no forrajeras (*Stipa ichu*, *Stipa trichotoma*, *Stipa tenuísima*, *Stipa brachychaeta*) (Estelrich *et al.*, 2005). Las especies más relevantes del estrato arbustivo son: *Condalia microphylla*, *Lycium chilense*, *Lycium gilliesianum*, *Ephedra triandra*, *Chuquiraga erinacea*, *Larrea divaricata* y *Prosopidastrum globosum*. La composición florística y la estructura del Caldénal presenta variaciones locales como consecuencia de variables ambientales y de manejo (Adema *et al.* 2003).

Los suelos de esta región pertenecen en su mayoría a los órdenes taxonómicos Molisoles predominantes en el sector oriental, Entisoles que prevalecen en el sector occidental y con menor representatividad espacial Aridisoles que se encuentran en áreas reducidas, asociados a depresiones ocupadas por lagunas saladas temporarias. Dentro del orden de los Molisoles, los Haplustoles son los suelos de mayor representatividad espacial y dentro de los Entisoles son los Ustipsamientos. Los Haplustoles son suelos de textura franco arenosa y con mayor contenido de materia orgánica que los Ustipsamientos los que presentan una textura desde arenosa a arenosa franca. Debido a esto los Haplustoles poseen mayor capacidad de retención de agua, mejor distribución de tamaño de agregados y mayor estabilidad estructural que los Ustipsamientos. Estos últimos, debido al elevado porcentaje de arena, tienen mayor capacidad de infiltración y menor probabilidad de escurrimiento,

pero el excesivo drenaje y su marcada aridez climática, los hace más susceptibles a la erosión eólica (Adema *et al.*, 2003).

Quema Controlada: Medición de Temperatura del Suelo

El ensayo se realizó en el establecimiento llamado “Bajo Verde”, campo de la UNLPam, ubicado a 35 Km hacia el noroeste de la ciudad de Santa Rosa (NE: Lat. 36°29′18.0″, long 64°37′03.4″; NW: Lat. 36°29′20.5″, long 64°37′29.1″; SE Lat. 36°29′42.4″, long 64°37′03.7″; SW: Lat. 36°29′42.2″, long 64°37′28.9″) (Figura 1). De un potrero de 20 ha se seleccionó un área de especies arbustivas, con predominio de rebrotes de *Prosopis caldenia* producto de un incendio anterior y el estrato graminoso-herbáceo dominado por *Stipa ichu*, *Stipa tenuíssima* y *Stipa brachychaeta*.

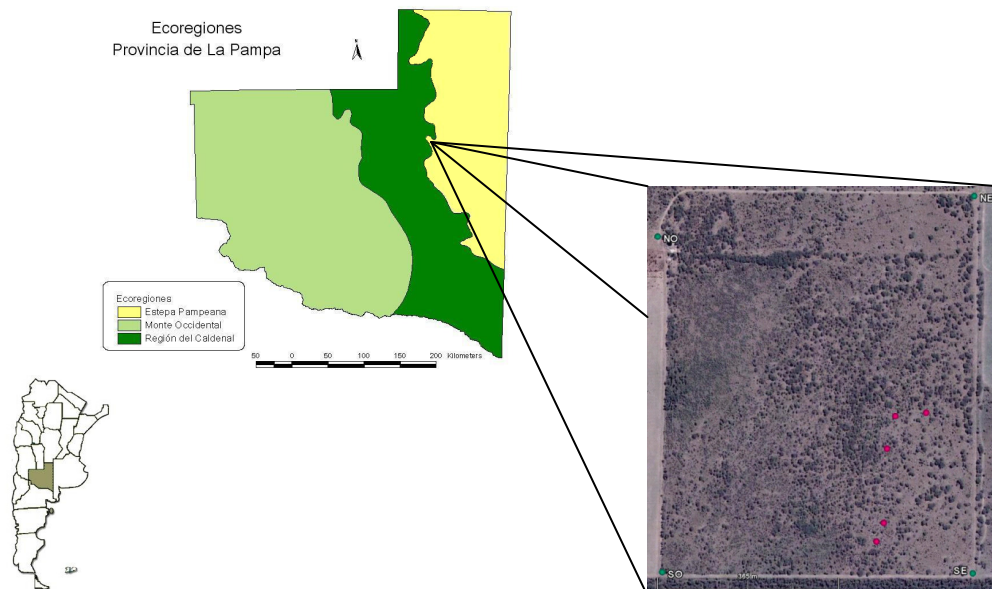


Figura 1. Ubicación del potrero del establecimiento Bajo Verde y de los parches con vegetación arbustiva muestreados.

Dentro del área se seleccionaron 5 parches con el fin de medir la temperatura que alcanza el suelo durante una quema controlada. Para esto se preparó un conjunto de crayones sensibles al calor (tempils), los que fueron colocados en sobres de aluminio. Los mismos permiten detectar las siguientes temperaturas: 52°C, 93°C, 121°C, 163°C, 204°C, 246°C, 316°C, 427°C, 538°C y 649°C. En cada uno de los parches se colocó un conjunto de tempils a nivel de superficie del suelo, a 2 cm y a 4 cm de profundidad (Foto 1).



Foto 1. Conjunto de tempils colocados a 2 cm de profundidad.

El día 15 de abril de 2008 personal de Defensa Civil de la provincia de La Pampa realizó la quema controlada (Foto 2). Las condiciones climáticas medidas fueron: temperatura ambiente promedio 25°C, humedad relativa del aire 25% y vientos del NE oscilando entre 6 y 20 Km/h. La técnica de ejecución fue iniciar la quema en contra del viento afectando primeramente los bordes del potrero y luego se largó el fuego hacia el interior del mismo a favor del viento. Todo el proceso se llevó a cabo en el transcurso de dos horas y media.



Foto 2. Aspecto del potrero durante la quema.

Al día siguiente de la quema fueron retirados los tempils, llevados al laboratorio y evaluada la temperatura alcanzada de acuerdo a la fusión de los crayones (Foto 3).

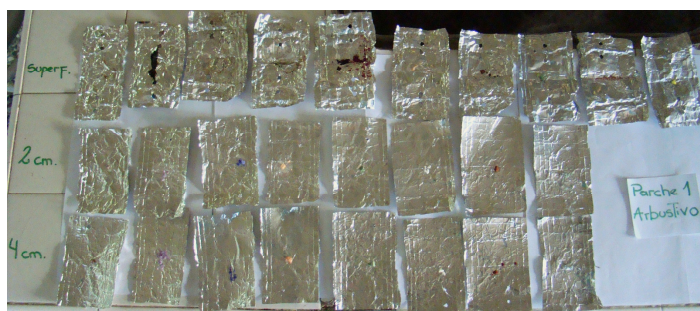


Foto 3. Estados de los crayones en el parche 1 y en las distintas profundidades luego de la quema.

Muestreo y Ensayo de Laboratorio

Antes de la quema controlada, se tomaron los primeros 2,5 cm del perfil sin disturbar y en dos condiciones: 25 muestras de suelo desnudo (SD) y 25 muestras de suelo con broza (SB). Las muestras se llevaron al laboratorio donde se agruparon de a 5 (repeticiones) dentro de cada condición, de cada una de éstas se dejó un grupo como testigo y de los 4 grupos restantes uno se colocó en mufla a temperatura constante de 200°C durante 15 minutos, otro durante 30 minutos, otro durante 45 minutos y el último durante 60 minutos (Foto 4).



Foto 4. Muestras de suelo sin disturbar colocadas en cápsulas de porcelana antes del tratamiento.

La temperatura de calentamiento se fijó en 200°C debido a que durante la quema controlada se detectó que a 2 cm de profundidad, el suelo en uno de los parches superó la temperatura de 163°C, debido a que fundió el tempils correspondiente, pero no alcanzó los 204°C (Tabla 1). Si bien en la superficie del suelo la máxima temperatura registrada fue de 427°C, no toda la masa del suelo comprendida en los primeros 2,5 cm estuvo expuesta a esa temperatura.

Tabla 1. Temperatura alcanzada en superficie, a 2 cm y a 4 cm de profundidad del suelo durante la quema controlada.

Parche	Muestras Profundidad	Temperaturas alcanzadas									
		52°C	93°C	121°C	163°C	204°C	246°C	316°C	427°C	538°C	649°C
1	sup	d	d	d	d	d	d				
	2 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	sup	d	d	d	d	d	-	-	-	-	-
	2 cm	d	d	d	d	-	-	-	-	-	-
	4 cm	d	d	d	-	-	-	-	-	-	-
3	sup	d	d	d	d	d	d	d	d	-	-
	2 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	sup	d	d	d	d	-	-	-	-	-	-
	2 cm	d	d	d	-	-	-	-	-	-	-
	4 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	sup	d	d	d	d	d	d	-	-	-	-
	2 cm	d	d	-	-	-	-	-	-	-	-
	4 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

d: detectado, significa que se superó la temperatura indicada.

Por otra parte para analizar el efecto del calor sobre el suelo superficial se realizó otro ensayo calentando 5 muestras de los primeros 2,5 cm del perfil, sin disturbar y sin broza a 427°C durante 15 minutos en mufla.

Determinaciones Analíticas

Las muestras testigos y las tratadas fueron tamizadas por 2 mm y se les realizó las determinaciones que se detallan a continuación:

- Carbono orgánico total (CO) por el método de oxidación húmeda (Walkley & Black, 1934).
- pH en agua (relación 1: 2,5) por potenciometría.
- Nitrógeno total (Nt) por el método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982).
- Calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) por extracción con solución de acetato de amonio 1 mol/dm³ a pH 7,2, y posterior determinación en el extracto de Ca^{2+} y Mg^{2+} por absorción atómica y K^+ y Na^+ por fotometría de llama.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC) por saturación de la muestra utilizada en la extracción de los cationes intercambiables con acetato de sodio y posterior desplazamiento del Na^+ con solución de acetato de amonio 1 mol/dm³ a pH 7,2. Determinación en el extracto del Na^+ desplazado por fotometría de llama.
- Fracciones de fósforo: fósforo asimilable (Pa) por el método Bray Kurtz I; fósforo total (Pt) por calcinación y extracción ácida (H_2SO_4 0,2N); fósforo inorgánico (Pi) por

extracción con H_2SO_4 (0,2 N) y fósforo orgánico (Po) obtenido por diferencia entre Pt y Pi (Kaila, 1962). La concentración de fósforo en los diferentes extractos fue determinada espectrofotométricamente por el método del ácido ascórbico y molibdato de amonio.

- Fracciones granulométricas sobre las muestras sin dispersar a las que previamente se les destruyó la materia orgánica con H_2O_2 . Las fracciones determinadas fueron: arcilla (<2 μm) y limo (2-50 μm) por el método de la pipeta de Robinson (Schlichting *et al.*, 1995), arena muy fina II (50-74 μm), arena muy fina I (74-100 μm), arena fina (100-250 μm), arena media (250-500 μm) y arena gruesa (500-2000 μm) por tamizado en húmedo.

Análisis Estadísticos

El diseño experimental fue totalmente aleatorio con 5 réplicas por tratamiento (tiempo de exposición al calor). Los datos para cada variable fueron analizados estadísticamente por medio de análisis de la varianza, ANOVA (Kuehl, 2001) y las medias fueron comparadas por medio de la Prueba LSD de Fisher. Cuando los datos no cumplieron los supuestos del ANOVA, fueron analizados por el método MLG. Se utilizó el paquete estadístico Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del Tiempo de Exposición al Calor sobre las Variables Edáficas

Para la evaluación de este efecto se utilizaron los datos de las variables edáficas correspondientes a las muestras de suelo con broza.

En la Figura 2 se presentan los contenidos de CO y Nt, la relación CO/Nt y los valores de pH del suelo testigo y del suelo afectado por cada uno de los tratamientos.

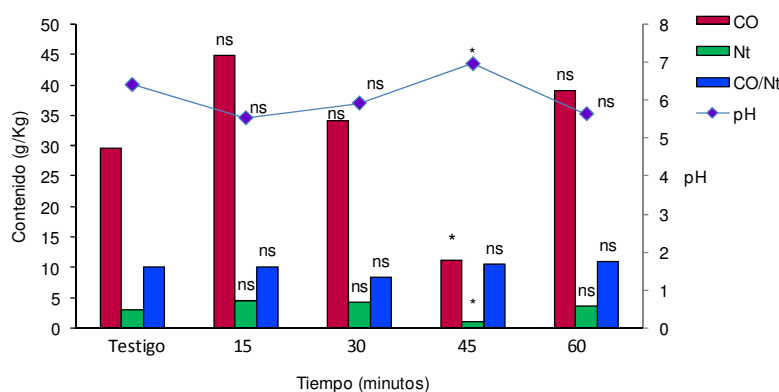


Figura 2. Cambios en los contenidos de carbono orgánico (CO) y nitrógeno total (Nt), en la relación CO/Nt y en los valores de pH en función del tiempo de exposición al calor. En cada una de las variables, * indica diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la media del testigo y cada uno de los tratamientos; ns indica que no se encontraron diferencias significativas. Los datos son promedio de 5 repeticiones.

Se observa que el pH aumentó significativamente cuando la muestra fue calentada durante 45 minutos a 200°C, pero luego de 60 minutos de exposición a esa misma temperatura, los valores de pH no se diferencian significativamente respecto del testigo. Mientras que el contenido de CO disminuye significativamente en el tratamiento de 45 minutos y luego de calentar la muestra de suelo durante 60 minutos no se encontraron diferencias significativas. La disminución de CO se debe a la pérdida de materia orgánica por combustión, lo que origina aumentos de pH. Terefe *et al.* (2008), reportan que en suelos típicos mediterráneos los valores de pH dependen de los contenidos de materia orgánica y de arcilla; en los suelos con altos contenidos de materia orgánica, en general, tiende a disminuir el pH cuando son calentados hasta 200°C, mientras que aumenta a mayores temperaturas. Estos mismos autores afirman que el aumento de pH se debería a diferentes causas, por un lado a la pérdida de ácidos orgánicos por volatilización y por otra parte a que los cationes que se liberan por oxidación de la materia orgánica, o los que son

aportados por la ceniza dejada por la broza, desplazan los protones de los sitios de intercambio.

El contenido de Nt se comporta frente al tiempo de exposición al calor de igual forma que el contenido de CO, variando en la misma proporción, lo que queda demostrado en la falta de diferencias significativas para los valores de la relación CO/Nt en los distintos tratamientos con respecto al testigo. La pérdida de Nt cuando se calentó el suelo durante 45 minutos es debida a la volatilización de los compuestos nitrogenados presentes en la materia orgánica, coincidiendo con lo encontrado por Smith *et al.* (2001). Redman (1991), afirma que una gran cantidad de nitrógeno de la vegetación y de la necromasa se volatiliza durante los fuegos de pastizales y/o arbustales. Sertsu & Sanchez (1978) indican que el calentamiento del suelo durante 48 horas a igual temperatura que en este estudio produce efectos benéficos, debido al aumento del contenido de nitrógeno mineral, lo que no concuerda con lo encontrado en este trabajo, probablemente debido a que el tiempo de exposición fue mucho mayor que en este estudio.

El contenido Pt del suelo sin tratar fue de 454 mg/Kg, y no se encontraron diferencias significativas luego de cada uno de los tratamientos. En la Figura 3 se presentan para el suelo testigo y con los distintos tratamientos, los contenidos de las fracciones de fósforo: Pi, Po y Pa.

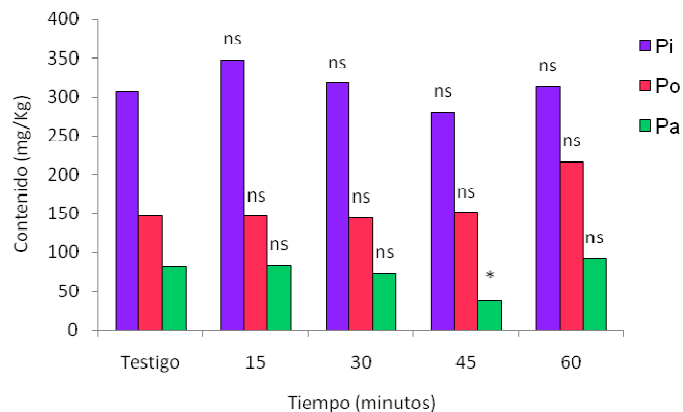


Figura 3. Cambios en los contenidos de fósforo inorgánico (Pi), fósforo orgánico (Po) y fósforo asimilable (Pa), según los distintos tratamientos aplicados. En cada una de las variables, * indica diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la media del testigo y cada uno de los tratamientos; ns indica que no se encontraron diferencias significativas. Los datos son promedio de 5 repeticiones.

Los contenidos de Po y Pi no fueron afectados por el calor. Sin embargo el Pa, fracción de fósforo disponible para los vegetales, disminuyó significativamente después de

calentado el suelo durante 45 minutos, y cuando es calcinado por 60 minutos no se encuentran diferencias significativas. La disminución detectada podría deberse al desplazamiento de los equilibrios de solubilidad del fosfato de calcio, forma predominante en estos suelos (Buschiazzo *et al.*, 2000), hacia formas de P menos solubles, disminuyendo la disponibilidad de este elemento para las plantas, lo que concuerda con un aumento de pH a ese tiempo de calentamiento.

Los contenidos de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} y los valores de la CIC para cada tratamiento se presentan en la Figura 4. Solamente el contenido de K^+ disminuyó cuando el suelo fue sometido a 60 minutos de calentamiento. Hepper *et al.* (2008) tampoco detectaron cambios en el contenido de estas variables edáficas cuando el suelo fue calentado a 200°C durante 5 minutos, y recién después de exponerlo a 400°C encontraron aumentos en el contenido de Na^+ y K^+ y disminuciones de Mg^{2+} , mientras que la CIC disminuyó cuando el suelo se calentó a temperaturas de 500°C o superiores. La disminución en el contenido de K^+ no es la esperada para la temperatura de este ensayo, debido a que sus compuestos se volatilizan a temperaturas superiores a los 750°C (Weast, 1988). Este autor reporta que el nitrógeno comienza a volatilizarse a 200°C , mientras que P, Na, Mg y Ca se volatilizan a temperaturas superiores de 774°C , 880°C , 1107°C y 1240°C respectivamente.

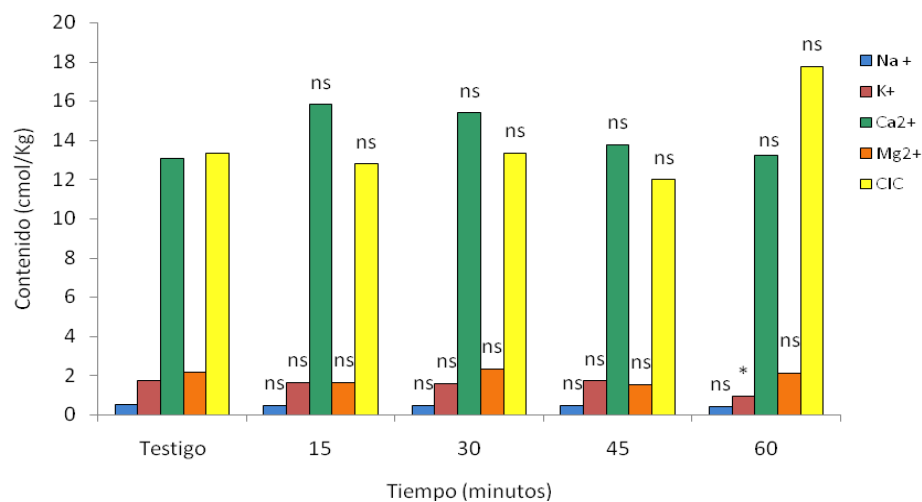


Figura 4. Contenidos de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , y de la CIC para el suelo testigo y cada uno de los tratamientos aplicados. En cada una de las variables, * indica diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la media del testigo y cada uno de los tratamientos; ns indica que no se encontraron diferencias significativas. Los datos son promedio de 5 repeticiones.

El efecto del calor sobre la distribución granulométrica de los suelos se estudió comparando el testigo con los suelos calentados a 200°C durante 45 y 60 minutos. No se

detectó que los tratamientos afecten los contenidos de las diferentes fracciones granulométricas (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto del calor sobre la distribución granulométrica de suelos sometidos a 200°C.

Temperatura	Tratamiento	Arena	Arena	Arena	Arena muy	Arena muy	Limo	Arcilla
		gruesa	media	fina	fina I	fina II	50 μm	< de 2 μm
		%						
	testigo	2,00	0,96	23,96	22,44	16,96	24,77	8,90
200 °C	45 minutos	1,61 ns	0,53ns	22,92 ns	17,41 ns	20,55 ns	27,64 ns	9,34 ns
	60 minutos	2,02 ns	0,77ns	27,44 ns	20,36 ns	19,5 ns	21,78 ns	8,14 ns

ns: indica que no se encontró diferencia significativa entre el suelo tratado y el testigo ($p>0,05$). Los datos son promedio de 3 repeticiones.

Debido a que en la mayoría de los tiempos de exposición al calor no se detectaron cambios en las variables edáficas analizadas, no se cree conveniente determinar una relación funcional que explique el cambio de las mismas en función del tiempo.

Efecto del Calentamiento a 427°C

Los resultados obtenidos cuando el suelo fue calentado a 427°C durante 15 minutos se presentan en la Tabla 3 y Tabla 4. Al compararlo con el suelo testigo, vemos que este tratamiento produjo un aumento significativo en el pH y en el contenido de Nt, y una disminución en la relación CO/Nt, sin encontrar diferencia significativa en el contenido de CO. En cuanto a las fracciones de P, se observa un aumento significativo en el contenido de Pt, dado por el aumento de Pi, y no se encontraron diferencias significativas en el Po y Pa. Al analizar el contenido de los cationes intercambiables y la CIC, se observa que sólo disminuyó significativamente el K^+ . Estas diferencias con el suelo testigo, se atribuyen al tratamiento que recibieron las muestras, ya que el suelo sin tratar fue tamizado por 2 mm, antes de realizar los análisis químicos, descartando los restos vegetales frescos y la meso fauna retenidos en dicho tamiz, mientras que en la muestra calentada a 427°C dichos residuos permanecieron en el suelo durante el tratamiento y fueron tamizados posteriormente. Esto nos permitió comprobar la liberación de nutrientes desde los residuos frescos por acción del calor. Estos restos se descomponen aportando al suelo materia orgánica con mayor grado de descomposición, nitrógeno mineral, como por ejemplo NH_4^+ y formas inorgánicas de fósforo. El NH_4^+ liberado puede desplazar al K^+ del complejo de intercambio, con lo que se explica la disminución significativa en el contenido del mismo. Varios autores mencionan al fuego como agente mineralizador de la materia orgánica, aumentando el contenido de nutrientes disponibles en el suelo (Chapin & Van Cleve, 1981;

Hoobs & Schimel, 1984; Fassbender & Bornemisza, 1987). Este último resultado debería comprobarse en estudios futuros, analizando las distintas fracciones de nitrógeno del suelo y la broza.

Tabla 3. Efectos del calor sobre las variables edáficas analizadas. Los datos son promedio de 5 repeticiones.

Variables Edáficas	Tratamientos	
	Testigo	427 °C
pH	6,56	8,40 *
CO (g/Kg)	26,20	28,50 ns
Nt (g/Kg)	2,00	3,90 *
CO/Nt	12,98	7,70 *
Pt (mg/Kg)	373,79	637,12 *
Pi (mg/Kg)	270,50	521,75 *
Po (mg/Kg)	103,29	115,37 ns
Pa (mg/Kg)	50,65	101,19 ns
Na ⁺ (cmol/Kg)	0,49	0,67 ns
K ⁺ (cmol/Kg)	1,42	0,87 *
Ca ²⁺ (cmol/Kg)	13,03	18,58 ns
Mg ²⁺ (cmol/Kg)	2,30	2,05 ns
CIC (cmol/Kg)	12,24	12,80 ns

*: indica diferencia significativa entre el suelo tratado y el testigo para cada variable ($p < 0,05$). ns: indica que no se encontraron diferencia significativa entre el suelo tratado y el testigo.

Se encontró únicamente una disminución significativa en el contenido de Arena muy Fina I, por efecto de la alta temperatura de quema (Tabla 4), esto puede deberse a la reducción del tamaño de partículas, lo que contribuiría a un aumento principalmente en la fracción de limo, que no fue detectado probablemente debido a la variabilidad de los datos. La disminución de arena muy fina I podría deberse a la ruptura de los feldspatos y otros agregados del suelo por acción del calor (Arocena & Opio, 2003).

Tabla 4. Efecto del calor sobre la distribución granulométrica de suelos sometidos a 427°C.

Temperatura	Tratamiento	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina I	Arena muy fina II	Limo 50 µm	Arcilla < de 2 µm
		%						
427 °C	testigo	1,99	1,01	28,53	22,14	15,19	22,8	8,34
	15 minutos	1,81ns	0,88ns	27,39ns	16,20*	16,40ns	29,24ns	8,10ns

*: indica diferencia significativa entre el suelo tratado y el testigo para cada variable ($p < 0,05$). ns: indica que no se encontró diferencia significativa entre el suelo tratado y el testigo. Los datos son promedio de 4 repeticiones.

Contribución de la Ceniza dejada por la Broza al Contenido de Nutrientes del suelo

En la Tabla 5, se presentan los valores de las variables pH, CO, Nt y de la relación CO/Nt del suelo con broza y del suelo desnudo, en los distintos tratamientos. En los suelos

testigo no se encuentran diferencias significativas entre el suelo desnudo y suelo con broza en estas variables. Sin embargo cuando fueron calentados durante 15 minutos el pH fue significativamente menor en el suelo con broza, mientras que los contenidos de CO y Nt fueron significativamente mayores. Resultados opuestos se encontraron en el tratamiento de 45 minutos para las mismas variables. A menor tiempo de exposición al calor se produciría la descomposición de los restos vegetales y mineralización de compuestos nitrogenados contribuyendo el aumento de CO y Nt del suelo. Mientras que tiempos mayores de exposición al calor favorecerían las pérdidas de compuestos orgánicos nitrogenados de los restos vegetales por volatilización.

Tabla 5. Efecto de la ceniza de la broza sobre el pH y los contenidos de CO y Nt, y la relación CO/Nt del suelo desnudo en los distintos tratamientos. Los datos son promedio de 5 repeticiones.

Tratamiento	Condición	pH	CO (g/Kg)	Nt (g/Kg)	CO/Nt
Testigo	SD	6,56	26,20	2,00	12,98
	SB	6,40 ns	29,60 ns	3,10 ns	9,98 ns
15'	SD	6,54	22,60	1,90	12,15
	SB	5,52 *	44,80 *	4,60 *	10,11 ns
30'	SD	5,63	38,10	4,20	10,37
	SB	5,92 ns	34,10 ns	4,30 ns	8,36 ns
45'	SD	5,89	32,10	2,70	11,25
	SB	6,96 *	11,10 ns	1,10 *	10,60 ns
60'	SD	5,99	27,30	2,80	10,30
	SB	5,63 ns	39,10 ns	3,60 ns	11,05 ns

*: indica diferencia significativa entre el suelo desnudo y el suelo con broza para cada variable y tratamiento ($p < 0,05$). ns: indica que no se encontró diferencia significativa entre el suelo desnudo y suelo con broza.

Los contenidos de Pt, Po, Pa y Pi, no presentaron diferencias significativas entre suelo desnudo y suelo con broza en las muestras testigos y en las que fueron calentadas durante 30 y 60 minutos. Se hallaron diferencias significativas en el tratamiento de 15 minutos sólo en las variables de Pt y Pa, siendo éstas mayores en el suelo con broza (Tabla 6). El mayor contenido de Pt se debe a la mineralización de la materia orgánica de la broza mientras que la acidificación del suelo (Tabla 5) contribuye al desplazamiento del equilibrio de solubilidad de los fosfatos de manera tal que aumenta la disponibilidad de P. Castelli & Lazari (2002) encuentran que luego de una quema controlada aumentó el contenido de Pt en un suelo con cobertura leñosa, lo que atribuyen a un aporte de las cenizas dejadas por la vegetación. Calentando el suelo durante 45 minutos se detectó que el

contenido de Pa fue significativamente menor en el suelo con broza, asociado esto a un mayor valor de pH (Tabla 5).

Tabla 6. Efecto de la ceniza de la broza sobre las fracciones de Pt, Pi, Po y Pa del suelo desnudo según los distintos tratamientos. Los datos son promedio de 5 repeticiones.

Tratamiento	Condición	Pt	Pi	Po	Pa
		mg/Kg			
Testigo	SD	373,79	270,50	103,29	50,65
	SB	453,93 ns	307,00 ns	146,93 ns	82,11 ns
15'	SD	357,62	274,50	83,12	50,70
	SB	495,02 *	348,00 ns	147,02 ns	83,94 *
30'	SD	444,50	258,75	185,75	67,89
	SB	463,36 ns	318,25 ns	145,11 ns	73,87 ns
45'	SD	431,71	287,00	144,71	71,23
	SB	433,06 ns	281,25 ns	151,81 ns	39,33 *
60'	SD	466,73	282,00	184,73	69,34
	SB	519,26 ns	301,50 ns	217,76 ns	92,46 ns

*: indica diferencia significativa entre el suelo desnudo y el suelo con broza para cada variable y tratamiento ($p < 0,05$). ns: indica que no se encontró diferencia significativa entre el suelo desnudo y suelo con broza.

En la Tabla 7, se presentan los contenidos de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} y los valores de la CIC para el suelo desnudo y suelo con broza en los distintos tratamientos aplicados. Solo se encontró que la CIC del suelo con broza es significativamente menor que la del suelo desnudo, cuando ambos fueron calentados durante 45 minutos, esto podría deberse al menor contenido de CO del suelo con broza respecto del desnudo ($p=0,0606$).

Tabla 7. Efecto de la ceniza de la broza sobre el contenido de cationes intercambiables y la CIC del suelo desnudo en los distintos tratamientos. Los datos son promedio de 5 repeticiones.

Tratamiento	Condición	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CIC
		cmol/Kg				
Testigo	SD	0,49	1,42	13,03	2,30	12,24
	SB	0,52 ns	1,73 ns	13,11 ns	2,16 ns	13,36 ns
15'	SD	0,45	1,69	12,85	1,82	8,40
	SB	0,49 ns	1,64 ns	15,84 ns	1,67 ns	12,80 ns
30'	SD	0,49	1,36	15,38	2,88	13,84
	SB	0,50 ns	1,60 ns	15,4 ns	2,34 ns	13,36 ns
45'	SD	0,48	1,82	12,47	2,12	17,92
	SB	0,49 ns	1,74 ns	13,78 ns	1,55 ns	12,00 *
60'	SD	0,41	0,79	13,77	1,94	17,36
	SB	0,43 ns	0,93 ns	13,22 ns	2,14 ns	17,76 ns

*: indica diferencia significativa entre el suelo desnudo y el suelo con broza para cada variable y tratamiento ($p < 0,05$). ns: indica que no se encontró diferencia significativa entre el suelo desnudo y suelo con broza.

CONCLUSIONES

El calor desarrollado durante la exposición a temperaturas de 200°C produjo modificaciones en algunas variables edáficas cuando el tiempo de permanencia fue de 45 minutos. La oxidación de la materia orgánica provocó una disminución en el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total del suelo, en igual proporción, y un aumento del pH, lo que produjo una disminución en la disponibilidad de fósforo. Cuando el tiempo de exposición fue de 60 minutos se redujo el contenido de potasio intercambiable. Cuando la temperatura fue de 427°C, y el tiempo de exposición, 15 minutos, el efecto sólo fue similar en la disminución del contenido de potasio, mientras que la quema de restos vegetales frescos y la meso fauna contribuyó al aumento de nitrógeno y de la fracción de fósforo inorgánico no disponible. No se pudo detectar que una quema que desarrolla bajas temperaturas durante un largo tiempo de exposición produzca modificaciones de similar magnitud a los que origina una quema con altas temperaturas y corto tiempo de exposición del suelo al calor.

Con respecto a la textura del suelo se encontró que los tratamientos estudiados no afectan el contenido de las diferentes fracciones, por lo que no se pudo corroborar para los tiempos estudiados la hipótesis planteada respecto de que mayores tiempos de exposición al calor a bajas temperaturas, producirían una disminución en el contenido de arcilla y con ello el aumento de las fracciones arena, provocando la reducción de la capacidad de retención de cationes del suelo.

La quema de la broza, a bajas temperaturas y durante cortos tiempos, contribuye al aumento en el suelo del contenido de nitrógeno total, carbono orgánico, fósforo total y fósforo disponible para los vegetales. Sin embargo durante una quema de mayor intensidad, dada por un mayor tiempo de permanencia del calor desarrollado, producirá la volatilización de compuestos nitrogenados y la disminución de la disponibilidad de fósforo por aumento del pH del suelo. No se pudo comprobar un aporte de cationes al suelo mineral desde la necromasa por efecto de su quema.

Una quema controlada que se realice de manera tal que la temperatura de los primeros 2,5 cm del suelo no supere los 200°C y el tiempo de permanencia del calor sea inferior a los 30 minutos, no afectará el contenido de los nutrientes estudiados, la textura y al complejo órgano mineral que actúa reteniendo cationes y agua del suelo. Tiempos mayores de exposición al calor no serán beneficiosos para la fertilidad química del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Adema, E.O.; Babinec, F.J.; Buschiazzo, D.E.; Martín, M.J.; Peinemann, N. 2003. Erosión Hídrica en suelos del caldenal. Publicación Técnica N° 53, INTA.
- Albanesi, A. & Anriquez, A. 2003. El fuego y el suelo. Cap. 5. Pp 47-59. En: Kunst, C.; Bravo, S. & Panigatti, J.L. (eds.). Fuego en los ecosistemas argentinos. Editorial INTA, Santiago delEstero, Argentina.
- Arocena, J.M. & Opio, C. 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113: 1-16.
- Bissolino, P.H. & Dagnino, E. 2006. Estudio de la dinámica de las fracciones de fósforo orgánico e inorgánico en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central del Área del Caldenal sometidos a quemas controladas. Trabajo Final de graduación de la carrera Ingeniería Agronómica de la Facultad de Agronomía, UNLPam. Biblioteca Facultad de Agronomía, UNLPam.
- Bremner, J.M. & Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen total. En: Page A.L. *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties.* 2nd ed. Agron. Monog 9. Am. Soc. Agronomy Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU. p. 595-624.
- Buschiazzo, D.E.; Quiroga, A.; Stahr, K. 1991. Patterns of organic matter distribution in soils of the Semiarid Argentinean Pampas. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154: 437-441.
- Buschiazzo, D.E.; Hevia, G.G.; Urioste, A.M.; Hepper, E.N. 2000. Cultivation effects on phosphate forms and sorption in loess-soils of Argentina. *Soil Science* 165: 427-436.
- Cabrera, A.L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enc. Arg. Agr. y Jard. Tomo II, Fasc. 2. Acmé. Buenos Aires.
- Cano, E., Fernández, B.; Montes, M. 1980. La Vegetación de la Provincia de La Pampa y Carta de Vegetación 1:500000. en *Inv. Int. De los Rec. Nat. de la prov. de La Pampa.* INTA Fac. de Agronomía Prov. de La Pampa. Pp. 493.
- Castelli, L. & Lazzari, M.A. 2002. Efecto de quemas controladas sobre algunas propiedades químicas del suelo (La Pampa). XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn (Chubut) Argentina. CD.
- Chapin, F. & Van Cleve, K. 1981. Plant nutrient absorption and retention under different fire regimes. In Mooney, H.; Bonnicksen, T.; Christensen, N.; Lotan, J.; Reiners, W. (Eds) *Fire regimes and ecosystem properties.* U. S. Dept. Agriculture, General Tech. Report WO-26. Pp. 301-321.

- Davidson, E.A. & Janssens, I.A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440:165-173.
- Estelrich, H.D.; Fernández B.; Morici, E.F.; Chirino, C.C. 2005. Persistencia de los cambios provocados por los fuegos controlados en diferentes estructuras del bosque de caldén (*Prosopis caldenia* Burk). *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam.* 16(1/2):23-30.
- Fassbender, H. & Bornemisza, E. 1987. *Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina*. 2da Ed. IICA, San José. 420 p.
- Giardina, C.P.; Sanford, R.L.; Dockersmith, I.C. 2000. Changes in soil phosphorus and nitrogen during slash and burn clearing of a dry tropical forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:399-405.
- Green, L. 1981. Burning by prescription in chaparral. USDA Forest Service GTR PSW-51.
- Harris, R. & Bezdicek, D. 1994. Descriptive aspects of soil quality health. En: *Defining soil quality for a sustainable environment*. JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek & BA Stewart. (eds). SSSa Special Publication Number 5. Madison, Wisconsin, USA. 23-35.
- Hepper, E.; Urioste, A.; Belmonte, V.; Buschiazzo, D. 2008. Temperatura de quema y propiedades físicas y químicas de suelo de la región semiárida pampeana central. *Ciencia del suelo* 26(1):29-34.
- Hobbs, N. & Schimel, D. 1984. Fire effects on nitrogen mineralization and fixation in mountain shrub and grassland communities. *J. Range manage.* 37: 402-405.
- Kaila, A. 1962. Determination of total organic phosphorus in samples of mineral soils. *J. Sci. Agr. Soc. Finland.* 34: 187-196.
- Ketterings, Q.M.; Bigham, J.M.; Laperche, V. 2000. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash-and-burn fires in Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1108-1117.
- Kuehl, R. 2001. *Diseño de experimentos*. 2ª edición. Thompson and Learning, México.
- Kunst, C. & Bravo, S. 2003. Fuego, calor y temperatura. Cap. 4. Pp 39-45. En: Kunst, C.; Bravo, S.; Panigatti, J.L. (eds.). *Fuego en los ecosistemas argentinos*. Editorial INTA, Santiago delEstero, Argentina.
- Nazar Anchorena, J.L. 1988. Fuegos controlados en el manejo de los pastizales naturales. *Tecnicrea* N° 12 . 21-28.

- Redmann, R. 1991. Nitrogen losses to the atmosphere from Grassland Fires in Saskatchewan, Canada. *Int. J. Wildland Fire* 1(4): 239-244.
- Quaglia, G.; Picone, L.; García, F.; Laterra, P. 1999. Efecto de la quema de pajonales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) de la Pampa Deprimida, sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. CD.
- Sertsu, S.M. & Sanchez, P.A. 1978. Effects of heating on some changes in soil properties in relation to an Ethiopian land management practice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 940-944.
- Schlichting, E.; Blume, K.H.; Stahr, K. 1995. *Bodenkundliches Praktikum*. Parey, Hamburg-Berlin.
- Smith, S.M.; Newman, S.; Garrett, P.B.; Leeds, J.A. 2001. Differential effects of surface and peat fire on soil constituents in a degraded wetland of the Northern Florida Everglades. *Journal of Environmental Quality* 30:1998-2005.
- Terefe, T.; Mariscal-Sancho, I.; Peregrina, F.; Espejo, R. 2008. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. *Geoderma* 143: 273-280.
- Wade, D. & Lunsford, J. D. 1988. A guide for prescribed FIRE in southern forests. USDA Forerst Service, Sourthern Region R8-TP11.
- Walker, J.; Raison, R.; Khanna, P. 1986. Fire. Pp.185-216. In: Ressel, Isbell (eds.) *Australian Soils. The human impact*.University of Queensland Press. St. Lucia.
- Walkley, A. & Black; I. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Weast, R.C. 1988. *Handbook of Chemistry and Physics* CRC Press, Boca Raton, FL.
- Weber, M. & Taylor, S. 1992. The use of prescribed FIRE in the management of Canada's forested lands. *Forestry Chronicle* 68: 324-334.
- Wright, H.A. & Bailey, A. 1982. *Fire Ecology in the United State and southern Canada*. John Wiley and Sons, New York.

ANEXO

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Análisis Estadístico

Variable en estudio: pH para suelo con broza.

Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	25	0,50	0,40	9,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

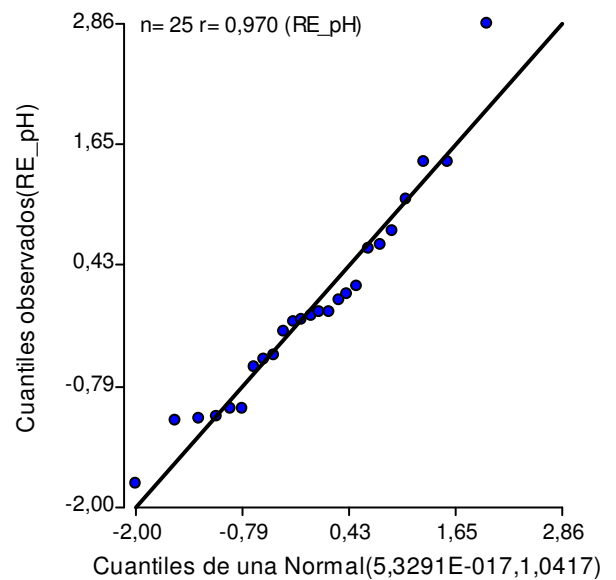
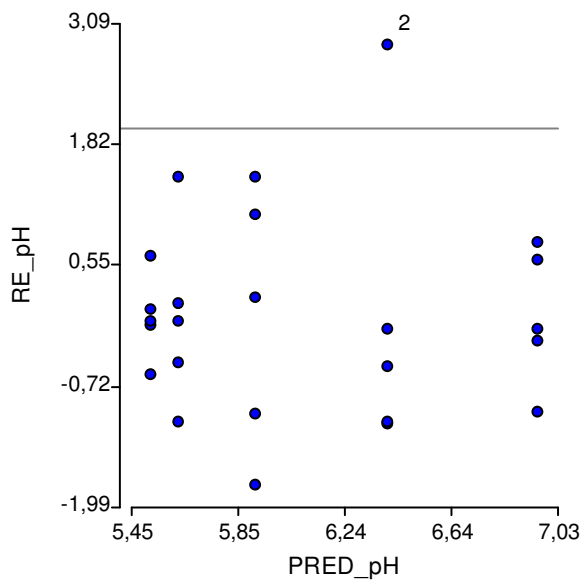
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,09	4	1,77	4,92	0,0063
Tratamiento	7,09	4	1,77	4,92	0,0063
Error	7,20	20	0,36		
Total	14,29	24			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,79166

Error: 0,3601 gl: 20

Tratamiento	Mediasn			
15,00	5,52	5	A	
60,00	5,63	5	A	B
30,00	5,92	5	A	B
0,00	6,40	5		B C
45,00	6,96	5		C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)



Repetición del análisis estadístico eliminando el punto N° 2

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	24	0.60	0.52	7.87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

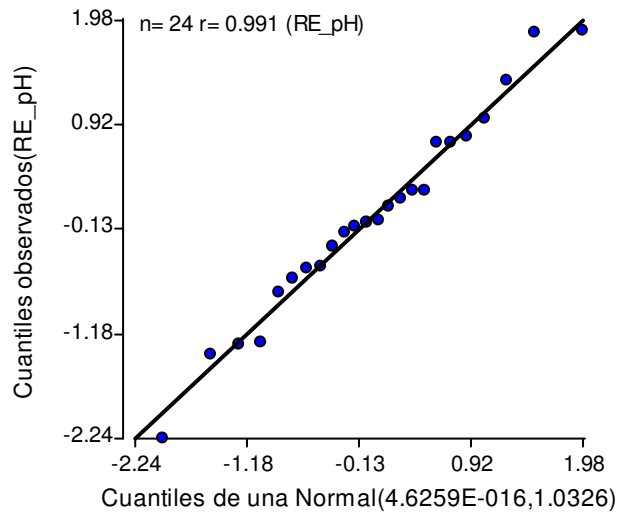
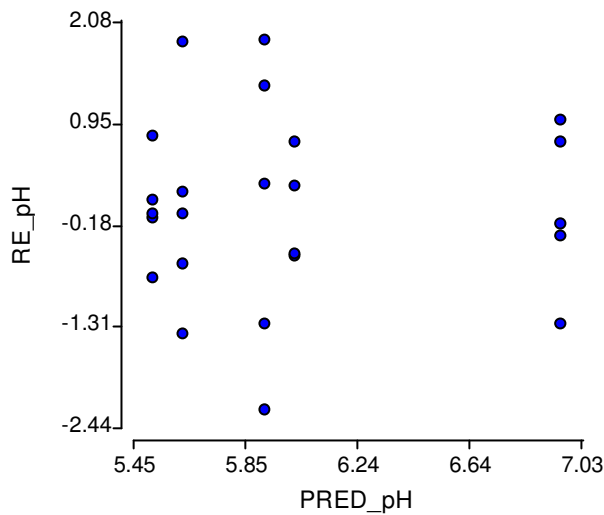
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.46	4	1.62	7.22	0.0010
Tratamiento	6.46	4	1.62	7.22	0.0010
Error	4.25	19	0.22		
Total	10.71	23			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.64039

Error: 0.2238 gl: 19

Tratamiento	Mediasn		
15	5.52	5	A
60	5.63	5	A
30	5.92	5	A
0	6.02	4	A
45	6.96	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)



Variable en estudio: %C para suelo con broza.

Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C(%)	25	0,46	0,35	43,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

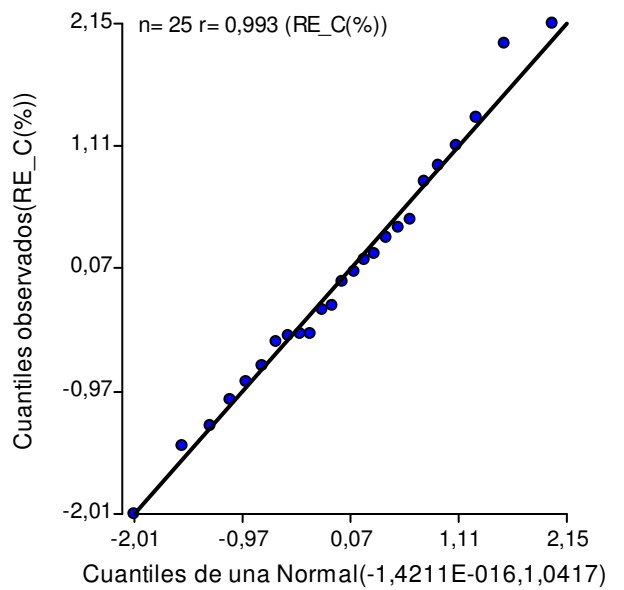
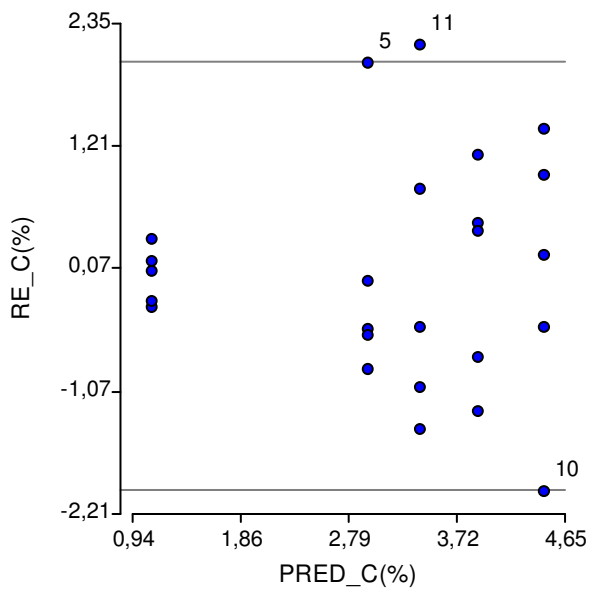
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	33,12	4	8,28	4,27	0,0117
Tratamiento	33,12	4	8,28	4,27	0,0117
Error	38,79	20	1,94		
Total	71,91	24			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,83729

Error: 1,9395 gl: 20

Tratamiento	Mediasn	gl	
45,00	1,11	5	A
0,00	2,96	5	B
30,00	3,41	5	B
60,00	3,91	5	B
15,00	4,48	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)



Corrección por método MLG

Resultados para el modelo:

Variable dependiente: C

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma
25	89.12	99.08	-34.56	1.43

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	130.74	<0.0001
Tratamiento	4	13.45	<0.0001

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent

Formula: ~ 1 | Tratamiento

Parámetros de la función de varianza

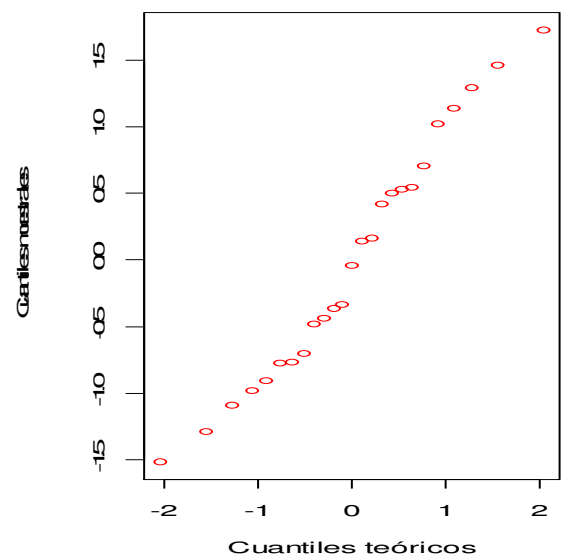
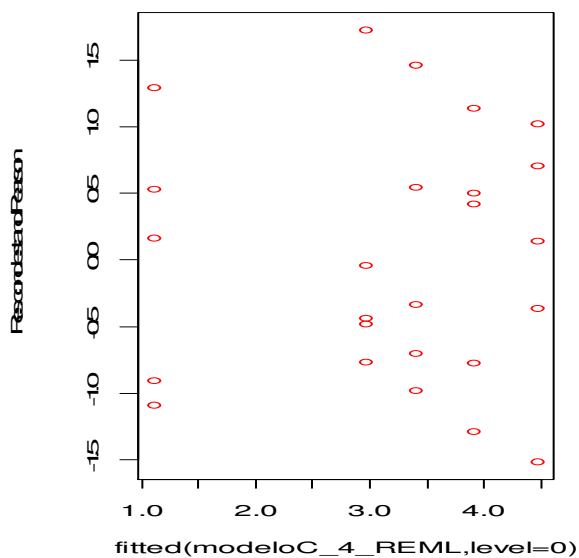
Parámetro	Estim
0	1.00
15	1.15
30	1.28
45	0.23
60	0.85

Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (alfa=0.05)

Tratamiento	Medias	E.E.	
15	4.48	0.74	A
60	3.91	0.54	A
30	3.41	0.82	A
0	2.96	0.64	A
45	1.11	0.15	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)



Variable en estudio: %N para suelo con broza.

Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nt(%)	25	0,40	0,28	51,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

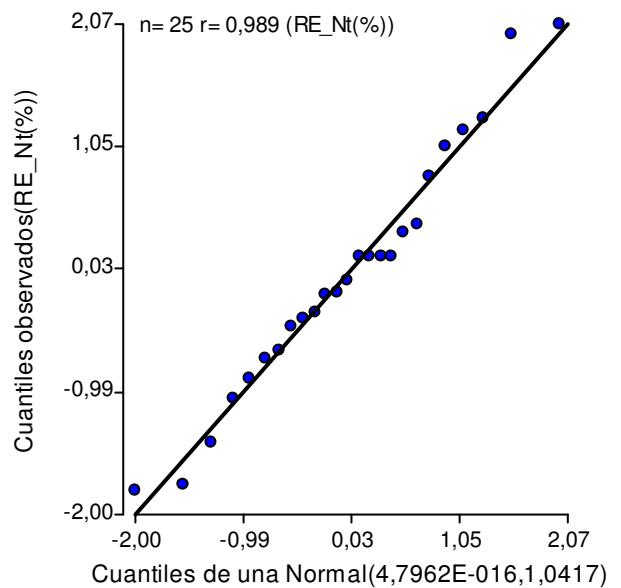
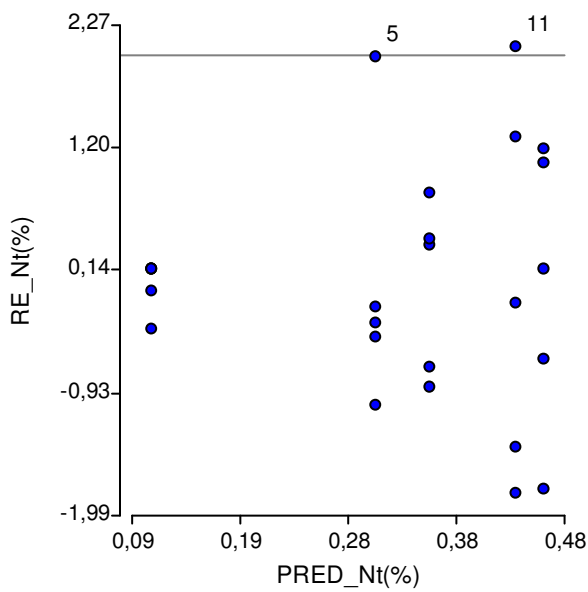
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,39	4	0,10	3,34	0,0300
Tratamiento	0,39	4	0,10	3,34	0,0300
Error	0,58	20	0,03		
Total	0,97	24			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,22486

Error: 0,0290 gl: 20

Tratamiento	Mediasn	gl	Clasificación
45,00	0,11	5	A
0,00	0,31	5	A B
60,00	0,36	5	B
30,00	0,43	5	B
15,00	0,46	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)



Corrección por el método MLG

Resultados para el modelo:

Variable dependiente: *N*

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma
25	2.32	12.28	8.84	0.18

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	109.50	<0.0001
Tratamiento	4	11.91	<0.0001

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*

Formula: $\sim 1 \mid \text{Tratamiento}$

Parámetros de la función de varianza

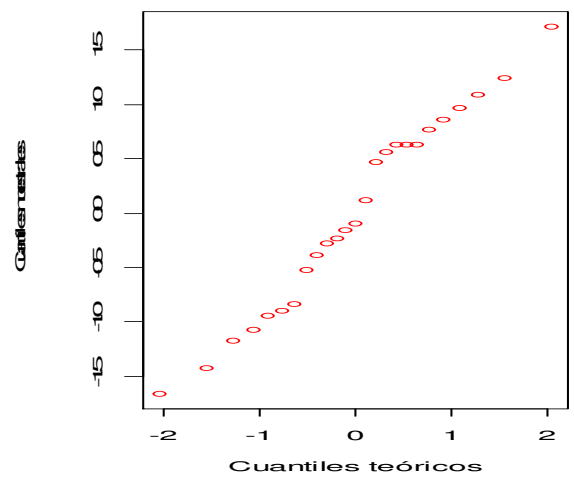
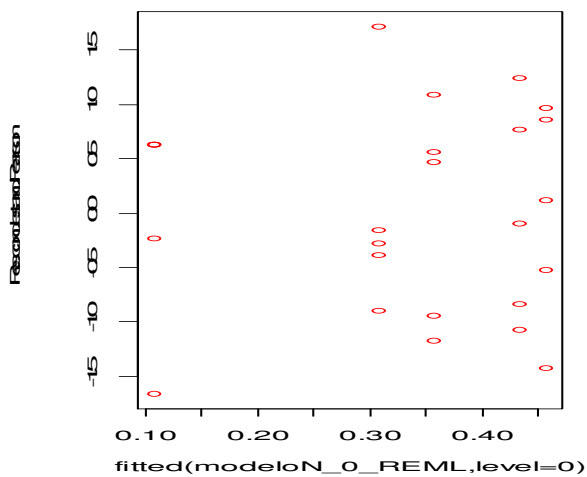
Parámetro	Estim
0	1.00
15	1.07
30	1.45
45	0.20
60	0.64

Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher ($\alpha=0.05$)

Tratamiento	Medias	E.E.	
15	0.46	0.08	A
30	0.43	0.11	A
60	0.36	0.05	A
0	0.31	0.08	A
45	0.11	0.02	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)



Variable en estudio: C/Nt para suelo con broza.

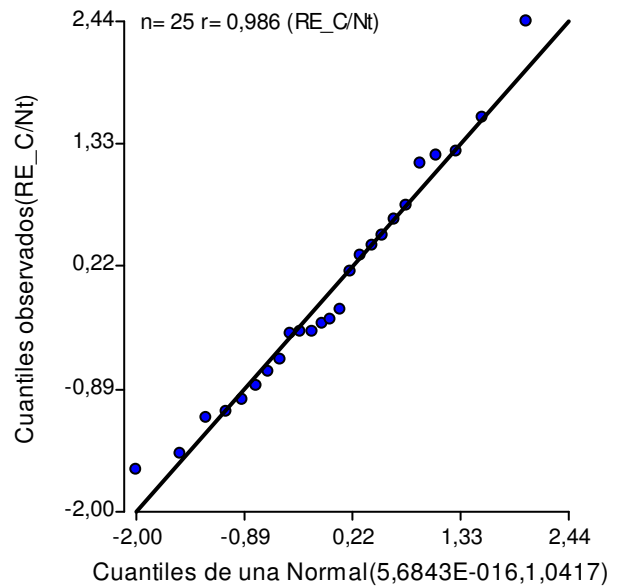
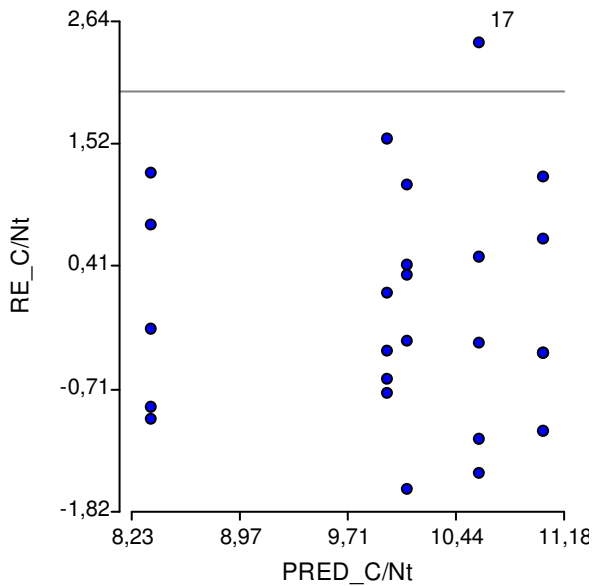
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C/Nt	25	0,26	0,11	17,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20,75	4	5,19	1,77	0,1752
Tratamiento	20,75	4	5,19	1,77	0,1752
Error	58,73	20	2,94		
Total	79,48	24			



Variable en estudio: Pt (mg/Kg) para suelo con broza.

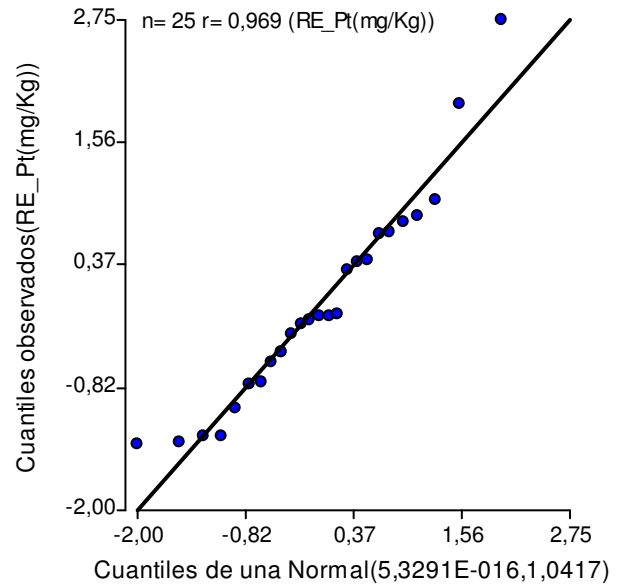
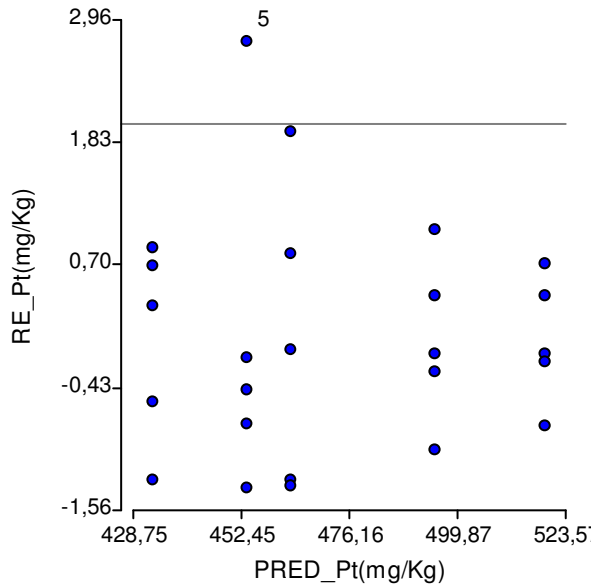
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pt(mg/Kg)	25	0,23	0,07	13,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	23383,69	4	5845,92	1,46	0,2509
Tratamiento	23383,69	4	5845,92	1,46	0,2509
Error	79966,59	20	3998,33		
Total	103350,28	24			



Variable en estudio: Pi (mg/Kg) para suelo con broza.

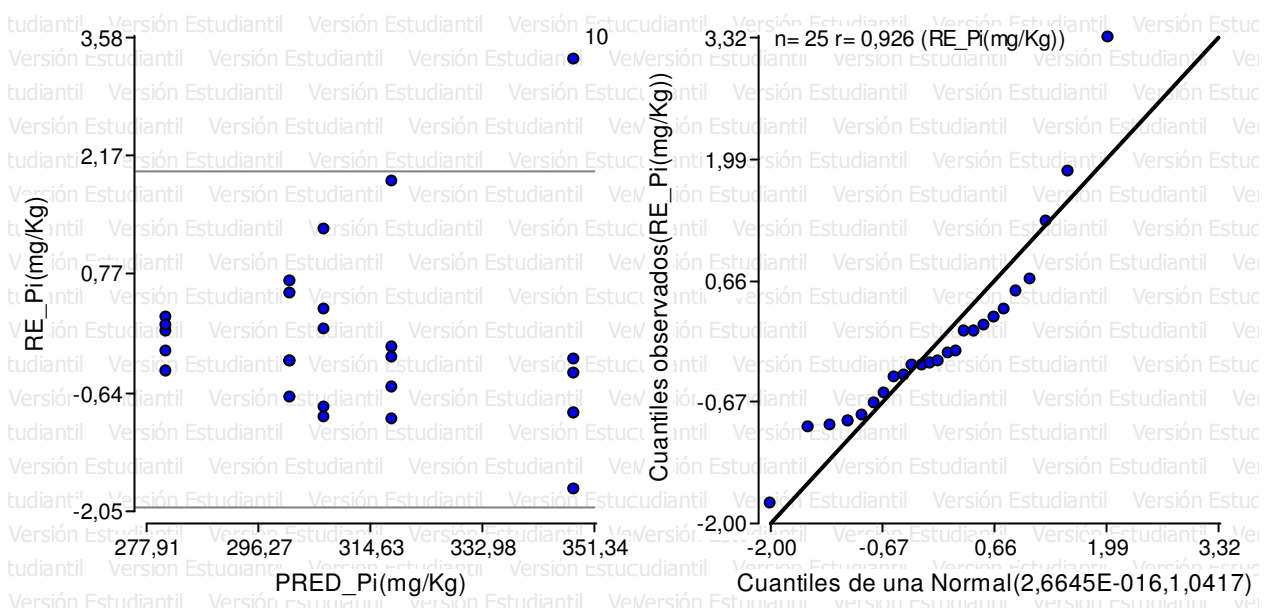
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pi(mg/Kg)	25	0,15	0,00	19,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12063,38	4	3015,84	0,85	0,5097
Tratamientos	12063,38	4	3015,84	0,85	0,5097
Error	70875,63	20	3543,78		
Total	82939,00	24			



Variable en estudio: Po (mg/Kg) para suelo con broza.

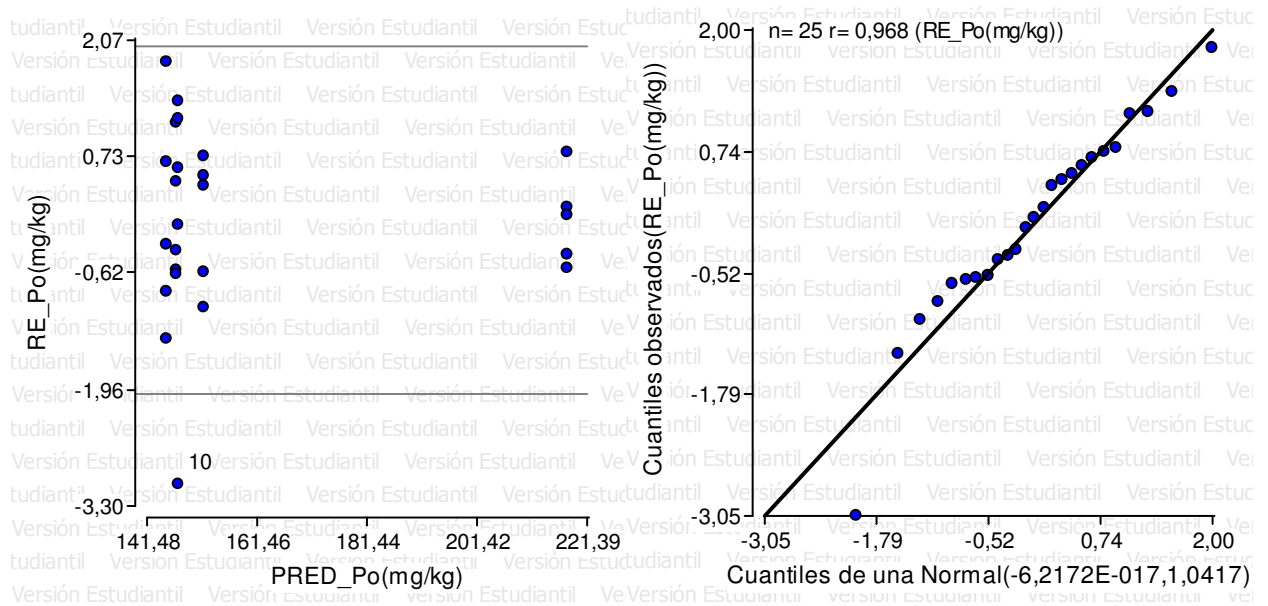
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Po(mg/kg)	25	0,12	0,00	53,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19747,93	4	4936,98	0,67	0,6196
Tratamientos	19747,93	4	4936,98	0,67	0,6196
Error	147100,41	20	7355,02		
Total	166848,34	24			



Variable en estudio: Pa (mg/Kg) para suelo con broza.

Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pa(mg/Kg)	25	0,40	0,28	33,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

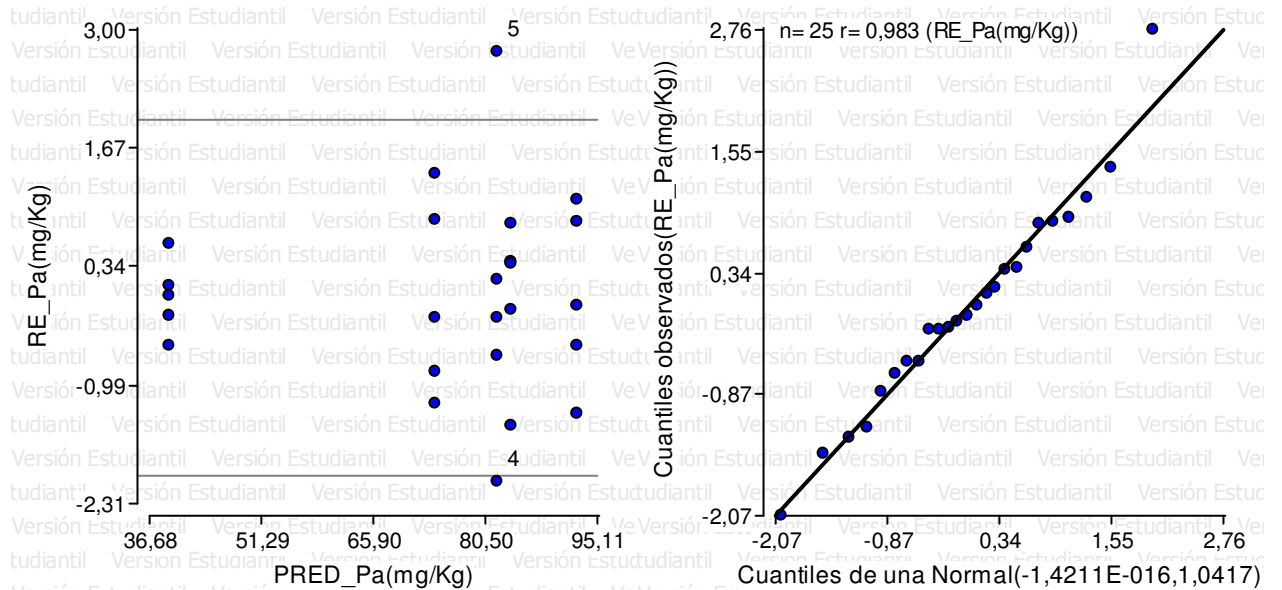
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8533,57	4	2133,39	3,34	0,0299
Tratamientos	8533,57	4	2133,39	3,34	0,0299
Error	12756,67	20	637,83		
Total	21290,25	24			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=33,31887

Error: 637,8337 gl: 20

Tratamientos	Mediasn		
45	39,33	5	A
30	73,87	5	B
0	82,11	5	B
15	83,94	5	B
60	92,46	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)



Variable en estudio: Na^+ para suelo con broza.

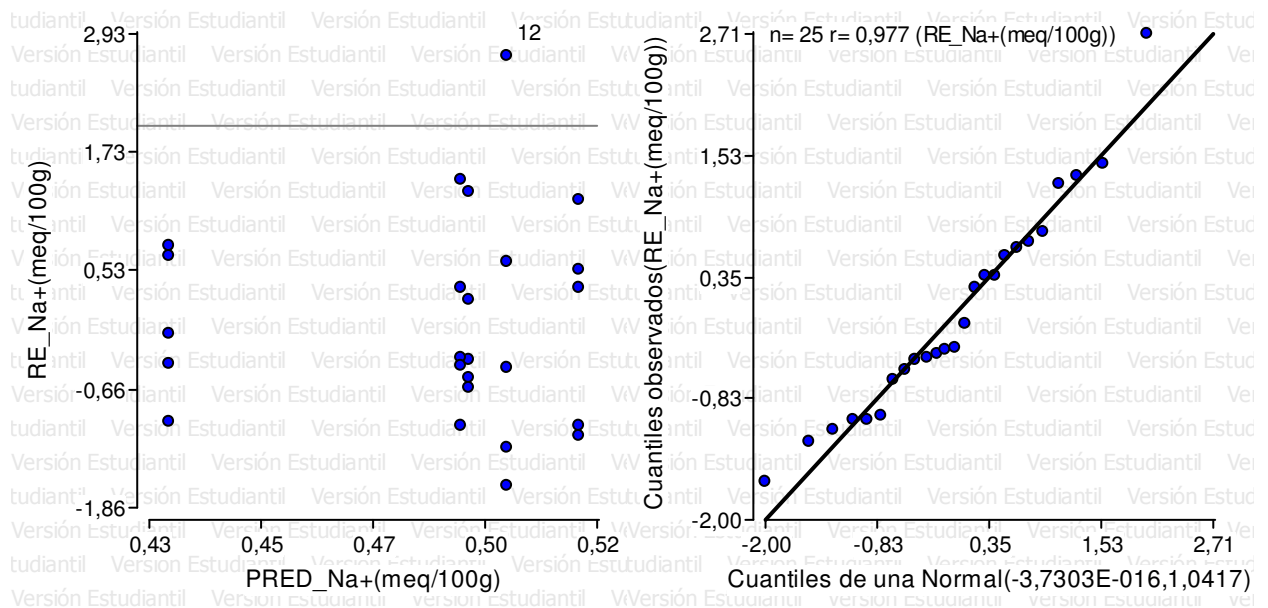
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Na^+ (meq/100g)	25	0,11	0,00	18,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	4	0,01	0,62	0,6533
Tratamientos	0,02	4	0,01	0,62	0,6533
Error	0,16	20	0,01		
Total	0,18	24			



Variable en estudio: K^+ para suelo con broza.

Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K^+ (meq/100g)	25	0,61	0,53	17,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

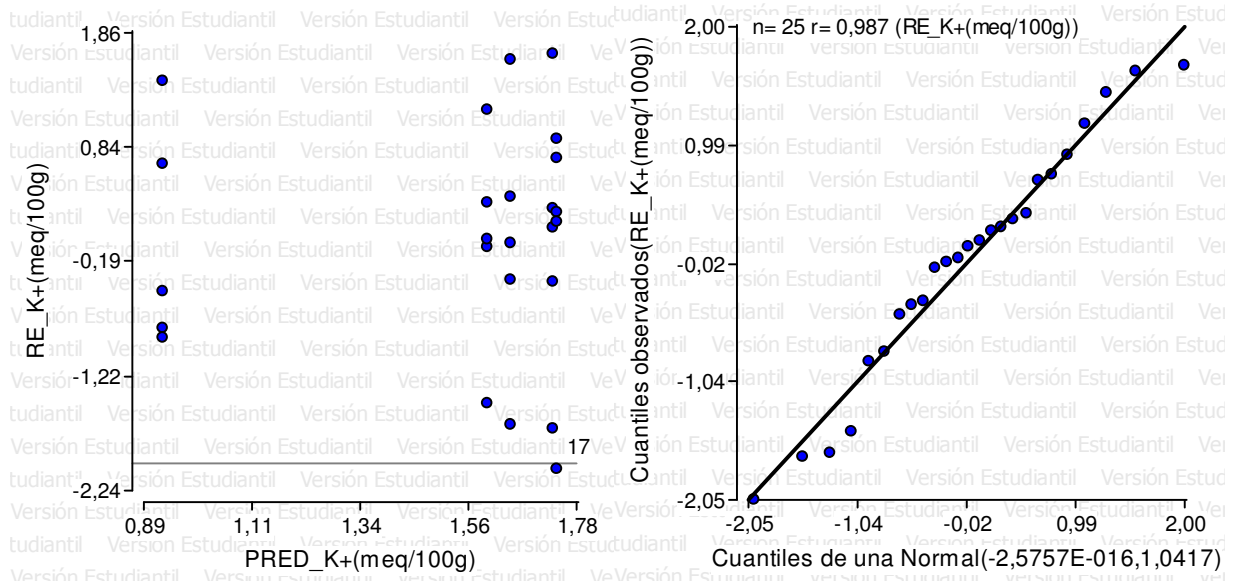
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,30	4	0,57	7,76	0,0006
Tratamientos	2,30	4	0,57	7,76	0,0006
Error	1,48	20	0,07		
Total	3,78	24			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,35898

Error: 0,0740 gl: 20

Tratamientos	Medias	n	
60	0,93	5	A
30	1,60	5	B
15	1,64	5	B
0	1,73	5	B
45	1,74	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)



Variable en estudio: Ca^{2+} para suelo con broza.

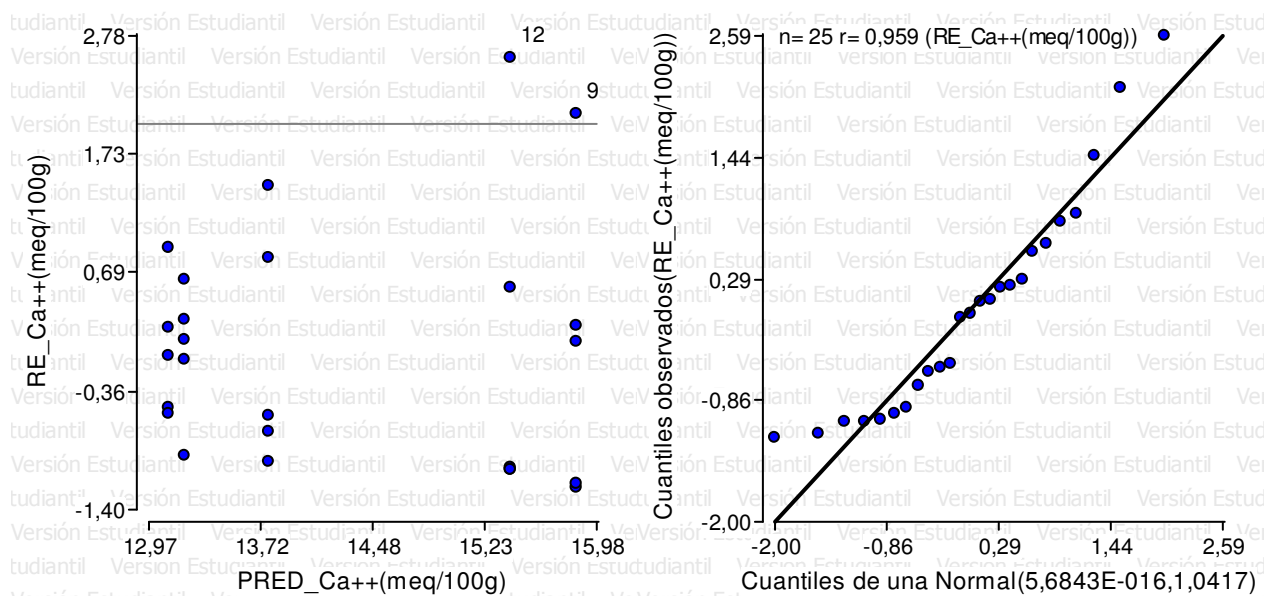
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca^{2+} (meq/100g)	25	0,08	0,00	29,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32,15	4	8,04	0,45	0,7735
Tratamientos	32,15	4	8,04	0,45	0,7735
Error	359,87	20	17,99		
Total	392,02	24			



Variable en estudio: Mg^{2+} para suelo con broza.

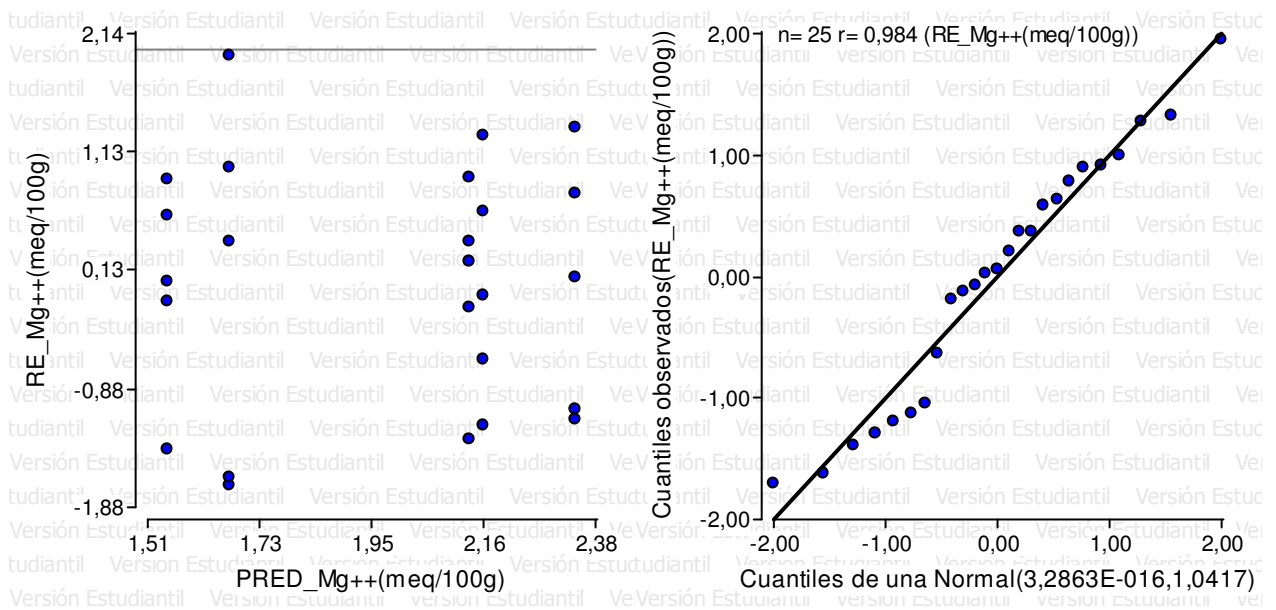
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg^{2+} (meq/100g)	25	0,25	0,10	30,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,33	4	0,58	1,64	0,2035
Tratamientos	2,33	4	0,58	1,64	0,2035
Error	7,12	20	0,36		
Total	9,45	24			



Variable en estudio: CIC para suelo con broza.

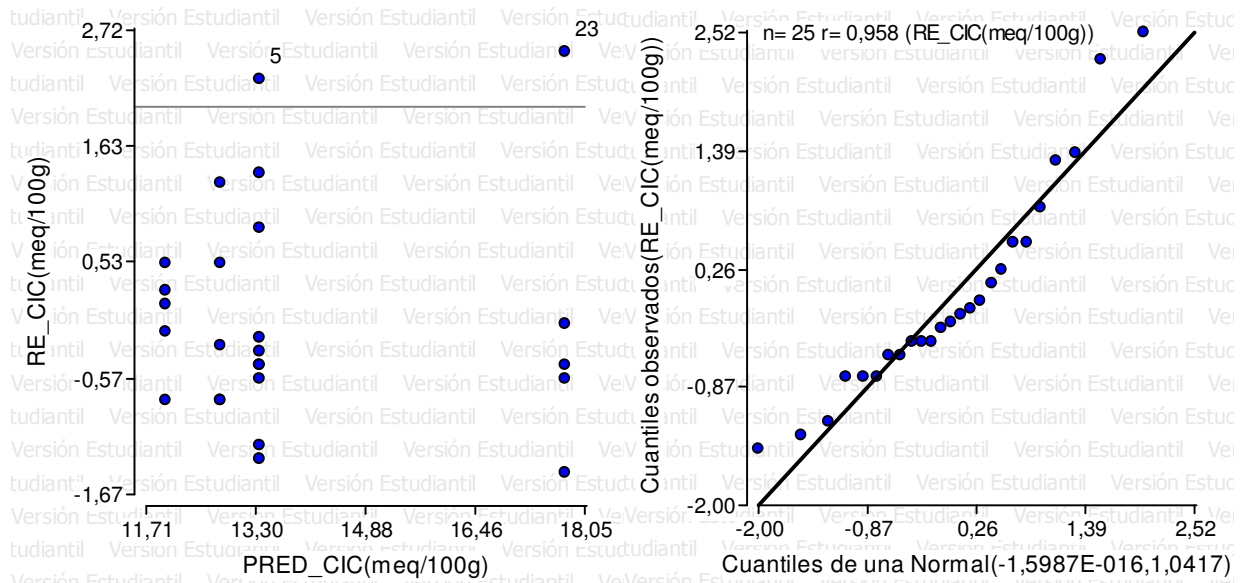
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CIC(meq/100g)	25	0,30	0,16	25,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	101,47	4	25,37	2,10	0,1183
Tratamientos	101,47	4	25,37	2,10	0,1183
Error	241,22	20	12,06		
Total	342,68	24			



Variable en estudio: Arena gruesa para suelo con broza.

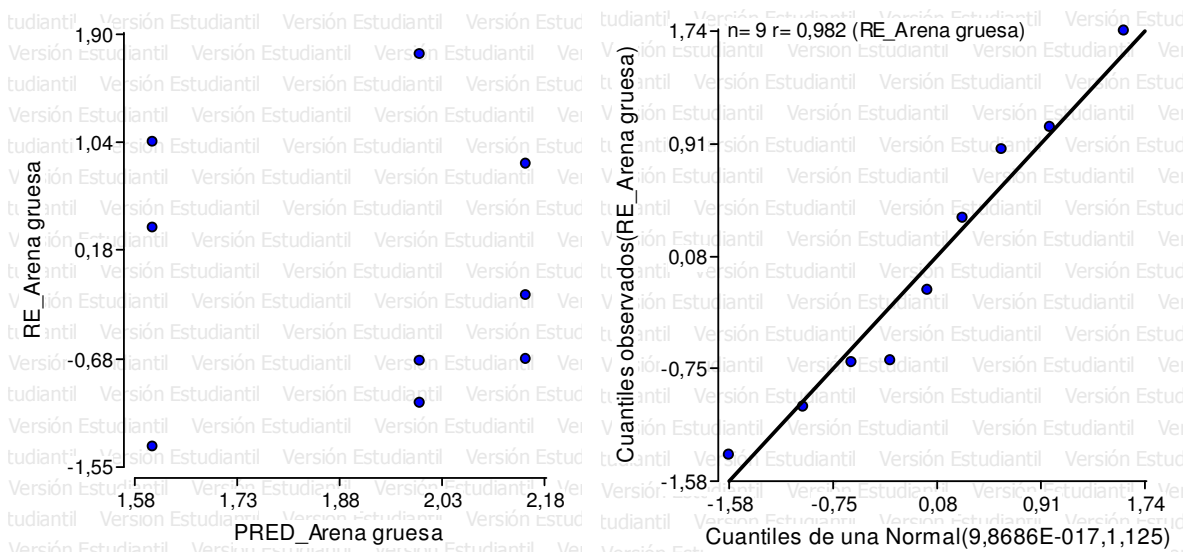
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arena gruesa	9	0,28	0,04	23,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,47	2	0,24	1,17	0,3735
Tratamiento	0,47	2	0,24	1,17	0,3735
Error	1,21	6	0,20		
Total	1,68	8			



Variable en estudio: Arena media para suelo con broza.

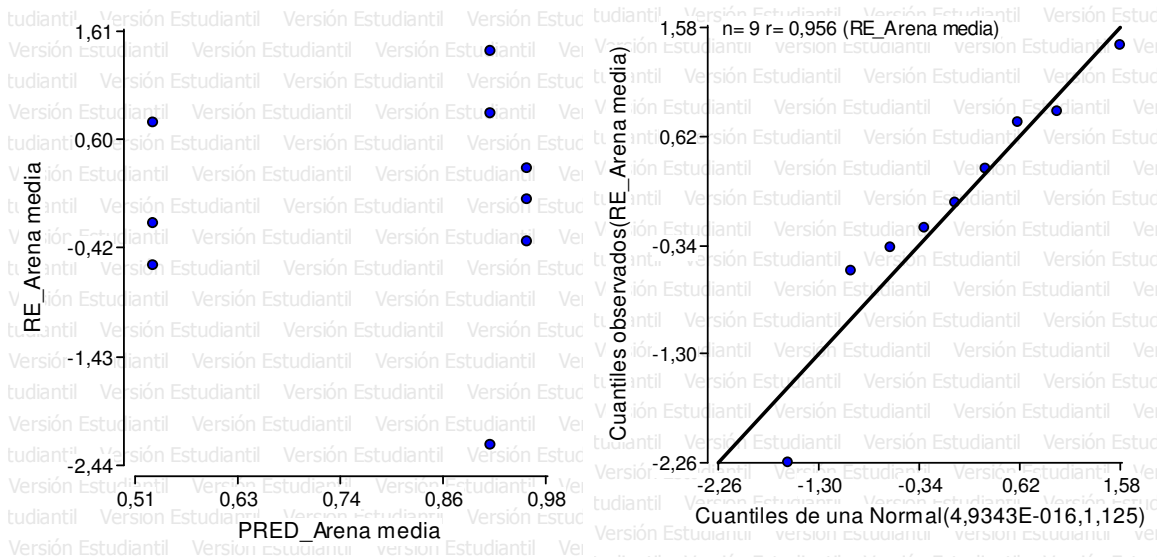
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arena media	9	0,48	0,31	31,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,35	2	0,17	2,79	0,1388
Tratamiento	0,35	2	0,17	2,79	0,1388
Error	0,37	6	0,06		
Total	0,72	8			



Variable en estudio: Arena Fina para suelo con broza.

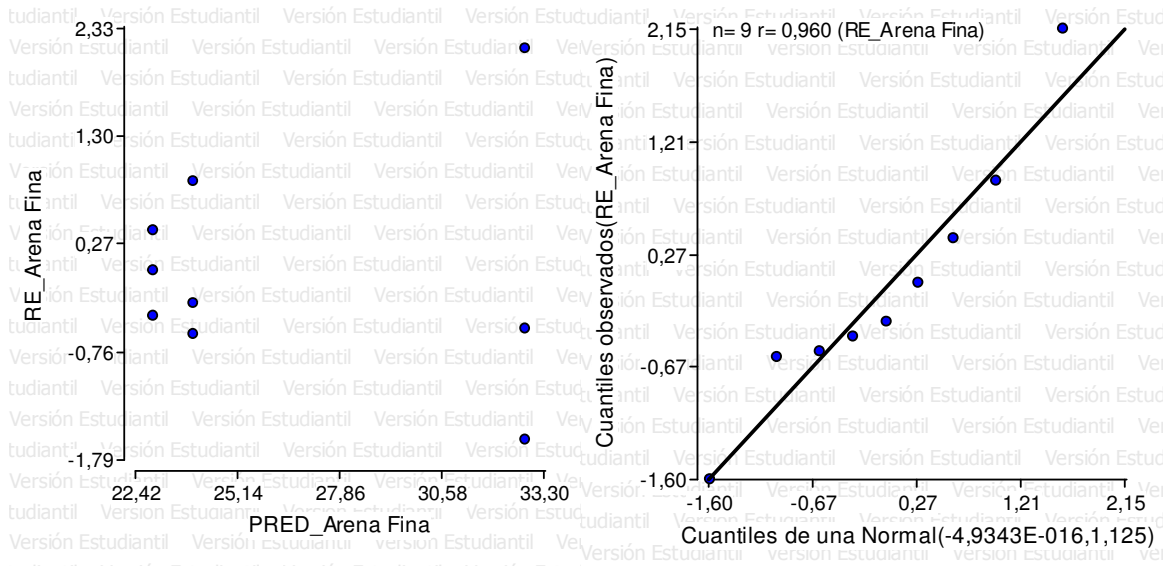
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arena Fina	9	0,27	0,02	33,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	177,04	2	88,52	1,09	0,3938
Tratamiento	177,04	2	88,52	1,09	0,3938
Error	485,96	6	80,99		
Total	663,00	8			



Variable en estudio: Arena muy fina I para suelo con broza.

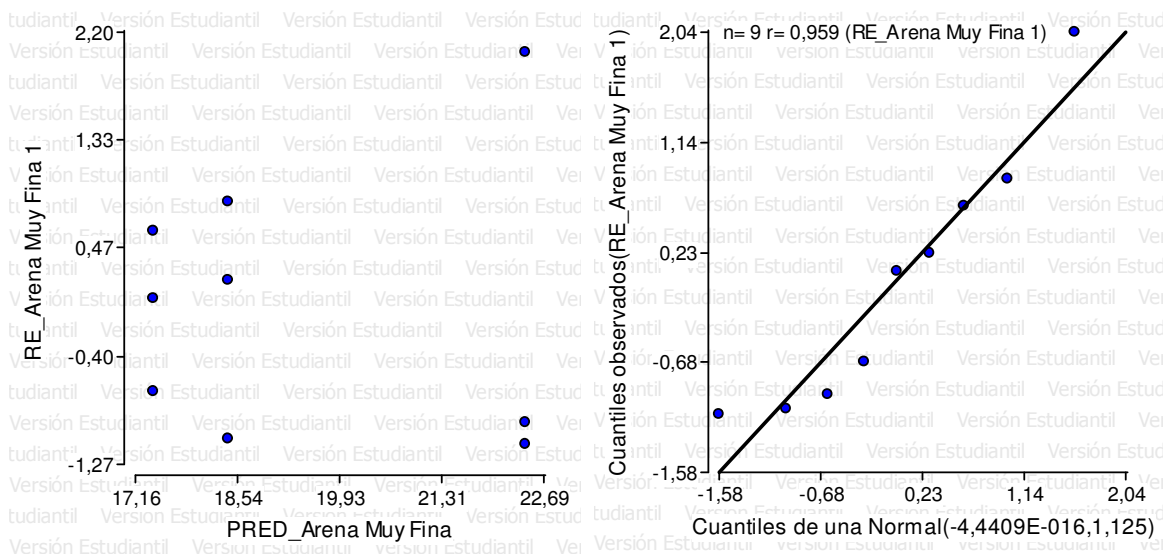
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arena Muy Fina 1	9	0,45	0,26	15,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	42,56	2	21,28	2,43	0,1686
Tratamiento	42,56	2	21,28	2,43	0,1686
Error	52,54	6	8,76		
Total	95,11	8			



Variabl

e en estudio: Arena muy fina II para suelo con broza.

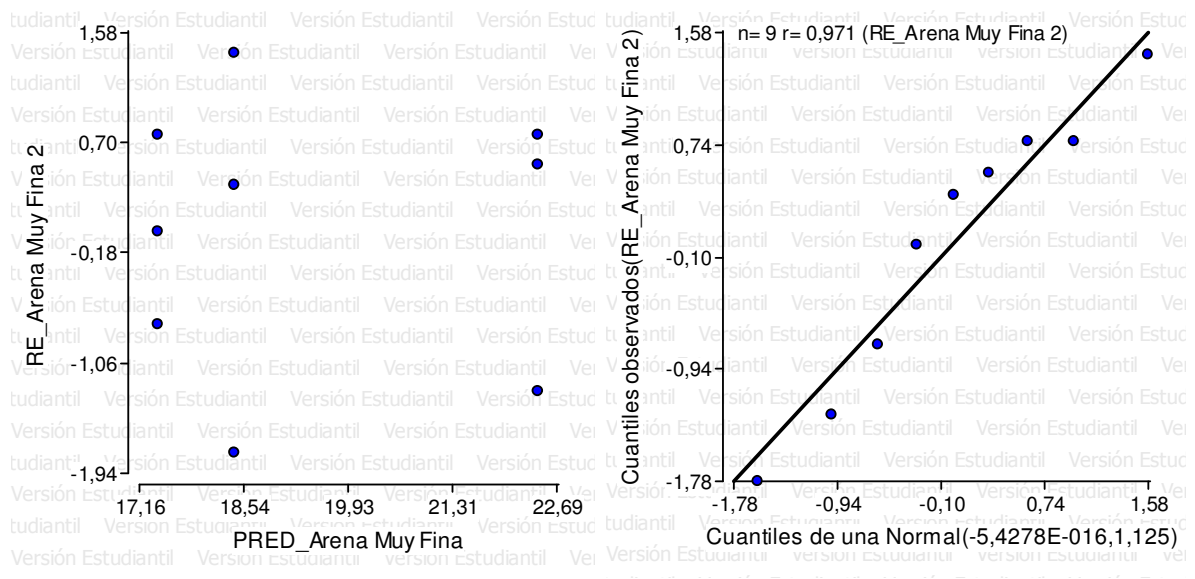
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arena Muy Fina 2	9	0,25	0,00	18,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22,06	2	11,03	0,98	0,4295
Tratamiento	22,06	2	11,03	0,98	0,4295
Error	67,80	6	11,30		
Total	89,86	8			



Variable en estudio: Limo para suelo con broza.

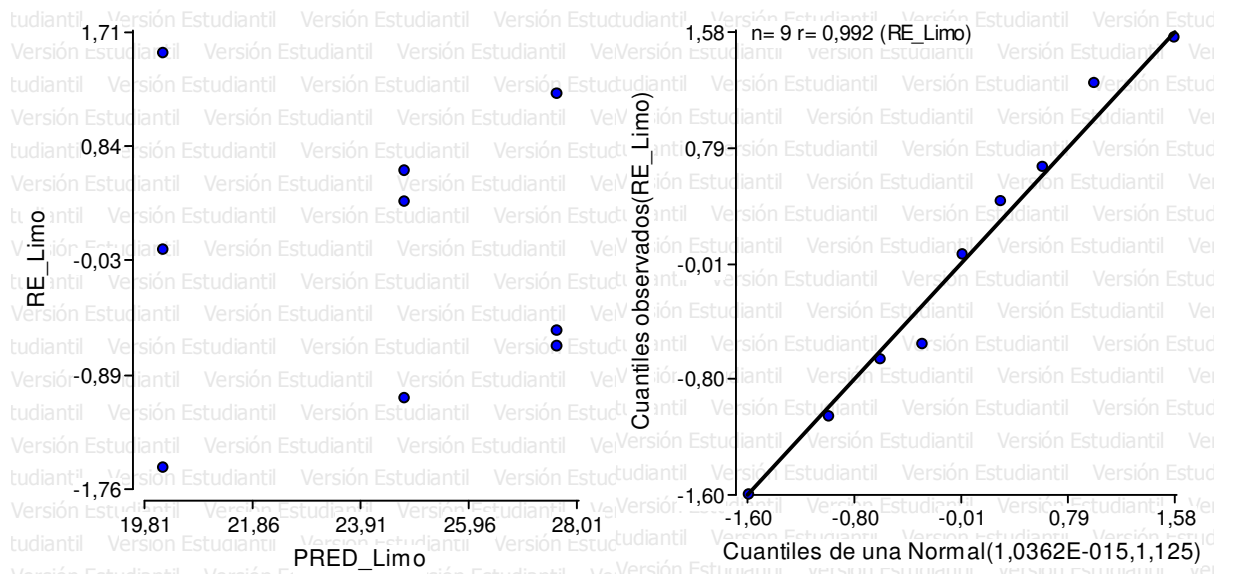
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Limo	9	0,44	0,26	17,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	84,88	2	42,44	2,40	0,1716
Tratamiento	84,88	2	42,44	2,40	0,1716
Error	106,17	6	17,70		
Total	191,05	8			



Variable en estudio: Arcilla para suelo con broza.

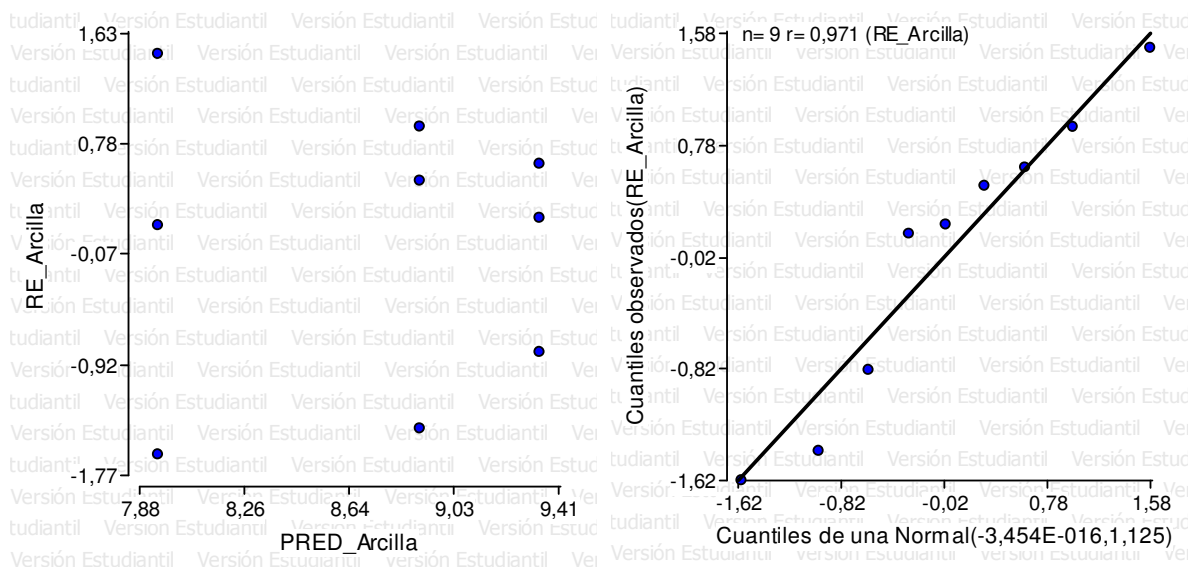
Tratamientos: testigo, tiempo de calentamiento a 200°C durante: 15'; 30'; 45' y 60'.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arcilla	9	0,09	0,00	26,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,05	2	1,52	0,29	0,7605
Tratamiento	3,05	2	1,52	0,29	0,7605
Error	31,88	6	5,31		
Total	34,93	8			



Prueba T para muestras Independientes

Comparación de las variables edáficas estudiadas entre las muestras calentadas a 427°C durante 15 minutos y las muestras testigo

Clasific Tratamiento	Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	media(1)	media(2)	p(Var.Hom.)	T	p	prueba
	pH	{0,00}	{427,00}	5	5	6,56	8,40	0,9444	-3,30	0,0109	Bilateral
	CO (g/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	26,20	28,50	0,2020	-0,28	0,7869	Bilateral
	Nt (g/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	2,00	3,90	0,3096	-2,44	0,0404	Bilateral
	CO/Nt	{0,00}	{427,00}	5	5	12,98	7,70	0,1664	2,61	0,0311	Bilateral
	Pt(mg/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	373,79	637,12	0,0437	-4,94	0,0043	Bilateral
	Pi(mg/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	270,50	521,75	0,0552	-7,41	0,0001	Bilateral
	Po(mg/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	103,29	115,37	0,1180	-0,23	0,8276	Bilateral
	Pa(mg/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	50,65	101,19	0,0022	-1,61	0,1816	Bilateral
	Na ⁺ (cmol/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	0,49	0,67	0,1911	-1,94	0,0885	Bilateral
	K ⁺ (cmol/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	1,42	0,87	0,8884	5,96	0,0003	Bilateral
	Ca ²⁺ (cmol/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	13,03	18,58	0,0944	-1,50	0,1728	Bilateral
	Mg ²⁺ (cmol/Kg)	{0,00}	{427,00}	5	5	2,30	2,05	0,0023	0,23	0,8312	Bilateral

Clasific Tratamiento	Variable CIC(cmol/Kg)	Grupo(1) {0,00}	Grupo(2) {427,00}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 12,24	media(2) 12,80	p(Var.Hom.) 0,1098	T -0,38	p 0,7117	prueba Bilateral
Clasific Tratamiento	Variable Arena gruesa	Grupo(1) {0,00}	Grupo(2) {427,00}	n(1) 4	n(2) 4	media(1) 1,99	media(2) 1,81	p(Var.Hom.) 0,7090	T 0,61	p 0,5637	prueba Bilateral
Clasific Tratamiento	Variable Arena media	Grupo(1) {0,00}	Grupo(2) {427,00}	n(1) 4	n(2) 4	media(1) 1,01	media(2) 0,88	p(Var.Hom.) 0,4653	T 1,29	p 0,2461	prueba Bilateral
Clasific Tratamiento	Variable Arena Fina	Grupo(1) {0,00}	Grupo(2) {427,00}	n(1) 4	n(2) 4	media(1) 28,53	media(2) 27,39	p(Var.Hom.) 0,0217	T 0,22	p 0,8413	prueba Bilateral
Clasific Tratamiento	Variable Ar. Muy Fina I	Grupo(1) {0,00}	Grupo(2) {427,00}	n(1) 4	n(2) 4	media(1) 22,14	media(2) 16,20	p(Var.Hom.) 0,8910	T 2,47	p 0,0486	prueba Bilateral
Clasific Tratamiento	Variable Ar. Muy Fina II	Grupo(1) {0,00}	Grupo(2) {427,00}	n(1) 4	n(2) 4	media(1) 15,19	media(2) 16,40	p(Var.Hom.) 0,6097	T -0,45	p 0,6693	prueba Bilateral
Clasific Tratamiento	Variable Limo	Grupo(1) {0,00}	Grupo(2) {427,00}	n(1) 4	n(2) 4	media(1) 22,80	media(2) 29,24	p(Var.Hom.) 0,8603	T -2,03	p 0,0888	prueba Bilateral
Clasific Tratamiento	Variable Arcilla	Grupo(1) {0,00}	Grupo(2) {427,00}	n(1) 4	n(2) 4	media(1) 8,34	media(2) 8,10	p(Var.Hom.) 0,7939	T 0,14	p 0,8943	prueba Bilateral

Comparación de las variables edáficas estudiadas entre los suelos desnudos y los suelos con broza en cada tratamiento

Tratamiento	Clasific	Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	media(1)	media(2)	p(Var.Hom.)	T	p	prueba
0,00	Condición	pH	{SB}	{SD}	5	5	6,40	6,56	0,9785	-0,28	0,7898	Bilateral
15,00	Condición	pH	{SB}	{SD}	5	5	5,52	6,54	0,0568	-3,01	0,0168	Bilateral
30,00	Condición	pH	{SB}	{SD}	5	5	5,92	5,63	0,5119	0,71	0,4984	Bilateral
45,00	Condición	pH	{SB}	{SD}	5	5	6,96	5,89	0,4467	3,43	0,0089	Bilateral
60,00	Condición	pH	{SB}	{SD}	5	5	5,63	5,99	0,0776	-1,47	0,1799	Bilateral
0,00	Condición	CO (g/Kg)	{SB}	{SD}	5	5	29,60	26,20	0,7656	0,34	0,7405	Bilateral
15,00	Condición	CO (g/Kg)	{SB}	{SD}	5	5	44,80	22,60	0,2501	2,66	0,0289	Bilateral
30,00	Condición	CO (g/Kg)	{SB}	{SD}	5	5	34,10	38,10	0,7206	-0,31	0,7633	Bilateral
45,00	Condición	CO (g/Kg)	{SB}	{SD}	5	5	11,10	32,10	0,0062	-2,59	0,0606	Bilateral
60,00	Condición	CO (g/Kg)	{SB}	{SD}	5	5	39,10	27,30	0,5229	1,77	0,1152	Bilateral
0,00	Condición	Nt (g/Kg)	{SB}	{SD}	5	5	3,10	2,00	0,1821	1,23	0,2541	Bilateral
15,00	Condición	Nt (g/Kg)	{SB}	{SD}	5	5	4,60	1,90	0,1535	2,91	0,0197	Bilateral
30,00	Condición	Nt (g/Kg)	{SB}	{SD}	5	5	4,30	4,20	0,8377	0,09	0,9312	Bilateral

Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable Nt (g/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 1,10	media(2) 2,70	p(Var.Hom.) 0,0428	T -3,06	p 0,0281	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable Nt (g/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 3,60	media(2) 2,80	p(Var.Hom.) 0,7087	T 1,22	p 0,2567	prueba Bilateral
Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable CO/Nt	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 9,98	media(2) 12,98	p(Var.Hom.) 0,0672	T -1,54	p 0,1618	prueba Bilateral
Tratamiento 15,00	Clasific Condición	Variable CO/Nt	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 10,11	media(2) 12,15	p(Var.Hom.) 0,6880	T -1,80	p 0,1096	prueba Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable CO/Nt	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 8,36	media(2) 10,37	p(Var.Hom.) 0,1126	T -1,12	p 0,2947	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable CO/Nt	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 10,60	media(2) 11,25	p(Var.Hom.) 0,7293	T -0,46	p 0,6551	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable CO/Nt	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 11,05	media(2) 10,30	p(Var.Hom.) 0,2778	T 0,57	p 0,5815	prueba Bilateral
Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable Pt(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 453,93	media(2) 373,79	p(Var.Hom.) 0,0957	T 1,85	p 0,1022	prueba Bilateral
Tratamiento 15,00	Clasific Condición	Variable Pt(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 495,02	media(2) 357,62	p(Var.Hom.) 0,1510	T 6,50	p 0,0002	prueba Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable Pt(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 463,36	media(2) 444,50	p(Var.Hom.) 0,7803	T 0,35	p 0,7369	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable Pt(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 433,06	media(2) 431,71	p(Var.Hom.) 0,8504	T 0,04	p 0,9663	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable Pt(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 519,26	media(2) 466,73	p(Var.Hom.) 0,5998	T 2,17	p 0,0617	prueba Bilateral
Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable Pi(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 307,00	media(2) 270,50	p(Var.Hom.) 0,1971	T 1,51	p 0,1706	prueba Bilateral
Tratamiento	Clasific	Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	media(1)	media(2)	p(Var.Hom.)	T	p	prueba

15,00	Condición	Pi(mg/Kg)	{SB}	{SD}	5	5	348,00	274,50	0,2778	1,38	0,2041	Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable Pi(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 318,25	media(2) 258,75	p(Var.Hom.) 0,4431	T 1,91	p 0,0930	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable Pi(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 281,25	media(2) 287,00	p(Var.Hom.) 0,9018	T -0,69	p 0,5116	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable Pi(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 301,50	media(2) 282,00	p(Var.Hom.) 0,8425	T 1,05	p 0,3256	prueba Bilateral
Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable Po(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 146,93	media(2) 103,29	p(Var.Hom.) 0,6584	T 1,31	p 0,2264	prueba Bilateral
Tratamiento 15,00	Clasific Condición	Variable Po(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 147,02	media(2) 83,12	p(Var.Hom.) 0,0797	T 0,97	p 0,3583	prueba Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable Po(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 145,11	media(2) 185,75	p(Var.Hom.) 0,9666	T -0,65	p 0,5311	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable Po(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 151,81	media(2) 144,71	p(Var.Hom.) 0,5474	T 0,22	p 0,8313	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable Po(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 217,76	media(2) 184,73	p(Var.Hom.) 0,2979	T 1,60	p 0,1490	prueba Bilateral
Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable Pa(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 82,11	media(2) 50,65	p(Var.Hom.) 0,0181	T 1,72	p 0,1609	prueba Bilateral
Tratamiento 15,00	Clasific Condición	Variable Pa(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 83,94	media(2) 50,70	p(Var.Hom.) 0,1081	T 3,46	p 0,0086	prueba Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable Pa(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 73,87	media(2) 67,89	p(Var.Hom.) 0,9559	T 0,37	p 0,7180	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable Pa(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 39,33	media(2) 71,23	p(Var.Hom.) 0,4378	T -4,14	p 0,0032	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable Pa(mg/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 92,46	media(2) 69,34	p(Var.Hom.) 0,3351	T 1,99	p 0,0818	prueba Bilateral

Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable Na ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 0,52	media(2) 0,49	p(Var.Hom.) 0,9186	T 0,42	p 0,6823	prueba Bilateral
Tratamiento 15,00	Clasific Condición	Variable Na ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 0,49	media(2) 0,45	p(Var.Hom.) 0,8755	T 1,07	p 0,3178	prueba Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable Na ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 0,50	media(2) 0,49	p(Var.Hom.) 0,5998	T 0,09	p 0,9337	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable Na ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 0,49	media(2) 0,48	p(Var.Hom.) 0,0517	T 0,26	p 0,8045	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable Na ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 0,43	media(2) 0,41	p(Var.Hom.) 0,6173	T 0,58	p 0,5762	prueba Bilateral
Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable K ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 1,73	media(2) 1,42	p(Var.Hom.) 0,2266	T 2,10	p 0,0693	prueba Bilateral
Tratamiento 15,00	Clasific Condición	Variable K ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 1,64	media(2) 1,69	p(Var.Hom.) 0,7162	T -0,24	p 0,8199	prueba Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable K ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 1,60	media(2) 1,36	p(Var.Hom.) 0,0935	T 0,81	p 0,4418	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable K ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 1,74	media(2) 1,82	p(Var.Hom.) 0,9627	T -0,45	p 0,6629	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable K ⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 0,93	media(2) 0,79	p(Var.Hom.) 0,0210	T 1,26	p 0,2747	prueba Bilateral
Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable Ca ²⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 13,11	media(2) 13,03	p(Var.Hom.) 0,5925	T 0,05	p 0,9613	prueba Bilateral
Tratamiento 15,00	Clasific Condición	Variable Ca ²⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 15,84	media(2) 12,85	p(Var.Hom.) 0,5966	T 1,04	p 0,3275	prueba Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable Ca ²⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 15,40	media(2) 15,38	p(Var.Hom.) 0,5432	T 0,01	p 0,9946	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable Ca ²⁺ (cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 13,78	media(2) 12,47	p(Var.Hom.) 0,1284	T 0,66	p 0,5283	prueba Bilateral

Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable Ca ²⁺ (cmol/Kg){SB}	Grupo(1) {SD}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 13,22	media(2) 13,77	p(Var.Hom.) 0,2326	T -0,26	p 0,8032	prueba Bilateral
Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable Mg ²⁺ (cmol/Kg){SB}	Grupo(1) {SD}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 2,16	media(2) 2,30	p(Var.Hom.) 0,0118	T -0,12	p 0,9082	prueba Bilateral
Tratamiento 15,00	Clasific Condición	Variable Mg ²⁺ (cmol/Kg){SB}	Grupo(1) {SD}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 1,67	media(2) 1,82	p(Var.Hom.) 0,0406	T -0,38	p 0,7229	prueba Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable Mg ²⁺ (cmol/Kg){SB}	Grupo(1) {SD}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 2,34	media(2) 2,88	p(Var.Hom.) 0,9245	T -1,49	p 0,1746	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable Mg ²⁺ (cmol/Kg){SB}	Grupo(1) {SD}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 1,55	media(2) 2,12	p(Var.Hom.) 0,9232	T -1,96	p 0,0863	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable Mg ²⁺ (cmol/Kg){SB}	Grupo(1) {SD}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 2,14	media(2) 1,94	p(Var.Hom.) 0,0337	T 0,94	p 0,3982	prueba Bilateral
Tratamiento 0,00	Clasific Condición	Variable CIC(cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 13,36	media(2) 12,24	p(Var.Hom.) 0,5642	T 0,49	p 0,6376	prueba Bilateral
Tratamiento 15,00	Clasific Condición	Variable CIC(cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 12,80	media(2) 8,40	p(Var.Hom.) 0,3707	T 1,86	p 0,0996	prueba Bilateral
Tratamiento 30,00	Clasific Condición	Variable CIC(cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 13,36	media(2) 13,84	p(Var.Hom.) 0,4114	T -0,17	p 0,8684	prueba Bilateral
Tratamiento 45,00	Clasific Condición	Variable CIC(cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 12,00	media(2) 17,92	p(Var.Hom.) 0,2493	T -4,08	p 0,0035	prueba Bilateral
Tratamiento 60,00	Clasific Condición	Variable CIC(cmol/Kg)	Grupo(1) {SB}	Grupo(2) {SD}	n(1) 5	n(2) 5	media(1) 17,76	media(2) 17,36	p(Var.Hom.) 0,5879	T 0,15	p 0,8819	prueba Bilateral