



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Máster en Ingeniería de Montes

**Efecto de los cambios en el uso del suelo  
sobre la materia orgánica edáfica, en  
masas de bosque seco de la provincia de  
San Luis (Argentina)**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

Alumno:

David Somovilla Lumbreras

Directores:

Dra. M<sup>a</sup> Belén Turrión Nieves

Dr. Esteban Gabriel Jobbágy Gampel

Dr. Marcelo Daniel Nosetto

Septiembre de 2014



## **AGRADECIMIENTOS**

*Este trabajo fin de máster es producto de meses de trabajo bajo la compañía, guía y apoyo de muchas personas, a las que quiero dar las gracias.*

*En primer lugar debo agradecer a mi tutora en Palencia, Belén Turrión, la confianza personal y el apoyo académico prestado desde el primero hasta el último día de trabajo.*

*Doy también las gracias por el apoyo del profesor Roberto San Martín, que de forma desinteresada me prestó su ayuda.*

*Me gustaría también acordarme de las personas que organizan y hacen posible el intercambio académico internacional entre Palencia y San Luis (Argentina), en especial los coordinadores Stella Bogino y Felipe Bravo.*

*El intercambio en Argentina no la olvidare nunca, como nunca olvidare a las personas que me acompañaron en el. Quiero dar las gracias a mis directores Esteban Jobbagy y Marcelo Nosetto por aceptar dirigir mi trabajo en Argentina y por su apoyo incondicional durante todo el tiempo que trabajamos juntos. Tampoco me quiero olvidar de ninguno de mis compañeros del GEA, ya que todos de una manera u otra hicieron de mi estancia en el CONICET de San Luis una experiencia totalmente enriquecedora en lo personal y en lo académico.*

*Como los viajes son de ida y vuelta, uno nunca se debe olvidar de donde viene y la gente con la que ha compartido toda una vida, por eso quiero agradecer todo el cariño, apoyo y confianza de mis amigos y mi familia. Pero especialmente quiero dar las GRACIAS a mis padres, Enrique y Fátima, por apoyar todas mis decisiones y confiar siempre en mí.*





*ÍNDICES*



## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>11</b>
2.1. Cambio climático.....	11
2.1.1. Contexto global	11
2.1.2. El cambio climático y los sistemas forestales	12
2.2. El carbono edáfico.....	13
2.2.1. El ciclo del carbono	13
2.2.2. Dinámica del carbono en los sistemas forestales	14
2.2.3. Influencia del hombre sobre el ciclo del carbono	15
2.3. El nitrógeno edáfico.....	16
2.4. La materia orgánica edáfica.....	17
2.4.1. Importancia de la materia orgánica en el suelo	17
2.4.2. Materia orgánica edáfica y la relación carbono/nitrógeno (C/N)	18
2.5. Descripción general y usos de los bosques secos de Argentina.....	19
2.5.1. Descripción general de los bosques secos de Argentina	19
2.5.2. Usos de los bosques secos de Argentina	20
<b>3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS PREVIA.....</b>	<b>25</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
4.1. Descripción de la zona de estudio.....	29
4.1.1. Localización	29
4.1.2. Ubicación geográfica	30
4.1.3. Descripción geológica	30
4.1.4. Descripción fisiográfica	31
4.1.5. Caracterización climatología	32
4.1.6. Caracterización edáfica	34

4.1.7. Vegetación	35
4.2. Análisis de imágenes satelitales.....	37
4.2.1. Utilidad de las imágenes satelitales en el estudio	37
4.2.2. Tipo de imágenes satelitales utilizadas	37
4.2.3. Descripción del análisis realizado y resultados	38
4.3. Muestreo.....	41
4.3.1. Selección y ubicación de las parcelas de muestreo	41
4.3.2. Descripción de parcelas de muestreo	42
4.3.3. Diseño experimental del muestreo	43
4.3.4. Obtención de las muestras y mediciones en campo	44
4.4. Preparación física de las muestras.....	47
4.4.1. Secado de muestras	47
4.4.2. Pesaje de muestras	47
4.4.3. Tamizado y separación de gruesos de muestras	47
4.4.4. Molido de muestras	48
4.4.5. Empaquetado y agrupación de muestras	48
4.5. Métodos analíticos empleados.....	50
4.5.1. Cálculo de densidad aparente de muestras	50
4.5.2. Análisis de presencia de carbonatos en muestras	51
4.5.3. Eliminación de carbonatos de muestras	52
4.5.4. Análisis de carbono orgánico de muestras	53
4.5.5. Análisis de nitrógeno total de muestras	54
4.6. Herramientas y metodología empleada en el análisis estadístico.....	55
4.6.1. Herramientas utilizadas para el análisis estadístico	55
4.6.2. Metodología aplicada en el análisis estadístico	55
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>61</b>
5.1. Análisis de la densidad aparente del suelo.....	61

5.2. Análisis del carbono orgánico del suelo.....	65
5.2.1. Efecto de la profundidad de las muestras y el tipo de tratamiento sobre el carbono orgánico del suelo (g/cm <sup>3</sup> y %)	65
5.2.2. Estudio del contenido de carbono orgánico (g/cm <sup>3</sup> y %) en 0-10 cm de profundidad.	69
5.2.3. Efecto del tipo de cubierta sobre el carbono orgánico del suelo en 0-10 cm de profundidad	72
5.2.4. Efecto del tratamiento en el contenido de carbono orgánico en Mg/ha, en los 40 cm superiores de suelo	76
5.3. Análisis del nitrógeno total del suelo.....	77
5.3.1. Efecto de la profundidad de las muestras y el tipo de tratamiento sobre el nitrógeno total del suelo (g/cm <sup>3</sup> y %)	77
5.3.2. Efecto del tratamiento en el contenido de nitrógeno total en Mg/ha, en los 40 cm superiores de suelo	81
5.4. Análisis de la relación carbono/nitrógeno del suelo.....	82
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>99</b>
Anexo 1. Caracterización edáfica de los suelos	103
Anexo 2. Análisis de imágenes satelitales	113
Anexo 3. Tablas de datos	121
Anexo 4. Fotografías	143

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Porcentajes de cobertura de las especies leñosas registradas en transectas de 100 m en bosque nativo y bosque rolado del campo de San Bernardo.....	<b>36</b>
<b>Tabla 2.</b> Tratamiento, altitud (m.s.n.m.) y ubicación mediante coordenadas geográficas de cada una de las parcelas seleccionadas para el muestreo.....	<b>41</b>
<b>Tabla 3.</b> Coordenadas geográficas del punto de inicio y del punto de fin, de cada uno de los tramos muestreados en cada una de las parcelas del estudio.....	<b>44</b>
<b>Tabla 4.</b> Valores promedio, número de valores (n), desviación estándar, máximo, mínimo y error estándar para la variable densidad aparente (DA), en función del tipo de muestra, tratamiento y parcela.....	<b>62</b>
<b>Tabla 5.</b> P-valores obtenidos para cada factor y sus interacciones en el ANOVA multifactorial aplicado a la densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).....	<b>63</b>
<b>Tabla 6.</b> Valores promedio, número de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable carbono orgánico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ y %) en las 27 muestras agrupadas, en función del tratamiento y tipo de muestra (profundidad).....	<b>66</b>
<b>Tabla 7.</b> P-valores obtenidos para cada factor y sus interacciones en el ANOVA multifactorial aplicado a la concentración de carbono orgánico en $\text{g}/\text{cm}^3$ y en %.....	<b>67</b>
<b>Tabla 8.</b> Valores promedio, número de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable carbono orgánico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ y %) en las 134 muestras de 0-10 cm de profundidad, en función del tratamiento y el bloque.....	<b>69</b>
<b>Tabla 9.</b> P-valores obtenidos para cada factor y sus interacciones en el ANOVA multifactorial aplicado a la concentración de carbono orgánico en $\text{g}/\text{cm}^3$ y en %, $n=134$ .....	<b>70</b>
<b>Tabla 10.</b> Valores promedio, número de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable carbono orgánico en $\text{g}/\text{cm}^3$ y en % de las muestras de 0-10 cm de profundidad, en función del tratamiento.....	<b>72</b>
<b>Tabla 11.</b> Número de datos de tipo de cubierta tomados (n) y porcentaje de tipo de cubierta, en función del tratamiento.....	<b>72</b>
<b>Tabla 12.</b> Valores promedio, número de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable carbono orgánico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ y %) en muestras de 0-10 cm de profundidad, en función del tratamiento y el tipo de cubierta.....	<b>73</b>
<b>Tabla 13.</b> P-valores obtenidos para cada factor y sus interacciones en el ANOVA multifactorial aplicado a la concentración de carbono orgánico en $\text{g}/\text{cm}^3$ y en %, para muestras de profundidad 0-10 cm. $n=134$ .....	<b>74</b>
<b>Tabla 14.</b> Valores de carbono orgánico en $\text{Mg}/\text{ha}$ para cada muestra agrupada en función de cada parcela y profundidad, además el sumatorio de carbono orgánico en $\text{Mg}/\text{ha}$ para los 40 centímetros de profundidad de cada parcela y el promedio de estos sumatorios junto con su error estándar.....	<b>76</b>

<b>Tabla 15.</b> Valores promedio, numero de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable nitrógeno total (g/cm <sup>3</sup> y %) en las 27 muestras agrupadas, en función del tratamiento y tipo de muestra (profundidad).....	<b>78</b>
<b>Tabla 16.</b> P-valores obtenidos para cada factor y su interacción en el ANOVA multifactorial aplicado a la concentración de carbono orgánico en g/cm <sup>3</sup> y en %. n=27.....	<b>79</b>
<b>Tabla 17.</b> Valores de nitrógeno total en Mg/ha para cada muestra agrupada en función de cada parcela y profundidad, además el sumatorio de carbono orgánico en Mg/ha para los 40 centímetros de profundidad de cada parcela y el promedio de estos sumatorios junto con su error estándar.....	<b>81</b>
<b>Tabla 18.</b> Valores promedio, numero de valores (n), desviación estándar, máximo, mínimo y error estándar para la variable relación carbono/nitrógeno en las 27 muestras agrupadas, en función del tratamiento y tipo de muestra (profundidad).....	<b>83</b>
<b>Tabla 19.</b> P-valores obtenidos para cada factor y su interacción en el ANOVA multifactorial aplicado a la variable relación C/N. n=27.....	<b>84</b>
<b>Tabla 20.</b> Datos analíticos de los horizontes que componen el suelo perfil tipo Serie Gruesa SB.....	<b>105</b>
<b>Tabla 21.</b> Datos analíticos de los horizontes que componen el suelo perfil tipo Serie SB.....	<b>109</b>
<b>Tabla 22.</b> Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ), peso seco al aire (g), volumen (cm <sup>3</sup> ), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo.....	<b>121</b>
<b>Tabla 23.</b> Carbono orgánico (en % y en g/cm <sup>3</sup> ), densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ) y tipo de cubierta para cada una de las muestras de profundidad 0-10 cm y para cada uno de los puntos de muestreo de las 9 parcelas. Además se incluye una clasificación por bloques de ubicación de parcela.....	<b>134</b>
<b>Tabla 24.</b> Carbono orgánico (en % y en g/cm <sup>3</sup> ), nitrógeno total (en % y en g/cm <sup>3</sup> ), relación carbono/nitrógeno (C/N) y densidad aparente media (g/cm <sup>3</sup> ) para cada una de las muestras agrupadas para cada profundidad y compuestas por los 15 puntos de muestreo de cada parcela.....	<b>139</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo del carbono en un sistema forestal.....	<b>15</b>
<b>Figura 2.</b> Regiones Forestales de la Republica Argentina.....	<b>19</b>
<b>Figura 3.</b> Bosque seco del Chaco Árido Argentino.....	<b>20</b>
<b>Figura 4.</b> Izq.: Maquinaria empleada en los rolados de la provincia de San Luis (Argentina). Der.: Bosque seco del Chaco Árido Argentino un año después del rolado.....	<b>22</b>
<b>Figura 5.</b> Localización de la finca donde se localiza el estudio. Republica Argentina, provincia de San Luis, localidad de San Luis, paraje “San Bernardo”.....	<b>29</b>
<b>Figura 6.</b> Unidades cartográficas de suelos y vegetación, provincia de San Luis.....	<b>31</b>
<b>Figura 7.</b> Variantes del clima húmedo en la Provincia de San Luis.....	<b>32</b>
<b>Figura 8.</b> Diagrama ombrotérmico de Gaussen de la estación meteorológica de San Luis (Argentina), además se incluye temperatura media anual (°C), precipitación anual (mm) y tabla resumen de precipitaciones medias mensuales (mm) y temperaturas medias mensuales (°C).....	<b>33</b>
<b>Figura 9.</b> Izq. Jarillal en el campo de San Bernardo. Der. Algarrobar en el campo de San Bernardo.....	<b>35</b>
<b>Figura 10.</b> Imagen identificativa del software ENVI 4.2.....	<b>38</b>
<b>Figura 11.</b> Imagen tipo en la ventana de visualización de imágenes superpuestas en el software ENVI 4.2.....	<b>39</b>
<b>Figura 12.</b> Ejemplo de perfil espectral de NDVI obtenido con el software ENVI 4.2.....	<b>40</b>
<b>Figura 13.</b> Ubicación y distribución de las parcelas de muestreo. El color verde pertenece a las parcelas de bosque nativo (parcelas 4, 5 y 6), el color naranja pertenece a las parcelas de rolado viejo (parcelas 1, 2 y 3) y el color azul pertenece a las parcelas de rolado re-rolado (parcelas 7, 8 y 9).....	<b>42</b>
<b>Figura 14.</b> Paso a paso de la toma de muestras en campo.....	<b>46</b>
<b>Figura 15.</b> Gráfico de valores de densidad aparente promedio ( $\text{g/cm}^3$ ) para cada una de las parcelas y en cada profundidad.....	<b>63</b>
<b>Figura 16.</b> Gráfico de interacción Profundidad*Bloque para la variable densidad aparente y sus intervalos LSD de Fisher.....	<b>64</b>
<b>Figura 17.</b> Gráfico de interacción Tratamiento*Bloque para la variable densidad aparente y sus intervalos LSD de Fisher.....	<b>64</b>
<b>Figura 18.</b> Gráfico de valores de carbono orgánico promedio ( $\text{g/cm}^3$ ), en función de la profundidad y el tratamiento. Incluye barras de error estándar.....	<b>67</b>
<b>Figura 19.</b> Gráfico de interacción tratamiento*profundidad de los valores de carbono orgánico promedio ( $\text{g/cm}^3$ ) y sus intervalos LSD de Fisher.....	<b>68</b>

<b>Figura 20.</b> Efecto de la profundidad de los valores de carbono orgánico promedio en g/cm <sup>3</sup> (Izq.) %C (Der.) y sus intervalos LSD de Fisher.....	<b>68</b>
<b>Figura 21.</b> Gráfico de valores de carbono orgánico promedio en función del tipo de tratamiento y por bloques de parcelas. Izq. Carbono orgánico en g/cm <sup>3</sup> . Der. Carbono orgánico en %. Incluye barras de error estándar.....	<b>70</b>
<b>Figura 22.</b> Gráfico de interacción Tratamiento*Bloque para la variable carbono orgánico en g/cm <sup>3</sup> (Izq.) y en % (Der.) y sus intervalos LSD de Fisher. Bloque 1: parcelas 2, 4 y 7, Bloque 2: parcelas 3, 5 y 8, Bloque 3: parcelas 1, 6 y 9.....	<b>71</b>
<b>Figura 23.</b> Efecto del factor bloque de los valores de carbono orgánico en g/cm <sup>3</sup> (Izq.) y %C (Der.) y sus intervalos LSD de Fisher. Bloque 1: parcelas 2, 4 y 7, Bloque 2: parcelas 3, 5 y 8, Bloque 3: parcelas 1, 6 y 9.....	<b>71</b>
<b>Figura 24.</b> Gráfico de comparación de porcentajes acumulados de tipo de cubierta, entre los tipos de tratamiento.....	<b>73</b>
<b>Figura 25.</b> Gráfico de valores de carbono orgánico promedio (g/cm <sup>3</sup> ) en función del tipo de tratamiento y el tipo de cubierta. Incluye barras de error estándar.....	<b>74</b>
<b>Figura 26.</b> Gráfico de interacciones de los valores de carbono orgánico promedio en g/cm <sup>3</sup> (Arriba) y en % (Abajo), junto con sus intervalos LSD de Fisher, para cada tratamiento y en función del tipo de cubierta.....	<b>75</b>
<b>Figura 27.</b> Gráfico de valores promedio de carbono orgánico en 40 cm de profundidad en Mg/ha y sus intervalos LSD de Fisher, en función de los diferentes tratamientos.....	<b>77</b>
<b>Figura 28.</b> Gráfico de valores de nitrógeno total promedio (g/cm <sup>3</sup> ), en función de la profundidad y el tratamiento. Incluye barras de error estándar.....	<b>79</b>
<b>Figura 29.</b> Gráfico de iteración tratamiento*profundidad de los valores de nitrógeno total promedio (g/cm <sup>3</sup> ) y sus intervalos LSD de Fisher.....	<b>80</b>
<b>Figura 30.</b> Efecto de la profundidad de los valores de nitrógeno total promedio en g/cm <sup>3</sup> (Izq.) % (Der.) y sus intervalos LSD de Fisher.....	<b>80</b>
<b>Figura 31.</b> Gráfico de valores promedio de nitrógeno total en 40 cm de profundidad en Mg/ha y sus intervalos LSD de Fisher, en función de los diferentes tratamientos.....	<b>82</b>
<b>Figura 32.</b> Gráfico de valores de relación C/N promedio para cada profundidad de muestra y en función del tipo de tratamiento. Incluye barras de error estándar.....	<b>83</b>
<b>Figura 33.</b> Horizontes de suelo perfil tipo Loma Gruesa SB.....	<b>103</b>
<b>Figura 34.</b> Horizontes de suelo perfil tipo Loma SB.....	<b>106</b>
<b>Figura 35.</b> Mapa descriptivo de los suelos de la Provincia de San Luis (Argentina).....	<b>110</b>
<b>Figura 36.</b> Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 1.....	<b>113</b>

<b>Figura 37.</b> Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 2.....	<b>114</b>
<b>Figura 38.</b> Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 3.....	<b>114</b>
<b>Figura 39.</b> Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 4.....	<b>115</b>
<b>Figura 40.</b> Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 5.....	<b>115</b>
<b>Figura 41.</b> Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 6.....	<b>116</b>
<b>Figura 42.</b> Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 7.....	<b>116</b>
<b>Figura 43.</b> Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 8.....	<b>117</b>
<b>Figura 44.</b> Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 9.....	<b>117</b>
<b>Figura 45.</b> Localización de cada una de las zonas sobre ortofotografía del campo de trabajo.....	<b>118</b>
<b>Figura 46.</b> Explotación ganadera de vacuno.....	<b>143</b>
<b>Figura 47.</b> Hornos de carbón, en desuso desde el año 2000.....	<b>143</b>
<b>Figura 48.</b> Parcela circular de soja, con riego mediante pívot.....	<b>144</b>
<b>Figura 49.</b> Pista de acceso y cerramientos del campo de trabajo.....	<b>144</b>
<b>Figura 50.</b> Individuo de <i>Prosopis flexuosa</i> (algarrobo).....	<b>145</b>
<b>Figura 51.</b> Restos de madera muerta tras un desmonte selectivo o rolado.....	<b>145</b>
<b>Figura 52.</b> Parcela 1, algarrobar rolado en el año 2002.....	<b>146</b>
<b>Figura 53.</b> Parcela 2, algarrobar rolado en el año 2002.....	<b>146</b>
<b>Figura 54.</b> Parcela 3, algarrobar rolado en el año 2003.....	<b>147</b>
<b>Figura 55.</b> Parcela 4, bosque de algarrobo nativo.....	<b>147</b>
<b>Figura 56.</b> Parcela 5, bosque de algarrobo nativo.....	<b>148</b>
<b>Figura 57.</b> Parcela 6, bosque de algarrobo nativo.....	<b>148</b>
<b>Figura 58.</b> Parcela 7, algarrobar rolado en el año 2007 y en el año 2012.....	<b>149</b>
<b>Figura 59.</b> Parcela 8, algarrobar rolado en el año 2006 y en el año 2011.....	<b>149</b>
<b>Figura 60.</b> Parcela 9, algarrobar rolado en el año 2006 y en el año 2011.....	<b>150</b>
<b>Figura 61.</b> Replanteo del transecto mediante cinta métrica.....	<b>151</b>
<b>Figura 62.</b> Señalamiento de puntos de muestreo con cinta de marcaje.....	<b>151</b>

<b>Figura 63.</b> Materiales y herramientas utilizados para el muestreo en campo.....	<b>152</b>
<b>Figura 64.</b> Detalle tubo de acero clavado hasta 10 cm de profundidad.....	<b>152</b>
<b>Figura 65.</b> Detalle eliminación de suelo exterior para extracción de muestra....	<b>153</b>
<b>Figura 66.</b> Detalle tubo de acero clavado hasta los 40 cm de profundidad.....	<b>153</b>
<b>Figura 67.</b> Detalle eliminación de suelo exterior para extracción de muestra....	<b>154</b>
<b>Figura 68.</b> Detalle muestra extraída y hueco de extracción.....	<b>154</b>
<b>Figura 69.</b> Detalle muestras en sus correspondientes bolsas de empaquetad...	<b>155</b>
<b>Figura 70.</b> Secado al aire de las muestras.....	<b>156</b>
<b>Figura 71.</b> Rotulación y colocación de muestras durante el secado al aire.....	<b>156</b>
<b>Figura 72.</b> Detalle de rotura de agregados con rodillo de madera.....	<b>157</b>
<b>Figura 73.</b> Tamizado de muestra con tamiz de 2 mm de luz.....	<b>157</b>
<b>Figura 74.</b> Balanza de pesaje y detalle de elementos gruesos.....	<b>158</b>
<b>Figura 75.</b> Molino de cuchilla y bolsas de papel de empaquetado.....	<b>158</b>
<b>Figura 76.</b> Centrifuga utiliza para la eliminación de carbonatos.....	<b>159</b>
<b>Figura 77.</b> Tubos tipo Falcon para centrifuga de 50 ml con tapa, utilizados para la eliminación de carbonatos.....	<b>159</b>

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>NDVI</b>	Índice de vegetación diferencial normalizado
<b>MOS</b>	Materia orgánica del suelo
<b>MO</b>	Materia orgánica
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>C</b>	Carbono
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>RR</b>	Rolado re-rolado
<b>RV</b>	Rolado viejo
<b>BN</b>	Bosque narivo
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>Pg</b>	Petagramo
<b>g</b>	Gramos
<b>C/N</b>	carbono/nitrógeno
<b>pies/ha</b>	Pies por hectárea
<b>ha</b>	Hectárea
<b>mm</b>	Milímetros
<b>izq.</b>	Izquierda
<b>der.</b>	Derecha
<b>km</b>	Kilómetros
<b>m</b>	Metros
<b>cm</b>	Centímetros
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>a.m.</b>	Ante merídiem
<b>MODIS</b>	Moderate resolution maging spectroradiometer
<b>NDVI</b>	Índice diferencial de vegetación normalizado
<b>NIR</b>	Región espectral del infrarrojo cercano
<b>s</b>	Segundos
<b>min</b>	Minutos
<b>DA</b>	Densidad aparente

<b>V</b>	Volumen
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetros cúbicos
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramos por centímetro cúbico
<b>Mg/ha</b>	Megagramos por hectárea
<b>ml</b>	Mililitros
<b>r.p.m.</b>	Revoluciones por minuto
<b>n</b>	Número de valores
<b>ANOVA</b>	Análisis de la varianza





*RESUMEN*



## RESUMEN

**Título:** Efecto de los cambios en el uso del suelo sobre la materia orgánica edáfica, en masas de bosque seco de la provincia de San Luis (Argentina).

Mundialmente las regiones boscosas áridas están siendo deforestadas de forma intensa. Un ejemplo de esta deforestación a gran escala se produce en los bosques secos de centro Argentina. Esta deforestación viene impulsada por el uso de la tierra para la implantación de cultivos intensivos, siendo la soja el cultivo que mas terreno está ganando en los últimos años al bosque seco. Como alternativa al desmonte total del bosque seco para el establecimiento de cultivos, surge hace dos décadas una nueva técnica de manejo llamada rolado o desmonte selectivo, que consiste en la eliminación del estrato arbolado-arbustivo del bosque a través de maquinaria pesada que aplasta y quiebra la vegetación leñosa de menos de 3 m de altura, dejando en pie los arboles más grandes y generando una estructura de vegetación “sabanoide”, en la que el aprovechamiento principal es el pasto para el ganado bovino. Los bosques secos, y el suelo sobre el que se sustentan, representan un importante sumidero de carbono frente al cambio climático. En este sentido el presente estudio establece como objetivo general la evaluación del efecto del cambio en el uso del suelo en masas de bosque seco de algarrobo (*Prosopis flexuosa*) sobre los componentes carbono orgánico, nitrógeno total y relación C/N presentes en el suelo más superficial, hasta los 40 cm. Se establece un diseño experimental de 9 parcelas, cada grupo de 3 parcelas representa un tratamiento diferente (rolado viejo, rolado re-rolado y bosque nativo), en cada parcela se traza un transecto sobre el que se establecen aleatoriamente 15 puntos de muestreo y en cada punto de muestreo se toman 3 muestras inalteradas a 3 profundidades diferentes (0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm). Las muestras en el laboratorio son preparadas y tratadas físicamente, para finalmente analizar el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total de las mismas. Analizados de forma descriptiva los resultados obtenidos, se puede afirmar que existe una tendencia que indica mayor contenido de carbono orgánico y mayor contenido de nitrógeno total, de los 20 primeros centímetros de suelo, en las zonas donde se aplicó un desmonte selectivo o rolado hace 12 años respecto a las zonas de bosque nativo. Además como contribución al conocimiento del funcionamiento de los bosques secos de algarrobo, este estudio aportó resultados que indican que la estructura de la vegetación es modificada de forma sustancial y transcurridos 12 años de la perturbación del rolado, la superficie ocupada por arbustos aumenta en detrimento del arbolado. En cambio, analizados estadísticamente los resultados obtenidos en el estudio, se desprende una conclusión final, en la que se puede afirmar que la técnica de desmonte selectivo o rolado no provoca variaciones estadísticamente significativas en el contenido de carbono orgánico y el nitrógeno total de los primeros 40 cm de suelo.

**Palabras clave:** bosque seco, algarrobar, centro Argentina, desmonte selectivo o rolado, carbono orgánico edáfico y nitrógeno total edáfico.





## *1. INTRODUCCIÓN*



## 1. INTRODUCCIÓN

Existe una creciente preocupación a escala mundial respecto al cambio climático global debido a los gases efecto invernadero, ya que es uno de los principales problemas que enfrenta el mundo actual. Los gases de efecto invernadero podrían reducirse a través de dos procesos: disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas y creación y/o mejora de los sumideros de carbono de la biosfera. La cantidad de carbono orgánico presente en el suelo duplica el presente en la atmósfera y es de dos a tres veces mayor que el acumulado en organismos vivos en todos los ecosistemas terrestres (González-Pérez *et al.* 2004) y, aún así, hay un gran potencial para secuestrar más carbono en los suelos (Macías, 2002). Se estima que la biomasa aérea de los bosques constituye entre el 82-86% de todo el carbono fijado en la biomasa terrestre (Richter *et al.* 1999) y que los suelos forestales acumulan entre el 70-73% de todo el carbono orgánico fijado en el suelo (Birdsey *et al.* 1993). Por lo tanto, los ecosistemas forestales y en particular los suelos forestales juegan un papel importante en el ciclo global del carbono y el cambio climático (IPCC, 2000).

La materia orgánica del suelo (MOS) desempeña un importante papel en los ciclos del carbono y nitrógeno, representando una fuente/sumidero importante de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero que pueden pasar a la atmósfera. La pérdida de MOS contribuye al incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico y además disminuye en gran medida la fertilidad y da lugar a un aumento de la erosión. La MOS representa, por lo tanto, dentro de los ecosistemas terrestres, el reservorio con mayor importancia en la regulación del carbono atmosférico y, además, el retorno a la atmósfera del carbono almacenado en esta, es el más lento encontrándose este carbono mejor protegido contra los incendios y otras perturbaciones.

La capacidad de los suelos para acumular y estabilizar carbono orgánico está recibiendo actualmente una gran atención, pretendiéndose evaluar en qué medida el incremento en el contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico podría ser compensado por políticas tales como forestación de amplias zonas o por cambios en las prácticas agrícolas y forestales (Lal *et al.* 1997; Rovira & Vallejo, 2003). La silvicultura puede contribuir a la mitigación del calentamiento global mediante la conservación, el secuestro y almacenamiento y la sustitución de carbono (IPCC, 2000). De acuerdo con el Protocolo de Kyoto y su reconocimiento sobre el uso de actividades forestales y sumideros de carbono como herramientas aceptables para tratar el problema de la acumulación de carbono atmosférico, las plantaciones de nuevos bosques jugarían un papel vehicular para el secuestro de carbono. Por tanto los cambios en el uso del suelo son la fuerza motriz que determina el papel fuente o sumidero de carbono del suelo.

La cantidad de MOS en un ecosistema queda determinada por el balance entre la tasa de incorporación de materia orgánica (MO) nueva y la tasa de descomposición de la MO existente. Su tasa de descomposición y, por tanto, la velocidad a la que el carbono del suelo regresa a la atmósfera, depende de diversos factores que están involucrados en el control de la actividad descomponedora de los microorganismos edáficos. Entre estos factores cabe destacar: la cantidad y calidad de la MO y, por tanto, el uso y manejo del sistema; las condiciones climáticas; y las características físicas y químicas del suelo.

En los últimos años se ha propiciado el inicio de líneas de investigación sobre la estimulación de la fijación de CO<sub>2</sub> en ecosistemas terrestres para así ralentizar el efecto invernadero. Actualmente existe interés acerca del efecto de los cambios de uso y de manejo forestal en la estabilidad del carbono orgánico por lo que se estima necesario realizar más estudios con el fin de aplicar los conocimientos para llevar a cabo una futura gestión sostenible de las masas forestales (Van Lützow *et al.* 2006).

Es importante recordar que mundialmente las regiones áridas cubren aproximadamente el 45% de la superficie (Noy-Meir, 1973; Orians & Solbrig, 1977); en concreto, los bosques secos resultan áreas de extrema importancia no solo por la superficie que abarcan en proporción sino fundamentalmente por el impacto que tienen en la regulación del clima y en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos (Reynolds *et al.* 2007; Leu, 2010; Rotenberg & Yakir, 2010). En las últimas décadas, los cambios en el uso de la tierra han afectado de manera directa a la diversidad específica y funcional de muchos ecosistemas, alterando su capacidad de funcionamiento (Chapin *et al.* 2000; Hoffmann *et al.* 2002; Foley *et al.* 2003).

A pesar de que la mayor parte de las transformaciones han ocurrido y están ocurriendo en las selvas tropicales, los bosques secos mundiales no están exentos de esta transformación (Sala *et al.* 2000; Sanchez-Azofeifa *et al.* 2005). Miles *et al.* (2006) estimaron que entre las décadas de 1980-2000 los bosques secos experimentaron una fuerte reducción en superficie, siendo Sudamérica la región mundial que presentó la tasa de deforestación más elevada respecto a otros bosques secos del mundo. Los mismos autores también advierten que los bosques secos de Sudamérica tendrían la mayor superficie expuesta a riesgo climático (cambios en precipitaciones y temperaturas) siendo esta más del doble que en otros continentes. El ritmo con el que están desapareciendo estos sistemas conduce a la necesidad de realizar investigaciones que permitan conocer el funcionamiento de estos bosques y de este modo atenuar y advertir sobre los posibles riesgos de su extinción. La mitad de los bosques secos del mundo están en Sudamérica, siendo Argentina el país con mayor superficie árida y semiárida, abarcando esta el 75% del territorio nacional. Una gran parte de esta superficie la ocupa el Chaco Argentino.

El presente estudio se centra en el análisis de los posibles efectos de los cambios en el uso del suelo en masas de bosque seco de centro Argentina sobre la materia orgánica edáfica, y concretamente los efectos sobre el carbono orgánico del suelo. Se ha llevado a cabo gracias a una beca de intercambio de 6 meses, concedida y financiada por parte de la Universidad de Valladolid y el Banco Santander. La beca se enmarca dentro de un convenio de colaboración internacional entre la Universidad de Valladolid (España) y la Universidad Nacional de San Luis (Argentina). El estudio ha sido desarrollado dentro del Grupo de Estudios Ambientales (GEA), formando parte este del Instituto de Matemática Aplicada San Luis (IMASL), perteneciente a la Universidad Nacional de San Luis y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la República Argentina. Al desarrollo dentro del GEA, se le suma la colaboración del Departamento de Ciencias Agroforestales del Área de Edafología y Química Agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia y el Instituto de Investigación en Gestión Forestal Sostenible, pertenecientes a la Universidad de Valladolid.



## *2. ANTECEDENTES*



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Cambio climático

#### 2.1.1. Contexto global

El cambio climático es uno de los temas ambientales que mayor preocupación ha generado en las últimas décadas debido al notable aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y de los aerosoles ha modificado los términos del balance energético de la Tierra (IPCC, 2007).

El calentamiento global tiene su origen en el aumento de la concentración atmosférica de los gases dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), debido, principalmente, al consumo de combustibles fósiles. En concreto, la concentración de CO<sub>2</sub> ha aumentado en un 31%, pasando de 280 ppm a 380 ppm desde 1750 hasta 2002 (Acosta *et al.* 2002), y desde 2002 hasta la actualidad a sufrido un aumento exponencial, llegando a cifras de 400 ppm en el año 2013, según datos publicados por la Organización Meteorológica Mundial (Organización de las Naciones Unidas, 2014). En este contexto, se define “almacenamiento de dióxido de carbono” como el proceso de separación del CO<sub>2</sub> emitido, transporte a un lugar de almacenamiento y aislamiento de la atmósfera a largo plazo (IPCC, 2007). Este proceso es necesario para reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> y promover la mitigación de los efectos del calentamiento sobre el planeta. Otras medidas simultáneas comprenden la mejora de la eficiencia energética, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la preferencia de combustibles que dependan menos intensivamente del carbono, las fuentes de energía renovables y distintas opciones forestales ligadas a la fijación de carbono en los bosques.

Las concentraciones de los GEI, han aumentado de forma significativa (aproximadamente en un 70% entre los años 1970 y 2004), debido a la actividad humana (IPCC, 2007), siendo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el gas efecto invernadero antropogénico más importante, cuya concentración más se ha incrementado (IPCC, 2007). Este incremento se debe principalmente a la utilización de combustibles fósiles, y en menor medida a los cambios de uso del suelo. El uso de combustibles fósiles y la deforestación han ayudado a que se produzca un aumento de la temperatura media global entre 0,4°C y 0,8°C (Gracia *et al.* 2002), pudiéndose incrementar la temperatura media global en los próximos cien años entre 1,5°C y 4,5°C si el ritmo de las emisiones no desciende, lo cual dará lugar a alteraciones en los patrones de viento y lluvia, a un incremento del nivel del mar debido tanto al deshielo de los casquetes polares como a la expansión térmica de los océanos, y a un aumento en la evaporación del suelo que provocará cambios significativos en la humedad (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2006). Este incremento de las temperaturas se reflejó en España en un aumento de entre 1°C y 2°C, entre los años 1850 y 2005 (Ministerio de Medio Ambiente, 2007).

En 1972 fueron desarrolladas las primeras normativas medioambientales, aunque a finales del decenio de 1960 ya habían sido establecidas las primeras leyes que regulaban aspectos medioambientales en Estados Unidos. Estas normativas

medioambientales fueron recogidas en la Conferencia de la ONU celebrada en Estocolmo del 5 al 16 de junio de 1972, donde fueron acogidas 113 naciones, con el fin de obtener el compromiso de los gobiernos para la conservación del medio ambiente.

En 1988 el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de Meteorología alertan sobre las drásticas variaciones climáticas, debidas principalmente al aumento de la concentración de los GEI en la atmósfera. Como respuesta, crearon un nuevo organismo, el Panel Intergubernamental para el cambio climático (IPCC), cuya finalidad consistía en evaluar a través de una serie de informes los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos de las investigaciones realizadas sobre el cambio climático desde una perspectiva política. A partir de estas evaluaciones se llegaron a diversas conclusiones entre las que destacan la existencia de un incremento de temperaturas, la modificación de cambios climáticos en muchos lugares y la pérdida de biodiversidad y recursos en amplias zonas del planeta a consecuencia del incremento de la concentración de GEI en la atmósfera.

Debido a la creciente preocupación sobre los efectos potencialmente desastrosos del calentamiento global en varias regiones del mundo, tuvo lugar en 1992, la 1ª “Cumbre de la Tierra” en Río de Janeiro (Brasil), donde se firmó la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático, acordándose las medidas a implantar emitidas en informes periódicos por el IPCC y la política dada por la Conferencia de las Partes (primera autoridad de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el cambio climático que evalúa anualmente el estado del cambio climático y la efectividad del tratado) siendo uno de sus productos el Protocolo de Kyoto.

El Protocolo de Kyoto, es el compromiso alcanzado en la Tercera Conferencia de las Partes del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático celebrada en la ciudad japonesa de Kyoto en 1997, por el cual y por primera vez se fijan límites de emisiones y se establecen mecanismos de flexibilidad para facilitar el cumplimiento del acuerdo, algunos de los cuales tienen influencia sobre los países en vías de desarrollo, en principio exentos de obligaciones. Los límites definidos se expresan como reducciones o incrementos máximos con respecto al año de referencia 1990. Argentina, como país en desarrollo y con aproximadamente el 0,6 % del total de las emisiones mundiales, no estaba obligada a cumplir las metas cuantitativas fijadas por el Protocolo de Kioto. Pese a ello ratificó el acuerdo, previa aprobación del Congreso Nacional el día 13 de julio de 2001, a través de la Ley Nacional 25.438. En consecuencia, su condición de país adherente hace que deba comprometerse con la reducción de emisiones o, al menos, con su no incremento.

### 2.1.2. El cambio climático y los sistemas forestales

En la década de los 70, surgió la primera respuesta al cambio climático mediante la actividad forestal (Dyson, 1977). No obstante, hasta finales de los años 90 no fue considerada esta posibilidad a escala mundial, solicitando que fuese definida y cuantificada la función de los bosques y proponiendo un mecanismo de colaboración internacional.

Se han desarrollado metodologías para la estimación del contenido de C en ecosistemas forestales debido a que tienen grandes cantidades de C almacenado en biomasa viva y muerta, sin embargo, el análisis de los sumideros terrestres pone de manifiesto que los suelos, en su conjunto, constituyen un reservorio terrestre de mayor capacidad. Lal (2004) estima que el carbono acumulado en suelos representa 3,3 veces el carbono atmosférico. Muchas actividades asociadas al uso del suelo (deforestación, quema, tala, etc) han reducido fuertemente la importancia de estos sumideros de C. El cambio de uso del suelo como resultado de la destrucción del bosque disminuye no solamente el C existente en la biomasa aérea, sino también el contenido de carbono edáfico (Macías, 2002).

La medida del progreso de la captura del C en los suelos es técnicamente posible, pero hasta el momento, raramente ha sido hecha más allá de niveles experimentales. Esto podría ser aplicado regional o globalmente sólo si las organizaciones regionales de suelos llevaran a cabo una supervisión sistemática del suelo por medio de una combinación de lugares permanentes de supervisión, lugares de muestreo bien distribuidos, combinados con la descripción del manejo del suelo y la teledetección de la cobertura del suelo (FAO, 2002).

Por todo lo anteriormente descrito, resulta prioritario incrementar los estudios sobre el almacenamiento de C estableciendo una metodología y aumentando el número de lugares de experimentación, con el principal objetivo de reducir los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico y alcanzar, en un futuro, la estabilidad ambiental perdida.

## 2.2. El carbono edáfico

### 2.2.1 El ciclo del carbono

Se reconoce globalmente al ciclo del carbono como uno de los principales ciclos biogeoquímicos debido a su papel en la regulación de la concentración en la atmósfera del CO<sub>2</sub>, importante gas de efecto invernadero (Brown, 1997).

Según la Enciclopedia Libre Universal (2000) el ciclo del carbono se define como la sucesión de transformaciones que sufre el carbono a lo largo del tiempo. Es un ciclo biogeoquímico, de gran importancia para la regulación del clima de La Tierra, y en él se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida. El ciclo está compuesto en realidad por dos ciclos que se suceden a distintas velocidades:

- *Ciclo biológico*: comprende los intercambios de carbono entre los seres vivos y la atmósfera, es decir el proceso de fotosíntesis, mediante el cual el carbono es retenido por las plantas, y el proceso de respiración mediante el cual el carbono es devuelto a la atmósfera. Este ciclo es relativamente rápido, estimándose que la renovación del carbono atmosférico se produce cada 20 años.
- *Ciclo biogeoquímico*: el cual regula la transferencia de carbono entre la atmósfera y la litosfera (océanos y suelo).

El suelo desempeña un importante papel en el ciclo del C y puede representar una fuente importante de CO<sub>2</sub> y de otros gases invernadero a la atmósfera. La cantidad total de C que contiene el suelo es dos a tres veces superior al del CO<sub>2</sub> atmosférico (Bowman, 1990). En el suelo, este gas se produce, fundamentalmente, a través del metabolismo de la microflora y de las raíces de la planta, siendo la descomposición microbiana de compuestos orgánicos el proceso más importante que lo genera. Durante la descomposición una parte del C es devuelto a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, mientras que otra se transforma en otros compuestos más sencillos o se almacena en las propias estructuras microbianas.

Los flujos de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y el suelo cumplen una función clave en el funcionamiento del ciclo global del C, por lo que la perturbación de los procesos que los regulan puede modificar la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico. De hecho, entre las actividades que aumentan la emisión de este gas a la atmósfera destacan los cambios de uso del suelo y su sobreexplotación, y entre ellas, la deforestación y las labores selvícolas. El manejo forestal intensivo altera considerablemente las propiedades y condiciones ambientales del suelo (Munson *et al.* 1993; Merino *et al.* 1997), lo que puede repercutir en la actividad de los microorganismos (Bauhus & Barthel, 1995) y, por consiguiente, en la descomposición de la materia orgánica (Cortina & Vallejo, 1994) y en la dinámica de CO<sub>2</sub> del suelo (Mattson & Swannk, 1989). De este modo, las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden aumentar considerablemente después de la tala (Houghton *et al.* 1983; Hendrickson *et al.* 1989), aunque en algunos casos se ha observado el efecto contrario (Edwards & Ross-Told, 1983; Hendrickson *et al.* 1985; Mattson & Swannk, 1989). Las diferentes respuestas parecen estar relacionadas con la modificación de las condiciones ambientales del suelo ocasionadas después de la retirada de la cubierta arbórea y que están determinadas en parte por los diferentes tratamientos que pueden recibir las grandes cantidades de residuos generados.

### 2.2.2. Dinámica del carbono en los sistemas forestales

El carbono es acumulado en los sistemas forestales mediante la absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico y su asimilación en la biomasa. El carbono se almacena tanto en la biomasa viva (madera en pie, ramas, follaje y raíces), como en la biomasa muerta (hojarasca, restos de madera, materia orgánica del suelo y los productos forestales). Hay que tener en cuenta que las plantaciones forestales acarrean una retención de carbono que se prolonga más allá de la vida de la plantación, ya que una vez que la masa se corta, la madera se lleva a las industrias de transformación y allí continúa el carbono acumulado que se conservará en función del destino dado al producto final.

Dentro de un bosque se pueden ver dos procesos importantes en la dinámica del carbono; la fotosíntesis en la biomasa, y la descomposición de la materia orgánica en el suelo. En la Figura 1 se representa el ciclo del carbono en un sistema forestal tipo. En un sistema forestal es importante conocer que ocurre con el carbono cuando la masa se corta, ya que el carbono sigue fijado en esa madera, y la vida media del carbono en los productos forestales varía en función del uso que se le dé a esos productos.

El carbono asimilado en la fotosíntesis, descontando el proceso respiratorio, es en parte retenido en la biomasa, en continuo aumento al hacerlo esta, hasta la corta de los árboles. A su vez parte del carbono de la biomasa es liberado al suelo con la hojarasca y otros residuos vegetales que, a su vez, son parcialmente oxidados por acción microbiana, revertiendo parte del carbono a la atmósfera y acumulándose el resto en la materia orgánica del suelo (Merino *et al.* 2003).

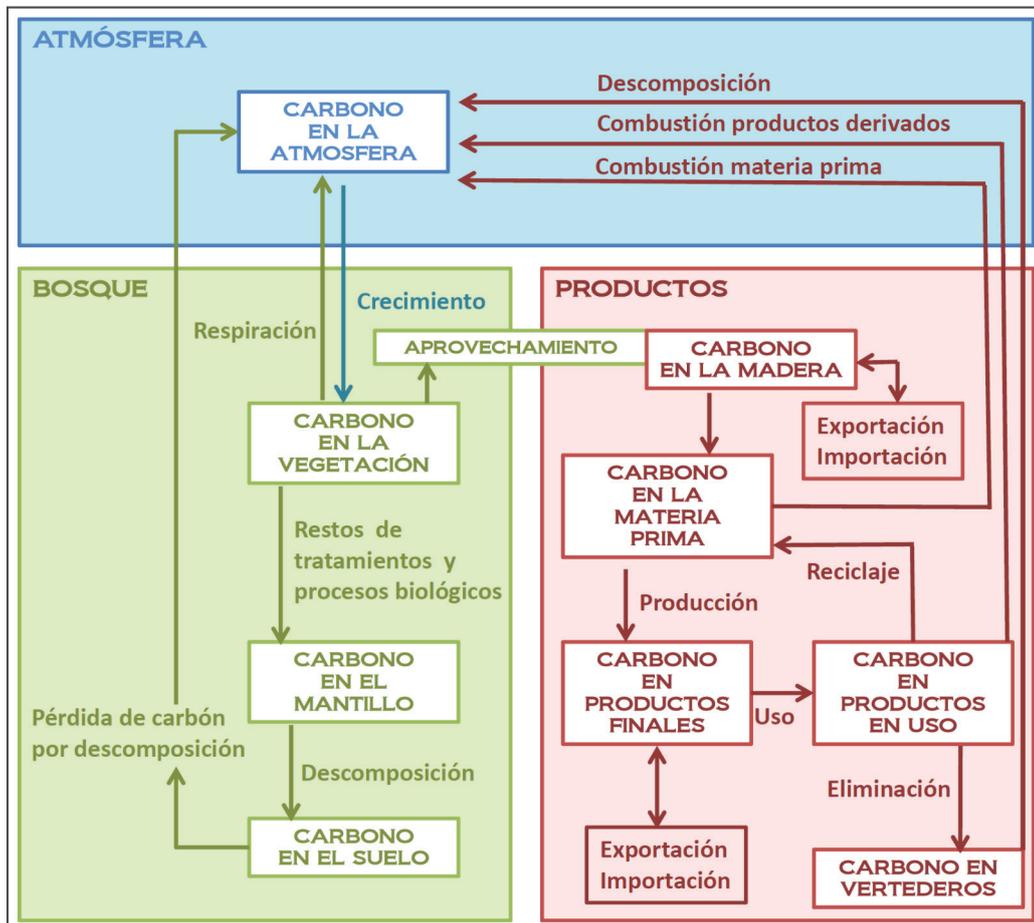


Figura 1

Ciclo del carbono en un sistema forestal. Fuente: Adaptado de Karjalainen (1996).

### 2.2.3. Influencia del hombre sobre el ciclo del carbono

El flujo de C ha mantenido el CO<sub>2</sub> atmosférico razonablemente constante por miles de años. A causa del cambio del uso del suelo y la incorporación de C fósil dentro del ciclo, llevado a cabo por el hombre, se han incrementado las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, trayendo como consecuencia la distorsión del balance deseable. Se estima que el incremento de C ha sido superior a 15.000 millones de toneladas métricas por año, principalmente debido a la quema de combustibles. Por su parte la pérdida de C por el cambio de uso de la tierra ha crecido progresivamente en el último siglo, aproximadamente a tasas de 2 Pg de carbono por año, especialmente por la deforestación tropical (Houghton, 2003).

Este incremento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico puede traer como consecuencia que las fuentes del mismo excedan los sumideros. Según Lal *et al.* (1997), el ciclo moderno del C tiene dos flujos principales. Un flujo entre la atmósfera y la vegetación terrestre (120 Pg por año) y otro flujo entre la atmósfera y el océano (105 a 107 Pg por año). Por tanto, los suelos pueden jugar un papel importante en este ciclo, ya que constituyen una fuente o un sumidero de C e influenciar las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

### 2.3. El nitrógeno edáfico

El nitrógeno es un nutriente esencial para la vegetación, por tanto es necesario estudiar su dinámica en el suelo y la influencia de esa dinámica sobre la vegetación presente en ese suelo.

Bajo condiciones naturales, el nitrógeno del suelo no proviene de la degradación de la roca madre. Todo lo que normalmente se encuentra en él deriva del que existe en la atmósfera terrestre a través de distintos procesos de fijación. En todos los suelos y de manera continua, existen considerables entradas y salidas de nitrógeno, acompañadas de muchas transformaciones complejas. Algunos de estos cambios pueden controlarse más o menos por el hombre, mientras que otros escapan a su control.

El ser humano modifica los flujos y transformaciones del nitrógeno proporcionalmente al grado de intervención que tiene sobre un ecosistema. La modificación del ciclo del nitrógeno es enorme en los terrenos agrícolas debido a los abonados con nitrógeno mineral, y a las extracciones de material vegetal en las que van gran cantidad de nutrientes incluido el nitrógeno.

A diferencia de las modificaciones del hombre, el proceso natural más importante para el aumento del nitrógeno en el suelo es la fijación biológica del dinitrógeno atmosférico realizada por microorganismos que pueden actuar de dos maneras: los que hacen libremente y los que fijan N<sub>2</sub> simbióticamente en nódulos radiculares (Wild, 1992).

Esas bacterias y algas cianofíceas que pueden usar el N<sub>2</sub> de la reserva atmosférica, juegan un papel muy importante en el ciclo de este elemento al fijar el mismo. De esta manera convierten el N<sub>2</sub> en otras formas químicas (nitratos y amonio) asimilables para las plantas. Los suelos ganan también pequeñas cantidades de nitrógeno en forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub> por arrastres de lluvias y deposición seca (Wild, 1992).

El nitrógeno nítrico es extraordinariamente soluble en agua y no es retenido por los coloides del suelo. Desciende arrastrado por el agua a una velocidad que depende de la textura y estructura del suelo y de la importancia de las precipitaciones.

Por su parte el nitrógeno atmosférico se recicla en la naturaleza bajo dos formas principales: el amoníaco y los nitratos. Sólo algunas bacterias y las leguminosas son capaces de utilizar el nitrógeno directamente del aire para efectuar la síntesis de sus aminoácidos y proteínas. La mayoría de los vegetales son incapaces de efectuar esta transformación y utilizan un compuesto intermedio: los nitratos. Estos nitratos, que las plantas absorben del suelo a través de sus raíces, son aportados al suelo de diferentes

formas: por las bacterias nitrificantes, por la fijación llevada a cabo en las nudosidades de las leguminosas, por la contaminación atmosférica (generadora de óxidos de nitrógeno) llevados al suelo por el agua de lluvia y los efluentes industriales y urbanos. El aporte selectivo se puede realizar en forma de abonos (ya sean sintéticos u orgánicos). Todos estos aportes rebasan la cantidad que las plantas utilizan para su crecimiento y, aunque parte de este exceso es reciclado por las bacterias desnitrificantes, la mayor parte penetra en el suelo por lavado y alcanza la capa freática contaminándola.

## **2.4. La materia orgánica edáfica**

### **2.4.1. Importancia de la materia orgánica en el suelo**

La materia orgánica es un componente fundamental para el suelo de los ecosistemas, ya que interviene en funciones tales como la formación del suelo, movimiento y almacenamiento del agua, protección al suelo de la degradación y erosión, y forma parte importante del ciclo del carbono en la tierra entre otras muchas funciones (Porta *et al.* 1994).

Vitousek *et al.* (1994) y Swift *et al.* (1979) propusieron que las tasas de descomposición de la materia orgánica están reguladas por tres grupos de variables: los organismos (invertebrados y microorganismos), la composición química del sustrato (calidad del recurso) y factores físicos (fundamentalmente humedad y temperatura). La calidad del recurso afecta la abundancia, composición y actividad de la comunidad descomponedora, por lo que es el factor principal que controla las tasas de descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes (Blair *et al.* 1990).

La mayoría de la materia orgánica del suelo procede de los restos de tejidos vegetales y, en mucha menor proporción de los restos de origen animal. Los componentes orgánicos de los tejidos vegetales están formados en un 50% de carbono, y con el hidrógeno y el oxígeno se completa la composición hasta un 90%. Además los restos vegetales contienen una serie de elementos como el nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio etc. que se denominan macronutrientes y que las plantas necesitan (Porta *et al.* 1994).

La presencia de materia orgánica en el suelo constituye un importante factor de fertilidad, influyendo sobre la actividad biológica del mismo y modificando algunas de sus propiedades físicas y químicas. Los principales efectos de la materia orgánica son los que se exponen sintéticamente a continuación (Guerrero, 1996):

- Disminución de la densidad aparente por aumento de la porosidad y por consiguiente de la aireación, lo que favorece la circulación del agua a través del perfil del suelo.
- Mejora de la formación de agregados al formarse los complejos arcillo-húmicos, con todos los efectos beneficiosos que ello conlleva.
- Aumento de la capacidad de retención de agua (por la mejora de la estructura y por la propia naturaleza de la materia orgánica).

- Aumento de la Capacidad de Cambio Catiónico.
- Mantenimiento de la disponibilidad de nutrientes para la vegetación así como la de oligoelementos.
- Amortiguación de los efectos tóxicos de sustancias añadidas al suelo.
- Aumento de la temperatura de los horizontes superiores por el oscurecimiento que en ellos produce su presencia.
- Servir de base para el desarrollo de la flora microbiana de la que dependen los ciclos de nutrientes que se desarrollan en el suelo.

Debido a las importantes funciones que desempeña la MOS, la modificación de la dinámica del C por las labores forestales, también pueden deteriorar la fertilidad y conservación de los suelos. Los factores más importantes que controlan la acumulación de la MOS son: el factor tiempo, el clima, la vegetación, el material original del suelo, la topografía y el uso del suelo (Ganuza, 2002).

#### 2.4.2. Materia orgánica edáfica y la relación carbono/nitrógeno (C/N)

La MOS desempeña funciones esenciales para el mantenimiento de la calidad y fertilidad de los suelos. Uno de los indicadores de la calidad del recurso y de las tasas de descomposición más utilizados es la relación C/N (Gallardo & Merino, 1993). Esta relación entre el C orgánico y N total del suelo se puede definir como un indicador de los procesos químicos y microbiológicos de la degradación de los restos orgánicos en el suelo. Tanto el C como el N resultan imprescindibles para el crecimiento y/o supervivencia de las poblaciones de microorganismos. La carencia de uno de los componentes dificultaría la supervivencia de algunos grupos de organismos y limitaría el crecimiento poblacional de otros muchos. Según Cobertera (1993) la caracterización de los suelos, desde el punto de vista biológico, no sólo se basa en la naturaleza y tipo de humus, sino también en los contenidos de MOS total y la relación C/N, en los distintos horizontes.

Los residuos orgánicos con una relación C/N baja, por lo general tiene bastante N para satisfacer las necesidades de los microorganismos degradantes. A medida que los residuos se descomponen habrá N para satisfacer las necesidades de los microorganismos en exceso con relación al que necesitan, el cual se liberará como amoníaco. Las plantas superiores podrán utilizar el N a medida que transcurre la descomposición. Por el contrario cuando se incorporan restos con una relación C/N alta los nitratos desaparecerán, al ser utilizados exclusivamente por los microorganismos y las plantas; los suelos en estas condiciones serán deficientes en N (Navarro, 2000).

Los flujos de C y N entre el suelo, atmósfera y agua cumplen una función clave en el funcionamiento del ciclo global del C y del N, por tanto los cambios en los usos del suelo y en las prácticas de manejo se manifestarán en el estatus del C y del N edáfico y en particular en las proporciones de la MO más activa y en sus transformaciones (Glaser *et al.* 2000).

## 2.5. Descripción general y usos de los bosques secos de Argentina

### 2.5.1. Descripción general de los bosques secos de Argentina

Miles et al. (2006) estiman que la mitad de los bosques secos del mundo están en Sudamérica, con las áreas más grandes ubicadas en el noreste de Brasil y norte-centro de Argentina. Argentina es el país de Sudamérica con mayor superficie árida y semiárida, abarcando esta el 75% del territorio nacional. Una gran parte de esta superficie la ocupa la región del Parque Chaqueño o Chaco Argentino, una enorme planicie sedimentaria que representa más del 20% de la superficie continental del país (Figura 2). En el extremo suroeste más seco, hay 10 millones de hectáreas que corresponden al llamado “Chaco Árido” (Morello & Adamoli, 1968; Blanco *et al.* 2005), también llamado por algunos autores “bosque o parque Chaqueño occidental” (Ragonese & Castiglioni, 1970).

En general estos bosques están caracterizados por una marcada estación seca producto de la distribución de las precipitaciones y temperaturas, las cuales a su vez, determinan el tipo de vegetación: especies caducifolias en las que gran parte de la biomasa es material lignificado, arboles de maderas duras, espinosos y hojas coriáceas, arbustos y pastos con adaptaciones al fuego y al pastoreo.

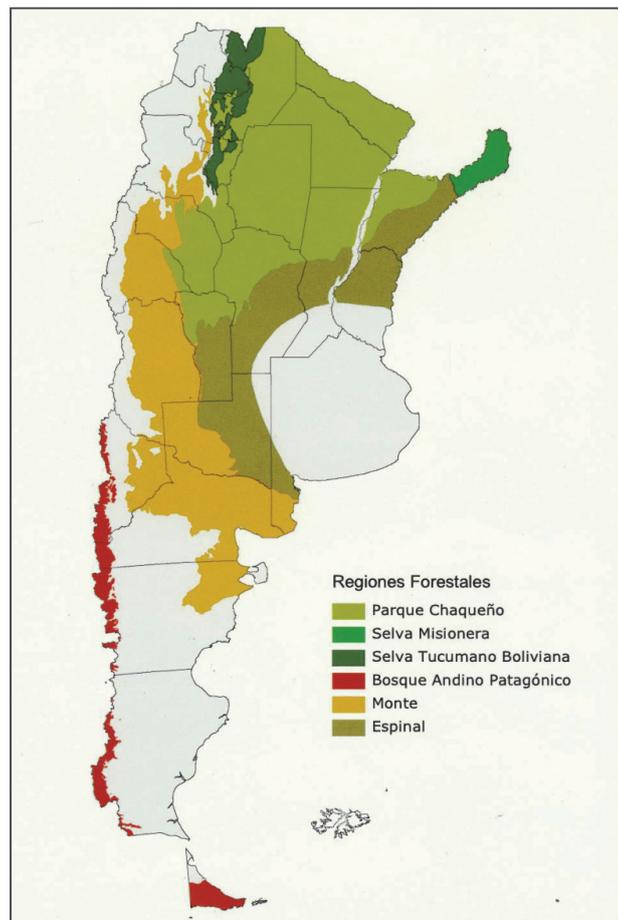


Figura 2

Regiones Forestales de la Republica Argentina.  
Fuente: Atlas de los Bosques Nativos Argentinos (2003).

En estos ecosistemas la vegetación se caracteriza por presentar no más de tres estratos: un estrato superior formado por arboles, un estrato medio, más bajo y uniforme formado por arbustos y un estrato inferior de gramíneas y herbáceas (Morello & Adamoli, 1968; Murphy & Lugo, 1986). Son bosques semicerrados de altura media, con un estrato de gramíneas predominantemente estival y dominancia de especies arbustivas (Figura 3). La densidad de leñosas es variable, pudiendo alcanzar los 2.000 pies/ha (Kunst *et al.* 2003). Aquí, los arboles del genero *Prosopis* se presentan como componentes del estrato superior de los bosques de *Schinopsis balansae* o *Aspidosperma quebracho-blanco* (Morello, 1958; Cabido *et al.* 1993). Esta área representa una zona de transición, con especies de las regiones forestales del Monte y del Parque Chaqueño. Comprende parte de las provincias de Córdoba, San Luis, Santiago del Estero, Catamarca y La Rioja.



Figura 3

Bosque seco del Chaco Árido Argentino. Fuente: elaboración propia.

El Chaco Árido se caracteriza por tener precipitaciones que van desde los 500 hasta los 350 mm en su extremo más occidental. Estas precipitaciones ocurren en una época acotada del año, lo que genera a veces largos periodos de sequía y una estación de crecimiento corta. Las temperaturas medias oscilan alrededor de los 18°C. La mayor parte de los ríos alimentan cuencas endorreicas. Los suelos en general son pobres en nutrientes, y dependiendo del uso y la textura pueden presentar compactación y presencia de costras que impiden la infiltración y favorecen la escorrentía.

### 2.5.2. Usos de los bosques secos de Argentina

Los bosques secos del mundo han sido históricamente objeto de explotación forestal y ganadera. En la actualidad se estima que queda menos del 2% de su superficie original (Jackson *et al.* 2000). Se considera que la deforestación del Chaco Argentino ha sido una de las más grandes de la región Sudamericana. Gasparri & Grau (2009) han señalado que en los últimos 30 años se deforestaron cerca de 1.400.000 ha de bosque Chaqueño en las provincias argentinas de Salta y Tucumán. Asimismo, la tala y el sobrepastoreo son algunos de los factores que han impactado en la degradación de estos

ambientes. En algunos casos, el sobrepastoreo ha llevado al desequilibrio entre los grupos funcionales dominantes favoreciendo la arbustización de estos sistemas (Archer, 1995; Kunst *et al.* 2003) con disminución en la oferta de forraje y pérdida de otros servicios ecosistémicos como el mantenimiento de la biodiversidad y la preservación de los suelos.

Todo el Chaco Argentino tiene una larga historia de uso asociada a la gran riqueza biológica que alberga (Torella & Adamoli, 2005). La utilización de recursos en estas zonas ha atravesado diferentes etapas: desde la caza y recolección de frutos y miel por los pueblos originarios, hasta el establecimiento de los puestos ganaderos, la extracción de madera para corrales y postes y finalmente la llamada “agriculturización” o “pampeanización del Chaco” (Morello *et al.* 2005). En la actualidad el uso de la tierra depende de la zona considerada y de las precipitaciones medias anuales (Cabido *et al.* 1993). En Santiago del Estero por ejemplo, la actividad ganadera es importante, pero en algunos sectores también lo es la actividad agrícola. La mayor parte de la ganadería (80%) en estas zonas se desarrolla sobre pastizales naturales, sin manejo ni rotaciones (Cardona, 2006).

La mayoría de los sistemas agropecuarios ubicados en el chaco semiárido usan tecnología rudimentaria. El uso forestal se realiza a la vieja usanza, sin planificación y extrayendo los individuos en mejor estado, lo que luego impacta en la calidad y cantidad de semillas y plantas jóvenes producidas. Con la presencia del ganado que se alimenta de los renovales, la regeneración del bosque también se ve afectada. En muchos sectores, el uso no sostenible del bosque ha provocado la aparición de comunidades arbustivas secundarias, localmente llamadas “fachinales”, donde predominan los arbustos (Fernandez & Maseda, 2006). Si bien gran parte del Chaco ha sufrido las consecuencias del mal uso de la tierra, existen sin embargo, otras regiones del gran Chaco, principalmente en las zonas más húmedas, donde el bosque ha sido intervenido, pero con resultados menos drásticos. Grau *et al.* (2005) han estimado que actualmente persisten más de 5 millones de hectáreas de bosque Chaqueño sin desmontar.

En San Luis todavía existen grandes unidades de bosque seco que, si bien en el pasado han sido intervenidas para la extracción de madera y carbón, no han sufrido el desmonte total como otras áreas. Las limitaciones climáticas y edáficas han relegado estos sitios al pastoreo extensivo sobre grandes áreas de bosque.

Entre las prácticas de manejo de estos bosques de la provincia de San Luis figura el desmonte total para la implantación de cultivos o pasturas. En general, esto está ocurriendo en zonas donde la precipitación supera los 500 mm. En las regiones más áridas, el desmonte total y la instalación de “pivotes” (sistemas de riego por bombeo y aspersión) a veces resulta una opción para la agricultura, pero no es muy habitual. Cuando las precipitaciones son menores a 400 mm, el uso de estos bosques es principalmente para ganadería y en menor medida para extracción de madera. No obstante, desde hace algunos años se ha comenzado a implementar una técnica de manejo que implica el desmonte selectivo de especies leñosas a través del “rolado”. El rolado se viene implementando desde hace varios años en diferentes lugares semiáridos de Argentina, tanto en el bosque Chaqueño como en los arbustales de la región forestal del Monte. Si bien existen algunos trabajos que han evaluado el impacto de este

desmote selectivo sobre la producción y el manejo de las pasturas (Aguilera *et al.* 2003; Blanco *et al.* 2005; Ledesma *et al.* 2008) prácticamente no existe información acerca del impacto ecológico, edáfico e hidrológico de la eliminación a gran escala de la vegetación leñosa por rolado en estos bosques secos.

Como ya ha sido indicado, el rolado consiste en la eliminación del estrato arbustivo del bosque a través de maquinaria pesada que aplasta y quiebra la vegetación leñosa de menos de 3 m de altura. El material vegetal producto del desmote no es retirado del campo, excepto los troncos de los árboles más grandes que son usados para leña. Todo el material fino (hojas, ramas y troncos pequeños) queda después del rolado y en parte se incorpora a la MOS (Figura 4, izq.).



Figura 4

Izq.: Maquinaria empleada en los rolados de la provincia de San Luis (Argentina). Der.: Bosque seco del Chaco Árido Argentino un año después del rolado. Fuente: elaboración propia.

Esta técnica de desmote selectivo se emplea para favorecer el establecimiento, crecimiento y rebrote de las gramíneas y facilitar el acceso del ganado (Kunst *et al.* 2003; Anriquez *et al.* 2005). Aparentemente, la eliminación de los arbustos permitiría un mayor aprovechamiento de los recursos (agua y nutrientes) por los pastos. En algunos casos, el desmote por rolado se realiza junto a la siembra de especies de valor forrajero como *Eragrostis curvula*, *Cenchrus ciliaris* o *Panicum maximum*. Como resultado, el bosque queda fisonómicamente transformado en un parque o sabana rala, con baja densidad de árboles y gran cobertura de pastos (Blanco *et al.* 2005) (como puede verse en la Figura 4, der.).

Si bien el rolado parecería ser una práctica de manejo de menor impacto comparado con el desmote total y el remplazo de bosque por agricultura, dada las grandes extensiones del disturbio cabe preguntarse cómo la eliminación del estrato arbustivo podría afectar el funcionamiento del bosque. Esto podría darse a través de pérdidas en la diversidad específica, cambios en la compactación del suelo, en la escorrentía e infiltración y en la cantidad de materia orgánica del suelo.



*3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS  
PREVIA*



### 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS PREVIA

El objetivo general, del presente estudio, es evaluar el efecto del cambio en el uso del suelo en masas de algarrobar sobre los componentes carbono orgánico, nitrógeno total y relación C/N presentes en los primeros 40 cm de suelo. El cambio en el uso del suelo en la zona viene marcado por la aplicación del desmonte selectivo o rolado como sistema de gestión de los algarrobales del chaco seco argentino. Para el análisis, se establecerá la comparación entre bosque nativo y los tratamientos de rolado.

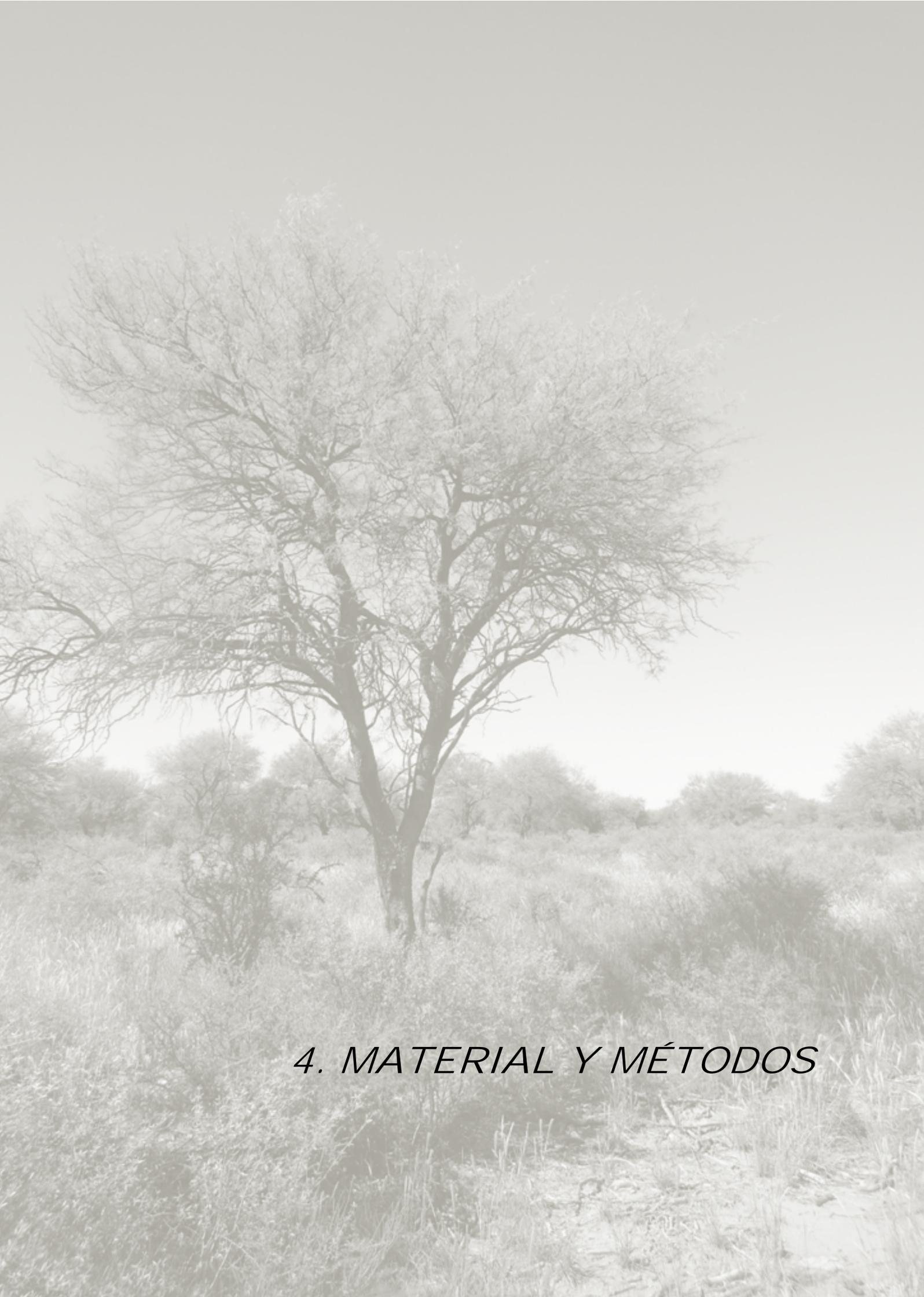
Para la consecución del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la densidad aparente del suelo y evaluar el efecto de la técnica de desmonte selectivo o rolado, sobre la misma, comparando los valores a diferentes profundidades, entre los diferentes tratamientos y para los diferentes bloques de parcelas.
- Evaluar el efecto del desmonte selectivo, así como de su repetición en el tiempo, sobre el carbono orgánico edáfico en los primeros 10 cm de profundidad para los diferentes tratamientos.
- Evaluar el efecto del desmonte selectivo, así como de su repetición en el tiempo, sobre el carbono orgánico y el nitrógeno total edáficos, comparando los valores a diferentes profundidades y entre los diferentes tratamientos.
- Analizar cómo se distribuyen los diferentes tipos de cubiertas vegetales para los diferentes tratamientos y evaluar el efecto del tipo cubierta vegetales sobre el carbono orgánico edáfico en los primeros 10 cm de profundidad.
- Evaluar el efecto del desmonte selectivo, así como de su repetición en el tiempo, sobre el carbono orgánico y nitrógeno total edáficos, comparando los valores totales para los primeros 40 cm de suelo entre los diferentes tratamientos.
- Calcular la relación C/N para cada uno de los tratamientos y para las diferentes profundidades y comparar los valores obtenidos, evaluando así el efecto de la técnica de desmonte selectivo.

La hipótesis previa, que guiara la discusión de los resultados del presente estudio, dice lo siguiente:

La gestión del algarrobar en el chaco árido argentino, mediante la técnica de desmonte selectivo o rolado, provocará variaciones en el carbono orgánico y el nitrógeno total del suelo en sus primeros 40 cm de profundidad, con una mayor variación en los primeros 10 cm. Se prevé que los valores de carbono orgánico y nitrógeno total se reduzcan significativamente en las masas de algarrobo roladas y roladas re-roladas, respecto a los valores presentes en las masas de bosque nativo de algarrobo. Este descenso vendría marcado por una más rápida degradación de la MOS, debida a una posible mayor aireación o pérdidas por erosión.





## *4. MATERIAL Y MÉTODOS*

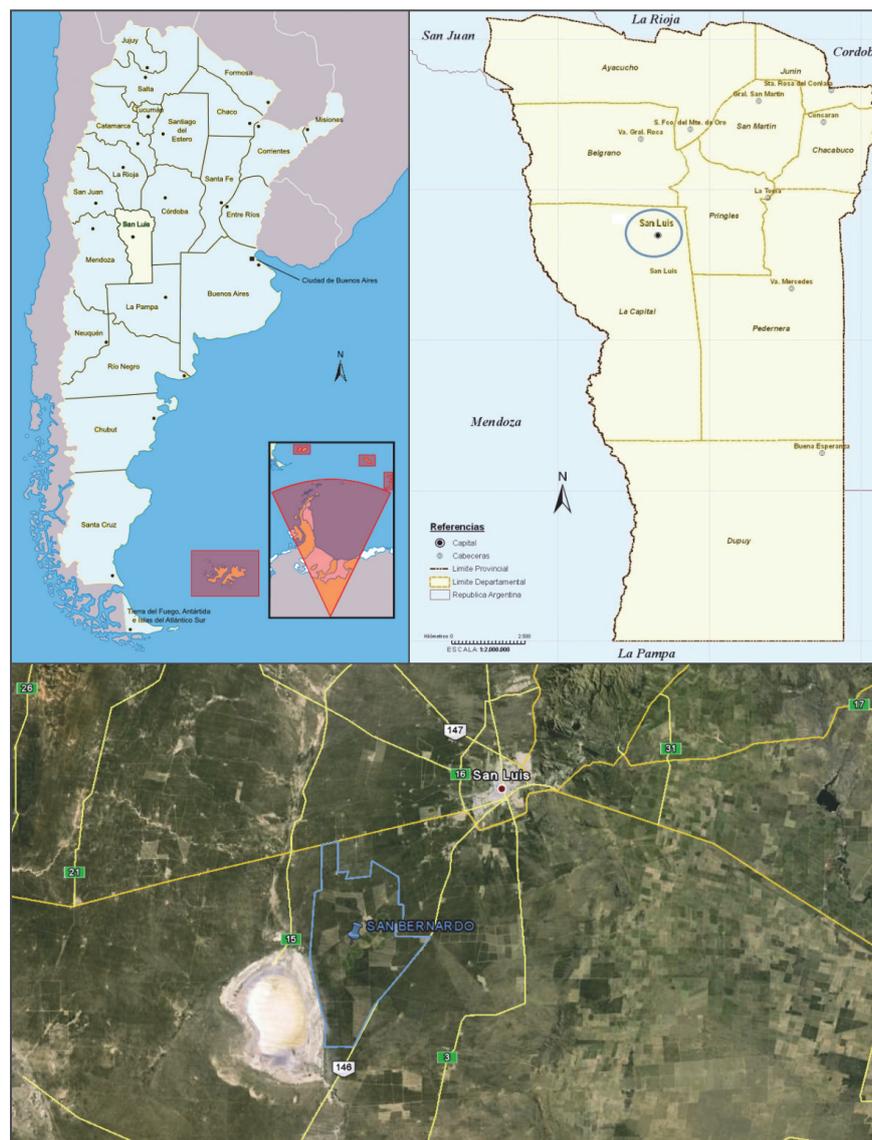


## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Descripción de la zona de estudio

#### 4.1.1. Localización

La finca donde se lleva a cabo el estudio se localiza en el paraje de “San Bernardo”, perteneciente a la localidad de San Luis, centro-oeste de la provincia de San Luis, Argentina (Figura 5). Originariamente este sitio estaba constituido por campos de bosque nativo pertenecientes a diferentes propietarios de la zona hasta el año 1995 que fueron adquiridos por la empresa SER BEEF SA. El sitio se caracteriza por tener parches con diferentes situaciones de manejo agropecuario (agricultura y ganadería) y también extensas áreas de bosque nativo (ver Anexo 4, Fotografías).



**Figura 5**  
Localización de la finca donde se localiza el estudio. Republica Argentina, provincia de San Luis, localidad de San Luis, paraje “San Bernardo”.  
Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Ubicación geográfica

La provincia de San Luis se encuentra ubicada en América del Sur; en el centro oeste de la República Argentina (Figura 5), sus límites geográficos son: al norte la provincia de La Rioja, al noreste y este la provincia de Córdoba, al noroeste la provincia de San Juan, al sudeste y sur limita con la provincia de La Pampa y al oeste con la provincia de Mendoza.

Concretamente, el estudio se realizó en un campo de 23.000 ha ubicado a 30 km al suroeste de la ciudad de San Luis, capital de la provincia de San Luis. Se accede a la mismo por la ruta provincial N° 146, que hacia el sur conecta la capital con la localidad de San Rafael (Bonini *et al.* 2000). La zona se encuentra comprendida en el límite entre las provincias fitogeográficas del Chaco y del Monte (Aguilera, 2003). De forma más detallada, las coordenadas geográficas de la zona son las siguientes:

- Latitud: 33° 21' 54,23'' S a 33° 36' 22,01'' S
- Longitud: 66° 36' 19,26'' O a 66° 26' 18,45'' O

El lugar está limitado al sudoeste por las salinas del Arroyo Bebedero, al norte por la ruta nacional N° 7, y al este y sur por la ruta provincial N° 146 (Figura 5).

#### 4.1.3. Descripción geológica

La zona de trabajo se ubica entre dos elementos tectónicos principales: al este, el macizo montañoso de la Sierra de San Luis y el alto topográfico representado por su prolongación austral en el subsuelo y los afloramientos de los Cerros Lince, Grande y Chico, Sierras de Charlone, de Varela y cerrillo de las Salinas; y al oeste, la exhondación de la cuenca de Beazley, la cual consiste en un depósito sedimentario de origen tectónico con un relleno del orden de los 4000 m (Criado Roque *et al.* 1981). La salina del Bebedero indica la máxima exhondación de esta cuenca, tanto en profundidad como topográficamente.

Al noroeste, del lado occidental de la Cuenca de Beazley, afloran rocas precámbricas, triásicas, cretácicas y terciarias, que constituyen las Sierras del Alto Pencoso, del Gigante y de las Quijadas (Criado Roque *et al.* 1981).

La Sierra de San Luis es un bloque tectónico elevado cuya litología predominante consiste en rocas metamórficas y plutónicas de edades precámbricas y paleozoicas. Hacia el sur, en las Sierras de Charlone y Varela, afloran además de rocas precámbricas, sedimentos triásicos, cretácicos y terciarios.

Adosados a la Sierra de San Luis, por el oeste de la misma, yacen potentes conos de deyección que continúan en una suave pendiente pedemontana hacia la cuenca de Beazley. En la anterior, en superficie, sólo se observan sedimentos (arenas, limos y arcillas) de edad cuaternaria (Pleistoceno-Holoceno), las cuales recubren el depósito formado por los abanicos aluviales que bajan de la Sierra de San Luis hacia la laguna El Bebedero, compuestos éstos por rodados, arenas, limos y arcillas intercalados entre sí, cuya litología refleja los episodios tectónicos relacionados con la elevación de las sierras

y la profundización de la cuenca tectónica de Beazley. Por debajo de los aluviones de edad terciaria y cuaternaria, podrían existir rocas cenozoicas y mesozoicas, similares a las que afloran en las Sierras del Alto Pencoso y del Gigante (al oeste) y en las Sierras de Charlone y Varela (al este y sudeste).

#### 4.1.4. Descripción fisiográfica

Según INTA (1998), el campo de trabajo pertenece a la unidad cartográfica de suelos y vegetación número 21 (Figura 6). Esta Unidad 21 se trata de la depresión longitudinal de Las Cañadas de Balde y Vilance. Presenta, en general, pendientes ligeras (1-2%) y una altitud media de 500 a 550 msnm.

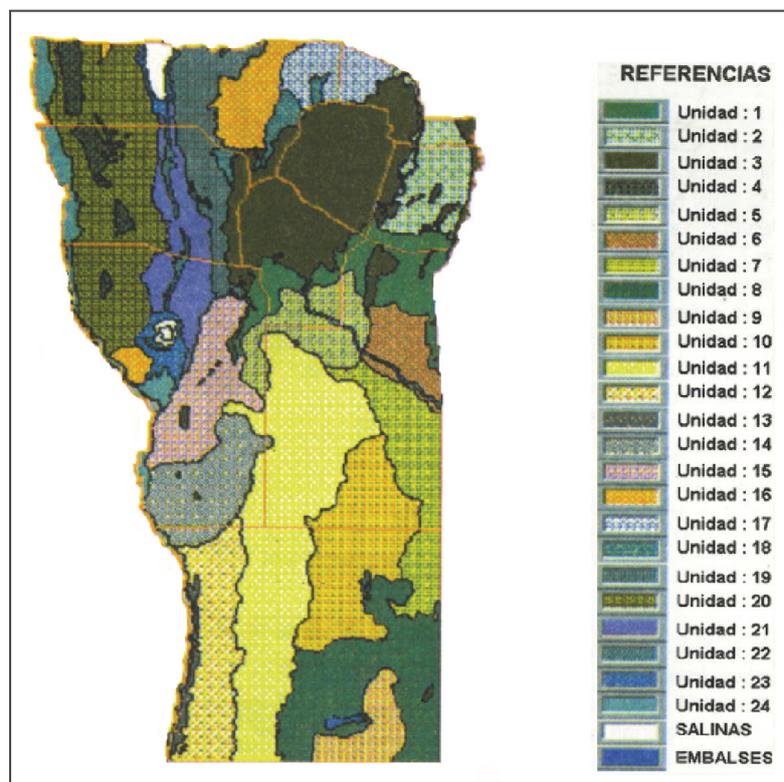


Figura 6  
Unidades cartográficas de suelos y vegetación, provincia de San Luis.  
Fuente: INTA (1998).

El equipo técnico de TECNOAGRO S.R.L. (2000) ubica el lugar de trabajo en la "Planicie pedemontana de modelado aluvial", que funciona como vía de desagüe temporario, incluyendo depresiones como la salina del Bebedero, que funciona actualmente como una microcuenca cerrada.

El material originario de los suelos es de origen sedimentario, traído por el viento y remodelado por el agua. Se trata de materiales de textura franco-arenosa a arenoso-franca. Durante una época anterior, con mayores precipitaciones, se habrían lavado los sedimentos de amplias cuencas, acumulándose sales y sodio en las depresiones como la salina del Bebedero. Luego habría sobrevenido un cambio climático disminuyendo notablemente la precipitación, lo que condujo al descenso de la capa freática. En los

suelos vecinos a la salina comenzó un lento proceso de lavado de las sales. Así, a nivel regional, en forma de círculos concéntricos se fueron profundizando las sales, cada vez más a medida que aumenta la cota, es decir, que nos alejamos de la salina (TECNOAGRO S.R.L., 2000).

#### 4.1.5. Caracterización climatológica

La provincia de San Luis se sitúa, por su latitud, dentro de las zonas de los climas templados y se caracteriza por tener grandes diferencias estacionales: inviernos fríos y veranos calurosos, producto de su continentalidad (Universidad de La Punta, 2014). Dentro de la provincia se identifican 4 variantes de clima templado (Figura 7): templado subhúmedo serrano, templado subhúmedo de llanura, templado semiseco de las planicies y templado seco de sierras y bolsones

En el clima provincial, interviene un claro factor natural, que es la disposición del relieve serrano que favorece las precipitaciones orográficas en las laderas de barlovento mientras que las de sotavento no sólo reciben menos agua sino que, con la disminución de las alturas, crecen las temperaturas y la sequedad del aire.



Figura 7

Variantes del clima húmedo en la Provincia de San Luis. Fuente: Universidad de La Punta (2014).

La parte oriental de la provincia se beneficia de la acción de dos masas de aire húmedo, una cálida del noreste y otra fría del sureste. La parte occidental donde se localiza el campo de trabajo, en cambio, sufre la acción de las masas de aire secas del noroeste y sudoeste, cálida la primera y fría la segunda. Las precipitaciones son muy escasas y el balance hídrico cada vez menos favorable se extiende hacia la extremidad noroccidental (Universidad de La Punta, 2014).

La zona del estudio se puede incluir dentro de la variante de clima templado semiseco de las planicies. Se caracteriza por la escasez de lluvias, que decrecen de sureste a noroeste. Presenta veranos muy cálidos e inviernos fríos. Las precipitaciones provienen del anticiclón Atlántico y se registran en los meses de verano.

Según datos de los registros del Servicio Meteorológico Nacional Argentino y el análisis climático realizado por TECNOAGRO S.R.L. (2000), se puede definir un régimen térmico en el que el mes más cálido es enero con una temperatura máxima media de 24,4 °C, el mes más frío es julio con una temperatura mínima media de 9,6 °C y la temperatura media anual es de 17,1 °C. Por su parte el régimen hídrico presenta una distribución mensual de la precipitación muy heterogénea, con una concentración en los meses de verano. Las precipitaciones más elevadas ocurren entre noviembre-marzo con una media de 577 mm anuales. El 60 % de las lluvias ocurre en eventos que superan los 20 mm y solo el 7 % corresponde a eventos pequeños (<5mm) (*Magliano P. comentario personal*). En la Figura 8 se muestra el diagrama ombrotérmico de Gausse para la estación meteorológica de la ciudad de San Luis (Argentina), además se incluye una tabla resumen de las precipitaciones medias mensuales (mm) y las temperaturas medias mensuales (°C).

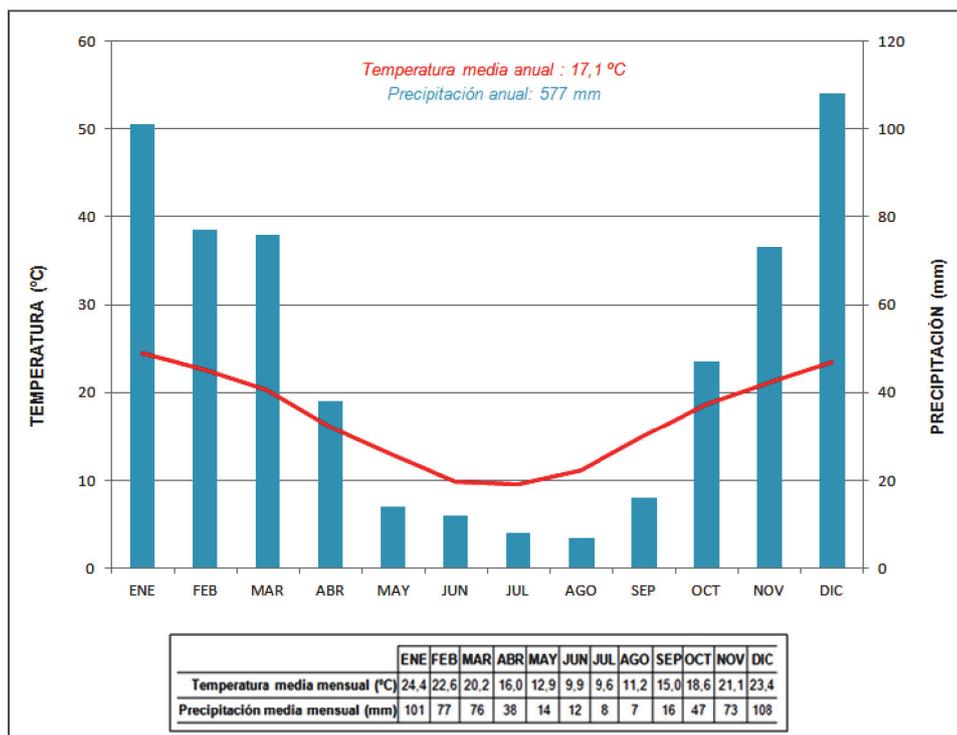


Figura 8

Diagrama ombrotérmico de Gausse de la estación meteorológica de San Luis (Argentina), además se incluye temperatura media anual (°C), precipitación anual (mm) y tabla resumen de precipitaciones medias mensuales (mm) y temperaturas medias mensuales (°C). Fuente: Elaboración propia con datos de TECNOAGRO S.R.L. (2000).

#### 4.1.6. Caracterización edáfica

Los suelos existentes en la provincia de San Luis corresponden principalmente a los órdenes Entisoles y Molisoles. Según Peña Zubiarte & Demmi (1982) los suelos existentes pertenecen al orden de los Entisoles con régimen de humedad áridica y unos pocos de régimen ústico. Asimismo se presentan suelos del orden de los Molisoles pertenecientes al régimen de humedad ústico que se distribuyen en una franja casi coincidente con la isohieta de 500 mm.

**Los entisoles** son los suelos que poseen escaso desarrollo de horizonte pedogenéticos. En general suelen tener un horizonte superficial claro, de poco espesor y con contenido pobre de materia orgánica (epipedón ócrico). Normalmente no presentan otros horizontes de diagnóstico, lo que se debe en gran parte al escaso tiempo transcurrido desde la acumulación de los materiales parentales. Pueden incluir horizontes enterrados siempre que se encuentren a más de 50 cm de profundidad. Estos suelos pueden presentarse en ambientes de distintos regímenes de humedad, temperatura, vegetación, materiales parentales y edad. La característica común a todos los suelos pertenecientes a este Orden es la ausencia de horizontes de diagnóstico y su naturaleza mineral. En la zona de estudio el *suborden Orthent* es el que predomina dentro del orden de los Entisoles. Son suelos formados en superficies recientemente erosionadas. Los horizontes diagnósticos están ausentes o han sido truncados. Se presentan en cualquier tipo de clima, el cual le imprime características particulares en base a las cuales se diferencian los grandes grupos. Debido a las condiciones climáticas de la provincia de San Luis los grandes grupos que se presentan dentro de este Suborden son:

- **Torriorthents:** estos suelos se encuentran en zonas de clima seco, en regiones áridas, frías o cálidas con régimen de humedad tórrido. La mayoría son neutros o calcáreos y están sobre pendientes moderadas a fuertes.
- **Ustorthents:** son los Orthent de climas semiáridos, localizados generalmente en relieves pronunciados, en cauces y llanuras aluviales donde se acumula el material de arrastre. Los suelos son areno-pedregosos formados por acumulaciones de material grueso. Aquellos suelos ubicados en zonas bajas poseen problemas de drenaje. También existen los que entierran suelos preexistentes o a la roca cercana a la superficie.

**Los molisoles** son suelos pardos o negros que se han desarrollado a partir de sedimentos minerales en climas templado- húmedo a semiárido, aunque también pueden presentarse en climas fríos y cálidos cubiertos con una vegetación de gramíneas. Las propiedades que caracterizan a los Molisoles son: la presencia de un epipedón mólico, por la incorporación de residuos vegetales y su mezcla con la parte mineral, que con el transcurso del tiempo se produce el oscurecimiento del suelo por la incorporación de materia orgánica; la estructura granular o migajosa moderada y fuerte que facilita el movimiento del agua y del aire; el dominio del catión calcio en el complejo de intercambio catiónico, que favorece la floculación de los coloides; la dominancia de las arcillas, moderada a alta capacidad de intercambio y elevada saturación con bases. El suborden presente en la provincia de San Luis se corresponde al Ustol se encuentran en zonas con

climas subhúmedo a semiárido con temperaturas templadas cálidas y se caracterizan por estar libres de los problemas de saturación con agua e hidromorfismo. Además de presentar el horizonte superficial oscuro, pueden mostrar diferentes horizontes subsuperficiales diagnósticos, como cámbico, argílico, nátrico, álbico, etc. En la zona de estudio el suborden Haplustol predomina dentro del orden de los Molisoles. Estos suelos poseen inmediatamente debajo del horizonte superficial oscuro, un horizonte conformado por minerales ligeramente alterados. También pueden poseer acumulación de carbonatos y de sales.

La zona de estudio según INTA (1998), se caracteriza por presentar suelos sueltos, en su mayoría arenosos de origen aluvial y bajos niveles de materia orgánica, régimen de temperatura térmico y régimen de humedad en el límite entre tórrido y ústico. Son suelos muy permeables y profundos que poseen un drenaje natural elevado y contienen carbonatos, que aumentan con la profundidad. Algunas áreas pueden presentar horizontes petrocálcicos (tosca) a profundidad variable, de mediana capacidad de retención de humedad. Según el mapa descriptivo de suelos que se puede ver en el Anexo 1, los suelos existentes en la zona de estudio se pueden clasificar como *Torriorthents típicos calcáreos* (Bureau of Rural Sciences & SEGEMAR, 1999).

En el Anexo 1, también se acompañan las descripciones completas de los perfiles tipo, de la zona de estudio, realizados por la empresa TECNOAGRO S.R.L. en el año 2000, para cada una de las unidades taxonómicas, abarcando características externas, morfológicas y analíticas.

#### 4.1.7. Vegetación

Como describe INTA (1998), la zona viene definida por dos fisonomías representativas de la vegetación natural y especies características que son: los jarillales y los algarrobares. Los jarillales (Figura 9 Izq.) son masas arbustivas de *Larrea divariacata* (jarilla), que pueden ser cerrados o abiertos con presencia de *Prosopis flexuosa* (algarrobo) y *Bulnesia retama* (retamo) y acompañados de pastizales. La técnica del rolado descrita en los antecedentes ha favorecido la aparición de este tipo de masas donde predomina la jarilla dos años después de llevar a cabo dicha técnica.



Figura 9

Izq. Jarillal en el campo de San Bernardo. Der. Algarrobar en el campo de San Bernardo.

Fuente: elaboración propia.

Por su parte los algarrobares (Figura 9 Der.), son masa de bosque bajo que presentan la vegetación en tres estratos: un estrato de árboles de más de 4 m de altura en el que predominan *Prosopis flexuosa* (algarrobo) y *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco), un estrato intermedio de arbustos dominado por especies como *Larrea divaricata* (jarilla), *Lycium tenuispinosum* (licium), *Cassia aphylla* (pichana) y *Cercidium praecox* (brea) y un estrato inferior formado por pastos (*Aristida mendocina*, *Trichloris crinita* y *Pappophorum caespitosum*). En general son masas cerradas, de difícil acceso, la vegetación presenta características xerofíticas con adaptaciones a las bajas precipitaciones y altas temperaturas. La mayoría de las especies son de crecimiento predominantemente primavero-estival. Los valores de máxima biomasa se registran a comienzos del otoño y los valores de mínima a finales de la primavera, antes del comienzo de las lluvias (Villagra *et al.* 2004).

Según estudios de cobertura realizados en la misma zona por Marchesini (2001) las masas forestales de la zona presentan coberturas aéreas de leñosas de más del 100%. En el caso de los algarrobares el 31% corresponde a *Prosopis flexuosa* y el 27% a *Larrea divaricata*, el resto se dividió en especies como *Cercidium spp.*, *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Lycium chilense*, *etc.* Por su parte las masas roladas presentan una cobertura aérea leñosa del 41%, del cual un 58% corresponde a *Larrea divaricata*. En la Tabla 1 se muestran de forma detallada la cobertura aérea de leñosas en la zona, comparando el bosque nativo y el bosque rolado.

Tabla 1

Porcentajes de cobertura de las especies leñosas registradas en transectas de 100 m en bosque nativo y bosque rolado del campo de San Bernardo. Fuente: Marchesini (2001).

ESPECIE	Cobertura aérea de leñosas (%)	
	Bosque Nativo	Bosque Rolado
<i>Prosopis flexuosa</i>	31,3	4,6
<i>Larrea divaricata</i>	27,2	57,7
<i>Cercidium praecox</i>	8,5	4,3
<i>Lycium tenuispinosum</i>	6,8	9,6
<i>Celtis tala</i>	4,8	2,4
<i>Ximenia americana</i>	2,3	0,5
<i>Condalia microphylla</i>	2,0	1,9
<i>Senna aphylla</i>	0,2	2,8
<i>Capparis atamisquea</i>	3,5	-
<i>Bulnesia retama</i>	3,2	-
<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	7,5	-
<i>Maytenus spinosa</i>	1,8	-
<i>Grabowskia obtusa</i>	0,5	-
<i>Geoffroea decorticans</i>	0,5	-
<i>Moya spinosa</i>	-	4,0
<i>Lycium chilense</i>	-	12,2
<b>Número total de spp leñosas</b>	<b>14</b>	<b>10</b>

Como se observa en la Tabla 1 la especie más abundante en bosque nativo fue *Prosopis flexuosa* mientras que en bosque rolado fue *Larrea divaricata*. Por tanto las especies más afectadas por el rolado en el lugar fueron *Prosopis flexuosa*, *Aspidosperma quebracho-blanco* (la segunda especie de árbol dominante en la zona) y los arbustos de gran porte como *Geoffroea decorticans* y *Bulnesia retama*.

## 4.2. Análisis de imágenes satelitales

### 4.2.1. Utilidad de las imágenes satelitales en el estudio

Realizando un análisis inicial del campo de estudio, surgieron varias cuestiones a resolver antes de empezar a diseñar el muestreo: ¿Qué zonas del campo son verdaderamente bosques nativos? ¿Qué zonas presentan rolados y cuál es la fecha en la que se realizaron estos rolados? ¿Existen zonas que han sido roladas por segunda vez? ¿Cuáles son las fecha en la que se han realizado el primer y el segundo rolado?. En un primer momento se pensó en obtener dicha información de la empresa propietaria del campo de San Bernardo. Al preguntar a la empresa por dichas cuestiones no se pudo obtener una respuesta clara, ya que la actividad en el campo había pasado por varias gestoras diferentes, sin tener registros unificados de los rolados o desmontes selectivos llevados a cabo en el lugar. Se decide finalmente usar series históricas de imágenes satelitales, para poder comparar entre diferentes periodos de tiempo alguna característica del territorio, lográndose de ese modo resolver las cuestiones que se planteaban.

Las imágenes satelitales utilizadas se obtienen de la plataforma digital MODIS Land Subsets, Oak Ridge National Laboratory DAAC. MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer) es un sensor colocado sobre el satélite Terra puesto en órbita por la NASA en el año 1999 y que gira alrededor de la Tierra pasando sobre los polos. Este sensor obtiene diariamente imágenes de la mayor parte del planeta. La órbita polar mantiene al Terra constantemente alineado con el Sol, de tal manera que todos los días pasa sobre cada lugar casi a la misma hora local cerca de las 10:30 a.m.

### 4.2.2. Tipo de imágenes satelitales utilizadas

La plataforma digital MODIS permite descargar imágenes satelitales que plasman diferentes características del territorio como por ejemplo temperatura del suelo, evapotranspiración, productividad primaria, etc. De las imágenes disponibles se opta por utilizar aquellas que incluyen índices de vegetación, ya que para resolver las cuestiones planteadas es necesario conocer la evolución de la vegetación en el territorio.

Finalmente las imágenes utilizadas son aquellas que contienen información del conocido Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI, son sus siglas en ingles). Este índice mide la relación entre la energía emitida y absorbida por la vegetación en la superficie terrestre. Es un índice normalizado que le permite generar una imagen que muestra el verdor de la superficie terrestre. Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un *dataset ráster multiespectral*: las absorciones de

pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de las partes de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR).

El NDVI puede ser utilizado como un indicador de la salud vegetal porque la degradación de la vegetación del ecosistema produce una reducción del verdor, que genera a su vez una reducción del valor de NDVI (Meneses-Tovar, 2011). Si se analizan estas variaciones del valor del NDVI en una misma superficie forestal a lo largo de un periodo de tiempo, se puede conocer en qué fecha aproximada se ha producido una perturbación sobre la biomasa aérea de esa masa forestal. El NDVI es un índice adimensional y sus valores van de -1 a +1. En la práctica los valores que están por debajo de 0,1 corresponden a cuerpos de agua o suelo desnudo, mientras que valores por encima de 0,4 corresponden a zonas agrícolas, zonas de matorral o bosques.

Una vez definido el factor o índice a analizar, en la plataforma de descarga se seleccionan las coordenadas del campo de San Bernardo y se procede a descargar las imágenes satelitales NDVI para la zona. En concreto se descargan 320 imágenes satelitales, cada una de ellas representan una superficie de 20 x 20 km. Estas imágenes son las que se obtienen en el periodo de años máximo que permite la plataforma, desde el año 2000 al 2014. Cada año incluye 23 imágenes, excepto el año 2000 que incluye 20 imágenes, el año 2013 con 22 imágenes y el año 2014 donde solo estaban disponibles 2 imágenes en el momento que se realiza la descarga. Todas las imágenes están tomadas en la misma fecha cada año.

#### 4.2.3. Descripción del análisis realizado y resultados

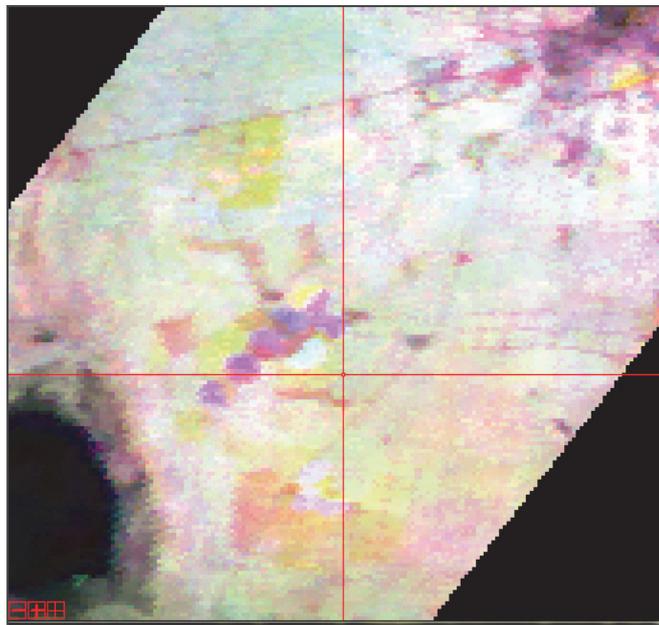
Una vez realizada la descarga de las imágenes descrita en el apartado anterior, es necesario utilizar un software que permita el tratamiento de estas imágenes y que permita resolver las cuestiones planteadas. El software utilizado es ENVI 4.2. (Figura 10). Este programa informático permite la visualización de imágenes satelitales de forma individual, así como la visualización de varias imágenes a la vez de forma simultánea. Además el programa incluye diferentes herramientas de análisis de dichas imágenes y de los factores que estas imágenes satelitales representan.



**Figura 10**  
Imagen identificativa del software ENVI 4.2.  
Fuente: ENVI 4.2.

El caso concreto del presente estudio, la perturbación a analizar es el rolado o desmonte selectivo. En el momento que en una zona concreta se produce un rolado, este produce un drástico descenso de la cobertura vegetal, por tanto también se podrá observar de forma clara un descenso brusco del NDVI en la zona donde se llevó a cabo dicho tratamiento, así como la fecha aproximada del mismo. Hay que destacar que los valores normales de NDVI para un bosque nativo de la zona están entre 0,4 y 0,7 (Houspanossian, 2013).

En primer lugar las 320 imágenes descargadas se cargan en el programa informático y se ordenan en función de la fecha en que fueron tomadas, para después poder visualizarlas todas superpuestas en el visor que el programa ofrece. Esta visualización puede ser modificada, eligiendo la gama de colores que mejor permite distinguir los niveles de NVDI de cada zona. Ejemplo de visualización Figura 11.



**Figura 11**

Imagen tipo en la ventana de visualización de imágenes superpuestas en el software ENVI 4.2.

Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

Una vez las imágenes están superpuestas y representadas gráficamente, se pueden ir identificando visualmente las diferentes zonas presentes en el campo de trabajo. Los colores de mayor tonalidad representan los valores más bajos de NDVI y los colores con menor tonalidad representan los valores más altos de NDVI. Por ejemplo analizando la Figura 11, la zona circular de color negro de la parte inferior izquierda corresponde con la salina del Bebedero, las circunferencias en color violeta corresponden a los campos agrícolas del campo de San Bernardo y las zonas con colores blancos pertenecen a masas de bosque nativo.

Además de la visualización de las imágenes superpuestas, el programa permite representar un perfil espectral de un punto concreto seleccionado por el usuario (Figura 13), en el que se representan en el eje de ordenadas los valores de NDVI (valores comprendidos entre -10.000 y 10.000 por translación y escalamiento matemático) y en el

eje de las abscisas el numero de bandas (el numero de banda coincide con el numero de imagen satelital en el orden que fueron superpuestas).

Las zonas bosque nativo presentan unos valores normales de NVDI de 4000 a 7000. Por tanto en el momento que se observe una reducción drástica por debajo de esos valores, se puede confirmar la existencia de una perturbación en la zona analizada. Además de observar donde se produce la perturbación, se obtiene a través del perfil espectral el numero de banda en el que se produce, por tanto la fecha aproximada en la que se produjo. Estas reducciones drásticas del NDVI no se deben confundir con las fluctuaciones ocasionadas por los cambios de estación. Para este caso concreto se establece como nivel inferior el valor de 3000 en NDVI, por debajo de ese valor se considera perturbación ocasionada por el tratamiento de rolado en zonas de bosque nativo.

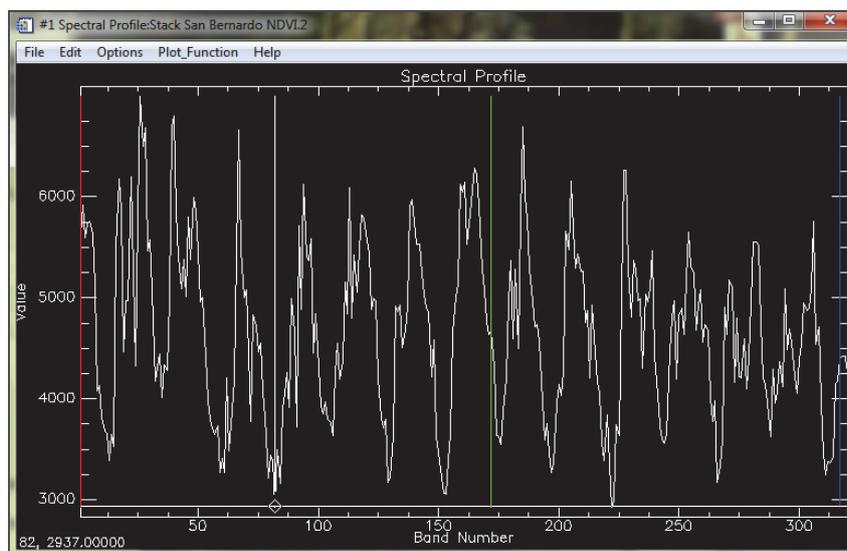


Figura 12

Ejemplo de perfil espectral de NDVI obtenido con el software ENVI 4.2.

Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

Después de realizar un análisis exhaustivo de las imágenes satelitales con el software ENVI 4.2., con el apoyo de imágenes históricas de la aplicación Google Earth, se clasifican y establecen diferentes zonas para el diseño de muestreo posterior. Nueve zonas a muestrear:

- 3 zonas roladas en los años 2002-2003 y no han sido roladas una segunda vez.
- 3 zonas de bosque nativo.
- 3 zonas roladas en los años 2006-2007 y además han sido re-roladas en los años 2011-2012.

En el Anexo 2 se muestra de forma detallada el análisis de zonas a muestrear. En él se puede observar las visualizaciones de las imágenes satelitales, así como los perfiles espectrales de cada una de las zonas seleccionadas.

### 4.3. Muestreo

#### 4.3.1. Selección y ubicación de las parcelas de muestreo

Una vez clasificadas las diferentes zonas mediante imágenes satelitales, conocida la gestión llevada a cabo en cada una de esas zonas, obtenidas las fechas aproximadas de cada uno de los tratamientos y realizada una visita inicial al campo de trabajo, se decide seleccionar una parcela de muestreo para cada zona clasificada. En total se establecen nueve parcelas de muestreo, de las cuales tres representan al algarrobar nativo (Bosque Nativo), tres representan al bosque rolado en los años 2002-2003 (Rolado Viejo) y tres más que representan a bosque rolado en los años 2006-2007 y re-rolado en los años 2011-2012 (Rolado Re-rolado). En la Tabla 2, se indica el tratamiento, altitud (m.s.n.m.) y la ubicación de cada una de las parcelas seleccionadas (la ubicación se indica mediante coordenadas geográficas del punto central de cada parcela).

**Tabla 2**

Tratamiento, altitud (m.s.n.m.) y ubicación mediante coordenadas geográficas de cada una de las parcelas seleccionadas para el muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	TRATAMIENTO	ALTITUD	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
			Latitud	Longitud
Parcela 1 (P1)	Rolado año 2002	432	33° 33' 0,23'' S	66° 32' 31,42'' O
Parcela 2 (P2)	Rolado año 2002	436	33° 27' 57,66'' S	66° 33' 46,67'' O
Parcela 3 (P3)	Rolado año 2003	475	33° 29' 28,95'' S	66° 28' 56,79'' O
Parcela 4 (P4)	Bosque Nativo	437	33° 28' 28,53'' S	66° 33' 38,33'' O
Parcela 5 (P5)	Bosque Nativo	472	33° 30' 3,72'' S	66° 29' 5,00'' O
Parcela 6 (P6)	Bosque Nativo	430	33° 32' 46,30'' S	66° 32' 41,08'' O
Parcela 7 (P7)	Rolado año 2007 Rolado año 2012	434	33° 28' 5,75'' S	66° 34' 32,24'' O
Parcela 8 (P8)	Rolado año 2006 Rolado año 2011	467	33° 30' 28,69'' S	66° 30' 26,09'' O
Parcela 9 (P9)	Rolado año 2006 Rolado año 2011	440	33° 33' 29,38'' S	66° 31' 50,62'' O

Las nueve parcelas están distribuidas a lo largo de todo el campo de trabajo, representando así toda la superficie del mismo. A su vez las parcelas se agrupan en bloques de tres en tres, presentando cada uno de los bloques los tres tipos de tratamientos (Bosque Nativo, Rolado Viejo y Rolado Re-rolado). En la Figura 13 se muestra la ubicación y distribución de las parcelas de muestreo.



Figura 13

Ubicación y distribución de las parcelas de muestreo. El color verde pertenece a las parcelas de bosque nativo (parcelas 4, 5 y 6), el color naranja pertenece a las parcelas de rolado viejo (parcelas 1, 2 y 3) y el color azul pertenece a las parcelas de rolado re-rolado (parcelas 7, 8 y 9).

Fuente: elaboración propia, mediante plataforma Google Earth.

Realizando la visita inicial al campo de trabajo y con ayuda de las ortofotografías de la aplicación Google Earth, se establecen los límites de cada una de las parcelas (como se muestra en la Figura 13). Estos límites de parcela no se establecen como factor numérico de medición de componentes, si no como límites prácticos a la hora de la realización del trabajo de campo.

#### 4.3.2. Descripción de parcelas de muestreo

Las parcelas de bosque nativo (parcelas 4, 5 y 6), son masas de bosque cerrado que presentan continuidad vertical y horizontal. Su cobertura aérea de leñosas es del 100%. La especie arbórea principal es *Prosopis flexuosa*, con altura media de 4 m. Acompaña al estrato arbóreo la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*, en forma de bosquetes. Además a estas masas le acompaña un importante estrato arbustivo compuesto principalmente por las especies *Larrea divaricata*, *Lycium tenuispinosum*, *Cassia aphylla* y *Cercidium praecox*, con una altura media de 2,5 m. Bajo cubierta arbórea y arbustiva presentan un estrato herbáceo formado por especies como *Aristida mendocina*, *Trichloris crinita* y *Pappophorum caespitosum*.

En el caso de las parcelas de rolado viejo (parcelas 1, 2 y 3), se puede hablar de masas de bosque cerrado con una cobertura aérea leñosa cercana al 100%. En estas masas hay presencia aislada de individuos de *Prosopis flexuosa*, con altura superior a los 4 m, pero al contrario que el bosque nativo, el estrato dominante es el arbustivo. Este estrato arbustivo está dominado por la especie *Larrea divaricata*, con alturas superiores a los 2,5 m y le acompañan otras especies arbustivas como *Lycium tenuispinosum* o *Bulnesia retama*. También existe presencia de estrato herbáceo bajo cubierta o en pequeños parches de pastizal, compuestos por especies herbáceas similares a las presentes en el bosque nativo. Se observa en estas masas regeneración natural de *Prosopis flexuosa*.

Las parcelas de rolado re-rolado (parcelas 7, 8 y 9), presentan una cobertura que se reduce drásticamente respecto al bosque nativo, según datos de Marchesini (2001) después de un desmonte selectivo la cobertura aérea leñosa es de aproximadamente un 41%. Estas masas adquieren una estructura sabanoide o adehesada. Existe presencia puntual de individuos de *Prosopis flexuosa* de porte arbóreo. El mayor porcentaje de cobertura aérea leñosa está formado por un estrato arbustivo, de una altura aproximada de 1 m, cuya especie principal es *Larrea divaricata*. Además del estrato arbustivo, es importante en estas parcelas en estrato de pastizal, pudiendo llegar a ocupar éste el 50 % de la superficie.

En el Anexo 4 se muestran fotografías de cada una de las parcelas seleccionadas para el muestreo.

#### 4.3.3. Diseño experimental del muestreo

El diseño experimental de muestreo del presente estudio tendrá como unidad experimental la parcela. El diseño se compone de nueve unidades experimentales. Las parcelas no presentan una superficie fija, ya que la superficie no será un factor que influya en las mediciones posteriores. El principal factor que define el diseño experimental, es el tratamiento aplicado a cada una de las parcelas. Se marcan tres niveles de tratamiento: bosque nativo, rolado viejo y rolado re-rolado. Se asumen como parcelas de control, aquellas que presentan bosque nativo.

Para llevar a cabo la toma de muestras de suelo, se aplica un muestreo mediante transecto. En cada una de las parcelas se replantea un transecto de 90 m de longitud. El punto inicial de este transecto se establece de forma aleatoria en la parcela, así como la dirección del mismo. Sobre el transecto se establecen 15 puntos de muestreo. Cada tramo de seis metros, un punto de muestreo. Para evitar errores sistemáticos, el punto de muestreo no se establece en el punto inicial del tramo. Cada tramo se divide en 6 subtramos (de 1 m cada uno) y al azar se obtiene la posición definitiva de cada uno de los puntos de muestreo dentro del propio transecto. Esta última decisión, de aleatorizar la posición de los puntos de muestreo, se toma pensando en evitar los errores que pudieran surgir de un posible patrón sistemático de distribución de la vegetación en las parcelas de muestreo.

Los puntos inicial y final de cada transecto son referenciados cartográficamente mediante un sistema GPS en campo. Pudiendo así volver al lugar exacto del diseño o poder comprobar cierta información por ejemplo en imágenes satelitales. En la Tabla 3 se muestran las coordenadas geográficas del punto de inicio y de fin de cada transecto.

**Tabla 3**

Coordenadas geográficas del punto de inicio y del punto de fin, de cada uno de los tramos muestreados en cada una de las parcelas del estudio. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	TRANSECTO DE MUESTREO			
	PUNTO DE INICIO		PUNTO DE FIN	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
P1	33° 32' 59,06" S	66° 32' 29,75" O	33° 33' 1,24" S	66° 32' 32,22" O
P2	33° 27' 55,20" S	66° 33' 54,43" O	33° 27' 55,45" S	66° 33' 50,98" O
P3	33° 29' 34,22" S	66° 29' 4,12" O	33° 29' 32,81" S	66° 29' 1,24" O
P4	33° 28' 10,63" S	66° 33' 52,37" O	33° 28' 8,38" S	66° 33' 50,29" O
P5	33° 29' 49,17" S	66° 29' 13,45" O	33° 29' 51,85" S	66° 29' 12,45" O
P6	33° 32' 47,12" S	66° 32' 39,34" O	33° 32' 47,04" S	66° 32' 42,54" O
P7	33° 27' 55,97" S	66° 33' 58,16" O	33° 27' 58,58" S	66° 33' 59,66" O
P8	33° 30' 22,33" S	66° 29' 33,93" O	33° 30' 23,21" S	66° 29' 37,19" O
P9	33° 32' 58,34" S	66° 31' 21,09" O	33° 33' 0,33" S	66° 31' 18,34" O

#### 4.3.4. Obtención de las muestras y mediciones en campo

El proceso de obtención de toma de muestras, que se establece para el trabajo en campo, es igual para todas las parcelas de muestreo. Previo a la salida al campo se realizan varias acciones: localización cartográfica de la parcela a muestrear e impresión de mapa guía, selección al azar de la posición de los puntos de muestreo del transecto de la parcela y preparación de materiales y herramientas de muestreo. Los principales materiales y herramientas para el trabajo en campo son:

- Pala plana grande
- Pala plana pequeña tipo jardinería
- Espátula
- Maza de hierro
- Mártir de madera
- Tubo de acero de 6,1 cm diámetro, 45 cm longitud y biselado por un extremo
- Cinta métrica 100 m longitud
- Machete
- Cinta de marcaje
- Bolsas de plástico
- Banasta

- Rotulador indeleble
- Dispositivo GPS
- Cámara fotográfica
- Estadillo de control

Preparados todos los materiales y herramientas de muestreo, se localiza la parcela a muestrear en el campo de trabajo, mediante la ayuda del mapa guía o con ayuda del personal encargado del campo.

Ubicada la parcela se accede a ella y se selecciona aleatoriamente el punto inicial del transecto (éste siempre alejado al menos 100 metros de caminos, zonas de paso o zonas de actividad agroganadera). Se extiende la cinta métrica a una distancia de 90 metros, utilizando el machete si es necesario abrir la vía de paso. El punto inicial es monitorizado mediante el dispositivo GPS, así como el punto de fin de transecto. Una vez extendida la cinta métrica se localiza y marcan con la cinta de marcaje cada uno de los puntos de muestreo.

Antes de la obtención de muestras propiamente dicha, se toman las fotografías necesarias de la parcela en conjunto y de cada uno de los puntos de muestreo. Además se toman datos que describan cada uno de los puntos de muestreo, entre los que destaca la variable “tipo de cubierta” que será utilizada en el análisis posterior. Se establecen tres rangos de tipo de cubierta: arbolado, arbusto o pastura.

En cada punto de muestreo se toman 3 muestras diferentes: una muestra de los 10 primeros centímetros de suelo, una segunda muestra de los 10 a los 20 centímetros de profundidad y una última muestra de los 20 a los 40 centímetros de profundidad. Estas tres profundidades son establecidas hasta los 40 cm, porque se considera que es hasta esa profundidad donde mayores variaciones, de los factores estudiados, se pueden encontrar. Estas muestras, son tomadas como muestras inalteradas, para el posterior cálculo de densidad aparente. Los pasos seguidos para tomar las muestras en cada punto de muestreo son los siguientes (ver Figura 14):

- Eliminación de “broza”, es decir, se elimina el material vegetal superior y la materia orgánica en descomposición, hasta llegar al inicio del primer horizonte de suelo).
- Se coloca el tubo de acero sobre el punto de muestreo y ayudándose del mártir de madera y la maza de hierro, se introduce el tubo en el suelo hasta alcanzar los 10 primeros cm de profundidad (el tubo esta graduado por la parte exterior).
- Una vez introducido el tubo, con la pala plana (bien sea la pequeña o la grande) se retira el suelo por la parte exterior del tubo, hasta llegar a su base. En ese momento con la ayuda de la espátula se “corta” la porción de suelo ajustándose a la base del tubo (es necesario que este paso sea lo más exacto posible, ya que se calculara posteriormente la densidad aparente de cada muestra).
- Se saca el tubo del suelo (con delicadeza, para no tapar el hueco) y se coloca la muestra dentro de una bolsa de plástico. La bolsa es debidamente rotulada para su posterior identificación en los trabajos de laboratorio.

- Para obtener la segunda muestra, se introduce de nuevo el tubo de acero en el hueco realizado hasta los 10 cm de profundidad (eliminando posibles impurezas provenientes de la parte superior del suelo). Nuevamente con ayuda del mártir de madera y la maza de hierro se clava el tubo hasta los 20 cm de profundidad.
- Para obtener la muestra, se procede del mismo modo que en la extracción de la primera muestra.
- Los pasos de obtención y extracción de la primera y la segunda muestra se repiten en la tercera muestra de 20 a 40 cm de profundidad.



Figura 14

Paso a paso de la toma de muestras en campo.  
Fuente: elaboración propia.

Las tres muestras de cada punto de muestreo, debidamente rotuladas, se introducen en una única bolsa para facilitar la identificación posterior y se colocan en la banasta para su transporte al laboratorio.

Después de llevar a cabo el muestreo, se obtienen de cada parcela 45 muestras diferentes (3 muestras en cada uno de los 15 puntos de muestreo). Como el diseño experimental cuenta con nueve parcelas, el cómputo total de muestras recogidas en campo es de 405. De esas 405 muestras 135 son muestras de la profundidad 0-10 cm, 135 de la profundidad 10-20 cm y 135 muestras más de 20-40 cm de profundidad. Posteriormente estas muestras son preparadas y analizadas en laboratorio.

Todas las fotografías del trabajo en campo y de la obtención de muestras se pueden consultar en el Anexo 4.

#### 4.4. Preparación física de las muestras

Una vez realizado el muestreo en campo, es necesario aplicar una preparación física a las muestras para poder llevar a cabo los análisis pertinentes. A continuación se describen todos los procesos de preparación física aplicados a las muestras en el laboratorio.

##### 4.4.1. Secado de muestras

Las muestras en campo son colocadas en bolsas de plástico y cerradas, por tanto estas muestras mantienen la humedad ambiental a la que se encontraban el suelo en los días de muestreo. Para realizar toda la preparación de las muestras y los análisis posteriores, es necesario secar las muestras tomadas en campo y conseguir una humedad de suelo seco al aire lo más homogénea posible entre ellas.

Para secar las muestras, se utiliza el método de secado al aire. Se abren todas las bolsas y se distribuyen todas ellas en estantes. Se realiza en este momento un desmenuzamiento de los agregados con la mano, para favorecer el propio secado y el tamizado posterior. Las muestras permanecen en fase de secado durante 12 días. En este periodo de tiempo, se realiza en dos ocasiones una remoción y mezcla para favorecer el secado homogéneo de cada una de las muestras.

##### 4.4.2. Pesaje de muestras

Una vez que las muestras han sido secadas al aire, se procede a pesar cada una de ellas en una balanza analítica de precisión 0,1 g. Estos datos de peso de muestra son utilizados posteriormente en los métodos analíticos, para calcular la densidad aparente de cada una de las muestras.

##### 4.4.3. Tamizado y separación de gruesos de muestras

Una vez pesadas las muestras, el siguiente proceso de preparación es el tamizado de las muestras y como consecuencia la separación de gruesos. Para llevar a cabo este proceso se utilizan los siguientes materiales:

- Tamiz de 2 mm de luz con sus correspondientes bandeja y tapa.
- Recipientes de aluminio.
- Balanza analítica de precisión 0,1 g.
- Rodillo de madera

Antes de llevar a cabo el tamizado, cada una de las muestras se extienden sobre papel de estraza y se pasa sobre la muestra el rodillo de madera, consiguiendo así romper todos los agregados. En ese momento la muestra se pasa por el tamiz de 2 mm de luz, consiguiendo separar los elementos gruesos (fracción de diámetro aparente >2

mm) de los elementos finos (fracción de diámetro aparente <2 mm). Posteriormente se pesan por un lado los elementos gruesos y por otro los elementos finos. Con este paso se consigue aislar la llamada “tierra fina”, que será sobre la que se realicen todos los análisis posteriores.

#### 4.4.4. Molido de muestras

Concluidos el tamizado de las muestras y la separación de los elementos finos de los gruesos, en necesario aplicar una molido a los elementos finos obtenidos. Este proceso se lleva a cabo utilizando los siguientes materiales:

- Molino modelo: Bel-Art MICRO-MILL Grinding Mills, SCIENCEWARE H37252.
- Cucharilla/espátula.
- Brocha
- Bolsas de papel

De cada muestra que es molida se coloca en el molino una cantidad de 6-8 g y se acciona el molino (la misma potencia para todas las muestras molidas) durante aproximadamente 30 s. Una vez transcurrido el tiempo establecido, la muestra se extrae del molino con ayuda de la brocha y se coloca en una nueva bolsa de papel, debidamente rotulada. De este modo cada muestra está lista para ser utilizada en los análisis que incluye el estudio.

#### 4.4.5. Empaquetado y agrupación de muestras

Una cantidad de aproximadamente 6-8 g de muestra seca, tamizada (2 mm) y molida, es empaquetada en bolsas de papel. Estas bolsas de papel son debidamente rotuladas, para asegurarse un ordenado análisis posterior.

Son empaquetadas y reservadas del modo descrito, 135 unidades pertenecientes a las muestras de la profundidad 0-10 cm de las 9 parcelas y de los 15 puntos de muestreo tomados en cada parcela. De estas 135 muestras se realizan posteriormente: análisis de comprobación de carbonatos, eliminación de carbonatos y análisis de carbono orgánico.

Además de esas 135 unidades, se empaquetan y reservan 27 unidades más procedentes de un agrupamiento de muestras que a continuación se describe. De cada parcela se agrupan mediante un proceso de homogeneización las 15 muestras de cada profundidad (una parte proporcional de cada muestra, no la muestra completa), obteniéndose así 3 muestras agrupadas por cada una de las 9 parcelas. Por lo tanto se obtiene 9 muestras agrupadas para cada profundidad (0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm). De estas 27 muestras agrupadas se realizan posteriormente: análisis de comprobación de carbonatos, eliminación de carbonatos, análisis de carbono orgánico y análisis de nitrógeno total.

La decisión, de establecer ese número de muestras y esa agrupación de muestras, se toma en base a los siguientes criterios:

- Logística y económicamente resulta inviable el análisis individual de las 405 muestras tomadas en campo, por tanto es necesario una agrupación posterior en laboratorio. La falta de medios materiales para los análisis de carbono orgánico y nitrógeno total hace necesario realizar los mismos en un laboratorio externo.
- Se decide analizar por separado las 135 muestras de la profundidad 0-10 cm, ya que de este modo se aporta un análisis detallado de todas las variables a estudiar y además a esa profundidad de suelo es donde mayores variaciones y significaciones se esperan obtener.
- La agrupación de muestras se ejecuta de ese modo, considerando que esa unión de porciones de muestra representa los valores de la parcela para cada una de las variables a estudiar y además a las diferentes profundidades establecidas en el muestreo en campo.

Nota: en el Anexo 4 se pueden consultar fotografías de los diferentes procesos de trabajo en laboratorio, entre ellas algunas que muestran la preparación física de las muestras.

## 4.5. Métodos analíticos empleados

### 4.5.1. Cálculo de densidad aparente de muestras

#### *Principio del método*

Se define como densidad aparente (DA) como la relación entre la masa de suelo seco al aire (g) y el volumen inalterado de suelo (V), siendo este volumen el ocupado por las partículas sólidas más el volumen de poros. La densidad aparente varía con el contenido en materia orgánica, la textura y la compactación.

#### *Material*

- Tubo de acero.
- Calibre y regla.
- Balanza analítica de precisión 0,1 g.
- Recipiente de aluminio.

#### *Procedimiento*

El tubo de acero utilizado en la toma de muestras, es medido mediante calibre y regla, para conocer sus dimensiones exactas. Con el diámetro del tubo (6,1 cm) y la profundidad/longitud de la muestra tomada en cada caso (10 cm de longitud para muestras de 0-10 cm de profundidad, 10 cm para muestras de 10-20 cm de profundidad y 20 cm para muestras de 20-40 cm de profundidad), se calcula el volumen inalterado de cada una de las muestras de suelo (292,2 cm<sup>3</sup> para muestras de 0-10 y 10-20 cm de profundidad y 584,5 cm<sup>3</sup> para muestras de 20-40 cm de profundidad). Por otro lado, una vez secadas al aire, las muestras son pesadas en la balanza analítica y sobre un recipiente de aluminio tarado. Conocido el volumen (cm<sup>3</sup>) y la masa (g) de cada una de las muestras, se aplica la siguiente fórmula para el cálculo de la densidad aparente:

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = m \text{ (g)} / V \text{ (cm}^3\text{)}$$

Nota: en la Parcela 1, las dimensiones del tubo de muestreo son ligeramente diferentes (para su muestreo se utilizó un tubo de PVC, que se rompía con mucha facilidad y se optó por un tubo de acero para el muestreo del resto de parcelas). Este tubo presenta un diámetro de 4,5 cm y las longitudes son iguales, por tanto el volumen inalterado de cada una de las muestras de suelo es de 159,0 cm<sup>3</sup> para muestras de 0-10 y 10-20 cm de profundidad y 318,1 cm<sup>3</sup> para muestras de 20-40 cm de profundidad.

En el Anexo 3 se muestran los datos de peso seco, volumen y densidad aparente de cada una de las muestras.

#### 4.5.2. Análisis de presencia de carbonatos en muestras

##### ***Principio del método***

Si un suelo contiene carbonatos y queremos conocer el contenido de carbono orgánico total, es necesario eliminar esos carbonatos para obtener un dato real del carbono orgánico total presente en ese suelo. A priori se sabe que en los suelos de la zona de muestreo existe presencia de carbonatos, sobretodo en elevadas profundidades. Siendo más dudosa la presencia de carbonatos en los horizontes más superficiales, que son los muestreados en este estudio, se decide comprobar de forma cualitativa la presencia de carbonatos en las muestras tomadas en campo.

##### ***Material***

- Porción de muestra seca, tamizada y molida.
- Tubos de ensayo y tapones de silicona.
- Balanza de precisión 0.001 g.
- Espátula
- Pesasustancias.
- Pipeta
- Disolución de HCl 1 Molar.
- Vaso de precipitados.

##### ***Procedimiento***

Se pesan 0,2 g de muestra seca, tamizada y molida mediante un pesasustancias en la balanza de precisión 0,001 g. Esa porción de muestra se incorpora dentro de un tubo de precipitados con la ayuda del propio pesasustancias. Una parte de la disolución previamente preparada, se vierte en un vaso de precipitados y con ayuda de una pipeta se toman 10 ml de HCl 1 molar. La disolución tomada se vierte sobre la porción de suelo colocada en el tubo de ensayo. Seguidamente se cierra el tubo de ensayo mediante el tapón de silicona y se observa. Si se forman burbujas es indicativo de que esa muestra contiene carbonatos.

Este análisis de comprobación de carbonatos no se realiza sobre todas las muestras, si no que se aplica a una muestra aleatoria de cada profundidad y de todas las parcelas (en total se analizan 27 muestras) ya que se trata de una análisis cualitativo, a través del cual queremos comprobar la presencia o no de carbonatos en el suelo.

Se encuentran carbonatos en todas las parcelas y en todas las profundidades muestreadas, encontrando mayores reacciones en las muestras de mayor profundidad.

### 4.5.3. Eliminación de carbonatos de muestras

#### **Principio del método**

El analizador automático de carbono LECO, modelo CR12, mide el contenido total de carbono por combustión completa. Por lo tanto si las muestras de suelo contienen carbonatos (como es el caso) al realizar la combustión de la muestra tanto el carbono inorgánico (de los carbonatos) como el carbono orgánico (de la materia orgánica del suelo) serán medidos. Como se quiere conocer el carbono orgánico de las muestras, es necesario eliminar los carbonatos de las muestras previamente. La eliminación de los carbonatos se consigue haciendo reaccionar a estos con HCl.

#### **Material**

- Porción de muestra seca, tamizada y molida.
- Balanza de precisión 0,1 g.
- Espátula
- Pesasustancias.
- Disolución de HCl 0,5 Normal.
- Tubos tipo Falcon para centrifuga de 50 ml.
- Centrifuga de mesa, marca Rolco modelo CM 2036.
- Probeta 50 ml.
- Vasos de precipitados.
- Soportes para tubos tipo Falcon.
- Agua destilada.
- Estufa

#### **Procedimiento**

En primer lugar se pesan 2 g de muestra en la balanza y mediante el pesasustancias se incorporan al tubo tipo Falco. Por otro lado una parte de la disolución previamente preparada, se vierte en un vaso de precipitados y con ayuda de una probeta se toman aprox. 40 ml de HCl 0,5 Normal. La disolución tomada se vierte sobre la porción de suelo colocada en el tubo tipo Falco. Después se ejecutan los siguientes pasos para cada muestra:

- 1) Se cierra el tubo mediante el tapón roscado y se agita bien la solución hasta que se disuelva el suelo.
- 2) Se deja el tubo abierto y vertical durante aprox. 30 min para que el HCl actúe y eliminar el CO<sub>2</sub> producido.
- 3) Transcurrido ese tiempo se cierra de nuevo el tubo y se agita nuevamente.

- 4) Después se deja el tubo cerrado y acostado horizontalmente durante aprox. 30 minutos más, para seguir dejando actuar al HCl y eliminar el CO<sub>2</sub> producido.
- 5) Nuevamente el tubo se deja abierto y en posición vertical durante aprox. 30 minutos más, hasta comprobar visualmente que no se produce reacción, es decir, que no se observa burbujeo.
- 6) El tubo cerrado se introduce en la centrifuga a 3500 r.p.m. durante 10 min (Los tubos se colocan pareados en la centrifuga, para mantener equilibrada la misma).
- 7) Se sacan los tubos de la centrifuga y se elimina la parte líquida, quedando precipitada en el fondo la porción de muestra.
- 8) Agregar 40 ml de agua destilada, cerrar y agitar de nuevo.
- 9) Se repiten tres veces más los pasos 6, 7 y 8. Con esto se consigue eliminar los restos de HCl, que de no ser eliminado por completo podría interferir en los análisis de carbono y nitrógeno.
- 10) Se vuelca la suspensión final en un vaso de precipitado y se lleva a estufa de 60-70 °C.
- 11) Una vez que las muestras están completamente secas, se muelen de nuevo (de la misma forma que se explica en el apartado 4.4.4 del presente estudio) y se empaquetan en bolsas de papel debidamente rotuladas.

Este proceso de eliminación de carbonatos se realiza por duplicado para cada una de las muestras, para poder conseguir aproximadamente 4 g de muestra sin carbonatos (esa es la cantidad de muestra que el laboratorio externo solicita para realizar los análisis posteriores). Esta eliminación de carbonatos se realiza a las 135 muestras de la profundidad 0-10 cm de las 9 parcelas y de los 15 puntos de muestreo tomados en cada parcela y además también se eliminan carbonatos de las 27 muestras agrupadas pertenecientes a las tres profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm) de las 9 parcelas.

Nota: en el Anexo 4 se pueden consultar fotografías de los diferentes procesos de trabajo en laboratorio, entre ellas algunas que muestran el proceso de eliminación de carbonatos.

#### 4.5.4. Análisis de carbono orgánico de muestras

Eliminados los carbonatos que podían causar errores, se procede a analizar el carbono orgánico de las muestras. En concreto, como ya se adelantaba en apartados anteriores, se analizan las 135 muestras de profundidad 0-10 cm y las 27 muestras agrupadas de las tres profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm) de las 9 parcelas de muestreo. Este análisis es realizado en un laboratorio externo, ya que el laboratorio donde se realiza este estudio no alberga la logística necesaria. Se envían las muestras al Laboratorio de Análisis Químicos (LANAQUI) del Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), perteneciente al Centro Científico Tecnológico de Bahía Blanca (CONICET, Bahía Blanca).

El laboratorio externo encargado del análisis, realiza una determinación de carbono orgánico de las muestras sin carbonatos, mediante un proceso de combustión seca con un equipo analizador automático de carbono LECO, modelo CR12.

El funcionamiento básico del equipo es el siguiente: se introducen 0,2 g de muestra envuelta en capsulas de estaño (estas siempre de forma ordenada) en un cargador automático que va introduciendo las muestras al equipo. Dentro del equipo se realiza una combustión catalítica a alta temperatura, de 600 a 1100 °C, que convierte el carbono de la muestra en CO<sub>2</sub>. Posteriormente el equipo realiza una medición mediante un detector de infrarrojo no dispersivo (NDIR). Finalmente el equipo arroja directamente en una pantalla, el porcentaje de carbono orgánico que contiene cada una de las muestras analizadas (información del proceso aportada por el laboratorio externo).

En el Anexo 3 se muestran los datos de porcentaje de carbono orgánico de las muestras analizadas.

#### 4.5.5. Análisis de nitrógeno total de muestras

La determinación del contenido de nitrógeno total de las 27 muestras agrupadas de las tres profundidades (0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm) de las 9 parcelas de muestreo, conjuntamente con la determinación del carbono orgánico, así como la relación C/N derivada de estas dos determinaciones, es útil para caracterizar la materia orgánica de las parcelas muestreadas.

Como en el caso del carbono orgánico, el análisis del nitrógeno total se encarga al Laboratorio de Análisis Químicos (LANAQUI) del Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), perteneciente al Centro Científico Tecnológico de Bahía Blanca (CONICET, Bahía Blanca).

El laboratorio externo lleva a cabo una determinación del nitrógeno total por el método de oxidación húmeda Kjeldahl (método semi-micro Kjeldahl). Ésta determinación se basa en la medida del contenido total de nitrógeno de las muestras mediante una digestión acida, que se efectúa transformando el nitrógeno orgánico a mineral (mineralización) y posteriormente se cuantifica el contenido total en forma de nitrógeno mineral. La muestra es digerida con ácido sulfúrico y el nitrógeno orgánico se convierte en sulfato de amonio. Posteriormente es alcalinizado y destilado el amonio como amoniaco (NH<sub>3</sub>). El amoniaco desprendido es recuperado en una solución de ácido sulfúrico, que se valora y titula con una solución de hidróxido de sodio estandarizada. Mediante este procedimiento se determina todo el nitrógeno del suelo, (incluyendo el NH<sub>4</sub><sup>±</sup> adsorbido sobre el complejo de intercambio), pero excluye los nitratos (información del proceso aportada por el laboratorio externo). En el Anexo 3 se muestran los datos de porcentaje de nitrógeno total de las muestras analizadas.

Nota: con los resultados de carbono orgánico y nitrógeno total de las 27 muestras agrupadas, de las tres profundidades y de las 9 parcelas de muestreo, se calcula la relación carbono/nitrógeno de las mismas. En el Anexo 3 se muestra los datos obtenidos.

## 4.6. Herramientas y metodología empleada en el análisis estadístico

Una vez realizado el muestreo de campo programado en el diseño experimental y obtenidos todos los datos requeridos en los análisis de laboratorio, se ejecuta un análisis estadístico sobre los resultados que permita completar los objetivos planteados en el estudio y conocer si la hipótesis previa planteada se cumple o no.

### 4.6.1. Herramientas utilizadas para el análisis estadístico

En el tratamiento de datos y análisis estadístico llevado a cabo se utilizan diferentes herramientas informáticas de trabajo.

Por un lado, para tratar, ordenar y realizar un análisis inicial de los datos se utiliza la aplicación Microsoft Office Excel 2007. Con esta aplicación también se elaboran diferentes figuras que plasman los resultados obtenidos.

Además de la aplicación anterior, se utiliza el software STATGRAPHICS Centurion XVI. A través de él se lleva a cabo el un análisis estadístico más detallado de los datos obtenidos.

### 4.6.2. Metodología aplicada en el análisis estadístico

El primer paso para realizar el análisis estadístico es conocer las variables de las que se parte en el estudio. Por un lado variables cualitativas: parcela, tratamiento, tipo de cubierta, profundidad y bloque. Por otro lado se incluyen variables cuantitativas: peso de muestra, densidad aparente, carbono orgánico, nitrógeno total y relación C/N. Cada una de las variables queda definida a continuación:

- **Parcela:** se trata de cada una de las unidades experimentales de muestreo. Estas se clasifica como: Parcela 1, Parcela 2, Parcela 3, Parcela 4, Parcela 5, Parcela 6, Parcela 7, Parcela 8 y Parcela 9.
- **Tratamiento:** esta variable viene definida por el tratamiento aplicado a cada una de las parcelas. Se establecen tres clases: Bosque Nativo, Rolado Viejo y Rolado Re-rolado.
- **Tipo de cubierta:** es una variable tomada en campo durante el muestreo e indica el tipo de vegetación que cubre el punto de muestreo. Se establecen para esta variable las clases: pastura, arbusto o arbolado.
- **Profundidad:** esta variable categoriza a las muestras tomadas en función de la profundidad de muestreo, estableciéndose tres clases: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm.
- **Bloque:** los bloques que se crean para el análisis son establecidos en función de la ubicación de las parcelas, agrupándolas de tres en tres (las tres parcelas más cercanas entre ellas y que cada una de ellas representa un tratamiento o uso del suelo). El bloque 1: parcelas 2, 4 y 7, bloque 2: parcelas 3, 5 y 8 y bloque 3: parcelas 1, 6 y 9.

- **Peso de muestra:** se trata del peso de cada una de las muestras, secadas al aire. Las unidades de esta variable cualitativa son los gramos (g).
- **Densidad aparente:** calculada en gabinete para cada muestra tomada en campo, conocido el peso y el volumen. Las unidades de esta variable cualitativa son los gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ).
- **Carbono orgánico:** se trata del contenido de carbono orgánico total de cada muestra medido en el laboratorio. Las unidades obtenidas de esta variable cualitativa en laboratorio es un %. Además para realizar el análisis estadístico se utiliza la variable expresada en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ) (calculada mediante el producto de la densidad aparente por el dato de carbono orgánico en tanto por uno).
- **Nitrógeno total:** se trata del contenido de nitrógeno total de cada muestra medido en el laboratorio. Las unidades obtenidas de esta variable cualitativa en laboratorio es un %. Además para realizar el análisis estadístico se utiliza la variable expresada en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ) (calculada mediante el producto de la densidad aparente por el dato de nitrógeno total en tanto por uno).
- **Relación C/N:** variable calculada mediante el cociente del carbono orgánico entre el nitrógeno total de cada muestra. Se trata de una variable cualitativa adimensional.

Con el análisis estadístico se pretenden dos cosas, en primer lugar conocer cuáles son las características que definen a cada una de las variables cuantitativas de estudio. Y en segundo lugar mediante el análisis se quiere conocer si esas variables cuantitativas vienen marcadas por las clases establecidas en las variables cualitativas. En definitiva conocer si existen diferencias significativas entre las diferentes clases de las variables cualitativas para los valores de las variables cuantitativas.

El primer paso, en el análisis estadístico, es la realización de un análisis descriptivo de los datos obtenidos en las variables cualitativas que sean objeto de estudio. De estas variables se pretende conocer sus promedios, desviaciones estándar, error estándar, etc.

Después se procede a realizar diferentes ANOVA (Análisis de la varianza) relacionando diferentes variables cualitativas con diferentes variables cuantitativas. Para poder llevar a cabo estos ANOVA, bien sean simples o múltiples, es necesario realizar varias comprobaciones previas. Primero se realiza un test de normalidad de los datos, utilizando en este caso un test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Y como segundo paso de comprobación de homocedasticidad de los residuos mediante el test de Levene. Una vez comprobado que los datos son normales y existe homocedasticidad, se pasa a realizar los ANOVA. Se establece un nivel de confianza del 95% y se considera que existe significación con valores de  $p\text{-value} < 0,05$ . En el caso de existir significación se aplica el test LSD de Fisher.

El patrón de análisis estadístico descrito anteriormente se aplica para varios planteamientos que tratan de completar los objetivos establecidos por el estudio. Los diferentes planteamientos para el análisis estadístico son:

- Efecto de los factores profundidad, tratamiento y bloque, así como sus interacciones dobles y triple, sobre la densidad aparente del suelo, teniendo en cuenta las 405 muestras tomadas en campo.
- Efecto de los factores profundidad y tratamiento, así como su interacción, sobre el carbono orgánico, nitrógeno total y relación C/N teniendo en cuenta las 27 muestras agrupadas.
- Efecto de los factores tratamiento y bloque, así como su interacción, sobre el carbono orgánico del suelo, teniendo en cuenta las 135 muestras de la profundidad 0-10 cm.
- Efecto de los factores tipo de cubierta y tratamiento, así como su interacción, sobre el carbono orgánico del suelo, teniendo en cuenta las 135 muestras de la profundidad 0-10 cm.
- Efecto del factor tratamiento sobre el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total (en Mg/ha) para el sumatorio de los primeros 40 cm de suelo, teniendo en cuenta las 27 muestras agrupadas.

Como última fase del análisis estadístico, se elaboraran figuras que plasman de forma grafica los resultados obtenidos y las comparaciones establecidas entre los diferentes factores que influyen en la variable estudiada en cada caso.





## *5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN*



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se pretende plasmar los resultados, y la discusión de los mismos, obtenidos en los análisis descriptivos y estadísticos realizados. El análisis de resultados queda conformado del siguiente modo:

- Análisis de la densidad aparente del suelo.
- Análisis de carbono orgánico del suelo.
- Análisis del nitrógeno total del suelo.
- Análisis de la relación carbono/nitrógeno del suelo.

En todos los análisis estadísticos realizados se realiza en primer lugar el test de normalidad de los datos de las variables cuantitativas, utilizando el test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Se aplica el test de normalidad a los datos de densidad aparente, carbono orgánico, y carbono total, y se comprueba el p-valor obtenido. En los tres análisis se obtiene un p-valor superior a 0,05 por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de que los datos de las variables provengan de una distribución normal. Además a los resultados numéricos se le suma una interpretación gráfica que corrobora la normalidad de los datos. Y como segundo paso se comprueba la homocedasticidad de los residuos mediante el test de Levene. Los residuales de los datos de las tres variables analizadas cumplen el requisito de homocedasticidad.

### 5.1. Análisis de la densidad aparente del suelo

La densidad aparente es una variable utilizada, junto con el porcentaje de carbono orgánico y el porcentaje de nitrógeno total, para el cálculo del contenido en carbono orgánico y el nitrógeno total en el suelo, expresada en  $\text{g/cm}^3$ . Por ello se considera importante su análisis estadístico, ya que variaciones de densidad aparente deben ser tenidas en cuenta al analizar el carbono orgánico y el nitrógeno total del suelo.

La estructura del suelo condiciona la densidad aparente del suelo, a su vez la estructura del suelo determina la distribución en el espacio de la materia sólida y de los espacios vacíos (o poros), algunos de los cuales están ocupados por el agua mientras que otros, los de mayor diámetro, lo están por el aire; esta distribución condiciona las propiedades físicas del suelo como la aireación o la retención de agua, por tanto influye en sus propiedades químicas y biológicas (Mataix, 1999).

Los resultados del análisis descriptivo de los datos de densidad aparente, se exponen en la Tabla 4. Como se puede observar los promedios de densidad aparente abarcan valores desde  $1,219 \text{ g/cm}^3$  en los 10 primeros centímetros del bosque nativo de la parcela 6, hasta  $1,543 \text{ g/cm}^3$  en la profundidad 10-20 cm del rolado re-rolado de la parcela 8. Estos valores de densidad aparente encontrados en el campo de trabajo resultan similares a los mostrados por Kirby *et al.* (2001) en sitios cercanos. Estos autores obtuvieron valores de densidad de 1,39 hasta  $1,43 \text{ g/cm}^3$ . Los valores de densidad aparente obtenidos no fluctúan entre valores muy extremos debido a que los

suelos en los que se ha trabajado prácticamente no presentan elementos gruesos (de 0 a 0,57%) y eso ha facilitado mucho la toma de muestras inalteradas, encontrando así pocos resultados extraños o erróneos.

Nota: el número de valores totales (n) no son los 405 datos iniciales, ya que se ha procedido a eliminar los outliers encontrados para la variable densidad aparente. En concreto se han eliminado 6 datos extraños o erróneos.

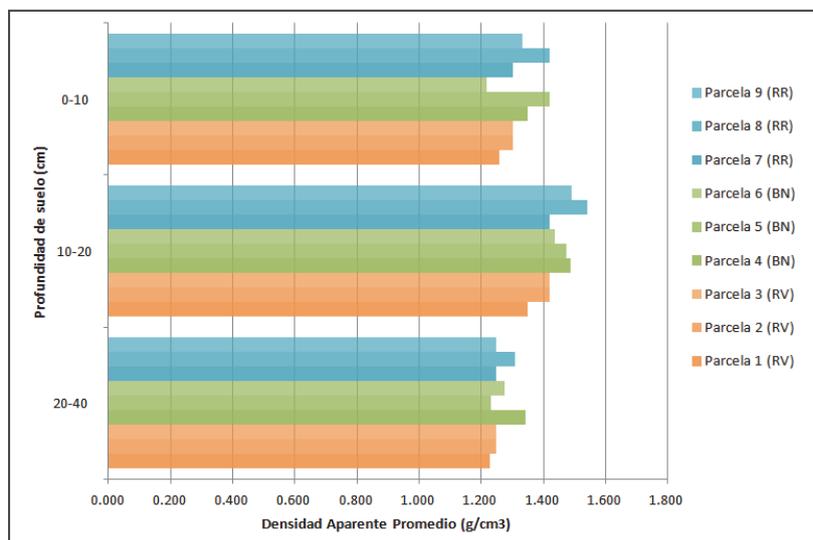
**Tabla 4**

Valores promedio, número de valores (n), desviación estándar, máximo, mínimo y error estándar para la variable densidad aparente (DA), en función del tipo de muestra, tratamiento y parcela. Fuente: elaboración propia.

Parcela	Tratamiento	Tipo muestra	n	DA (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación estándar	Máximo (g/cm <sup>3</sup> )	Mínimo (g/cm <sup>3</sup> )	Error estándar
1	Rolado Viejo	0-10	15	<b>1,259</b>	0,126	1,473	0,949	0,033
		10-20	14	<b>1,348</b>	0,110	1,546	1,159	0,029
		20-40	12	<b>1,229</b>	0,081	1,348	1,109	0,023
2	Rolado Viejo	0-10	15	<b>1,301</b>	0,145	1,486	1,060	0,038
		10-20	15	<b>1,420</b>	0,177	1,670	1,045	0,046
		20-40	15	<b>1,249</b>	0,089	1,410	1,089	0,023
3	Rolado Viejo	0-10	15	<b>1,379</b>	0,089	1,558	1,234	0,023
		10-20	15	<b>1,524</b>	0,139	1,809	1,251	0,036
		20-40	15	<b>1,268</b>	0,109	1,441	1,103	0,028
4	Bosque Nativo	0-10	15	<b>1,351</b>	0,146	1,614	0,958	0,038
		10-20	13	<b>1,487</b>	0,156	1,741	1,229	0,043
		20-40	14	<b>1,343</b>	0,136	1,538	1,111	0,036
5	Bosque Nativo	0-10	15	<b>1,420</b>	0,089	1,626	1,237	0,023
		10-20	15	<b>1,473</b>	0,124	1,712	1,254	0,032
		20-40	15	<b>1,231</b>	0,115	1,414	0,997	0,030
6	Bosque Nativo	0-10	15	<b>1,219</b>	0,151	1,502	0,925	0,033
		10-20	15	<b>1,436</b>	0,126	1,671	1,206	0,033
		20-40	14	<b>1,276</b>	0,141	1,465	1,061	0,038
7	Rolado Re-rolado	0-10	15	<b>1,303</b>	0,109	1,465	1,047	0,028
		10-20	15	<b>1,421</b>	0,096	1,554	1,208	0,025
		20-40	15	<b>1,247</b>	0,078	1,362	1,054	0,020
8	Rolado Re-rolado	0-10	15	<b>1,420</b>	0,163	1,751	1,183	0,042
		10-20	15	<b>1,543</b>	0,156	1,777	1,222	0,040
		20-40	15	<b>1,309</b>	0,105	1,420	1,001	0,027
9	Rolado Re-rolado	0-10	15	<b>1,332</b>	0,204	1,590	0,994	0,053
		10-20	15	<b>1,491</b>	0,161	1,770	1,247	0,042
		20-40	15	<b>1,247</b>	0,094	1,413	1,077	0,024

Nota: Bloque 1: parcelas 2, 4 y 7; Bloque 2: parcelas 3, 5 y 8; Bloque 3: parcelas 1, 6 y 9

En la Figura 15, se representan los valores promedio de densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) para cada una de las parcelas en cada tipo de profundidad. Se puede observar como los mayores valores de densidad se presentan en la profundidad 10-20 cm y por el contrario lo menores valores los presenta la profundidad 20-40. También se observa una tendencia a valores más altos de densidad aparente en las parcelas con tratamiento Rolado Re-rolado y profundidad 10-20 cm.



**Figura 15**

Gráfico de valores de densidad aparente promedio ( $\text{g/cm}^3$ ) para cada una de las parcelas y en cada profundidad. Fuente: elaboración propia.

Para analizar estadísticamente los resultados se realizó un ANOVA multifactorial en la que la variable dependiente fue la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) y se consideraron los factores profundidad, tratamiento, bloque y sus interacciones dobles y triple. El resultado de este ANOVA se muestra, en la Tabla 5. Como puede verse no hay significación en la interacción triple, pero si se observa significación en el caso de las interacciones dobles. Existen efectos significativos sobre la densidad aparente para las interacciones Profundidad\*Bloque y Tratamiento\*Bloque así como en los tres factores individuales, ya que presentan p-valores menores a 0,05.

**Tabla 5**

P-valores obtenidos para cada factor y sus interacciones en el ANOVA multifactorial aplicado a la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ). Fuente: elaboración propia.

Factores del ANOVA aplicados a la DA ( $\text{g/cm}^3$ )	p-valor
Profundidad	0,0000
Tratamiento	0,0266
Bloque	0,0000
Profundidad*Tratamiento	0,8114
Profundidad*Bloque	0,0350
Tratamiento*Bloque	0,0114
Profundidad*Tratamiento*Bloque	0,4856

En la Figura 16 se muestra la interacción Profundidad\*Bloque y los intervalos LSD de Fisher al 95%. Aplicando el test LSD de Fisher a la interacción significativa Profundidad\*Bloque, se obtiene que para la profundidad 0-10 y 10-20 cm el Bloque 2 tiene una densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) significativamente más alta a la que presentan las muestras de los Bloques 1 y 3. Para la profundidad 20-40 cm no existen diferencias significativas entre Bloques. También se puede ver que en los tres bloques es la profundidad 10-20 cm la que presenta valores de densidad aparente más altos que las otras profundidades consideradas.

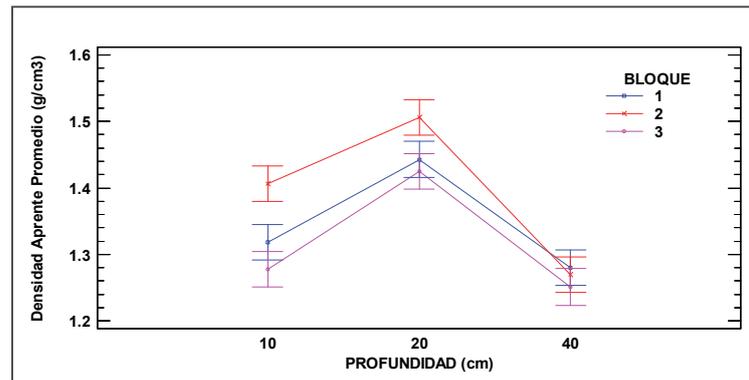


Figura 16

Gráfico de interacción Profundidad\*Bloque para la variable densidad aparente y sus intervalos LSD de Fisher. Fuente: elaboración propia.

Aplicando el test LSD de Fisher a la interacción significativa Tratamiento\*Bloque, se obtiene que para el bosque nativo la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) no varía entre bloques. Para los tratamientos rolado viejo y rolado re-rolado, la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) es significativamente más alta en el Bloque 2 que en el resto. En la Figura 17 se muestra la interacción Profundidad\*Bloque y los intervalos LSD de Fisher.

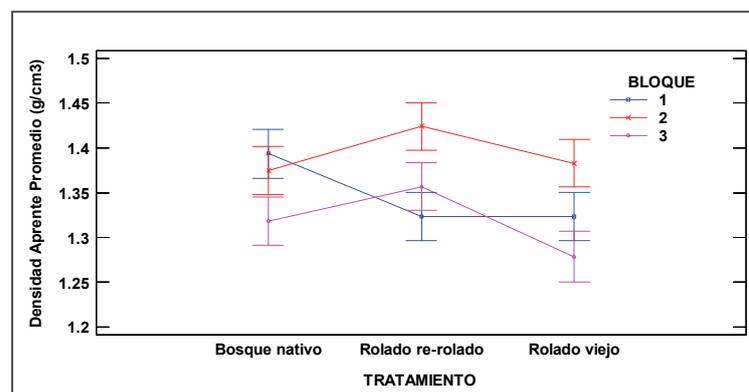


Figura 17

Gráfico de interacción Tratamiento\*Bloque para la variable densidad aparente y sus intervalos LSD de Fisher. Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que para el Bloque 1 el bosque nativo presenta una densidad aparente significativamente mayor que el rolado re-rolado y que el Rolado viejo. En el Bloque 2 no se observan diferencias significativas entre tratamientos, y en el bloque 3 la densidad aparente de las masas con tratamiento no se diferencian significativamente del bosque nativo, y solo hay diferencias entre el rolado re-rolado y el rolado viejo.

Analizada en detalle la variable densidad aparente del suelo, se puede decir que los suelos de las parcelas analizadas presentan valores promedios de densidad semejantes a otros estudios realizados en la zona. A su vez se han encontrado diferencias significativas de densidad según tratamiento y profundidad dependiendo del bloque considerado. El Bloque 2 presenta valores más altos de densidad en los 20 primeros cm de profundidad y para los tratamientos de rolado viejo y rolado re-rolado.

## 5.2. Análisis del carbono orgánico del suelo

Tras un cambio en el uso del suelo inevitablemente ocurren cambios en la calidad, cantidad y distribución espacial de las aportaciones de carbono orgánico al suelo. El cambio del uso del suelo, junto con otros factores como el uso previo del suelo, clima o la estructura del suelo, influyen en el ritmo con el que esos cambios de contenido de carbono orgánico se producen (Paul *et al.* 2001).

Para conocer si existen variaciones significativas en el contenido de carbono orgánico con el cambio de uso es necesario analizar este parámetro en suelos que no han sufrido cambios de uso y compararlo con el existente en suelos que sí han sufrido cambio de uso. También es interesante conocer si los posibles cambios tienen lugar principalmente en superficie, donde las alteraciones que el cambio de uso provoca serán más patentes o si también afectan a mayor profundidad.

Además es importante analizar un factor de gran influencia en el contenido de carbono orgánico de un suelo, el tipo de cubierta vegetal encontrada en el momento que se toman las muestras. Este factor es clave, ya que la vegetación que cubre el suelo genera aportes de carbono al suelo, por tanto influye directamente en el contenido de carbono orgánico del suelo.

Los parámetros de carbono orgánico analizados son su concentración en % y los g/cm<sup>3</sup> de suelo.

### 5.2.1. Efecto de la profundidad de las muestras y el tipo de tratamiento sobre el carbono orgánico del suelo (g/cm<sup>3</sup> y %)

En primer lugar se realiza el análisis del efecto de la profundidad de las muestras y el tipo de tratamiento sobre el carbono orgánico del suelo, teniendo en cuenta las 27 muestras agrupadas.

Los resultados del análisis descriptivo de los datos de carbono orgánico para este primer supuesto, se exponen en la Tabla 6. Como se puede observar los promedios de carbono orgánico abarcan valores desde 0,0183 g/cm<sup>3</sup> (1,41%) en el caso de rolado viejo de 0-10 cm de profundidad, hasta 0,0066 g/cm<sup>3</sup> (0,49 %) en el caso de rolado re-rolado de 20-40 cm de profundidad. Estos valores de carbono orgánico encontrados en la zona de estudio, resultan similares a los mostrados por Karlin (1983), quien para algarrobar en chaco seco argentino obtuvo valores de 0,62 a 0,70 % en 20-40 cm de profundidad y valores de 0,94 a 1,57 % en 2-10 cm de profundidad. También puede verse en la tabla que el rango de valores entre los que se encuentran las concentraciones de C tanto en

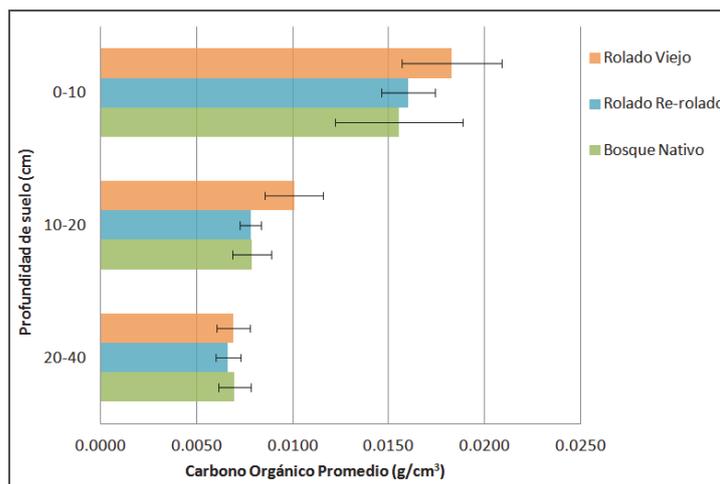
g/cm<sup>3</sup> como en % es mayor en las muestras superficiales que en las profundas, en las que el error estándar llega a ser incluso tres veces menor que para la profundidad 0-10 cm.

**Tabla 6**

Valores promedio, número de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable carbono orgánico (g/cm<sup>3</sup> y %) en las 27 muestras agrupadas, en función del tratamiento y tipo de muestra (profundidad). Fuente: elaboración propia.

Tipo muestra (cm)	Tratamiento	n	Carbono Orgánico (g/cm <sup>3</sup> )	Máximo (g/cm <sup>3</sup> )	Mínimo (g/cm <sup>3</sup> )	Error estándar	Carbono Orgánico (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Error estándar
0-10	Bosque Nativo	3	<b>0,0155</b>	0,0219	0,0106	0,0033	<b>1,16</b>	1,67	0,78	0,27
	Rolado Re-rolado	3	<b>0,0160</b>	0,0188	0,0143	0,0014	<b>1,18</b>	1,40	1,06	0,11
	Rolado Viejo	3	<b>0,0183</b>	0,0230	0,0140	0,0026	<b>1,41</b>	1,87	1,01	0,25
Total/Promedio		9	<b>0,0166</b>	0,0230	0,0106	0,0014	<b>1,25</b>	1,87	0,78	0,12
10-20	Bosque Nativo	3	<b>0,0079</b>	0,0096	0,0061	0,0010	<b>0,59</b>	0,73	0,45	0,08
	Rolado Re-rolado	3	<b>0,0078</b>	0,0085	0,0067	0,0006	<b>0,57</b>	0,62	0,47	0,05
	Rolado Viejo	3	<b>0,0101</b>	0,0128	0,0075	0,0015	<b>0,77</b>	1,04	0,57	0,14
Total/Promedio		9	<b>0,0086</b>	0,0128	0,0061	0,0007	<b>0,64</b>	1,04	0,45	0,06
20-40	Bosque Nativo	3	<b>0,0070</b>	0,0086	0,0057	0,0009	<b>0,52</b>	0,66	0,42	0,07
	Rolado Re-rolado	3	<b>0,0066</b>	0,0078	0,0056	0,0006	<b>0,49</b>	0,57	0,40	0,05
	Rolado Viejo	3	<b>0,0069</b>	0,0083	0,0053	0,0009	<b>0,53</b>	0,68	0,40	0,08
Total/Promedio		9	<b>0,0068</b>	0,0083	0,0053	0,0004	<b>0,51</b>	0,68	0,40	0,04

En el gráfico de la Figura 18, se representan los promedios de carbono orgánico (g/cm<sup>3</sup>) para cada uno de los tratamientos y para cada profundidad. En éste gráfico se puede observar como los mayores valores de carbono orgánico por unidad de volumen de suelo se encuentran en las muestras de 0-10 cm de profundidad, manteniéndose este patrón de contenido de carbono orgánico para los tres tipos de tratamiento. Comparando los valores entre los diferentes tratamientos, se observa una tendencia en la que el rolado viejo presenta valores más altos de carbono orgánico que los otros dos tratamientos. Respecto al bosque nativo, el rolado viejo también presenta valores superiores en las profundidades de 0-10 y 10-20 cm. En cualquier caso, se observa cierta estabilización de contenido de carbono orgánico en las muestras más profundas.



**Figura 18**

Gráfico de valores de carbono orgánico promedio ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), en función de la profundidad y el tratamiento. Incluye barras de error estándar. Fuente: elaboración propia.

Para comprobar si la tendencia observada es estadísticamente significativa, se realiza un ANOVA multifactorial del carbono orgánico tanto en  $\text{g}/\text{cm}^3$  como en % en función de los factores tratamiento, profundidad y la interacción tratamiento\*profundidad. Los p-valores obtenidos se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7**

P-valores obtenidos para cada factor y sus interacciones en el ANOVA multifactorial aplicado a la concentración de carbono orgánico en  $\text{g}/\text{cm}^3$  y en %. N=27. Fuente: elaboración propia.

Factores del ANOVA	p-valor para carbono orgánico en $\text{g}/\text{cm}^3$	p-valor para carbono orgánico en %
Profundidad	0,0000	0,0000
Tratamiento	0,4152	0,3441
Tratamiento*Profundidad	0,9229	0,9286

De este ANOVA se desprende que para la interacción tratamiento\*profundidad no hay significación ya que se obtiene p-valores superiores a 0,05. Tenemos pues que el efecto del tratamiento no es significativamente distinto según la profundidad que se considere. Aunque la interacción Tratamiento\*Profundidad no ha sido significativa se ha optado por mostrar la gráfica de interacción con los valores medios y los intervalos LSD de Fisher al 95% (Figura 19) ya que resulta muy esclarecedora para explicar cómo se comporta el carbono orgánico en los suelos estudiados. En esta figura se puede observar que el comportamiento del carbono orgánico respecto a la profundidad es similar en los tres tipos de tratamientos, siendo la profundidad 0-10 cm la que presenta valores significativamente mayores que el resto. Además se puede observar que para cada una de las profundidades consideradas no hay diferencias significativas entre los tratamientos aplicados.

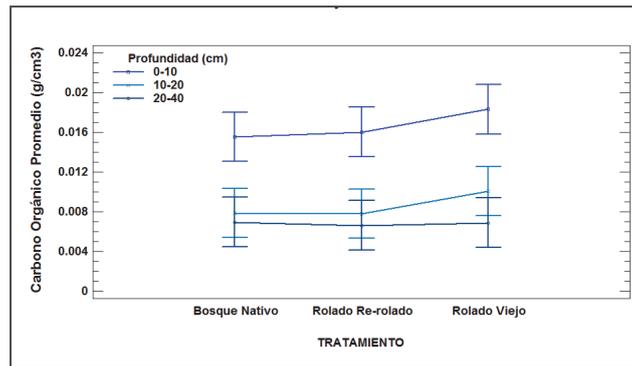


Figura 19

Gráfico de interacción tratamiento\*profundidad de los valores de carbono orgánico promedio ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) y sus intervalos LSD de Fisher. Fuente: elaboración propia.

Como la interacción no ha sido significativa se procede a analizar cada factor por separado. Para el factor tratamiento se obtienen p-valores de 0,4152 y 0,3441, por tanto no se puede afirmar que la diferencia de contenido de carbono orgánico observada sea estadísticamente significativa. Esto indica que entre los tratamientos no existe diferencia significativa del contenido de carbono orgánico. Este resultado coincide con Pérez *et al.* (2007), que tampoco encontraron diferencias de contenido de carbono, en los 20 primeros centímetros de suelo, después de aplicar el tratamiento de desmonte selectivo en bosques del chaco semiárido de la provincia de Salta (Argentina).

El factor tipo profundidad, en el ANOVA arroja un p-valor de 0,000; que indica que hay diferencias significativas entre profundidades tanto para concentraciones de carbono orgánico en  $\text{g}/\text{cm}^3$  como en %. Para ambos parámetros se observa que la profundidad 0-10 cm muestra valores significativamente más altos que las otras dos profundidades consideradas (Figura 20).

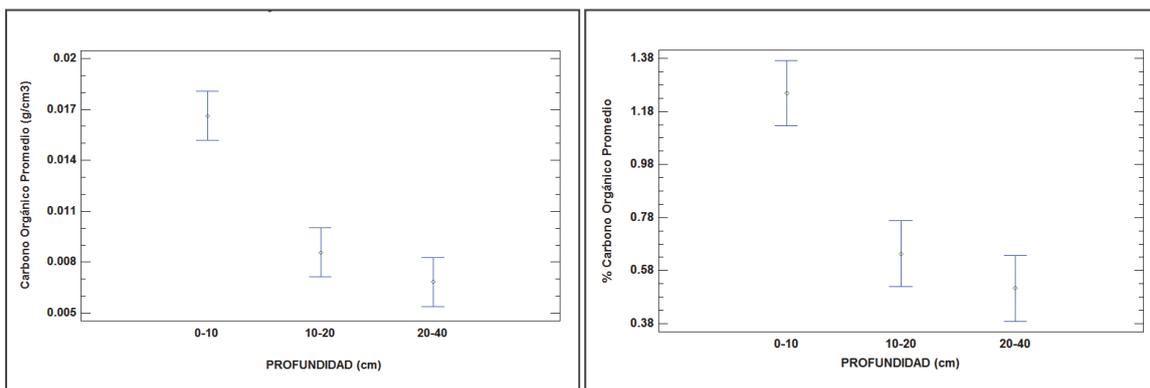


Figura 20

Efecto de la profundidad de los valores de carbono orgánico promedio en  $\text{g}/\text{cm}^3$  (Izq.) %C (Der.) y sus intervalos LSD de Fisher. Fuente: elaboración propia.

La diferencia de contenido de carbono orgánico (en  $\text{g C}/\text{cm}^3$  suelo) encontrada en los 10 primeros centímetros de suelo respecto a las otras profundidades, puede venir marcada por el hecho de que es esta parte del suelo la que recibe directamente el aporte del materia orgánica.

### 5.2.2. Estudio del contenido de carbono orgánico (g/cm<sup>3</sup> y %) en 0-10 cm de profundidad.

Una vez analizado el efecto de las muestras agrupadas, se inicia el análisis de las muestras de 0-10 cm de profundidad. El número de muestras totales son 135, pero evaluados los posibles outliers, se decide eliminar el dato de la muestra 8 de la parcela 4 ya que presenta un valor que triplica a la media. Para completar el análisis del efecto del tratamiento sobre el contenido de carbono orgánico, se decide analizar el efecto del tipo de tratamiento sobre el carbono orgánico (g/cm<sup>3</sup> y %), teniendo en cuenta las 135 muestras de la profundidad 0-10 cm y teniendo en cuenta el factor bloque. La Tabla 8 muestra los datos obtenidos mediante el análisis descriptivo de los datos de la variable carbono orgánico en g/cm<sup>3</sup> y en %, para profundidad 0-10 cm, mostrándose los resultados para los distintos tratamientos y bloques.

**Tabla 8**

Valores promedio, número de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable carbono orgánico (g/cm<sup>3</sup> y %) en las 134 muestras de 0-10 cm de profundidad, en función del tratamiento y el bloque. Fuente: elaboración propia.

Bloque	Tratamiento	n	Carbono Orgánico (g/cm <sup>3</sup> )	Máximo (g/cm <sup>3</sup> )	Mínimo (g/cm <sup>3</sup> )	Error estándar	Carbono Orgánico (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Error estándar
Bloque 1	Bosque Nativo	14	<b>0,0126</b>	0,0166	0,0083	0,0007	<b>0,92</b>	1,28	0,63	0,06
	Rolado Re-rolado	15	<b>0,0174</b>	0,0280	0,0115	0,0011	<b>1,36</b>	2,67	0,81	0,11
	Rolado Viejo	15	<b>0,0180</b>	0,0274	0,0102	0,0015	<b>1,42</b>	2,40	0,76	0,14
Total/Promedio		44	<b>0,0161</b>	0,0280	0,0083	0,0008	<b>1,24</b>	2,67	0,63	0,07
Bloque 2	Bosque Nativo	15	<b>0,0140</b>	0,0227	0,0082	0,0009	<b>0,99</b>	1,65	0,58	0,06
	Rolado Re-rolado	15	<b>0,0171</b>	0,0240	0,0081	0,0013	<b>1,24</b>	1,98	0,55	0,12
	Rolado Viejo	15	<b>0,0150</b>	0,0298	0,0077	0,0015	<b>1,10</b>	2,33	0,53	0,12
Total/Promedio		45	<b>0,0154</b>	0,0298	0,0077	0,0007	<b>1,11</b>	2,33	0,53	0,06
Bloque 3	Bosque Nativo	15	<b>0,0232</b>	0,0319	0,0170	0,0010	<b>1,95</b>	3,23	1,43	0,14
	Rolado Re-rolado	15	<b>0,0206</b>	0,0347	0,0096	0,0019	<b>1,65</b>	3,38	0,69	0,22
	Rolado Viejo	15	<b>0,0242</b>	0,0506	0,0104	0,0036	<b>2,02</b>	4,77	0,76	0,35
Total/Promedio		45	<b>0,0227</b>	0,0506	0,0096	0,0014	<b>1,87</b>	4,77	0,69	0,14

Nota: Bloque 1: parcelas 2, 4 y 7; Bloque 2: parcelas 3, 5 y 8; Bloque 3: parcelas 1, 6 y 9

Se observa que los mayores valores promedio de carbono orgánico de suelo los presenta el bloque 3, con un valor promedio de 0,0277 g C/cm<sup>3</sup> suelo y 1,87%. Estos valores del bloque 3 están muy por encima de los valores obtenidos para los otros dos bloques, que entre ellos presentan un valor medio similar (Figura 21). Además los suelos

de este bloque son los que presentan una mayor variabilidad en sus contenidos en C sobretodo en la parcela de rolado viejo. Los valores obtenidos en el bloque 3 presentan un error estándar casi tres veces más alto que los correspondientes al mismo tratamiento en los otros bloques para el % de carbono orgánico. Es importante destacar que se observa una tendencia de valores promedio de carbono orgánico más elevados para el rolado viejo y rolado re-rolado que para el bosque nativo, en los bloques 1 y 2.

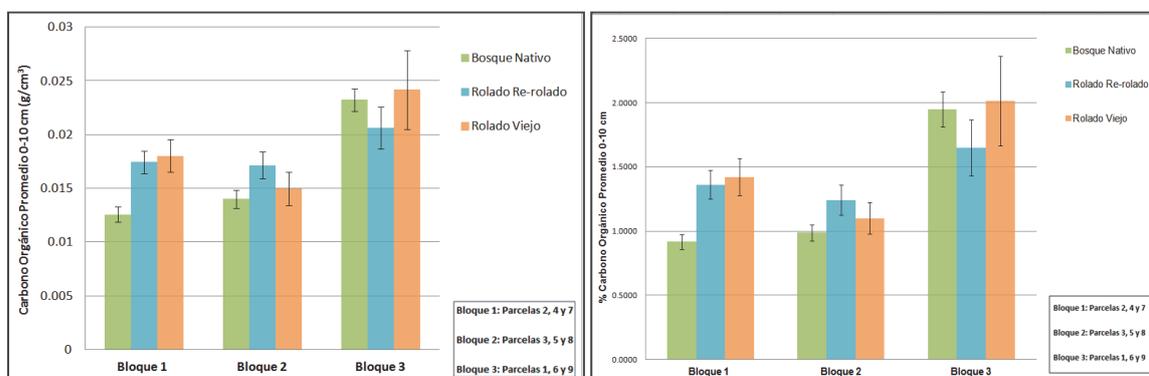


Figura 21

Gráfico de valores de carbono orgánico promedio en función del tipo de tratamiento y por bloques de parcelas. Izq. Carbono orgánico en  $g/cm^3$ . Der. Carbono orgánico en %. Incluye barras de error estándar.

Fuente: elaboración propia.

Se realizaron sendos ANOVA multifactoriales para las variables carbono orgánico en  $g/cm^3$  y carbono orgánico en %. En ambos casos los factores de análisis fueron el bloque, tratamiento y la interacción de ambos. En la Tabla 9 se muestran los p-valores obtenidos en los ANOVA realizados.

Tabla 9

P-valores obtenidos para cada factor y sus interacciones en el ANOVA multifactorial aplicado a la concentración de carbono orgánico en  $g/cm^3$  y en %,  $n=134$ . Fuente: elaboración propia.

Factores del ANOVA	p-valor para carbono orgánico en $g/cm^3$	p-valor para carbono orgánico en %
Bloque	0,0000	0,0000
Tratamiento	0,2016	0,2610
Tratamiento*Bloque	0,1603	0,1909

En la interacción Tratamiento\*Bloque se obtiene un p-valor de 0,1603 para carbono orgánico por unidad de volumen y de 0,1909 para la concentración de carbono en %, lo que indica que no existe significación de la interacción para ninguno de los dos parámetros analizados, es decir que los tres tratamientos se comportan igual en los distintos bloques. Al igual que en el apartado anterior se ha optado por presentar la gráfica correspondiente a la interacción con los intervalos LSD de Fisher al 95 %, pues nos ayuda a entender el comportamiento del C orgánico en 0-10 cm (Figura 22). Como puede verse ambas gráficas son muy similares. El bloque 3 presenta para todos los tratamientos valores significativamente más altos. Además se puede ver como en ninguno de los bloques considerados se muestran diferencias significativas entre los tratamientos.

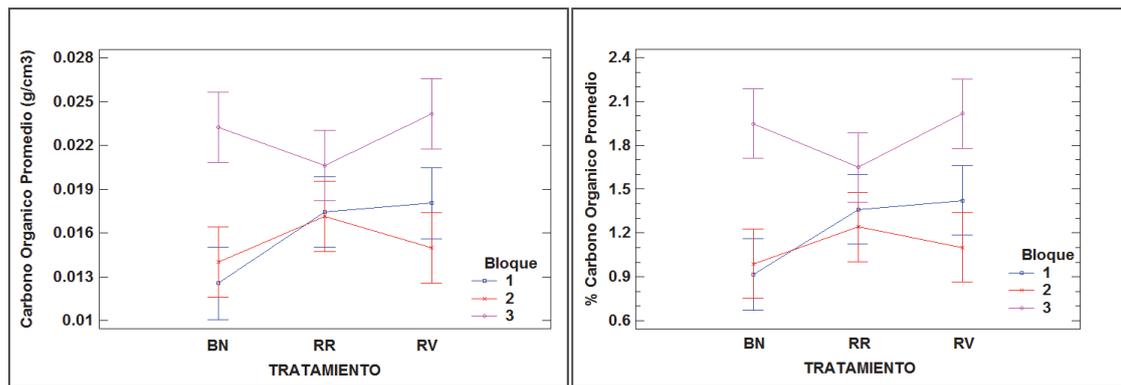


Figura 22

Gráfico de interacción Tratamiento\*Bloque para la variable carbono orgánico en  $\text{g/cm}^3$  (Izq.) y en % (Der.) y sus intervalos LSD de Fisher. Bloque 1: parcelas 2, 4 y 7, Bloque 2: parcelas 3, 5 y 8, Bloque 3: parcelas 1, 6 y 9. Fuente: elaboración propia.

Como la interacción no fue significativa se procedió a analizar cada factor por separado. Para el factor bloque se obtuvo en el ANOVA un  $p\text{-valor}=0,0000$ . Esto indica que existen diferencias estadísticamente significativas del contenido de carbono orgánico entre los diferentes bloques establecidos (Figura 23).

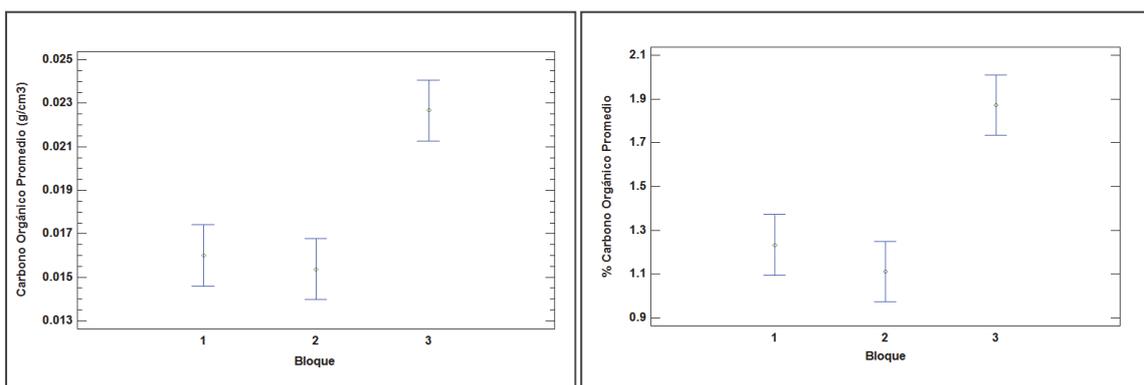


Figura 23

Efecto del factor bloque de los valores de carbono orgánico en  $\text{g/cm}^3$  (Izq.) y %C (Der.) y sus intervalos LSD de Fisher. Bloque 1: parcelas 2, 4 y 7, Bloque 2: parcelas 3, 5 y 8, Bloque 3: parcelas 1, 6 y 9. Fuente: elaboración propia.

La diferencia, de concentración de carbono orgánico, encontrada entre bloques puede venir marcada por una mayor productividad de las parcelas del bloque 3. Para poder saber si esa productividad ciertamente es mayor o no en el bloque 3, se decidió comparar los valores de NDVI histórico de todas las parcelas muestreadas. Se encontró, que las parcelas pertenecientes al bloque 3 presentaron siempre mayores valores de NDVI que las parcelas de los otros dos bloques. Esta comparación se hizo entre los valores de NDVI de las parcelas que presentaron igual tratamiento, y para todos los tratamientos se encuentran valores de NDVI superiores en las parcelas que conforman el bloque 3.

Para el factor tratamiento se obtuvo un p-valor de 0,2016 para el carbono orgánico en g/cm<sup>3</sup> y de 0,2610 para la concentración de carbono orgánico en % (mayores a 0,05) que indican que no existe diferencias estadísticamente significativas en ambas variables entre los diferentes tratamientos. En la siguiente Tabla 10 se muestran los valores medios según tratamiento para ambas variables para la profundidad 0-10 cm.

**Tabla 10**

Valores promedio, número de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable carbono orgánico en g/cm<sup>3</sup> y en % de las muestras de 0-10 cm de profundidad, en función del tratamiento. Fuente: elaboración propia.

Tratamiento	n	Carbono Orgánico (g/cm <sup>3</sup> )	Máximo (g/cm <sup>3</sup> )	Mínimo (g/cm <sup>3</sup> )	Error estándar	Carbono Orgánico (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Error estándar
Bosque Nativo	44	<b>0,0167</b>	0,0319	0,0082	0,0009	<b>1,29</b>	3,23	0,58	0,09
Rolado Re-rolado	45	<b>0,0184</b>	0,0347	0,0081	0,0009	<b>1,42</b>	3,38	0,55	0,09
Rolado Viejo	45	<b>0,0191</b>	0,0506	0,0077	0,0015	<b>1,51</b>	4,77	0,53	0,14
Total/Promedio	134	<b>0,0181</b>	0,0506	0,0077	0,0006	<b>1,41</b>	4,77	0,53	0,06

### 5.2.3. Efecto del tipo de cubierta sobre el carbono orgánico del suelo en 0-10 cm de profundidad

En este apartado se estudia el efecto del tipo de cubierta sobre el carbono orgánico del suelo superficial, teniendo en cuenta las 134 muestras de la profundidad 0-10 cm. En primer lugar se analiza de forma descriptiva cómo se distribuyen los tipos de cubierta en función del tipo de tratamiento. En la Tabla 11 se muestran los porcentajes de tipo de cubierta para cada uno de los tratamientos o usos de los algarrobares (este porcentaje es calculado mediante número de datos de tipo de cubierta tomados en campo).

**Tabla 11**

Número de datos de tipo de cubierta tomados (n) y porcentaje de tipo de cubierta, en función del tratamiento. Fuente: elaboración propia.

Tipo de Cubierta	Tratamiento	n	% Tipo de Cubierta
Arbolado		1	<b>2,2</b>
Arbusto	Rolado Re-rolado	19	<b>42,2</b>
Pastura		25	<b>55,6</b>
Arbolado		16	<b>37,8</b>
Arbusto	Bosque Nativo	16	<b>35,6</b>
Pastura		12	<b>26,7</b>
Arbolado		6	<b>26,7</b>
Arbusto	Rolado Viejo	28	<b>62,2</b>
Pastura		11	<b>24,4</b>

Se observa como el bosque nativo presenta el mayor porcentaje de arbolado con un 37,8%, siendo equilibrado este valor con los porcentajes de arbusto y pastura. Por el

contrario se observa como en el rolado re-rolado el porcentaje de arbolado se reduce drásticamente al 2,2% y aumenta a un 55,6% la pastura. Y por último es importante destacar como el rolado viejo, con una estructura ya definida pasados 12 años, presenta valores elevadísimos de arbusto, un 62,2%. En la Figura 24 se muestra una comparativa entre los porcentajes acumulados de cada tipo de cubierta y para cada tipo de tratamiento.

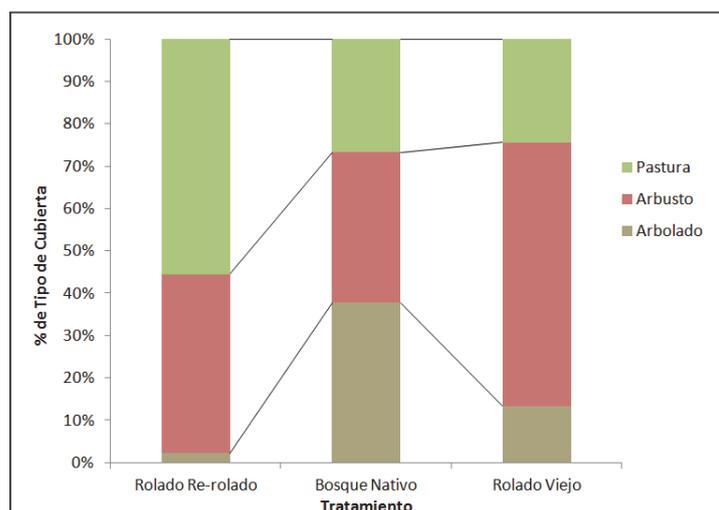


Figura 24

Gráfico de comparación de porcentajes acumulados de tipo de cubierta, entre los tipos de tratamiento. Fuente: elaboración propia.

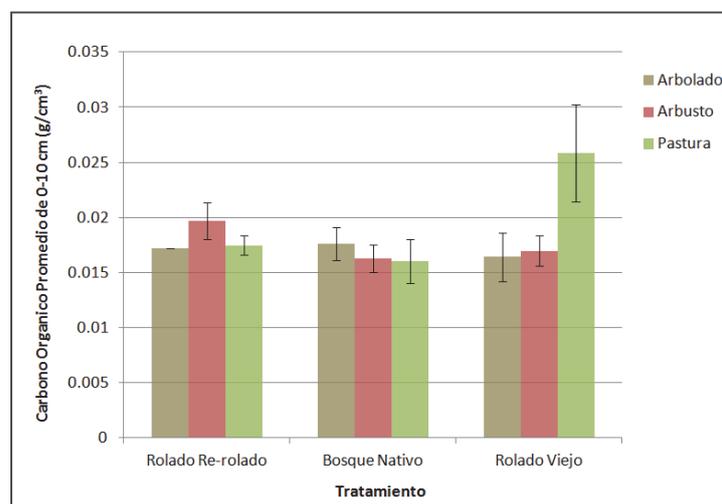
El siguiente paso, en este último supuesto, es realizar un análisis descriptivo de los datos de carbono orgánico ( $\text{g/cm}^3$  y %) en función del tratamiento y del tipo de cubierta. Los análisis de este análisis descriptivo se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Valores promedio, numero de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable carbono orgánico ( $\text{g/cm}^3$  y %) en muestras de 0-10 cm de profundidad, en función del tratamiento y el tipo de cubierta. Fuente: elaboración propia.

Tipo de Cubierta	Tratamiento	n	Carbono Orgánico ( $\text{g/cm}^3$ )	Máximo ( $\text{g/cm}^3$ )	Mínimo ( $\text{g/cm}^3$ )	Error estándar	Carbono Orgánico (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Error estándar
Arbolado	Rolado Re-rolado	1	0,0172	0,0172	0,0172	0,0000	1,12	1,12	1,12	0,00
Arbusto		19	0,0197	0,0347	0,0096	0,0017	1,60	3,38	0,71	0,18
Pastura		25	0,0175	0,0253	0,0081	0,0009	1,30	2,01	0,55	0,08
Total/Promedio		45	0,0184	0,0347	0,0081	0,0009	1,42	3,38	0,55	0,09
Arbolado	Bosque Nativo	16	0,0176	0,0299	0,0090	0,0015	1,40	3,23	0,66	0,16
Arbusto		16	0,0163	0,0247	0,0082	0,0012	1,24	2,31	0,58	0,12
Pastura		12	0,0160	0,0319	0,0083	0,0020	1,21	2,96	0,63	0,19
Total/Promedio		44	0,0167	0,0319	0,0082	0,0009	1,29	3,23	0,58	0,09
Arbolado	Rolado Viejo	6	0,0164	0,0228	0,0078	0,0022	1,26	1,91	0,57	0,20
Arbusto		28	0,0170	0,0403	0,0077	0,0014	1,31	3,43	0,53	0,13
Pastura		11	0,0258	0,0506	0,0104	0,0044	2,18	4,77	0,83	0,43
Total/Promedio		45	0,0191	0,0506	0,0077	0,0015	1,51	4,77	0,53	0,14

Del análisis descriptivo se desprende una tendencia de mayor valor promedio de carbono orgánico en el tratamiento de rolado viejo ( $0,0191 \text{ g/cm}^3$  o  $1,51 \%$ ) pero este mayor valor viene marcado por el elevado valor que presenta la pastura en el caso de las parcelas de rolado viejo. En el caso de los rolados re-rolados se observa como los mayores valores de carbono orgánico lo aportan las superficies cubiertas por arbustos. En la Figura 25 se muestran los datos de forma grafica.



**Figura 25**

Gráfico de valores de carbono orgánico promedio ( $\text{g/cm}^3$ ) en función del tipo de tratamiento y el tipo de cubierta. Incluye barras de error estándar. Fuente: elaboración propia.

Para comprobar si existen diferencias significativas de contenido de carbono orgánico entre los diferentes tratamientos y para los diferentes tipos de cubierta, se realizan sendos ANOVA multifactoriales, uno para el carbono orgánico en  $\text{g/cm}^3$  y el otro para el contenido de carbono orgánico en % correspondientes a la profundidad de 0-10 cm. En los dos ANOVA los factores de análisis son el tipo de cubierta y el tratamiento, así como la interacción entre ellos dos. En la Tabla 13 se muestran los p-valores de los ANOVA realizados.

**Tabla 13**

P-valores obtenidos para cada factor y sus interacciones en el ANOVA multifactorial aplicado a la concentración de carbono orgánico en  $\text{g/cm}^3$  y en %, para muestras de profundidad 0-10 cm. n=134. Fuente: elaboración propia.

Factores del ANOVA	p-valor para carbono orgánico en $\text{g/cm}^3$	p-valor para carbono orgánico en %
Tipo de cubierta	0,3080	0,3527
Tratamiento	0,1970	0,2115
Tratamiento*Tipo de cubierta	<b>0,0156</b>	<b>0,0071</b>

Como resultado se obtienen p-valores superiores a 0,05 para los dos factores individuales analizados, por el contrario el p-valor de la interacción de los dos factores analizados da 0,0156 para carbono orgánico en  $\text{g/cm}^3$  y 0,0071 para la concentración de carbono orgánico en %, por tanto si existe significación para la interacción de los dos

factores juntos. Esto significa que dependiendo del tipo de cubierta el factor tratamiento tuvo un comportamiento distinto. Para analizar las posibles diferencias causadas por la interacción de los dos factores, se realizó el test LSD de Fisher, cuyos resultados se muestran en la Figura 26.

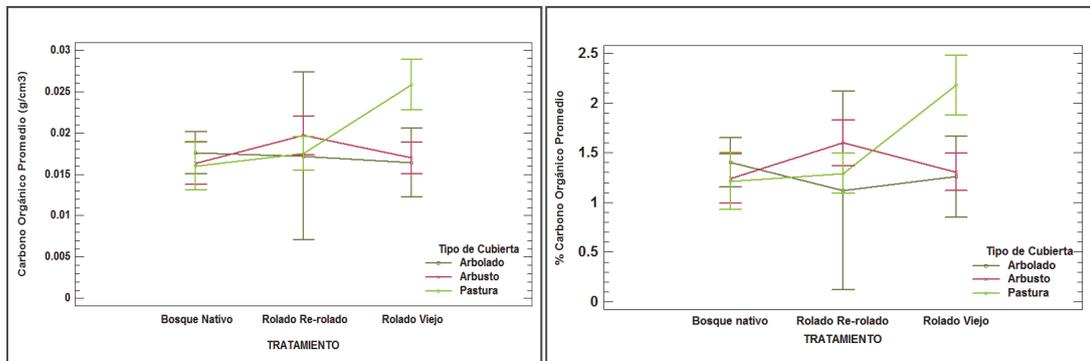


Figura 26

Gráfico de interacciones de los valores de carbono orgánico promedio en  $\text{g/cm}^3$  (Arriba) y en % (Abajo), junto con sus intervalos LSD de Fisher, para cada tratamiento y en función del tipo de cubierta. Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver en la Figura 26 para la concentración de carbono orgánico en el suelo superficial (0-10 cm) tanto referida a volumen de suelo como en % no se observan diferencias significativas entre los distintos tipos de cubierta dentro del bosque nativo ni tampoco dentro del rolado re-rolado, sin embargo en el rolado viejo se observa que el suelo bajo pastura presenta concentraciones significativamente más altas que bajo los otros tipos de vegetación considerados. Esto parece indicar por tanto, que el tipo de pastos presentes en el rolado viejo favorecen la acumulación de carbono orgánico en el suelo, mientras que los pastos del bosque nativo y en el rolado re-rolado dan lugar a valores de carbono orgánico en superficie significativamente más bajos. Los valores más altos de carbono orgánico en la pastura pasados 12 años desde que se llevo a cabo el rolado, puede que no vengan marcados por el % de superficie cubierta con pastura, si no por la calidad de la pastura y la materia seca que genera. Así lo confirma un estudio de Nai Bregaglio *et al.* (2001). En ese estudio se afirma que, pasados 10 años de la aplicación de un rolado en un algarrobar del chaco árido de la provincia de Córdoba (Argentina), la pastura pasa de una media de 1000 kg de materia seca por hectárea en bosque nativo a valores medios de 3523 kg de materia seca por hectárea en las zonas roladas.

#### 5.2.4. Efecto del tratamiento en el contenido de carbono orgánico en Mg/ha, en los 40 cm superiores de suelo

Una vez analizado el efecto del tratamiento sobre el contenido de carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades, se decide completar el análisis mediante el cálculo del contenido total de carbono orgánico en megagramos por hectárea (Mg/ha), para los 40 cm de profundidad muestreados. Los datos utilizados en este análisis se muestran en la Tabla 14. Los valores medios de carbono orgánico obtenidos en Mg/ha, son muy similares a los valores promedios obtenidos por Apezteguía & Sereno (2011), para masas del bosque chaqueño en la región semiárida central de la provincia de Córdoba (Argentina). Estos autores obtienen valores promedio de 45,0 Mg/ha de carbono orgánico en los primeros 40 cm de suelo.

**Tabla 14**

Valores de carbono orgánico en Mg/ha para cada muestra agrupada en función de cada parcela y profundidad, además el sumatorio de carbono orgánico en Mg/ha para los 40 centímetros de profundidad de cada parcela y el promedio de estos sumatorios junto con su error estándar. Fuente: elaboración propia.

Parcela	Tratamiento	Profundidad	Carbono Orgánico (Mg/ha)	$\Sigma$ Carbono Orgánico (Mg/ha)	Promedio del Tratamiento Carbono Orgánico (Mg/ha)	Error Estándar
1	Rolado Viejo	0-10	22,98	52,47	42,21	5,72
		10-20	12,79			
		20-40	16,69			
2	Rolado Viejo	0-10	17,92	36,12		
		10-20	7,53			
		20-40	10,66			
3	Rolado Viejo	0-10	14,03	38,03		
		10-20	9,89			
		20-40	14,11			
4	Bosque Nativo	0-10	14,14	31,64		
		10-20	6,12			
		20-40	11,37			
5	Bosque Nativo	0-10	10,63	31,77	37,42	2,99
		10-20	7,89			
		20-40	13,26			
6	Bosque Nativo	0-10	21,92	48,85		
		10-20	9,63			
		20-40	17,29			
7	Rolado Re-rolado	0-10	14,33	35,53		
		10-20	8,25			
		20-40	12,95			
8	Rolado Re-rolado	0-10	15,03	33,04	37,18	5,16
		10-20	6,726			
		20-40	11,28			
9	Rolado Re-rolado	0-10	18,83	42,99		
		10-20	8,52			
		20-40	15,63			

Con los valores del sumatorio de carbono orgánico en Mg/ha de la Tabla 11 (pertenecientes al contenido de carbono orgánico de los primeros 40 centímetros de suelo) se realiza un ANOVA simple en el que la variable dependiente es el contenido de carbono de los primeros 40 cm de suelo en Mg/ha y el factor de análisis es el tratamiento. Se obtiene un p-valor de 0,7162, por tanto no existe una diferencia de contenido de

carbono orgánico en Mg/ha entre los diferentes tratamientos. En la Figura 27 se muestran los valores promedio de carbono orgánico en 40 cm de profundidad en Mg/ha y sus intervalos LSD de Fisher, que confirman la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas. Si se puede observar cierta tendencia de mayor contenido de carbono orgánico en los 40 primeros centímetros del tratamiento de rolado viejo.

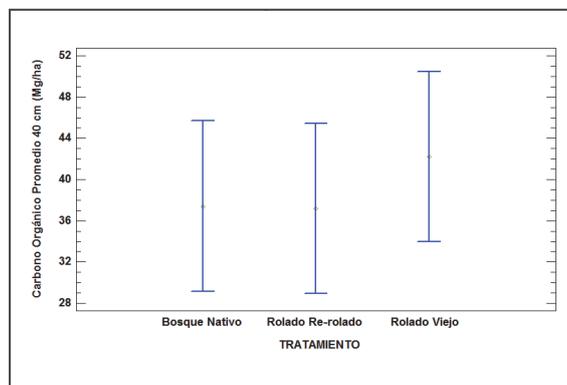


Figura 27

Gráfico de valores promedio de carbono orgánico en 40 cm de profundidad en Mg/ha y sus intervalos LSD de Fisher, en función de los diferentes tratamientos.

Fuente: elaboración propia.

### 5.3. Análisis del nitrógeno total del suelo

El nitrógeno es uno de los macronutrientes del suelo que se ve más influenciado por la vegetación, por la composición de ésta y por la cantidad de restos vegetales que se incorporen al suelo. En el ecosistema edáfico puede ser un elemento limitante y está muy relacionado con la proliferación de los microorganismos y sus tasas de actividad. La mayor parte de este elemento en el suelo se encuentra en formas orgánicas. La importancia de este macronutriente hace necesario su análisis en los suelos que no han sufrido cambios de uso y compararlo con contenidos de nitrógeno total de suelos que si han sufrido cambio de uso, para conocer si existen variaciones significativas en el contenido de nitrógeno total.

#### 5.3.1. Efecto de la profundidad de las muestras y el tipo de tratamiento sobre el nitrógeno total del suelo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ y %)

Igual que en el caso del carbono orgánico, se procede a analizar en primer lugar el efecto de la profundidad de las muestras y el tipo de tratamiento sobre el carbono orgánico del suelo, teniendo en cuenta las 27 muestras agrupadas.

Los datos obtenidos para el nitrógeno total son analizados de forma descriptiva, como se muestra en la Tabla 15. En esa tabla se puede observar que los valores promedio de nitrógeno total abarcan valores desde  $0,0020 \text{ g}/\text{cm}^3$  (0,15%) en el caso de rolado viejo de 0-10 cm de profundidad, hasta  $0,0009 \text{ g}/\text{cm}^3$  (0,07%) en el caso del rolado viejo y el bosque nativo de 20-40 cm de profundidad. Estos valores de nitrógeno total obtenidos en la zona de estudio, resultan similares a los mostrados por Karlin (1983),

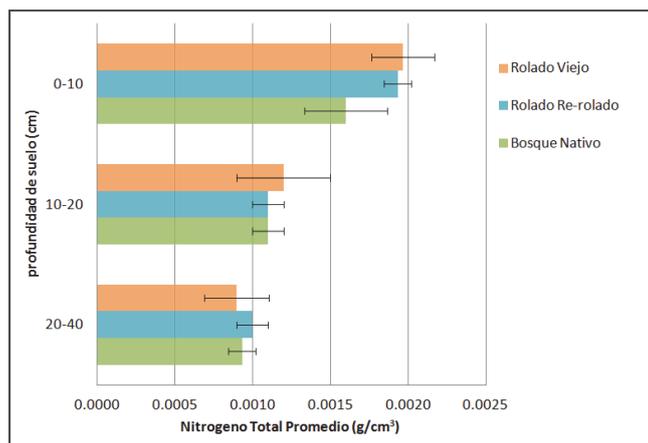
quien para algarrobar en chaco seco argentino obtuvo valores de 0,05 a 0,06 % en 20-40 cm de profundidad y valores de 0,08 a 0,23 % en 2-10 cm de profundidad.

**Tabla 15**

Valores promedio, número de valores (n), máximo, mínimo y error estándar para la variable nitrógeno total (g/cm<sup>3</sup> y %) en las 27 muestras agrupadas, en función del tratamiento y tipo de muestra (profundidad). Fuente: elaboración propia.

Tipo muestra (cm)	Tratamiento	n	Nitrógeno Total (g/cm <sup>3</sup> )	Máximo (g/cm <sup>3</sup> )	Mínimo (g/cm <sup>3</sup> )	Error estándar	Nitrógeno Total (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Error estándar
0-10	Bosque Nativo	3	<b>0,0016</b>	0,0020	0,0011	0,0003	<b>0,12</b>	0,16	0,08	0,02
	Rolado Re-rolado	3	<b>0,0019</b>	0,0021	0,0018	0,0001	<b>0,14</b>	0,16	0,13	0,01
	Rolado Viejo	3	<b>0,0020</b>	0,0023	0,0016	0,0002	<b>0,15</b>	0,19	0,11	0,02
Total/Promedio		9	<b>0,0018</b>	0,0023	0,0011	0,0001	<b>0,14</b>	0,19	0,08	0,01
10-20	Bosque Nativo	3	<b>0,0011</b>	0,0012	0,0009	0,0001	<b>0,08</b>	0,09	0,06	0,01
	Rolado Re-rolado	3	<b>0,0011</b>	0,0012	0,0009	0,0001	<b>0,08</b>	0,09	0,07	0,01
	Rolado Viejo	3	<b>0,0012</b>	0,0015	0,0006	0,0003	<b>0,09</b>	0,12	0,05	0,02
Total/Promedio		9	<b>0,0011</b>	0,0015	0,0006	0,0001	<b>0,08</b>	0,12	0,05	0,01
20-40	Bosque Nativo	3	<b>0,0009</b>	0,0011	0,0008	0,0001	<b>0,07</b>	0,08	0,06	0,01
	Rolado Re-rolado	3	<b>0,0010</b>	0,0012	0,0009	0,0001	<b>0,07</b>	0,09	0,07	0,01
	Rolado Viejo	3	<b>0,0009</b>	0,0013	0,0006	0,0002	<b>0,07</b>	0,10	0,05	0,01
Total/Promedio		9	<b>0,0009</b>	0,0013	0,0006	0,0001	<b>0,07</b>	0,10	0,05	0,01

En la Figura 28, se representan los promedios de nitrógeno total (g/cm<sup>3</sup>) para cada uno de los tratamientos y en función de cada profundidad. En éste gráfico se puede observar como los mayores valores de nitrógeno total se encuentran en las muestras de 0-10 cm de profundidad, por el contrario se encuentran los menores valores en las muestras de 20-40 cm de profundidad, manteniéndose este patrón de contenido de nitrógeno total para los tres tipos de tratamiento. Si se comparan los valores entre los diferentes tratamientos, se observa una tendencia de mayores contenidos de nitrógeno total en el rolado viejo para los estratos más superficiales, no siendo así en la profundidad 20-40 donde el mayor contenido de nitrógeno total lo tiene el rolado re-rolado. El contenido de nitrógeno total para el bosque nativo en los 10 primeros centímetros es inferior a los otros dos tratamientos. En cualquier caso, se observa cierta estabilización de contenido de nitrógeno total en las muestras más profundas.



**Figura 28**

Gráfico de valores de nitrógeno total promedio ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), en función de la profundidad y el tratamiento. Incluye barras de error estándar. Fuente: elaboración propia.

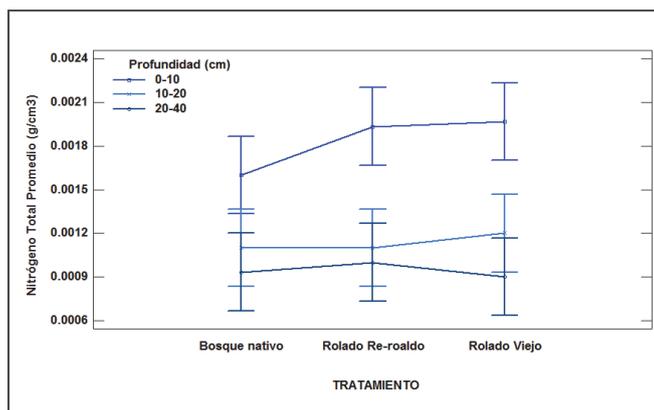
Para comprobar si la tendencia observada es estadísticamente significativa, se realiza un ANOVA multifactorial del nitrógeno total en función de los factores tratamiento, profundidad y su interacción tratamiento\*profundidad. Los p-valores obtenidos se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16**

P-valores obtenidos para cada factor y su interacción en el ANOVA multifactorial aplicado a la concentración de carbono orgánico en  $\text{g}/\text{cm}^3$  y en %.  $n=27$ . Fuente: elaboración propia.

Factores del ANOVA	p-valor para nitrógeno total en $\text{g}/\text{cm}^3$	p-valor para nitrógeno total en %
Profundidad	<b>0,0000</b>	<b>0,0001</b>
Tratamiento	0,5586	0,5634
Tratamiento*Profundidad	0,7857	0,8624

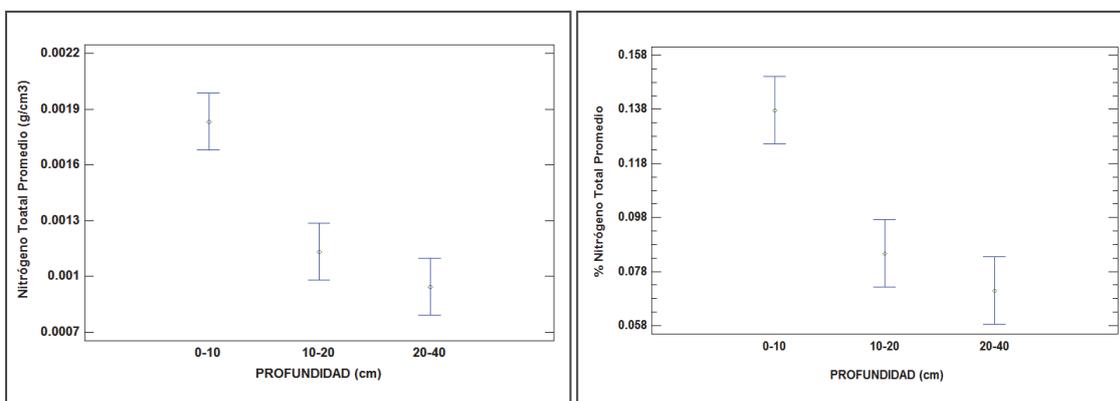
Para la interacción tratamiento\*profundidad, el ANOVA muestra que no hay significación ya que se obtiene p-valores superiores a 0,05. Por tanto el efecto del tratamiento no es significativamente distinto según la profundidad que se considere. A pesar de que la interacción no es significativa en la Figura 29 se muestra la grafica de interacción con los valores medios y los intervalos LSD de Fisher al 95%. En esta figura se observa que el nitrógeno total respecto a la profundidad es similar para los tratamientos de rolado viejo y rolado re-rolado, siendo la profundidad 0-10 cm la que presenta valores significativamente mayores que el resto. Este comportamiento no se presenta en el bosque nativo, ya que en este caso no hay diferencias de nitrógeno total entre las diferentes profundidades.



**Figura 29**

Gráfico de iteración tratamiento\*profundidad de los valores de nitrógeno total promedio ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) y sus intervalos LSD de Fisher. Fuente: elaboración propia.

La falta de significación en la interacción doble hace necesario el análisis de cada factor por separado. El ANOVA arroja p-valores de 0,5586 para la variable en  $\text{g}/\text{cm}^3$  y 0,5634 para la variable en % respecto al factor tratamiento, que indica que la diferencia de contenido de nitrógeno total observada no es estadísticamente significativa. Por tanto entre los diferentes tratamientos no existen diferencias significativas en el contenido de nitrógeno total. En cuanto al factor profundidad, en el ANOVA arroja un p-valores de 0,000 para la variable en  $\text{g}/\text{cm}^3$  y 0,0001 para la variable en %, que indica que la diferencia de nitrógeno total en función de las diferentes profundidades, como sucede para el carbono orgánico, si es significativa. En la Figura 30 se puede observar, que para el contenido de nitrógeno total en  $\text{g}/\text{cm}^3$  y en % que la profundidad 0-10 cm presenta valores significativamente más altos que las otras dos profundidades muestreadas.



**Figura 30**

Efecto de la profundidad de los valores de nitrógeno total promedio en  $\text{g}/\text{cm}^3$  (Izq.) % (Der.) y sus intervalos LSD de Fisher. Fuente: elaboración propia.

La diferencia de contenido de nitrógeno total (en  $\text{g N}/\text{cm}^3$  suelo) encontrada en los 10 primeros centímetros de suelo respecto a las otras puede venir marcada, igual que sucede para el carbono orgánico, por el hecho de que esta parte superficial de suelo recibe un aporte directo de materia orgánica.

Observando los resultados y estableciendo una comparación del análisis del contenido de nitrógeno total respecto al análisis del contenido de carbono orgánico del suelo, realizado en el apartado anterior, queda patente que existe un paralelismo en la distribución del contenido del carbono orgánico y el nitrógeno total.

### 5.3.2. Efecto del tratamiento en el contenido de nitrógeno total en Mg/ha, en los 40 cm superiores de suelo

Una vez analizado el efecto del tratamiento sobre el contenido de nitrógeno total del suelo a diferentes profundidades, de forma paralela a como se analiza en el carbono orgánico, se decide completar el análisis mediante el cálculo del contenido total de nitrógeno total en megagramos por hectárea (Mg/ha), para los 40 cm de profundidad muestreados. Los datos utilizados en este análisis se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17**

Valores de nitrógeno total en Mg/ha para cada muestra agrupada en función de cada parcela y profundidad, además el sumatorio de carbono orgánico en Mg/ha para los 40 centímetros de profundidad de cada parcela y el promedio de estos sumatorios junto con su error estándar. Fuente: elaboración propia.

Parcela	Tratamiento	Profundidad	Nitrógeno Total (Mg/ha)	$\Sigma$ Nitrógeno Total (Mg/ha)	Promedio del Tratamiento Nitrógeno Total (Mg/ha)	Error Estándar
1	Rolado Viejo	0-10	2,29	5,37	4,60	0,52
		10-20	1,49			
		20-40	1,60			
2	Rolado Viejo	0-10	2,01	3,85		
		10-20	0,60			
		20-40	1,24			
3	Rolado Viejo	0-10	1,56	5,72		
		10-20	1,51			
		20-40	2,65			
4	Bosque Nativo	0-10	1,75	5,17		
		10-20	1,23			
		20-40	2,20			
5	Bosque Nativo	0-10	1,12	3,57	5,09	0,23
		10-20	0,88			
		20-40	1,57			
6	Bosque Nativo	0-10	2,04	5,07		
		10-20	1,22			
		20-40	1,80			
7	Rolado Re-rolado	0-10	1,85	4,65		
		10-20	0,94			
		20-40	1,85			
8	Rolado Re-rolado	0-10	1,84	5,41	4,98	0,57
		10-20	1,17			
		20-40	2,40			
9	Rolado Re-rolado	0-10	2,10	5,21		
		10-20	1,24			
		20-40	1,87			

Con los valores del sumatorio de nitrógeno total en Mg/ha de la Tabla 17 (pertenecientes al contenido de nitrógeno total de los primeros 40 centímetros de suelo) se realiza un ANOVA simple en el que la variable dependiente es el contenido de

nitrógeno total de los primeros 40 cm de suelo en Mg/ha y el factor de análisis es el tratamiento. Se obtiene un p-valor de 0,6449, por tanto no existe una diferencia de contenido de nitrógeno total en Mg/ha entre los diferentes tratamientos. En la Figura 30 se muestran los valores promedio de nitrógeno total en 40 cm de profundidad en Mg/ha y sus intervalos LSD de Fisher, que confirman la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas. Si se puede observar cierta tendencia de mayor contenido de nitrógeno total carbono en los 40 primeros centímetros en el rolado viejo y en el rolado re-rolado.

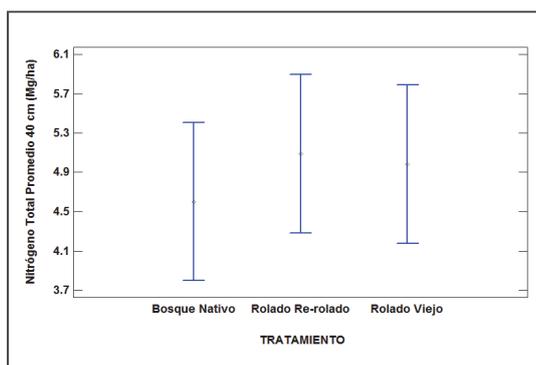


Figura 31

Gráfico de valores promedio de nitrógeno total en 40 cm de profundidad en Mg/ha y sus intervalos LSD de Fisher, en función de los diferentes tratamientos. Fuente: elaboración propia.

#### 5.4. Análisis de la relación carbono/nitrógeno del suelo

La relación C/N determina el grado de mineralización de la materia orgánica que existe en el suelo. Cuanto menor sea el valor de la relación mayor será el grado de mineralización de la materia orgánica. Ésta estrecha relación que existe entre carbono y nitrógeno de los suelos suele tender hacia un equilibrio natural caracterizado por el valor 10 (Demolon, 1994). Otros autores como Guerrero (1996) indican que, cuando la relación carbono/nitrógeno es menor que 10 la materia orgánica se mineraliza rápidamente; para valores de entre 20 y 30 hay una situación de equilibrio entre humificación y mineralización y para valores mayores de 50 la mineralización es muy lenta y la humificación incompleta. Por tanto el valor de la relación C/N en un suelo es un índice válido para la caracterización de su materia orgánica.

En el estudio se han obtenido los datos de carbono orgánico y nitrógeno total, que sirven para calcular la relación C/N que existe en las 27 muestras agrupadas para diferentes tratamientos y diferentes profundidades. Una vez calculada esta relación (Ver datos relación C/N en Anexo 3) se procede a analizar el efecto de la profundidad y tipo de tratamiento sobre la relación carbono/nitrógeno, teniendo en cuenta las 27 muestras agrupadas.

Se realiza en primer lugar un análisis descriptivo de los datos obtenidos para la relación C/N. Los datos de este análisis descriptivo se muestran en la Tabla 18. Como se puede observar los valores promedios de la relación C/N van desde 9,45 para la

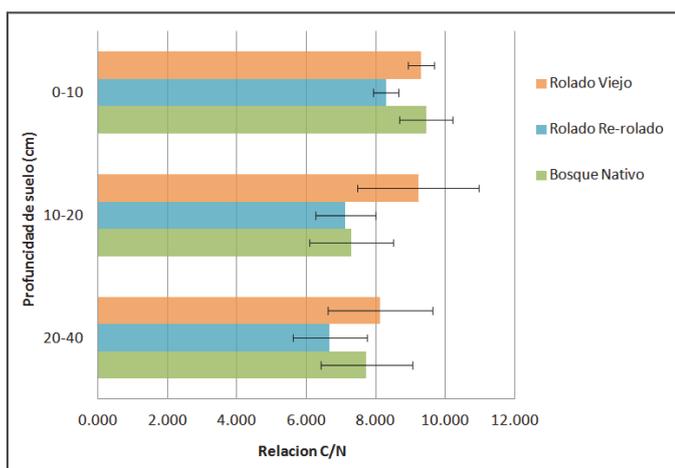
profundidad 0-10 cm del bosque nativo, hasta los 6,68 para la profundidad 20-40 del rolado re-rolado. Hay que estacar que las relaciones más cercanas a 10 se dan en la profundidad 0-10 cm para los tres tipos de tratamiento.

**Tabla 18**

Valores promedio, numero de valores (n), desviación estándar, máximo, mínimo y error estándar para la variable relación C/N en las 27 muestras agrupadas, en función del tratamiento y tipo de muestra (profundidad). Fuente: elaboración propia.

Tipo muestra (cm)	Tratamiento	n	C/N	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Error estándar
0-10	Bosque Nativo	3	<b>9,45</b>	1,33	10,74	8,09	0,77
	Rolado Re-rolado	3	<b>8,30</b>	0,63	8,98	7,74	0,36
	Rolado Viejo	3	<b>9,31</b>	0,64	10,04	8,91	0,37
Total/Promedio		9	<b>9,02</b>	0,97	10,74	7,74	0,32
10-20	Bosque Nativo	3	<b>7,30</b>	2,08	9,01	4,98	1,20
	Rolado Re-rolado	3	<b>7,13</b>	1,52	8,75	5,75	0,88
	Rolado Viejo	3	<b>9,22</b>	3,01	12,50	6,57	1,74
Total/Promedio		9	<b>7,88</b>	2,22	12,50	4,98	0,74
20-40	Bosque Nativo	3	<b>7,73</b>	2,29	9,59	5,18	1,32
	Rolado Re-rolado	3	<b>6,68</b>	1,85	8,35	4,69	1,07
	Rolado Viejo	3	<b>8,13</b>	2,61	10,46	5,32	1,50
Total/Promedio		9	<b>7,51</b>	2,07	10,46	4,69	0,69

Si se analizan los datos de forma gráfica en la Figura 32, se puede observar como la relación promedio de C/N en la profundidad 0-10 cm de las parcelas con tratamiento rolado viejo prácticamente iguala en valor a las parcelas de bosque nativo y en las profundidades 10-20 y 20-40 cm el valor promedio del rolado viejo supera al bosque nativo. Los valores más bajos para la relación C/N se observan para todas las profundidades en el rolado-rolado.



**Figura 32**

Gráfico de valores de relación C/N promedio para cada profundidad de muestra y en función del tipo de tratamiento. Incluye barras de error estándar. Fuente: elaboración propia.

Estas diferencias observadas de forma gráfica hay que comprobar si estadísticamente son significativas. Esta comprobación se lleva a cabo mediante un ANOVA multifactorial que analiza la variable dependiente relación C/N en función de los factores tratamiento, profundidad y la interacción de ambos. En la Tabla 19 se muestran los p-valores arrojados por dicho ANOVA.

**Tabla 19**

P-valores obtenidos para cada factor y su interacción en el ANOVA multifactorial aplicado a la variable relación C/N. n=27. Fuente: elaboración propia.

<b>Factores del ANOVA</b>	<b>p-valor para relación C/N</b>
Profundidad	0,2535
Tratamiento	0,2758
Tratamiento*Profundidad	0,9162

Se obtiene que el p-valor para la interacción tratamiento\*profundidad es de 0,9162, por tanto no significativo. Y los factores de forma individual, arrojan también p-valores de 0,2535 para el factor profundidad y 0,2758 para el factor tratamiento, que indican que no existen diferencias estadísticamente significativas en la relación C/N para ninguno de ellos. Por tanto se puede afirmar que la aplicación del tratamiento de desmonte selectivo no afecta de forma significativa a la relación C/N de los primeros 40 cm de suelo.



## *6. CONCLUSIONES*



## 6. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos y discutidos los mismos, se debe rechazar la hipótesis previa planteada en el estudio, ya que no se ha podido demostrar que la gestión del algarrobar en el chaco árido argentino, mediante la técnica de desmonte selectivo o rolado, provoque variaciones estadísticamente significativas en el carbono orgánico y el nitrógeno total de los primeros 40 cm de suelo. Además tampoco se puede afirmar que los valores de carbono orgánico y nitrógeno total se reduzcan significativamente en las masas de algarrobo roladas hace 12 años y roladas re-roladas, respecto a los valores presentes en las masas de bosque nativo de algarrobo.

A pesar del rechazo de la hipótesis planteada al inicio del estudio, los resultados obtenidos arrojan varias conclusiones que se detallan a continuación:

- La densidad aparente del suelo obtenida en los algarrobales nativos como en las masas a las que se le ha aplicado el desmonte selectivo presentan valores promedios semejantes a otros estudios realizados en la zona. Además se han encontrado diferencias significativas de densidad aparente según tratamiento y profundidad entre los diferentes bloques considerados.
- No existe una variación significativa del contenido de carbono orgánico del suelo entre los diferentes tratamientos o usos de las masas algarrobar de la zona, para ninguna de las profundidades estudiadas. Pero si se puede afirmar que existe una tendencia que indica mayor contenido de carbono orgánico, de los 20 primeros centímetros de suelo, en las zonas donde se aplicó un desmonte selectivo o rolado hace 12 años respecto a las zonas de bosque nativo.
- Pasados 12 años de un desmonte selectivo o rolado de un algarrobar, se produce un aumento de la superficie cubierta por arbustos en detrimento de la superficie cubierta por arbolado y pastura. Este cambio, en la estructura vegetal de los algarrobales, no produce una variación significativa del promedio de carbono orgánico en los 10 primeros centímetros de suelo. Si se puede afirmar que existen concentraciones más elevadas de carbono orgánico bajo la pastura de las zonas de rolado viejo, que implican una tendencia al aumento del carbono orgánico en las zonas de rolado viejo respecto al bosque nativo.
- Respecto al contenido de nitrógeno total del suelo no se puede afirmar que existan diferencias significativas entre los diferentes tratamientos o usos de las masas algarrobar de la zona, para ninguna de las profundidades estudiadas. Pero si se puede afirmar que existe una tendencia que indica mayor contenido de nitrógeno total, de los 20 primeros centímetros de suelo, en las zonas donde se aplicó un desmonte selectivo o rolado hace 12 años respecto a las zonas de bosque nativo.
- Se puede afirmar que no existen diferencias significativas en la relación C/N del suelo superficial para los diferentes tratamientos o usos de las masas de algarrobar de la zona.





## *BIBLIOGRAFÍA*



## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M.; Quednow, K.; Etchevers, J. y Monreal, C. (2002). Un método para la medición de carbono almacenado con vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. *Iufro World Series Vol. 13*. Viena.
- Aguilera, M. O. (2003). Uso ganadero de los pastizales naturales de San Luis. in M. O. Aguilera and J. L. Panigatti, editors. *Con las metas claras*. INTA, San Luis.
- Aguilera, M. O.; Steinaker, D. F. and Demaria, M. R. (2003). Runoff and soil loss in undisturbed and roller-seeded shrublands on semiarid Argentina. *Journal of Range Management*, 56: pp. 227-233.
- Anriquez, A.; Albanesi, A.; Kunst, C.; Ledesma, R.; Lopez, C.; Rodriguez Torresi, A. y Godoy, J. (2005). Rolado de fachinales y calidad de suelos en el Chaco Occidental, Argentina *Ciencia del suelo*, 23: pp. 145-157.
- Apezteguía, H. P. y Sereno, R. (2011). Pérdida y recuperación de la materia orgánica edáfica en Córdoba (R. Argentina). Artículo incluido en: *Materia Orgánica edáfica y captura de carbono en sistemas iberoamericanos*, Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca.
- Archer, S. (1995). Tree-grass dynamics in a *Prosopis* - thornscrub savanna parkland: reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience*, 2: pp. 83-99.
- Atlas de Bosques Nativos Argentinos. (2003). Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas BIRF 4085-AR, Dirección de Bosques, Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires.
- Bauhus, J. and Barthel, R. (1995). Mechanisms for carbon and nutrients release and retention in beech forest gaps II. The role of soil microbial biomass. *Plant Soil*: pp. 168-169 and 585-592.
- Birdsey, R. A.; Platinga, A. J. and Heath, L. S. (1993). Past and prospective carbon storage in United States forests. *Forest Ecology and Management*, 58: pp. 33-40.
- Blair, J. M.; Parmalee, R. W. and Beare, M. H (1990). Decay rates, nitrogen fluxes, and decompose communities of single and mixed-species foliar litter. *Ecology*, 71: pp.1976-1985.
- Blanco, L. J.; Ferrando, C. A.; Biurrun, F. N.; Oriente, E. L.; Namur, P.; Recalde, D. J. and Bernone, G. D. (2005). Vegetation response to roller chopping and Buffelgrass seeding in Argentina. *Rangeland Ecology and Management*, 58: pp. 219- 224.
- Bonini, L. O.; Bucich, N. O.; Fernández, A. E. y Herrero Duclox, J. J. (2000). Evaluación de agua subterránea para riego en la Estancia San Bernardo, Departamento Capital, Provincia de San Luis, Argentina. XI Congreso Brasileiro de Águas Subterráneas (2000): pp. 2-4
- Bowman, A. F (1990). Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: Bouwman, A.F (ed). *Soils and the green house effect*. Wiley, Chischester: pp. 61-127.

- Brown, S. (1997). Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. XI Congreso Forestal Mundial. Antalya 13-22 de Octubre 1997. Turquía.
- Bureau of Rural Sciences y SEGEMAR. (1999). Mapa de Suelos de la provincia de San Luis. En: Los recursos Hidrológicos Subterráneos de La Provincia de San Luis - Un Proyecto de Cooperación Técnica Argentino - Australiano.
- Cabido, M.; Gonzales, C.; Acosta, A. and Díaz, S. (1993). Vegetation changes along a precipitation gradient in Central Argentina. *Vegetatio*, 109: pp. 5-14.
- Cardona, G. (2006). Problemas ambientales y socioeconómicos asociados a las actuales formas de uso de la tierra en un área de la Región Chaqueña (Argentina). *Ecosistemas*, 15: pp. 1-13.
- Chapin, F. S.; Zavaleta, E. S.; Eviner, V.; Naylor, R.; Vitousek, P.; Reynolds, H.; Hooper, D.; Lavorel, S.; Sala, O. E.; Hobbie, S.; Mack, M. and Diaz, S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405: pp. 234-242.
- Cobertera, E. (1993). Edafología aplicada. Ediciones Cátedra. Madrid.
- Cortina, J. and Vallejo, V. R. (1994). Effects of clearfelling on forest floor accumulation and litter decomposition in a radiate pine plantation. *For. Ecol. Manage.*, 70: pp. 299-310.
- Criado Roque, P.; Mombrú, C. A. y Moreno, S. (1981). Sedimentitas Mesozoicas. Geología de la Provincia de San Luis. VIII Congreso Geológico Argentino. Pp. 79-96.
- Demolon, A. (1994). La dynamique du Sol. Dunod. Paris.
- Dyson, F. J. (1977). Can we control the carbon dioxide in the atmosphere?. *Energy*, 2: pp. 287-291.
- Edwards, N. T. and Ross-Told, M. B. (1983). Soil carbon dynamics in a mixed deciduous forest following clear-cutting with and without residue removal. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: pp. 1014-1021
- Enciclopedia Libre Universal. (2000). Ciclo del Carbono. Madrid.
- FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma.
- Fernandez, R. y Maseda, P. (2006). Ecofisiología de Arbustivas: reconocimiento de síndromes para un mejor diagnostico de la situación de arbustización. Páginas 47-55 en Jornadas de actualización técnica "Control y Manejo del renoval". INTACREA, Santiago del Estero, Argentina.
- Foley, J. A.; Heil Costa, M.; Delire, C.; Ramancutty, N. and Snyder, P. (2003). Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1: pp. 38-44.

- Ganuja, A. (2002). Caracterización de la materia orgánica del suelo en ecosistemas representativos del País Vasco y su relación con factores edáficos, climáticos y antrópicos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad del País Vasco.
- Gallardo, A. and Merino, J. (1993). Leaf decomposition in two Mediterranean ecosystems of Southwest Spain: Influence of substrate quality. *Ecology*, 74: pp. 152-161.
- Gasparri, N. I. and Grau, R. (2009). Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1972–2007). *Forest Ecology and Management*, 258.
- Glaser, B.; Turrión, M. B.; Solomon, D.; Ni, A. and Zech, W. (2000). Soil organic matter quantity and quality in mountain soils of the Alay Range Kyrgyzia, affected by land use change. *Biology and fertility of Soils*, 31: pp. 407-413.
- González-Pérez, J. A.; González-Vila, J. F.; Almendros G. and Knicker, H. (2004). The effect of fire on soil organic matter- a review. *Env. Int.*, 30: pp. 855-870.
- Gracia, C.; Sabeté, S. y Sánchez, A. (2002). El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo. *Ecosistemas 2*.
- Grau, H. R.; Gasparri, N. H. y Aide, T. M. (2005). Cambios ambientales y responsabilidad de los científicos: el caso del Noroeste Argentino. *Ciencia Hoy*, 15: pp. 16-17.
- Guerrero, F. (1996). Uso y caracterización de la materia orgánica. Curso de manejo y evaluación de suelos y aguas con fines paisajísticos y de jardinería. ETSIIAA. Madrid.
- Hendrickson, O. Q.; Chatarpaul, L. and Robinson, J. B. (1985). Effects of two methods of timber harvesting on microbial processes in forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: pp. 739-746.
- Hendrickson, O. Q.; Chatarpaul, L. and Burgess, D. (1989). Nutrient cycling following whole tree and conventional harvest in northern mixed forest. *Can. J. For. Res.*, 19: pp. 725-735.
- Hoffmann, W. A.; Schroeder, W. and Jackson, R. (2002). Positive feedbacks of fire, climate, and vegetation and the conversion of tropical savanna. *Geophysical Research Letters*, 29.
- Houghton, R. A.; Hobbie, J. E.; Melillo, J. M.; Peterson, B. J.; shaver, G. R. and Woodwell, G. M. (1983). Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Ecol. Monogr.*, 53: pp. 235-262.
- Houghton, R. A. (2003). Why are estimates of the terrestrial carbon balances so different?. *Global Change Biol.*, 9: pp. 500-509.
- Houspanossian, J., Nosetto, M. and Jobbágy, E. G. (2013). Radiation budget changes with dry forest clearing in temperate Argentina. *Global Change Biology*, 19: pp. 1211-1222.

- INTA. (1998). Carta de suelos y vegetación de la Provincia de San Luis. Ed.: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Gobierno de la Provincia de San Luis y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. San Luis.
- IPCC. (2000). Land Use Change and Forestry. Special Report, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Jackson, R. B.; Schenk, H. J.; Jobbágy, E. G.; Canadell, J.; Colello, G. D.; Dickinson, R. E.; Field, C. B.; Friedlingstein, P.; Heiman, M.; Hibbaed, K.; Kicklighter, D. W.; Kleidon, A.; Neilson, R. P.; Parton, W. J.; Sala, O. E. and Sykes, M. T. (2000). Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models. *Ecological Applications*, 10: pp. 470-483.
- Karjalainrn, T. (1996). Carbon Balance Implications of Wood Production Chain, Manufacturing and Use of Wood Products. European Forest Institute – Projets.
- Karlin, U. O. (1983). Recursos forrajeros naturales del Chaco Seco: Manejo de leñosas. En *II Reunión de Intercambio Tecnológico en Zonas Áridas y Semiáridas*. Córdoba (Argentina). Pp. 78-96.
- Kirby, J.; Kingham, R. and Cortes, M. (2001). Texture, density and hydraulic conductivity of some soils in San Luis province, Argentina. *Ciencia del suelo*, 19: pp. 20-29.
- Kunst, C.; Ledesma, R.; Basan Nickish, M.; Angella, G.; Prieto, D. y Godoy, J. (2003). Rolado de "fachinales" e infiltración de agua en el Chaco occidental (Argentina). *RIA, INTA*, 32: pp. 105-126.
- Lal, R. (1991). Soil structure and sustainability. *J. Sustain. Agric.* 1: pp. 67-92.
- Lal, R.; Kimble, J. and Follettt, R. F. (1997). Pedospheric processes and the carbon cycle. pp. 1-8. In: Lal, R.; Kimble, J.; Follet, R. and Stewart, B. A. (eds). *Soil processes and the carbon cycle*. CRC Press. Boca Ratón.
- Lal, R. (2004). Soil Carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304.
- Ledesma, R.; Kunst, C. y Godoy, J. (2008). Efectos del rolado selectivo sobre la emergencia y la productividad de gramíneas forrajeras *Revista Argentina de Producción Animal*, 28: pp. 349-523.
- Leu, S. (2010). Forest and Climate: the search for specifics. *Science*, 328: pp. 1479-1480.
- Macías, F. (2002). Capacidad de secuestro de C en suelos y biomasa de Galicia. *Actas de la Reunión Internacional sobre Secuestro de C en Suelos y Biomasa*. La Coruña. pp. 43-44.
- Marchesini, V. A. (2001). Cambios en el uso de la tierra y el balance de agua en ecosistemas semiáridos: el desmonte selectivo en el Chaco árido analizado a diferentes escalas espaciales. Tesis Doctoral Universidad de Córdoba. Córdoba.

- Mataix, J. (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante.
- Mattson, K. G. and Swannk, W. T. (1989). Soil and detrital carbon dynamics following forest cutting in the Southern Appalachians. *Biol. Fertil. Soils*, 7: pp. 247-253.
- Meneses-Tovar, C. L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasyuva* 238, Vol. 62: pp. 39-46.
- Merino, A.; Hedeos, J. M.; Gozález, M. J.; Marauri, P. (1997). Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. *For. Ecol. Manage.*
- Merino, A.; Rey, C. J. y Rodríguez-Soalleiro, R. (2003). Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12 (2): pp. 85-98.
- Miles, L.; Newton, A.; DeFries, R.; Ravillious, C.; May, I.; Blyth, S.; Kapos, V. and Gordon, J. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forest. *Journal of Biogeography*, 33: pp. 491-505.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2006). Forestación de tierras agrícolas. Análisis de su evolución y contribución a la fijación del carbono y al uso racional de la tierra. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2007). El Cambio Climático en España. Estado de situación. Madrid.
- Morello, J. (1958). La Provincia Fitogeográfica del Monte Universidad Nacional de Tucumán- Instituto Miguel Lillo. Tucumán.
- Morello, J. H. y Adamoli, J. editores. (1968). Las Grandes Unidades de Vegetación y Ambiente del Chaco Argentino (Primera parte). INTA, Buenos Aires.
- Morello, J.; Pengue, W. y Rodríguez, A. (2005). Situación Ambiental Argentina 2005: Etapas de uso y desmantelamiento de la biota del Chaco. Buenos Aires.
- Munson, A. D.; Margolis, H. A. and Brand, D. G. (1993). Intensive silvicultural treatment: impacts on soil fertility and planted conifer response. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: pp. 246-255.
- Murphy, P. G. and Lugo, A. (1986). Ecology of tropical dry forest *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 17: pp. 67-88.
- Nai Bregaglio, M.; Karlin, U. O. y Coirini, R. (2001). Efecto del desmonte selectivo sobre la regeneración de la masa forestal y la producción de pasturas en el Chaco Árido de la provincia de Córdoba, Argentina. *Multequina*, 10: pp. 17-24.
- Navarro, S. (2000). Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Mundi-Prensa Libros. Madrid.
- Noy-Meir, I. (1973). Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 4: pp. 25-51.

- Organización de las Naciones Unidas (2014). Las concentraciones de CO<sub>2</sub> superan 400 ppm en todo el hemisferio norte. Comunicado de prensa N°991, Organización Meteorológica Mundial. Ginebra.
- Orians, G. and O. Solbrig. (1977). A cost-income model of leaves and roots with special reference to arid and semi-arid areas. *American Naturalist*, 134: pp. 90-98.
- Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Paul, K. I.; Polglase, P. J.; Nyakuengama, J. G. and Khanna, P. K. (2001). Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168: pp. 241-257.
- Peña Zubiarte, C. y Demmi M. (1982). Mapa de suelos de la provincia de San Luis. EEA, INTA: pp 181-183.
- Pérez, P. G.; Cordileone, V. y Toranzos, M. R. (2007). Carbono retenido en el monte chaqueño: cambios en el uso de la tierra. Comunicación en el 30° Congreso Argentino de Producción Animal. Asociación Argentina de Producción Animal y Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán (Argentina).
- Ragonese, A. E. y Castiglioni, J. A. (1970). La vegetación del Parque chaqueño. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 11: pp. 133-166.
- Reynolds, J. F.; Stafford Smith, D. M.; Lambin, E. F.; Turner II, B. L.; Mortimore, M.; Butterbury, S. P. J.; Dowlatabadi, H. and Fernandez, R. J. (2007). Global Desertification: Building a science for dryland development *Science*, 316: pp. 847-851.
- Richter, D. D.; Markewitz, D.; Trumbore, S. E. and Wells, C. G. (1999). Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest. *Nature* 400: pp. 56-58.
- Rotenberg, E., and Yakir, D. (2010). Contribution of semiarid forest to the climate system. *Science*, 327: pp. 451-454.
- Rovira, P. and Vallejo, V. R. (2003). Physical protection and biochemical quality of organic matter in mediterranean calcareous forest soils: a density fractionation approach. *Soil Biol. Biochem*, 35: pp. 245-261.
- Sala, O. E.; Chapin III, F. S.; Armesto, J. J.; Berlow, E.; Bloomfield, J.; Dirzo, R.; Huber-Sanwald, E.; Huenneke, L. F.; Jackson, R. B.; Kinzig, A.; Leemans, R.; Lodge, D. M.; Mooney, H. A.; Oesterheld, M.; Poff, N. L.; Sykes, M. T.; Walker, B. H.; Walker, M. and Wall, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: pp. 1770-1774.
- Sanchez-Azofeifa, G. A.; Quesada, M.; Rodriguez, J.; Nassar, J.; Stoner, K.; Castillo, A.; Garvin, T.; Zent, E.; Calvo-Alvarado, J.; Kalacska, E. R. M.; Fajardo, L.; Gamon, J. A. and Cuevas-Reyes, P. (2005). Research Priorities for Neotropical Dry Forests. *Biotropica*, 37: pp. 477-485.

- Swift, M. J.; Heal, O. W. and Anderson, J. M. (1979). *Descomposición in Terrestrial Ecosystems* University of California Press, Berkeley and Los Angeles, CA: pp. 372.
- TECNOAGRO S.R.L. (2000). *Estudio de suelos del área a regar en el Establecimiento de San Bernardo*. San Luis, Argentina.
- Torella, S. y Adamoli, J. (2005). *Situación Ambiental Argentina 2005: Ecorregión Chaco Seco*. Buenos Aires.
- Universidad de La Punta. (2014). *Atlas Geográfico Digital de San Luis*. Editado por la Universidad de La Punta. San Luis.
- Van Lützow, M.; Kogel-Knabner, I.; Ekschmitt, K.; Matzner, E.; Guggenberger, G.; Marschne, B. and Flessa, H. (2006). *Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions*. *European Journal of Soil Science*, 57: pp. 426-445.
- Villagra, P. E.; Cony, M. A.; Mantovan, N. G. y Rossi, B. E. (2004). *Ecología y manejo de los algarrobales de la provincia fitogeografía del monte*. En Arturi, M. F.; Frangi, J. y Goya, J. editores. *Ecología y manejo de bosques nativos de Argentina*. Editorial Universidad Nacional de La Plata.
- Vitousek, P. M.; Turner, D. R.; Parton, W. J. and Sanford, R. L. (1994). *Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matriz, Hawaii: patterns, mechanisms and models*. *Ecology*, 72: pp. 418-429.
- Wild, A. (1992). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel*. Mundi-Prensa. Madrid.





*ANEXOS*



*ANEXO 1*

Caracterización edáfica de los suelos



## 1. Perfil tipo Loma Gruesa SB / Símbolo: LGSB

Se encuentra en áreas de relieve normal, ocupando lomas altas planas a suavemente onduladas y convexas, encontrándose más expuestas a la erosión eólica. Es un suelo claro, profundo, poco desarrollado, algo excesivamente a excesivamente drenado, no alcalino y débil a moderadamente salino en profundidad. Presenta moderado a grave peligro de sufrir erosión eólica, no presenta peligro de erosión hídrica y no tiene peligro de sufrir anegamiento ni inundación.

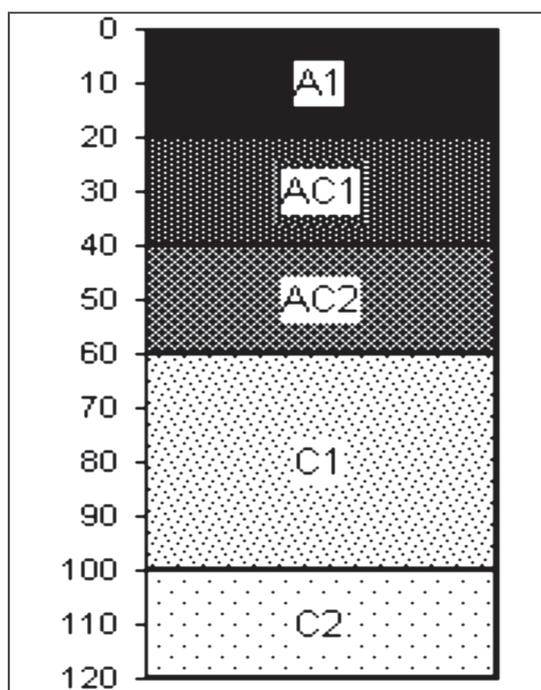


Figura 33  
Horizontes de suelo perfil tipo Loma Gruesa SB.  
Fuente: TECNOAGRO S.R.L. (2000).

El horizonte superficial es pardo, pobremente provisto de materia orgánica, de textura franco-arenosa y débilmente estructurado. Le sigue un horizonte de transición (AC), de similar textura y estructura masiva, con moderada a fuerte reacción de carbonatos (puede dividirse en dos sectores). Luego aparece el horizonte C1, también de igual textura y estructura masiva, con fuerte reacción de carbonatos y continúa un horizonte C2 de igual textura pero con pseudomicelios salinos. En todo el perfil se encuentra generalmente grava en muy escasa proporción.

*Rango de variabilidad:* el espesor del horizonte A1 oscila entre 18 y 22 cm, encontrándose en muchos casos desdibujado por mezcla con el horizonte inferior, producto del desmonte y de labores profundas. Con frecuencia se aprecia un cambio de granulometría entre horizontes que indicaría una discontinuidad de materiales originarios, común en los suelos de origen eólico sedimentario. Esta variación no es muy contrastante, manteniéndose en general en el rango de las texturas franco-arenosas.

*Limitaciones para su uso:* dada la posición convexa que ocupan, sobresaliendo dentro del entorno más deprimido, son muy susceptibles a la erosión eólica. Su capacidad de retención hídrica es baja debido a su gruesa textura y a su pobreza de materia orgánica, obligando a riegos más frecuentes. Pobre fertilidad del horizonte superficial.

### **Fases que presenta**

- Salina a profundidad media (Símbolo: LGSB f sa1): se diferencia de la serie por presentar salinidad débil a moderada a menor profundidad (entre 60 y 90 cm), apreciándose pseudomicelios salinos.
- Salina subsuperficial (Símbolo: LGSB f sa2): se diferencia de la serie por presentar salinidad débil a moderada subsuperficial (entre 30 y 60 cm), apreciándose pseudomicelios salinos.
- Plana y salina a profundidad media (Símbolo: LGSB f p0-sa1): Loma tendida no convexa, suavemente ondulada. Los suelos son similares a los de la serie, pero por su posición en el terreno presenta menor peligro de sufrir erosión eólica y morfológicamente presenta salinidad débil a moderada a profundidad media (entre 60 y 90 cm), apreciándose pseudomicelios salinos.

### **Descripción del perfil modal**

#### Características externas

- Relieve: normal
- Posición: lomas altas convexas
- Ecurrimiento: medio (grado 3)
- Permeabilidad: rápida (grado 6)
- Drenaje natural: algo excesivo a excesivo (clase 5-6)
- Peligro de anegamiento: sin peligro (clase 5)
- Peligro de erosión eólica: mod. a grave (clase 2)
- Alcalinidad: no alcalino (grado 0-0)
- Salinidad: débil a moderada en profundidad

#### Características morfológicas

- A1 0-20 cm Gris pardusco claro (10YR 6/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques subangulares, medios, débiles que rompen a masivo; friable en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos nula; raíces comunes a abundantes; límite inferior claro y suave.
- AC1 20-40 cm Gris pardusco claro (10YR 6/2) en seco y pardo (10YR 5/3) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques subangulares medios, muy débiles, que

rompen a masivo; friable en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos moderada; raíces comunes; límite inferior gradual y suave.

- AC2 40-60 cm Pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo a pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; franco-arenoso; estructura masiva; muy friable en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos abundante: raíces escasas; límite inferior gradual y suave.
- C1 60 a 100 cm Pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco y pardo amarillento (10YR 5/6) en húmedo; arenoso-franco; estructura masiva; muy friable a suelto en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos abundante; raíces escasas; límite inferior gradual y suave.
- C2 >100 cm Pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco y pardo amarillento (10YR 5/6) en húmedo; arenoso-franco; estructura masiva; muy friable a suelto en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos abundante; pseudomicelios salinos comunes; raíces escasas.

**Tabla 20**

Datos analíticos de los horizontes que componen el suelo perfil tipo Loma Gruesa SB. Fuente: TECNOAGRO S.R.L. (2000).

DATOS ANALÍTICOS						
HORIZONTE		A1	AC1	AC2	C1	C2
PROFUNDIDAD (cm)		0-20	20-40	40-60	60-100	>100
ARENA (%)	Muy gruesa	6,4	7,0	8,4	8,5	8,6
	Gruesa	8,5	8,2	7,9	7,8	7,9
	Media	8,9	8,9	8,9	8,8	8,9
	Fina	25,4	25,9	29,5	29,7	29,4
	Muy fina	20,8	20,3	16,4	16,3	16,4
	Total	70,0	70,3	71,1	71,1	71,2
LIMO (%)		22,7	22,6	21,8	21,9	21,8
ARCILLA (%)		7,3	7,1	7,1	7,0	7,0
TEXTURA		FA	FA	FA	FA	FA
pH		7,9	7,9	8,1	8,2	8,4
C.E. (mmhos/cm)		0,4	0,6	0,9	1,2	6,8
CARBONO (%)		0,56	---	---	---	---
MAT. ORGANICA (%)		1,12	---	---	---	---
N TOTAL (%)		0,62	---	---	---	---
CACIONES DE CAMBIO meq/100g	Ca	16,6	---	---	---	---
	Mg	0,8	---	---	---	---
	K	0,6	0,6	0,6	0,4	0,7
	Na	0,3	0,7	0,8	0,9	2,1
P (ppm)		18,7	---	---	---	---

\* Textura: A= arena, L= limo y a= arcilla

## 2. Perfil tipo Loma SB / Símbolo: LSB

Se encuentra en áreas de relieve normal, ocupando lomas planas a suavemente onduladas y dilatadas. Es un suelo pardo, profundo, poco desarrollado, bien a algo excesivamente drenado, no alcalino y débil a moderadamente salino en profundidad. Presenta leve a moderado peligro de sufrir erosión eólica y no tiene peligro de sufrir anegamiento ni inundación.

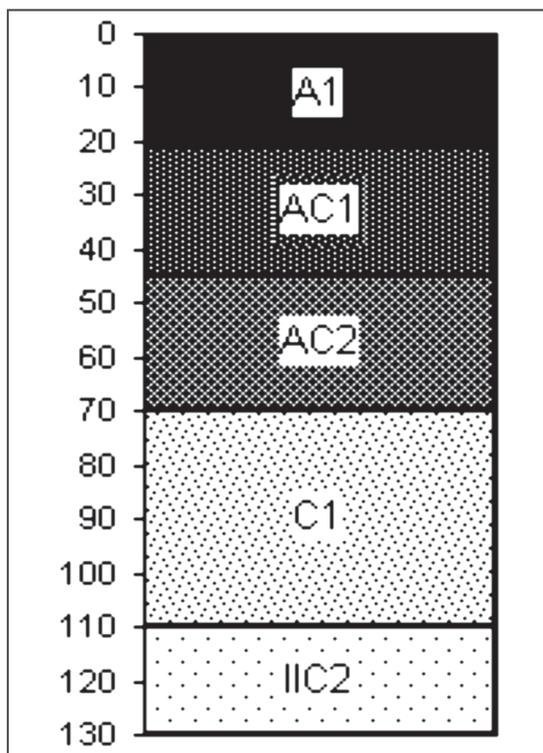


Figura 34

Horizontes de suelo perfil tipo Loma SB.  
Fuente: TECNOAGRO S.R.L. (2000).

El horizonte superficial es pardo, pobre a moderadamente provisto de materia orgánica, de textura franco-arenosa y débilmente estructurado. Le sigue un horizonte de transición (AC), de similar textura y estructura débil a masiva, con leve a moderada reacción de carbonatos (puede dividirse en dos sectores). Se pasa en forma gradual a un horizonte C, también de igual textura y estructura masiva, con fuerte reacción de carbonatos. Luego aparece el horizonte IIC2, más grueso y con salinidad débil a moderada, con presencia de pseudomicelios salinos. En todo el perfil puede encontrarse grava en muy escasa proporción.

*Rango de variabilidad:* el espesor del horizonte A1 oscila entre 19 y 23 cm, encontrándose en muchos casos desdibujado por mezcla con el horizonte inferior, producto del desmonte y de labores profundas. La discontinuidad de materiales originarios descripta (horizonte IIC2), común en los suelos de origen eólico sedimentario, puede aparecer a menor profundidad o en algunos casos no encontrarse. Este cambio de

materiales no es muy contrastante, manteniéndose en general en el rango de las texturas franco-arenosas, variando fundamentalmente la granulometría de la fracción arena.

*Limitaciones para su uso:* leve a moderado peligro de sufrir erosión eólica y capacidad de retención hídrica moderada por su textura y bajo contenido de materia orgánica.

### **Fases que presenta**

- Salina a profundidad media (Símbolo: LSB f sa1): se diferencia de la serie por presentar salinidad débil a moderada a menor profundidad (entre 60 y 90 cm), apreciándose pseudomicelios salinos.
- Salina subsuperficial (Símbolo: LSB f sa2): se diferencia de la serie por presentar salinidad débil a moderada subsuperficial (entre 30 y 60 cm), apreciándose pseudomicelios salinos.
- Ligeramente inclinada: (Símbolo LSB f p1): los suelos son similares a los de la serie pero ocupando una posición con pendiente suave (menor del 1%), con un leve riesgo de sufrir erosión hídrica.
- Ligeramente inclinada y salina a profundidad media (Símbolo: LSB f p1-sa1): Loma suavemente inclinada (pendientes menores a 1%). Los suelos son similares a los de la serie, pero por su posición en el terreno presenta leve peligro de sufrir erosión hídrica y morfológicamente presenta salinidad débil a moderada a profundidad media (entre 60 y 90 cm), apreciándose pseudomicelios salinos.
- Ligeramente inclinada y salina subsuperficial (Símbolo: LSB f p1-sa2): Loma suavemente inclinada (pendientes menores a 1%). Los suelos son similares a los de la serie, pero por su posición en el terreno presenta leve peligro de sufrir erosión hídrica y morfológicamente presenta salinidad débil a moderada a subsuperficial (entre 30 y 60 cm), apreciándose pseudomicelios salinos.
- Ligeramente hidromórfica y salina a profundidad media (Símbolo: LSB f d3-sa1): Se encuentra en áreas levemente deprimidas. Al recibir los excedentes hídricos de las zonas vecinas, puede padecer por períodos cortos exceso de humedad. El perfil se diferencia de la serie por presentar salinidad débil a moderada a menor profundidad (entre 60 y 90 cm), apreciándose pseudomicelios salinos.
- Ligeramente hidromórfica y salina subsuperficial (Símbolo: LSB f d3-sa2): Se encuentra en áreas levemente deprimidas. Al recibir los excedentes hídricos de las zonas vecinas, puede padecer por períodos cortos exceso de humedad. El perfil se diferencia de la serie por presentar salinidad débil a moderada subsuperficial (entre 30 y 60 cm), apreciándose pseudomicelios salinos.

## **Descripción del perfil modal**

### **Características externas**

- Relieve: normal
- Posición: lomas planas a suavemente onduladas
- Ecurrimiento: medio (grado 3)
- Permeabilidad: moderadamente rápida (grado 5)
- Drenaje natural: bueno a algo excesivo (clase 5)
- Peligro de anegamiento: sin peligro (clase 5)
- Peligro de erosión eólica: leve a mod. (clase 1-2)
- Alcalinidad: no alcalino (grado 0-0)
- Salinidad: débil a moderada en profundidad

### **Características morfológicas**

- A1 0-21 cm Pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques subangulares, medios, débiles que rompen a granular débil; friable en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos nula; raíces abundantes; límite inferior claro y suave.
- AC1 21-45 cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; franco-arenoso; estructura en bloques subangulares, medios, muy débiles que rompen a masivo; friable en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos moderada; raíces comunes; límite inferior gradual y suave.
- AC2 45-70 cm Pardo (10YR 5/3) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; franco-arenoso; estructura masiva; friable en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos fuerte; raíces escasas; límite inferior gradual y suave.
- C1 70-110 Pardo amarillento claro (10YR 6/4) en seco y pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; franco-arenoso; estructura masiva; friable a suelto en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos abundante; raíces escasas; límite inferior gradual y suave.
- IIC2 >110 cm Gris claro (10YR 7/2) en seco y gris pardusco claro (10YR 6/2) en húmedo; franco-arenoso; estructura masiva; friable a suelto en húmedo; no plástico y no adhesivo; reacción de carbonatos abundante; pseudomicelios salinos comunes; raíces escasas.

**Tabla 21**

Datos analíticos de los horizontes que componen el suelo perfil tipo Loma SB. Fuente: TECNOAGRO S.R.L. (2000).

DATOS ANALÍTICOS						
HORIZONTE		A1	AC1	AC2	C1	C2
PROFUNDIDAD (cm)		0-21	21-45	45-70	70-110	>110
ARENA (%)	Muy gruesa	2,4	2,9	3,4	3,8	4,1
	Gruesa	4,0	4,1	4,2	4,2	9,3
	Media	9,1	9,1	9,2	9,2	11,4
	Fina	21,2	21,3	21,3	21,3	24,1
	Muy fina	25,8	23,8	24,4	24,2	21,2
	Total	62,5	61,2	62,5	62,7	70,1
LIMO (%)		30,1	31,5	30,0	29,8	24,9
ARCILLA (%)		7,4	7,3	7,5	7,5	5,0
TEXTURA		FA	FA	FA	FA	FA
pH		7,4	8,3	8,2	8,1	8,4
C.E. (mmhos/cm)		0,5	0,7	0,8	1,2	10,8
CARBONO (%)		0,59	---	---	---	---
MAT. ORGANICA (%)		1,18	---	---	---	---
N TOTAL (%)		0,67	---	---	---	---
CACIONES DE CAMBIO meq/100g	Ca	10,9	---	---	---	---
	Mg	1,0	---	---	---	---
	K	0,8	0,9	0,7	0,4	0,3
	Na	0,1	0,8	0,9	1,0	4,5
P (ppm)		19,1	---	---	---	---
* Textura: A= arena, L= limo y a= arcilla						

\*Fuente: los datos de los perfiles tipo presentes en el anexo pertenecen a TECNOAGRO S.R.L. (2000).

### 3. Mapa descriptivo de suelos de la Provincia de San Luis (Argentina)

En la Figura 35 se muestra el mapa descriptivo de suelos para la Provincia de San Luis, encontrándose la zona del estudio clasificada dentro de los suelos de la Clase 21 descritos en dicho mapa como Torriorthents típicos calcáreos.

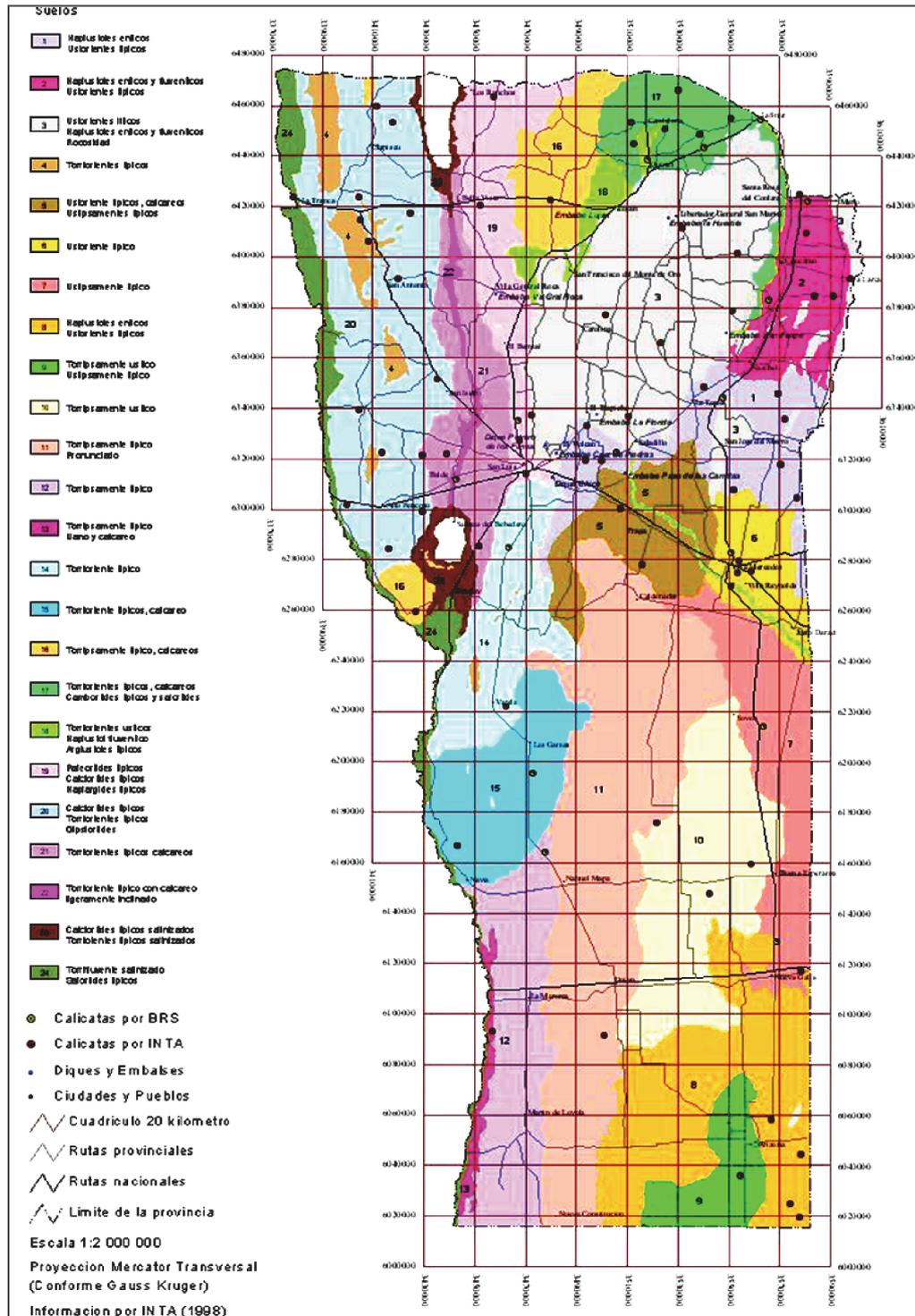


Figura 35

Mapa descriptivo de los suelos de la Provincia de San Luis (Argentina).

Fuente: Bureau of Rural Sciences & SEGEMAR (1999).

*ANEXO 2*

Análisis de imágenes satelitales



## 1. Introducción

En el estudio surge la necesidad de conocer que zonas del campo de trabajo han sido roladas, en que fechas aproximadas se han llevado a cabo esos tratamientos y si ha habido repetición de tratamientos en una misma zona. Por ello en este anexo se muestra el análisis de imágenes satelitales llevado a cabo para establecer las diferentes zonas sobre las que se diseña el muestreo. Con ayuda de las imágenes históricas aéreas de la aplicación Google Earth se preseleccionan las posibles zonas en las que existe una masa nativa y aquellas en las que se ha producido una perturbación. Una vez preseleccionadas estas zonas, se pasa a localizar un punto concreto de la zona, y ese punto concreto se traslada a las imágenes satelitales del software ENVI 4.2. para conocer detalladamente que ha sucedido históricamente en ese punto (durante el periodo marcado por las imágenes satelitales cargadas en el software).

A continuación se muestran los análisis de imágenes satelitales para cada una de las nueve zonas preseleccionadas en la aplicación Google Earth.

## 2. Análisis de la Zona 1

Seleccionada la zona a analizar sobre las imágenes satelitales superpuestas en el visor del software y aplicando las herramientas que el mismo incluye, se genera el perfil espectral que represente los valores de NDVI para el punto seleccionado. Analizando éste perfil espectral (ver Figura 36) se puede observar un valor de 3000 (0.3 de NDVI) para la banda 61 del total de las bandas (18 bandas del 2002, por tanto transcurridos 273 días del año 2002) que representa un rolado en el año 2002.

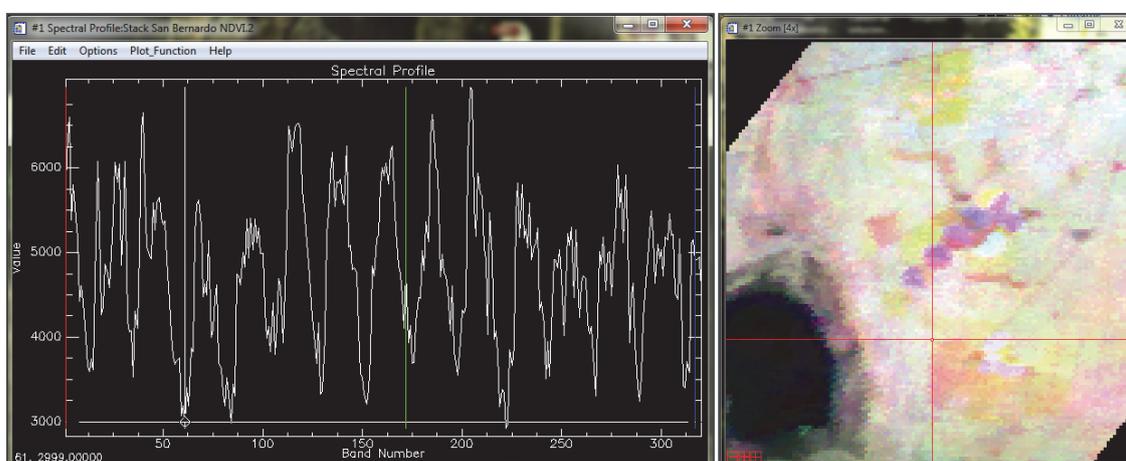


Figura 36

Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 1.

Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

En una zona existe un re-rolado en el año 2009 (222 bandas del total / 18 bandas del 2009/ transcurridos 273 días del año 2009). La precisión del software es de un pixel que abarca una gran superficie, por ello con ayuda de las ortofotografías históricas de Google Earth se comprueba que una de las zonas que abarca el pixel si existe re-rolado, pero en el resto de la zona solo se ha llevado a cabo un rolado en el año 2002.

### 3. Análisis de la Zona 2

Partiendo del mismo procedimiento de análisis que el utilizado en la Zona 1, se analiza el perfil espectral (ver Figura 37), en el se puede observar un valor de 2500 (0.25 de NDVI) para la banda 48 del total de las bandas (4 bandas del 2002, por tanto transcurridos 49 días del año 2002) que representa un rolado en el año 2002.

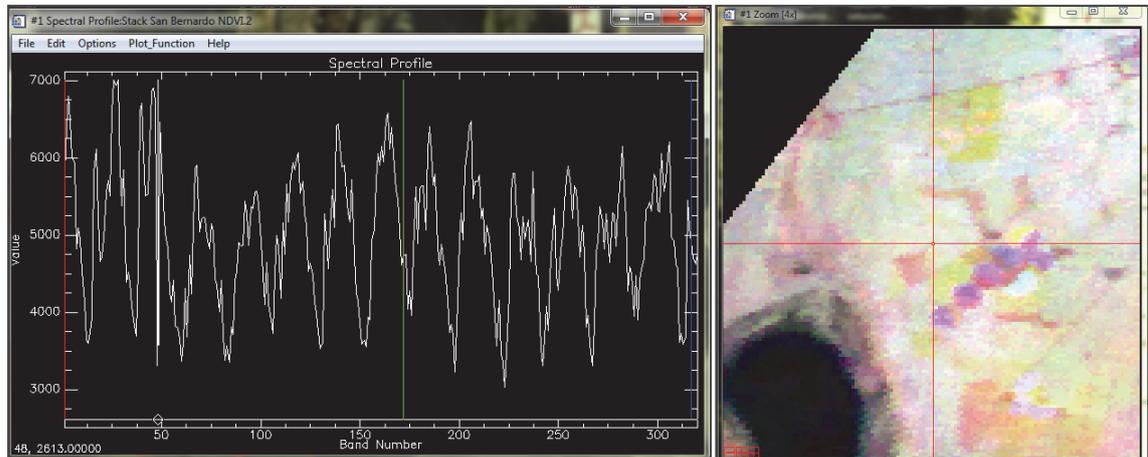


Figura 37

Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 2.  
Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

### 4. Análisis de la Zona 3

Partiendo del mismo procedimiento de análisis que el utilizado en la Zona 1, se analiza el perfil espectral (ver Figura 38), en el se puede observar un valor de 2900 (0.29 de NDVI) para la banda 82 del total de las bandas (16 bandas del 2003, por tanto transcurridos 241 días del año 2003) que representa un rolado en el año 2003.

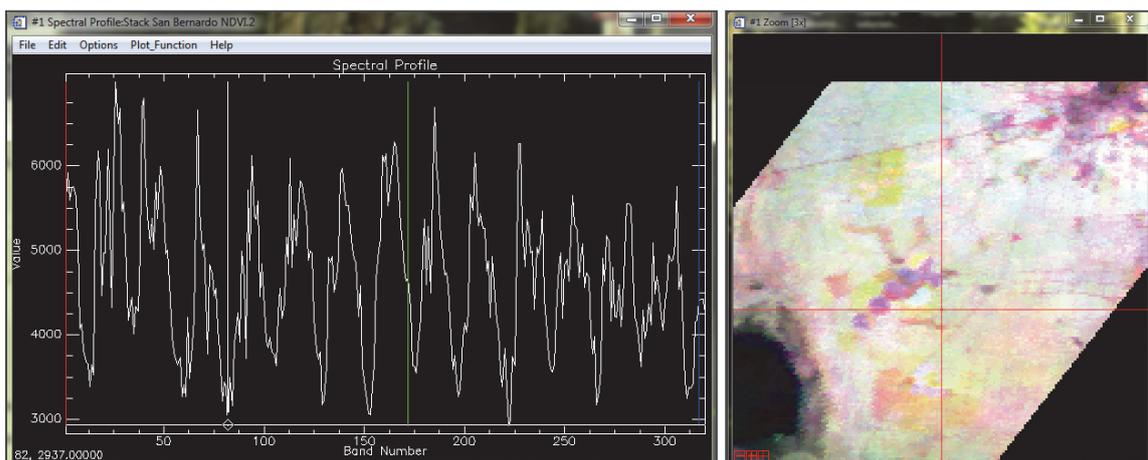


Figura 38

Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 3.  
Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

## 5. Análisis de la Zona 4

Partiendo del mismo procedimiento de análisis que el utilizado en la Zona 1, se analiza el perfil espectral (ver Figura 39), en el se puede observar que los valores nunca son inferiores a 3250 (0.325 de NDVI) y que estos valores se mantienen constantes estacionalmente hablando. Por lo tanto este perfil espectral representa una zona de bosque nativo.

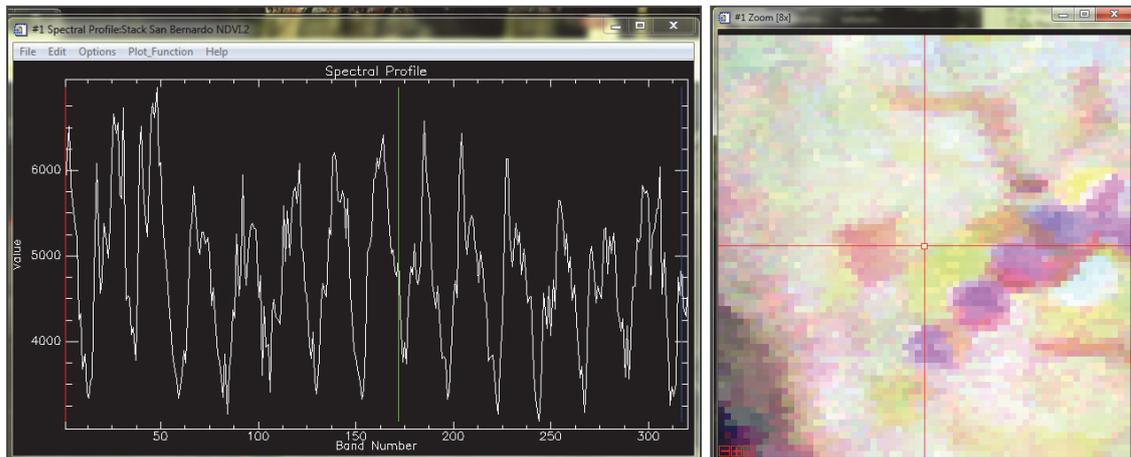


Figura 39

Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 4.

Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

## 6. Análisis de la Zona 5

Partiendo del mismo procedimiento de análisis que el utilizado en la Zona 1, se analiza el perfil espectral (ver Figura 40), en el se puede observar que los valores nunca son inferiores a 3250 (0.325 de NDVI) y que estos valores se mantienen constantes estacionalmente hablando. Por lo tanto este perfil espectral representa una zona de bosque nativo.

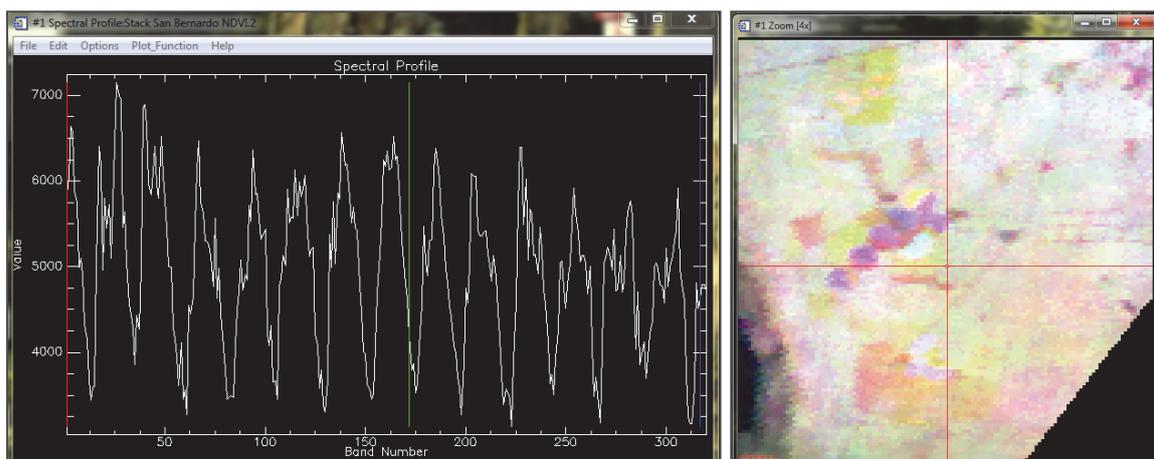


Figura 40

Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 5.

Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

## 7. Análisis de la Zona 6

Partiendo del mismo procedimiento de análisis que el utilizado en la Zona 1, se analiza el perfil espectral (ver Figura 41), en el se puede observar que los valores nunca son inferiores a 3500 (0.35 de NDVI) y que estos valores se mantienen constantes estacionalmente hablando. Por lo tanto este perfil espectral representa una zona de bosque nativo.

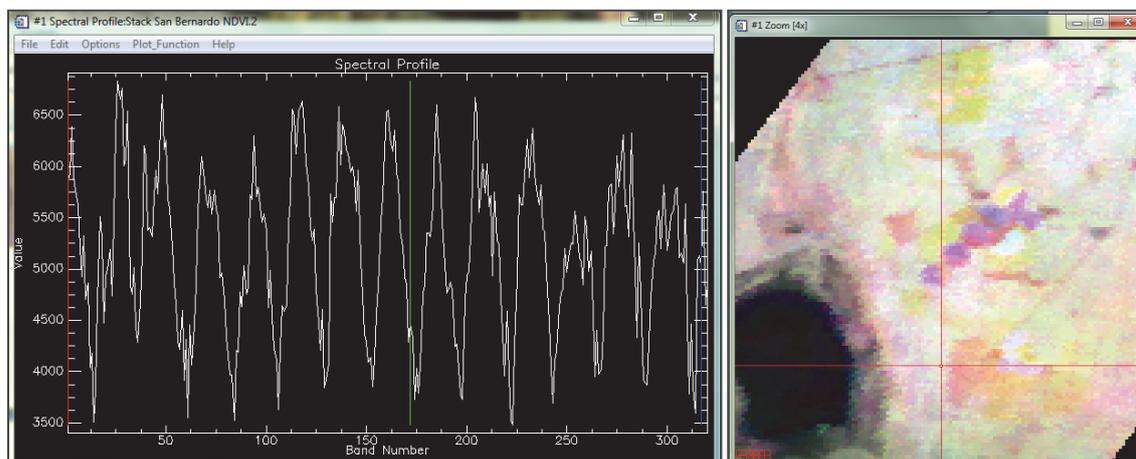


Figura 41

Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 6.

Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

## 8. Análisis de la Zona 7

Manteniendo el análisis que el utilizado en la Zona 1, se analiza el perfil espectral (ver Figura 42), en el se puede observar un valor de 2750 (0.275 de NDVI) para la banda 153 del total de las bandas (18 bandas del 2006, por tanto transcurridos 273 días del año 2006) que representa un rolado en el año 2006. También se puede observar un valor de 2500 (0.25 de NDVI) para la banda 288 del total de las bandas (15 bandas del 2012, por tanto transcurridos 225 días del año 2012) que representa un rolado en el año 2012.

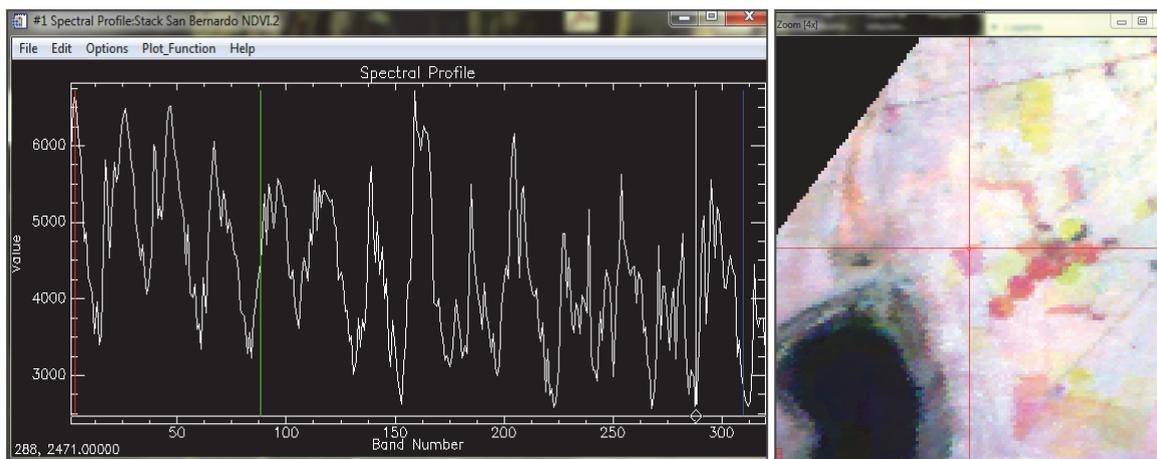


Figura 42

Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 7.

Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

## 9. Análisis de la zona 8

Manteniendo el análisis que el utilizado en la Zona 1, se analiza el perfil espectral (ver Figura 43), en el se puede observar un valor de 2500 (0.25 de NDVI) para la banda 155 del total de las bandas (20 bandas del 2006, por tanto transcurridos 305 días del año 2006) que representa un rolado en el año 2006. También se puede observar un valor de 2500 (0.25 de NDVI) para la banda 268 del total de las bandas (18 bandas del 2011, por tanto transcurridos 273 días del año 2011) que representa un rolado en el año 2011.

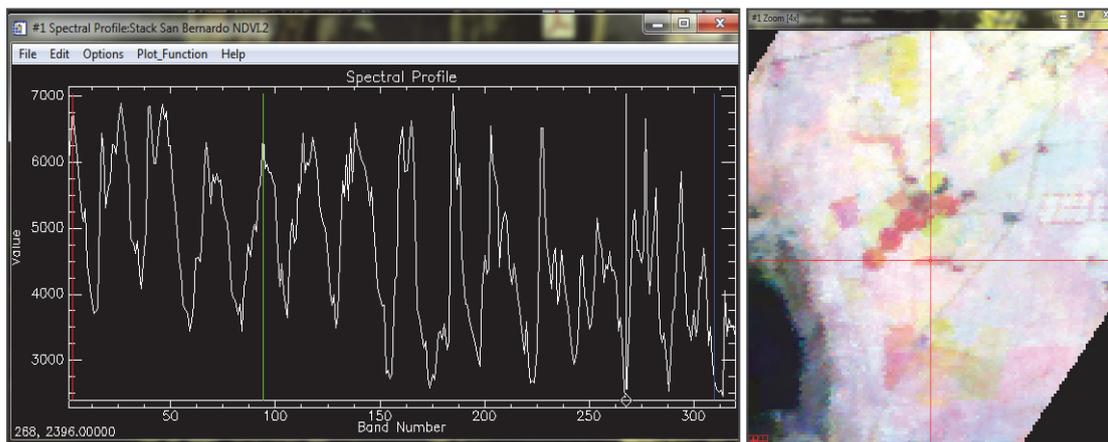


Figura 43

Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 8.

Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

## 10. Análisis de la zona 9

Manteniendo el análisis que el utilizado en la Zona 1, se analiza el perfil espectral (ver Figura 44), en el se puede observar un valor de 2750 (0.275 de NDVI) para la banda 154 del total de las bandas (18 bandas del 2006, por tanto transcurridos 273 días del año 2006) que representa un rolado en el año 2006. También se puede observar un valor de 2400 (0.24 de NDVI) para la banda 266 del total de las bandas (16 bandas del 2011, por tanto transcurridos 241 días del año 2011) que representa un rolado en el año 2011.

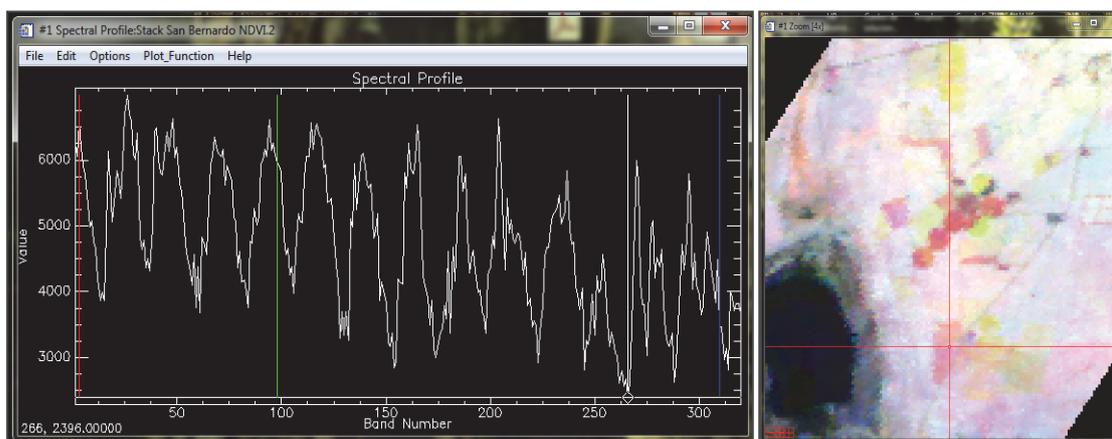


Figura 44

Perfil espectral de NDVI y selección en visualizador del software ENVI 4.2 para la Zona 9.

Fuente: elaboración propia, mediante ENVI 4.2.

## 11. Zonas seleccionadas

Realizado los nueve análisis detallados de las imágenes satelitales para cada una de las zonas preseleccionadas, se obtienen 9 zonas de trabajo bien definidas (tanto en ubicación como en sus características de gestión). Estas representan diferentes fechas de rolado, así como zonas de bosque nativo. Se agrupan de 3 en 3, formando bloques que por su posición buscan conseguir la representatividad de toda la superficie de la finca (ver Figura 45). Las zonas se agrupan a su vez en función del tratamiento recibido y de la fecha del mismo:

- 3 zonas roladas en los años 2002-2003 y no han sido roladas una segunda vez.
- 3 zonas de bosque nativo.
- 3 zonas roladas en los años 2006-2007 y además han sido re-roladas en los años 2011-2012.



**Figura 45**  
Localización de cada una de las zonas sobre ortofotografía del campo de trabajo.  
Fuente: elaboración propia, mediante plataforma Google Earth.

*ANEXO 3*

Tablas de datos



## 1. Introducción

El presente anexo plasma los datos obtenidos en: el muestreo de campo, datos calculados en gabinete y datos obtenidos en los análisis de laboratorio. Estos datos que se presentan en los siguientes apartados del anexo, son los datos aplicados en el análisis estadístico llevado a cabo en el estudio.

## 2. Tablas de datos

En la Tabla 14 se muestran datos de las 405 muestras tomadas en campo en las 9 parcelas de muestreo. Cada muestra corresponde a un punto de muestreo y a un tipo de muestra en función de la profundidad (0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm). De cada muestra se aportan los datos de las siguientes variables:

- Tipo de cubierta: este dato es tomado en campo durante el muestreo e indica el tipo de vegetación que cubre el punto de muestreo. Se establecen para esta variable las clases de pastura, arbusto o arbolado.
- Diámetro de muestra: este diámetro viene marcado por el tubo de acero utilizado en el muestreo. Este valor medido con un calibre viene dado en centímetros.
- Altura de muestra: es la altura equivalente a la profundidad de muestreo en función de cada tipo de muestra. Conocida y calibrada sobre el tubo de acero, de forma previa al muestreo. Viene dada en centímetros.
- Volumen de muestra: este es calculado en gabinete mediante los datos conocido de altura y diámetro de muestra. Se calcula en centímetros cúbicos.
- Peso de muestra: se trata del peso de la muestra secada al aire. Las muestras secas al aire, son pesadas en el laboratorio. Medida tomada en gramos.
- Densidad aparente (DA): conocido el peso y el volumen de cada muestra, se calcula la densidad aparente de todas las muestras tomadas en campo. Sus unidades son gramos por centímetro cúbico.

**Tabla 22**

Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ), peso seco al aire (g), volumen ( $\text{cm}^3$ ), altura (cm), diámetro ( $\varnothing$ ) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA ( $\text{cm}^3$ )	PESO MUESTRA (g)	DA ( $\text{g/cm}^3$ )
1	1	arbusto	0-10	4.5	10	159.04	227.1	1.428
1	1	arbusto	10-20	4.5	10	159.04	215.0	1.352
1	1	arbusto	20-40	4.5	20	318.09	392.4	1.234
1	2	arbusto	0-10	4.5	10	159.04	191.2	1.202
1	2	arbusto	10-20	4.5	10	159.04	150.1	0.944
1	2	arbusto	20-40	4.5	20	318.09	365.5	1.149

Tabla 22 (Cont).

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (∅) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
1	3	arbusto	0-10	4.5	10	159.04	205.9	1.295
1	3	arbusto	10-20	4.5	10	159.04	209.0	1.314
1	3	arbusto	20-40	4.5	20	318.09	380.3	1.196
1	4	pastura	0-10	4.5	10	159.04	206.6	1.299
1	4	pastura	10-20	4.5	10	159.04	199.1	1.252
1	4	pastura	20-40	4.5	20	318.09	357.8	1.125
1	5	pastura	0-10	4.5	10	159.04	195.5	1.229
1	5	pastura	10-20	4.5	10	159.04	221.0	1.390
1	5	pastura	20-40	4.5	20	318.09	387.3	1.218
1	6	arbusto	0-10	4.5	10	159.04	220.0	1.383
1	6	arbusto	10-20	4.5	10	159.04	217.3	1.366
1	6	arbusto	20-40	4.5	20	318.09	428.7	1.348
1	7	arbolado	0-10	4.5	10	159.04	201.3	1.266
1	7	arbolado	10-20	4.5	10	159.04	191.7	1.205
1	7	arbolado	20-40	4.5	20	318.09	412.7	1.297
1	8	arbolado	0-10	4.5	10	159.04	189.7	1.193
1	8	arbolado	10-20	4.5	10	159.04	240.9	1.515
1	8	arbolado	20-40	4.5	20	318.09	412.4	1.297
1	9	pastura	0-10	4.5	10	159.04	195.7	1.230
1	9	pastura	10-20	4.5	10	159.04	184.3	1.159
1	9	pastura	20-40	4.5	20	318.09	240.6	0.756
1	10	arbolado	0-10	4.5	10	159.04	210.9	1.326
1	10	arbolado	10-20	4.5	10	159.04	212.2	1.334
1	10	arbolado	20-40	4.5	20	318.09	376.0	1.182
1	11	arbusto	0-10	4.5	10	159.04	234.3	1.473
1	11	arbusto	10-20	4.5	10	159.04	230.7	1.451
1	11	arbusto	20-40	4.5	20	318.09	398.3	1.252
1	12	pastura	0-10	4.5	10	159.04	182.6	1.148
1	12	pastura	10-20	4.5	10	159.04	213.6	1.343
1	12	pastura	20-40	4.5	20	318.09	427.2	1.343
1	13	pastura	0-10	4.5	10	159.04	205.5	1.292
1	13	pastura	10-20	4.5	10	159.04	221.1	1.390
1	13	pastura	20-40	4.5	20	318.09	180.6	0.568

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
1	14	arbusto	0-10	4.5	10	159.04	186.5	1.173
1	14	arbusto	10-20	4.5	10	159.04	199.0	1.251
1	14	arbusto	20-40	4.5	20	318.09	276.9	0.871
1	15	pastura	0-10	4.5	10	159.04	151.0	0.949
1	15	pastura	10-20	4.5	10	159.04	245.9	1.546
1	15	pastura	20-40	4.5	20	318.09	352.9	1.109
2	1	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	394.8	1.351
2	1	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	424.8	1.454
2	1	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	737.2	1.261
2	2	pastura	0-10	6.1	10	292.25	384.6	1.316
2	2	pastura	10-20	6.1	10	292.25	434.9	1.488
2	2	pastura	20-40	6.1	20	584.49	772.2	1.321
2	3	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	333.2	1.140
2	3	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	428.4	1.466
2	3	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	761.1	1.302
2	4	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	427.3	1.462
2	4	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	392.5	1.343
2	4	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	672.4	1.150
2	5	pastura	0-10	6.1	10	292.25	330.8	1.132
2	5	pastura	10-20	6.1	10	292.25	487.4	1.668
2	5	pastura	20-40	6.1	20	584.49	708.3	1.212
2	6	pastura	0-10	6.1	10	292.25	394.7	1.351
2	6	pastura	10-20	6.1	10	292.25	388.2	1.328
2	6	pastura	20-40	6.1	20	584.49	724.1	1.239
2	7	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	402.3	1.377
2	7	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	401.0	1.372
2	7	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	636.5	1.089
2	8	pastura	0-10	6.1	10	292.25	358.7	1.227
2	8	pastura	10-20	6.1	10	292.25	321.0	1.098
2	8	pastura	20-40	6.1	20	584.49	824.4	1.410
2	9	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	347.7	1.190
2	9	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	405.9	1.389
2	9	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	711.9	1.218

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
2	10	pastura	0-10	6.1	10	292.25	419.6	1.436
2	10	pastura	10-20	6.1	10	292.25	442.1	1.513
2	10	pastura	20-40	6.1	20	584.49	787.1	1.347
2	11	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	309.7	1.060
2	11	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	463.3	1.585
2	11	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	679.1	1.162
2	12	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	434.4	1.486
2	12	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	438.9	1.502
2	12	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	791.2	1.354
2	13	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	325.5	1.114
2	13	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	305.3	1.045
2	13	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	760.5	1.301
2	14	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	407.4	1.394
2	14	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	488.1	1.670
2	14	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	704.2	1.205
2	15	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	432.9	1.481
2	15	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	402.5	1.377
2	15	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	681.7	1.166
3	1	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	388.3	1.329
3	1	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	428.6	1.467
3	1	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	644.9	1.103
3	2	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	399.9	1.368
3	2	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	412.8	1.413
3	2	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	834.8	1.428
3	3	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	371.4	1.271
3	3	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	425.9	1.457
3	3	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	655.5	1.121
3	4	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	421.4	1.442
3	4	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	433.4	1.483
3	4	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	676.7	1.158
3	5	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	374.3	1.281
3	5	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	479.1	1.639
3	5	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	775.7	1.327

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
3	6	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	407.0	1.393
3	6	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	365.6	1.251
3	6	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	690.6	1.182
3	7	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	389.8	1.334
3	7	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	410.0	1.403
3	7	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	780.9	1.336
3	8	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	360.7	1.234
3	8	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	458.3	1.568
3	8	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	783.4	1.340
3	9	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	418.9	1.433
3	9	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	443.4	1.517
3	9	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	759.1	1.299
3	10	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	455.3	1.558
3	10	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	396.9	1.358
3	10	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	778.1	1.331
3	11	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	441.8	1.512
3	11	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	472.6	1.617
3	11	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	782.9	1.339
3	12	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	398.3	1.363
3	12	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	464.7	1.590
3	12	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	842.2	1.441
3	13	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	426.1	1.458
3	13	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	445.4	1.524
3	13	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	679.6	1.163
3	14	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	403.4	1.380
3	14	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	489.3	1.674
3	14	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	745.6	1.276
3	15	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	390.4	1.336
3	15	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	456.8	1.563
3	15	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	685.9	1.173
4	1	pastura	0-10	6.1	10	292.25	411.6	1.408
4	1	pastura	10-20	6.1	10	292.25	494.1	1.691
4	1	pastura	20-40	6.1	20	584.49	774.2	1.325

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
4	2	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	404.0	1.382
4	2	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	491.0	1.680
4	2	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	898.7	1.538
4	3	pastura	0-10	6.1	10	292.25	378.6	1.295
4	3	pastura	10-20	6.1	10	292.25	425.5	1.456
4	3	pastura	20-40	6.1	20	584.49	752.1	1.287
4	4	pastura	0-10	6.1	10	292.25	386.6	1.323
4	4	pastura	10-20	6.1	10	292.25	442.5	1.514
4	4	pastura	20-40	6.1	20	584.49	852.1	1.458
4	5	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	391.6	1.340
4	5	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	508.9	1.741
4	5	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	831.4	1.422
4	6	pastura	0-10	6.1	10	292.25	428.2	1.465
4	6	pastura	10-20	6.1	10	292.25	392.0	1.341
4	6	pastura	20-40	6.1	20	584.49	740.5	1.267
4	7	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	356.8	1.221
4	7	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	475.3	1.626
4	7	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	705.4	1.207
4	8	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	280.1	0.958
4	8	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	359.1	1.229
4	8	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	842.2	1.441
4	9	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	427.2	1.462
4	9	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	285.1	0.976
4	9	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	871.0	1.490
4	10	pastura	0-10	6.1	10	292.25	409.3	1.401
4	10	pastura	10-20	6.1	10	292.25	388.2	1.328
4	10	pastura	20-40	6.1	20	584.49	888.1	1.519
4	11	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	358.3	1.226
4	11	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	425.4	1.456
4	11	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	690.9	1.182
4	12	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	405.5	1.388
4	12	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	233.3	0.798
4	12	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	919.0	1.572

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (∅) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
4	13	pastura	0-10	6.1	10	292.25	402.6	1.378
4	13	pastura	10-20	6.1	10	292.25	424.4	1.452
4	13	pastura	20-40	6.1	20	584.49	718.3	1.229
4	14	pastura	0-10	6.1	10	292.25	471.6	1.614
4	14	pastura	10-20	6.1	10	292.25	418.6	1.432
4	14	pastura	20-40	6.1	20	584.49	649.1	1.111
4	15	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	409.8	1.402
4	15	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	404.7	1.385
4	15	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	775.6	1.327
5	1	pastura	0-10	6.1	10	292.25	403.1	1.379
5	1	pastura	10-20	6.1	10	292.25	394.1	1.349
5	1	pastura	20-40	6.1	20	584.49	826.6	1.414
5	2	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	412.7	1.412
5	2	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	406.8	1.392
5	2	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	741.3	1.268
5	3	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	408.7	1.398
5	3	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	444.2	1.520
5	3	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	731.1	1.251
5	4	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	410.2	1.404
5	4	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	436.2	1.493
5	4	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	786.4	1.345
5	5	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	417.9	1.430
5	5	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	482.3	1.650
5	5	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	607.2	1.039
5	6	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	398.1	1.362
5	6	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	416.0	1.423
5	6	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	735.7	1.259
5	7	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	390.5	1.336
5	7	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	400.1	1.369
5	7	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	669.6	1.146
5	8	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	417.4	1.428
5	8	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	457.9	1.567
5	8	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	731.5	1.252

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
5	9	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	410.3	1.404
5	9	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	366.4	1.254
5	9	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	669.1	1.145
5	10	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	453.2	1.551
5	10	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	448.8	1.536
5	10	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	703.2	1.203
5	11	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	414.2	1.417
5	11	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	426.7	1.460
5	11	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	582.7	0.997
5	12	pastura	0-10	6.1	10	292.25	436.4	1.493
5	12	pastura	10-20	6.1	10	292.25	394.4	1.350
5	12	pastura	20-40	6.1	20	584.49	730.8	1.250
5	13	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	475.3	1.626
5	13	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	500.2	1.712
5	13	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	715.9	1.225
5	14	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	361.5	1.237
5	14	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	423.3	1.448
5	14	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	745.9	1.276
5	15	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	415.9	1.423
5	15	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	460.9	1.577
5	15	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	813.4	1.392
6	1	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	386.6	1.323
6	1	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	433.1	1.482
6	1	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	678.1	1.160
6	2	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	312.7	1.070
6	2	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	444.8	1.522
6	2	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	620.3	1.061
6	3	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	438.9	1.502
6	3	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	404.1	1.383
6	3	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	731.2	1.251
6	4	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	341.2	1.168
6	4	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	406.1	1.390
6	4	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	770.3	1.318

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
6	5	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	354.6	1.213
6	5	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	415.7	1.422
6	5	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	731.8	1.252
6	6	pastura	0-10	6.1	10	292.25	315.2	1.079
6	6	pastura	10-20	6.1	10	292.25	353.1	1.208
6	6	pastura	20-40	6.1	20	584.49	841.6	1.440
6	7	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	395.1	1.352
6	7	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	429.3	1.469
6	7	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	814.8	1.394
6	8	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	370.3	1.267
6	8	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	457.1	1.564
6	8	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	835.6	1.430
6	9	pastura	0-10	6.1	10	292.25	383.2	1.311
6	9	pastura	10-20	6.1	10	292.25	448.9	1.536
6	9	pastura	20-40	6.1	20	584.49	643.5	1.101
6	10	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	318.0	1.088
6	10	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	396.6	1.357
6	10	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	712.4	1.219
6	11	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	367.5	1.257
6	11	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	397.6	1.360
6	11	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	500.3	0.856
6	12	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	416.7	1.426
6	12	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	352.5	1.206
6	12	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	691.6	1.183
6	13	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	328.8	1.125
6	13	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	488.3	1.671
6	13	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	849.7	1.454
6	14	pastura	0-10	6.1	10	292.25	359.8	1.231
6	14	pastura	10-20	6.1	10	292.25	447.1	1.530
6	14	pastura	20-40	6.1	20	584.49	856.1	1.465
6	15	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	354.9	1.214
6	15	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	422.6	1.446
6	15	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	662.2	1.133

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
7	1	pastura	0-10	6.1	10	292.25	428.2	1.465
7	1	pastura	10-20	6.1	10	292.25	409.8	1.402
7	1	pastura	20-40	6.1	20	584.49	734.7	1.257
7	2	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	306.1	1.047
7	2	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	412.9	1.413
7	2	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	795.8	1.362
7	3	pastura	0-10	6.1	10	292.25	378.3	1.294
7	3	pastura	10-20	6.1	10	292.25	414.2	1.417
7	3	pastura	20-40	6.1	20	584.49	784.7	1.343
7	4	pastura	0-10	6.1	10	292.25	370.6	1.268
7	4	pastura	10-20	6.1	10	292.25	411.1	1.407
7	4	pastura	20-40	6.1	20	584.49	616.1	1.054
7	5	pastura	0-10	6.1	10	292.25	374.6	1.282
7	5	pastura	10-20	6.1	10	292.25	423.5	1.449
7	5	pastura	20-40	6.1	20	584.49	724.1	1.239
7	6	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	405.8	1.389
7	6	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	377.9	1.293
7	6	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	758.1	1.297
7	7	pastura	0-10	6.1	10	292.25	338.4	1.158
7	7	pastura	10-20	6.1	10	292.25	401.9	1.375
7	7	pastura	20-40	6.1	20	584.49	707.8	1.211
7	8	pastura	0-10	6.1	10	292.25	379.8	1.300
7	8	pastura	10-20	6.1	10	292.25	454.1	1.554
7	8	pastura	20-40	6.1	20	584.49	752.7	1.288
7	9	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	384.5	1.316
7	9	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	435.2	1.489
7	9	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	740.0	1.266
7	10	pastura	0-10	6.1	10	292.25	398.2	1.363
7	10	pastura	10-20	6.1	10	292.25	397.7	1.361
7	10	pastura	20-40	6.1	20	584.49	706.4	1.209
7	11	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	414.8	1.419
7	11	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	353.1	1.208
7	11	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	759.5	1.299

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
7	12	pastura	0-10	6.1	10	292.25	354.9	1.214
7	12	pastura	10-20	6.1	10	292.25	451.2	1.544
7	12	pastura	20-40	6.1	20	584.49	699.6	1.197
7	13	pastura	0-10	6.1	10	292.25	422.3	1.445
7	13	pastura	10-20	6.1	10	292.25	430.9	1.474
7	13	pastura	20-40	6.1	20	584.49	664.9	1.138
7	14	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	375.1	1.284
7	14	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	452.7	1.549
7	14	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	744.3	1.273
7	15	pastura	0-10	6.1	10	292.25	379.2	1.298
7	15	pastura	10-20	6.1	10	292.25	401.5	1.374
7	15	pastura	20-40	6.1	20	584.49	747.0	1.278
8	1	pastura	0-10	6.1	10	292.25	491.5	1.682
8	1	pastura	10-20	6.1	10	292.25	473.2	1.619
8	1	pastura	20-40	6.1	20	584.49	714.3	1.222
8	2	pastura	0-10	6.1	10	292.25	511.7	1.751
8	2	pastura	10-20	6.1	10	292.25	452.4	1.548
8	2	pastura	20-40	6.1	20	584.49	765.1	1.309
8	3	pastura	0-10	6.1	10	292.25	423.3	1.448
8	3	pastura	10-20	6.1	10	292.25	468.2	1.602
8	3	pastura	20-40	6.1	20	584.49	782.7	1.339
8	4	pastura	0-10	6.1	10	292.25	430.0	1.471
8	4	pastura	10-20	6.1	10	292.25	417.9	1.430
8	4	pastura	20-40	6.1	20	584.49	825.8	1.413
8	5	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	419.4	1.435
8	5	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	357.0	1.222
8	5	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	779.1	1.333
8	6	pastura	0-10	6.1	10	292.25	449.3	1.537
8	6	pastura	10-20	6.1	10	292.25	519.3	1.777
8	6	pastura	20-40	6.1	20	584.49	829.7	1.420
8	7	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	375.9	1.286
8	7	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	471.1	1.612
8	7	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	817.7	1.399

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
8	8	pastura	0-10	6.1	10	292.25	362.1	1.239
8	8	pastura	10-20	6.1	10	292.25	495.4	1.695
8	8	pastura	20-40	6.1	20	584.49	747.9	1.280
8	9	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	381.4	1.305
8	9	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	464.4	1.589
8	9	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	791.0	1.353
8	10	pastura	0-10	6.1	10	292.25	345.6	1.183
8	10	pastura	10-20	6.1	10	292.25	401.9	1.375
8	10	pastura	20-40	6.1	20	584.49	585.2	1.001
8	11	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	414.5	1.418
8	11	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	412.5	1.411
8	11	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	785.1	1.343
8	12	pastura	0-10	6.1	10	292.25	448.4	1.534
8	12	pastura	10-20	6.1	10	292.25	391.5	1.340
8	12	pastura	20-40	6.1	20	584.49	823.5	1.409
8	13	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	422.3	1.445
8	13	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	504.0	1.725
8	13	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	749.8	1.283
8	14	pastura	0-10	6.1	10	292.25	390.4	1.336
8	14	pastura	10-20	6.1	10	292.25	481.5	1.648
8	14	pastura	20-40	6.1	20	584.49	744.2	1.273
8	15	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	360.2	1.233
8	15	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	453.8	1.553
8	15	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	737.1	1.261
9	1	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	299.9	1.026
9	1	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	398.1	1.362
9	1	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	740.4	1.267
9	2	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	415.4	1.421
9	2	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	511.1	1.749
9	2	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	826.1	1.413
9	3	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	409.4	1.401
9	3	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	386.2	1.321
9	3	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	673.5	1.152

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>), peso seco al aire (g), volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), diámetro (Ø) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	PESO MUESTRA (g)	DA (g/cm <sup>3</sup> )
9	4	pastura	0-10	6.1	10	292.25	347.5	1.189
9	4	pastura	10-20	6.1	10	292.25	506.2	1.732
9	4	pastura	20-40	6.1	20	584.49	629.7	1.077
9	5	pastura	0-10	6.1	10	292.25	451.5	1.545
9	5	pastura	10-20	6.1	10	292.25	437.7	1.498
9	5	pastura	20-40	6.1	20	584.49	710.6	1.216
9	6	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	290.6	0.994
9	6	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	372.0	1.273
9	6	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	741.0	1.268
9	7	arbolado	0-10	6.1	10	292.25	450.1	1.540
9	7	arbolado	10-20	6.1	10	292.25	432.2	1.479
9	7	arbolado	20-40	6.1	20	584.49	692.5	1.185
9	8	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	454.1	1.554
9	8	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	364.4	1.247
9	8	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	673.3	1.152
9	9	pastura	0-10	6.1	10	292.25	464.7	1.590
9	9	pastura	10-20	6.1	10	292.25	437.9	1.498
9	9	pastura	20-40	6.1	20	584.49	743.1	1.271
9	10	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	338.1	1.157
9	10	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	449.0	1.536
9	10	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	770.1	1.318
9	11	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	334.1	1.143
9	11	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	435.8	1.491
9	11	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	664.4	1.137
9	12	pastura	0-10	6.1	10	292.25	361.9	1.238
9	12	pastura	10-20	6.1	10	292.25	420.5	1.439
9	12	pastura	20-40	6.1	20	584.49	780.6	1.336
9	13	pastura	0-10	6.1	10	292.25	456.4	1.562
9	13	pastura	10-20	6.1	10	292.25	425.9	1.457
9	13	pastura	20-40	6.1	20	584.49	806.1	1.379
9	14	arbusto	0-10	6.1	10	292.25	398.4	1.363
9	14	arbusto	10-20	6.1	10	292.25	442.5	1.514
9	14	arbusto	20-40	6.1	20	584.49	729.6	1.248

**Tabla 22 (Cont).**

Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ), peso seco al aire (g), volumen ( $\text{cm}^3$ ), altura (cm), diámetro ( $\varnothing$ ) y tipo de cubierta (arbusto, arbolado o pastura) para cada tipo de muestra (0-10, 10-20 o 20-40 cm de profundidad) y para cada punto de muestreo. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	TIPO MUESTRA	DIAMETRO MUESTRA (cm)	ALTURA MUESTRA (cm)	VOLUMEN MUESTRA ( $\text{cm}^3$ )	PESO MUESTRA (g)	DA ( $\text{g/cm}^3$ )
9	15	pastura	0-10	6.1	10	292.25	367.5	1.257
9	15	pastura	10-20	6.1	10	292.25	517.3	1.770
9	15	pastura	20-40	6.1	20	584.49	753.6	1.289

En la Tabla 15 se muestran datos de las 135 muestras tomadas en campo en las 9 parcelas de muestreo para la profundidad 0-10 cm y para cada punto de muestreo (15 en cada parcela). De cada muestra se aportan los datos de las siguientes variables:

- Tipo de cubierta: este dato es tomado en campo durante el muestreo e indica el tipo de vegetación que cubre el punto de muestreo. Se establecen para esta variable las clases de pastura, arbusto o arbolado.
- Densidad aparente (DA): es la misma densidad calculada y mostrada en la Tabla 14. Sus unidades son gramos por centímetro cubico.
- Carbono (%): se trata del porcentaje de carbono orgánico de cada una de las muestras, obtenido en los análisis de laboratorio.
- Carbono ( $\text{g/cm}^3$ ): se trata del carbono orgánico de cada muestra medido en gramos por centímetro cubico. Éste, es el resultado de multiplicar la densidad aparente por el dato de porcentaje de carbono en tanto por uno.
- Bloque: se trata de un dato adjudicado en gabinete, que es utilizado en el análisis estadístico. Se trata de 3 bloques de parcelas, cada bloque incluye las tres parcelas que se encuentran más cercanas entre ellas (Bloque 1: parcelas 2, 4 y 7. Bloque 2: parcelas 3, 5 y 8. Bloque 3: parcelas 1, 6 y 9).

**Tabla 23**

Carbono orgánico (en % y en  $\text{g/cm}^3$ ), densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) y tipo de cubierta para cada una de las muestras de profundidad 0-10 cm y para cada uno de los puntos de muestreo de las 9 parcelas. Además se incluye una clasificación por bloques de ubicación de parcelas. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	DA ( $\text{g/cm}^3$ )	CARBONO (%)	CARBONO ( $\text{g/cm}^3$ )	BLOQUE
1	1	arbusto	1.428	0.759	0.0108	3
1	2	arbusto	1.202	1.630	0.0196	3
1	3	arbusto	1.295	0.959	0.0124	3
1	4	pastura	1.299	1.370	0.0178	3
1	5	pastura	1.229	0.846	0.0104	3
1	6	arbusto	1.383	0.967	0.0134	3
1	7	arbolado	1.266	1.551	0.0196	3

**Tabla 23 (Cont).**

Carbono orgánico (en % y en g/cm<sup>3</sup>), densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) y tipo de cubierta para cada una de las muestras de profundidad 0-10 cm y para cada uno de los puntos de muestreo de las 9 parcelas. Además se incluye una clasificación por bloques de ubicación de parcelas. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CARBONO (%)	CARBONO (g/cm <sup>3</sup> )	BLOQUE
1	8	arbolado	1.193	1.910	0.0228	3
1	9	pastura	1.230	1.740	0.0214	3
1	10	arbolado	1.326	1.391	0.0184	3
1	11	arbusto	1.473	0.868	0.0128	3
1	12	pastura	1.148	4.411	0.0506	3
1	13	pastura	1.292	3.625	0.0468	3
1	14	arbusto	1.173	3.433	0.0403	3
1	15	pastura	0.949	4.772	0.0453	3
2	1	arbusto	1.351	1.307	0.0177	1
2	2	pastura	1.316	1.085	0.0143	1
2	3	arbusto	1.140	2.399	0.0274	1
2	4	arbusto	1.462	1.152	0.0168	1
2	5	pastura	1.132	1.755	0.0199	1
2	6	pastura	1.351	1.495	0.0202	1
2	7	arbusto	1.377	1.901	0.0262	1
2	8	pastura	1.227	2.062	0.0253	1
2	9	arbusto	1.190	1.428	0.0170	1
2	10	pastura	1.436	0.829	0.0119	1
2	11	arbusto	1.060	2.393	0.0254	1
2	12	arbusto	1.486	0.764	0.0114	1
2	13	arbusto	1.114	0.914	0.0102	1
2	14	arbusto	1.394	0.845	0.0118	1
2	15	arbusto	1.481	1.004	0.0149	1
3	1	arbusto	1.329	1.698	0.0226	2
3	2	arbusto	1.368	0.860	0.0118	2
3	3	arbusto	1.271	1.545	0.0196	2
3	4	arbolado	1.442	0.876	0.0126	2
3	5	arbusto	1.281	2.327	0.0298	2
3	6	arbolado	1.393	1.243	0.0173	2
3	7	arbusto	1.334	1.023	0.0136	2
3	8	arbusto	1.234	0.854	0.0105	2
3	9	arbusto	1.433	0.799	0.0115	2
3	10	arbusto	1.558	0.831	0.0129	2
3	11	arbusto	1.512	0.851	0.0129	2

**Tabla 23 (Cont).**

Carbono orgánico (en % y en g/cm<sup>3</sup>), densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) y tipo de cubierta para cada una de las muestras de profundidad 0-10 cm y para cada uno de los puntos de muestreo de las 9 parcelas. Además se incluye una clasificación por bloques de ubicación de parcelas. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CARBONO (%)	CARBONO (g/cm <sup>3</sup> )	BLOQUE
3	12	arbolado	1.363	0.573	0.0078	2
3	13	arbusto	1.458	0.530	0.0077	2
3	14	arbusto	1.380	1.062	0.0147	2
3	15	arbusto	1.336	1.440	0.0192	2
4	1	pastura	1.408	0.960	0.0135	1
4	2	arbolado	1.382	0.851	0.0118	1
4	3	pastura	1.295	0.698	0.0090	1
4	4	pastura	1.323	0.630	0.0083	1
4	5	arbusto	1.340	1.014	0.0136	1
4	6	pastura	1.465	1.076	0.0158	1
4	7	arbolado	1.221	1.284	0.0157	1
4	8	arbolado	0.958	3.696	0.0354	1
4	9	arbusto	1.462	0.806	0.0118	1
4	10	pastura	1.401	0.813	0.0114	1
4	11	arbusto	1.226	1.267	0.0155	1
4	12	arbolado	1.388	0.735	0.0102	1
4	13	pastura	1.378	0.779	0.0107	1
4	14	pastura	1.614	0.729	0.0118	1
4	15	arbolado	1.402	1.184	0.0166	1
5	1	pastura	1.379	1.648	0.0227	2
5	2	arbusto	1.412	0.810	0.0114	2
5	3	arbolado	1.398	0.942	0.0132	2
5	4	arbusto	1.404	0.937	0.0132	2
5	5	arbusto	1.430	1.013	0.0145	2
5	6	arbolado	1.362	0.664	0.0090	2
5	7	arbusto	1.336	1.100	0.0147	2
5	8	arbusto	1.428	0.575	0.0082	2
5	9	arbusto	1.404	1.176	0.0165	2
5	10	arbusto	1.551	0.982	0.0152	2
5	11	arbolado	1.417	0.959	0.0136	2
5	12	pastura	1.493	1.103	0.0165	2
5	13	arbusto	1.626	0.895	0.0146	2
5	14	arbolado	1.237	1.111	0.0137	2
5	15	arbolado	1.423	0.908	0.0129	2

**Tabla 23 (Cont).**

Carbono orgánico (en % y en g/cm<sup>3</sup>), densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) y tipo de cubierta para cada una de las muestras de profundidad 0-10 cm y para cada uno de los puntos de muestreo de las 9 parcelas. Además se incluye una clasificación por bloques de ubicación de parcelas. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CARBONO (%)	CARBONO (g/cm <sup>3</sup> )	BLOQUE
6	1	arbolado	1.323	1.549	0.0205	3
6	2	arbusto	1.070	2.309	0.0247	3
6	3	arbolado	1.502	1.681	0.0252	3
6	4	arbusto	1.168	2.063	0.0241	3
6	5	arbolado	1.213	2.013	0.0244	3
6	6	pastura	1.079	2.962	0.0319	3
6	7	arbolado	1.352	1.544	0.0209	3
6	8	arbolado	0.925	3.231	0.0299	3
6	9	pastura	1.311	1.738	0.0228	3
6	10	arbolado	1.088	2.009	0.0219	3
6	11	arbusto	1.257	1.714	0.0216	3
6	12	arbusto	1.426	1.672	0.0238	3
6	13	arbusto	1.125	1.511	0.0170	3
6	14	pastura	1.231	1.434	0.0177	3
6	15	arbolado	1.214	1.792	0.0218	3
7	1	pastura	1.465	1.185	0.0174	1
7	2	arbusto	1.047	2.670	0.0280	1
7	3	pastura	1.294	1.449	0.0188	1
7	4	pastura	1.268	1.553	0.0197	1
7	5	pastura	1.282	1.274	0.0163	1
7	6	arbusto	1.389	1.254	0.0174	1
7	7	pastura	1.158	1.059	0.0123	1
7	8	pastura	1.300	1.605	0.0209	1
7	9	arbusto	1.316	0.875	0.0115	1
7	10	pastura	1.363	1.163	0.0158	1
7	11	arbusto	1.419	0.808	0.0115	1
7	12	pastura	1.214	1.455	0.0177	1
7	13	pastura	1.445	1.142	0.0165	1
7	14	arbusto	1.284	1.562	0.0200	1
7	15	pastura	1.298	1.354	0.0176	1
8	1	pastura	1.682	1.069	0.0180	2
8	2	pastura	1.751	0.708	0.0124	2
8	3	pastura	1.448	1.098	0.0159	2
8	4	pastura	1.471	0.550	0.0081	2

**Tabla 23 (Cont).**

Carbono orgánico (en % y en g/cm<sup>3</sup>), densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) y tipo de cubierta para cada una de las muestras de profundidad 0-10 cm y para cada uno de los puntos de muestreo de las 9 parcelas. Además se incluye una clasificación por bloques de ubicación de parcelas. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE CUBIERTA	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CARBONO (%)	CARBONO (g/cm <sup>3</sup> )	BLOQUE
8	5	arbusto	1.435	1.272	0.0183	2
8	6	pastura	1.537	0.721	0.0111	2
8	7	arbusto	1.286	0.933	0.0120	2
8	8	pastura	1.239	1.916	0.0237	2
8	9	arbusto	1.305	1.493	0.0195	2
8	10	pastura	1.183	1.978	0.0234	2
8	11	arbusto	1.418	1.199	0.0170	2
8	12	pastura	1.534	1.203	0.0185	2
8	13	arbusto	1.445	0.961	0.0139	2
8	14	pastura	1.336	1.793	0.0240	2
8	15	arbusto	1.233	1.736	0.0214	2
9	1	arbusto	1.026	3.377	0.0347	3
9	2	arbusto	1.421	1.349	0.0192	3
9	3	arbusto	1.401	0.923	0.0129	3
9	4	pastura	1.189	1.807	0.0215	3
9	5	pastura	1.545	1.283	0.0198	3
9	6	arbusto	0.994	2.899	0.0288	3
9	7	arbolado	1.540	1.120	0.0172	3
9	8	arbusto	1.554	1.291	0.0201	3
9	9	pastura	1.590	0.690	0.0110	3
9	10	arbusto	1.157	2.403	0.0278	3
9	11	arbusto	1.143	2.657	0.0304	3
9	12	pastura	1.238	1.192	0.0148	3
9	13	pastura	1.562	1.038	0.0162	3
9	14	arbusto	1.363	0.707	0.0096	3
9	15	pastura	1.257	2.009	0.0253	3

Por último en la Tabla 16 se muestran datos de 27 muestras agrupadas. Se trata de las muestras compuestas por los 15 puntos de muestreo, para cada profundidad (0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm). En total se muestran datos de 3 muestras agrupadas por parcela (9 parcelas en total). De cada muestra se aportan los datos de las siguientes variables:

- Densidad aparente (DA): se trata de la densidad aparente obtenida calculando la media de la densidad aparente de las 15 muestras de cada punto de muestreo y para cada profundidad. Los datos de densidad utilizados para el cálculo de esta

densidad media son los mostrados en la Tabla 14. Sus unidades son gramos por centímetro cubico.

- Carbono (%): se trata del porcentaje de carbono orgánico de cada una de las muestras agrupadas, obtenido en los análisis de laboratorio.
- Nitrógeno (%): se trata del porcentaje de nitrógeno total de cada una de las muestras agrupadas, obtenido en los análisis de laboratorio.
- Carbono (g/cm<sup>3</sup>): se trata del carbono orgánico de cada muestra medido en gramos por centímetro cubico. Éste, es el resultado de multiplicar la densidad aparente por el dato de porcentaje de carbono en tanto por uno.
- Nitrógeno (g/cm<sup>3</sup>): se trata del nitrógeno total de cada muestra medido en gramos por centímetro cubico. Éste, es el resultado de multiplicar la densidad aparente por el dato de porcentaje de nitrógeno en tanto por uno.
- C/N: se trata de la relación carbono-nitrógeno, calculada mediante el cociente del carbono orgánico entre el nitrógeno total. Adimensional.
- Bloque: se trata de un dato adjudicado en gabinete, que es utilizado en el análisis estadístico. Se trata de 3 bloques de parcelas, cada bloque incluye las tres parcelas que se encuentran más cercanas entre ellas (Bloque 1: parcelas 2, 4 y 7. Bloque 2: parcelas 3, 5 y 8. Bloque 3: parcelas 1, 6 y 9).

**Tabla 24**

Carbono orgánico (en % y en g/cm<sup>3</sup>), nitrógeno total (en % y en g/cm<sup>3</sup>), relación carbono/nitrógeno (C/N) y densidad aparente media (g/cm<sup>3</sup>) para cada una de las muestras agrupadas para cada profundidad y compuestas por los 15 puntos de muestreo de cada parcela. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	MUESTRA	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CARBONO (%)	NITRÓGENO (%)	CARBONO (g/cm <sup>3</sup> )	NITRÓGENO (g/cm <sup>3</sup> )	C/N	Bloque
1	0-10	1.232	1.865	0.186	0.0230	0.0023	10.044	3
1	10-20	1.235	1.036	0.120	0.0128	0.0015	8.601	3
1	20-40	1.229	0.679	0.065	0.0083	0.0008	10.462	3
2	0-10	1.326	1.352	0.152	0.0179	0.0020	8.907	1
2	10-20	1.326	0.568	0.045	0.0075	0.0006	12.496	1
2	20-40	1.320	0.404	0.047	0.0053	0.0006	8.608	1
3	0-10	1.384	1.014	0.113	0.0140	0.0016	8.976	2
3	10-20	1.389	0.712	0.108	0.0099	0.0015	6.569	2
3	20-40	1.388	0.508	0.096	0.0071	0.0013	5.317	2
4	0-10	1.373	1.030	0.127	0.0141	0.0017	8.085	1
4	10-20	1.372	0.446	0.089	0.0061	0.0012	4.983	1
4	20-40	1.364	0.417	0.081	0.0057	0.0011	5.176	1
5	0-10	1.370	0.776	0.081	0.0106	0.0011	9.530	2
5	10-20	1.374	0.574	0.064	0.0079	0.0009	9.012	2

**Tabla 24 (Cont).**

Carbono orgánico (en % y en g/cm<sup>3</sup>), nitrógeno total (en % y en g/cm<sup>3</sup>), relación carbono/nitrógeno (C/N) y densidad aparente media (g/cm<sup>3</sup>) para cada una de las muestras agrupadas para cada profundidad y compuestas por los 15 puntos de muestreo de cada parcela. Fuente: elaboración propia.

PARCELA	MUESTRA	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CARBONO (%)	NITRÓGENO (%)	CARBONO (g/cm <sup>3</sup> )	NITRÓGENO (g/cm <sup>3</sup> )	C/N	Bloque
5	20-40	1.375	0.482	0.057	0.0066	0.0008	8.419	2
6	0-10	1.310	1.674	0.156	0.0219	0.0020	10.741	3
6	10-20	1.312	0.734	0.093	0.0096	0.0012	7.887	3
6	20-40	1.304	0.663	0.069	0.0086	0.0009	9.589	3
7	0-10	1.323	1.083	0.140	0.0143	0.0019	7.736	1
7	10-20	1.321	0.624	0.071	0.0082	0.0009	8.753	1
7	20-40	1.318	0.491	0.070	0.0065	0.0009	6.994	1
8	0-10	1.425	1.055	0.129	0.0150	0.0018	8.174	2
8	10-20	1.422	0.473	0.082	0.0067	0.0012	5.746	2
8	20-40	1.414	0.399	0.085	0.0056	0.0012	4.691	2
9	0-10	1.349	1.396	0.155	0.0188	0.0021	8.979	3
9	10-20	1.366	0.624	0.090	0.0085	0.0012	6.897	3
9	20-40	1.364	0.573	0.069	0.0078	0.0009	8.349	3

*ANEXO 4*

Fotografías



### **Fotografías del Campo de Trabajo**



**Figura 46**  
Explotación ganadera de vacuno.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 47**  
Hornos de carbón, en desuso desde el año 2000.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 48**  
Parcela circular de soja, con riego mediante pívot.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 49**  
Pista de acceso y cerramientos del campo de trabajo.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 50**  
Individuo de *Prosopis flexuosa* (algarrobo).  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 51**  
Restos de madera muerta tras un desmonte selectivo o rolado.  
Fuente: elaboración propia.

### **Fotografías de las Parcelas de Muestreo**



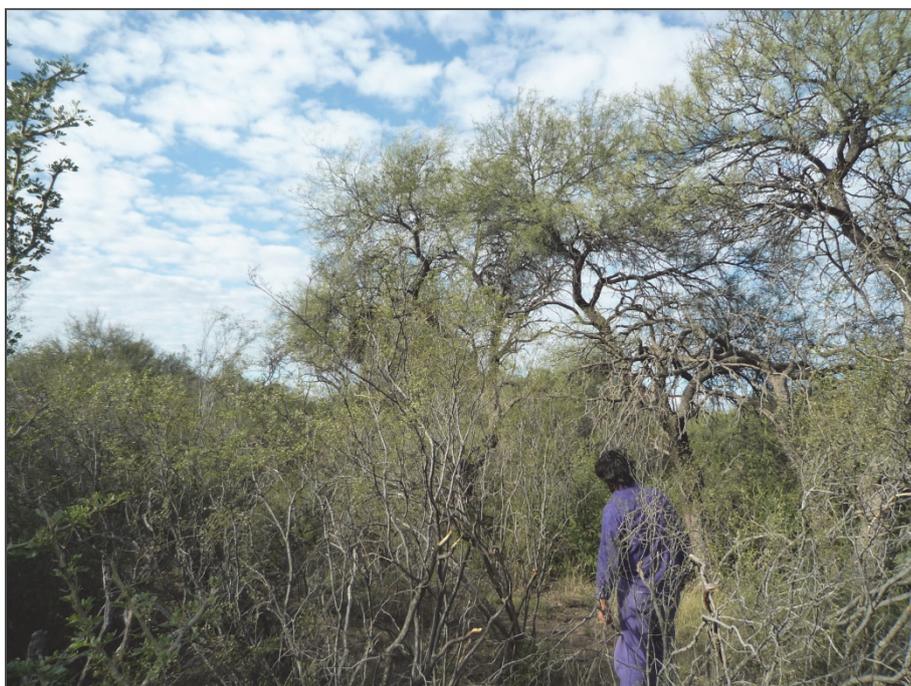
**Figura 52**  
Parcela 1, algarrobar rolado en el año 2002.  
Fuente: elaboración propia.



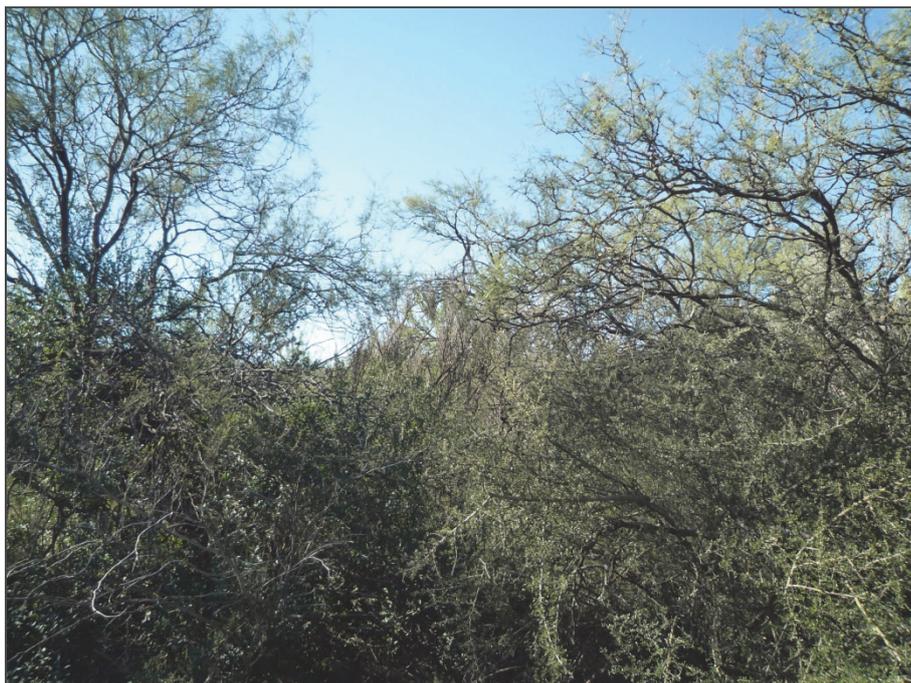
**Figura 53**  
Parcela 2, algarrobar rolado en el año 2002.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 54**  
Parcela 3, algarrobar rolado en el año 2003.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 55**  
Parcela 4, bosque de algarrobo nativo.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 56**  
Parcela 5, bosque de algarrobo nativo.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 57**  
Parcela 6, bosque de algarrobo nativo.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 58**

Parcela 7, algarrobar rolado en el año 2007 y en el año 2012.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 59**

Parcela 8, algarrobar rolado en el año 2006 y en el año 2011.  
Fuente: elaboración propia.



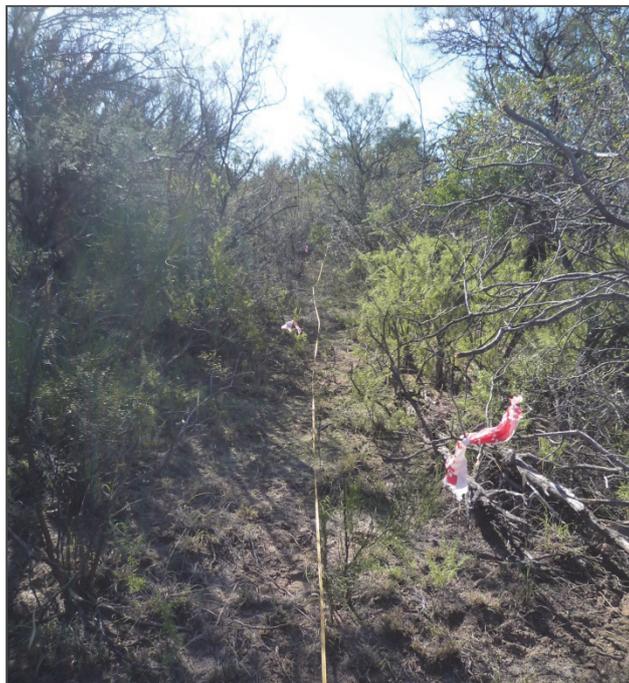
**Figura 60**

Parcela 9, algarrobar rolado en el año 2006 y en el año 2011.  
Fuente: elaboración propia.

## **Fotografías del Trabajo de Campo**



**Figura 61**  
Replanteo del transecto mediante cinta métrica.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 62**  
Señalamiento de puntos de muestreo con cinta de marcate. Fuente: elaboración propia.



**Figura 63**

Materiales y herramientas utilizados para el muestreo en campo.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 64**

Detalle tubo de acero clavado hasta 10 cm de profundidad.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 65**

Detalle eliminación de suelo exterior para extracción de muestra.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 66**

Detalle tubo de acero clavado hasta los 40 cm de profundidad.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 67**  
Detalle eliminación de suelo exterior para extracción de muestra.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 68**  
Detalle muestra extraída y hueco de extracción.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 69**

Detalle muestras en sus correspondientes bolsas de empaquetado.  
Fuente: elaboración propia.

### **Fotografías del Trabajo de Laboratorio**



**Figura 70**

Secado al aire de las muestras.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 71**

Rotulación y colocación de muestras durante el secado al aire.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 72**  
Detalle de rotura de agregados con rodillo de madera.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 73**  
Tamizado de muestra con tamiz de 2 mm de luz.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 74**

Balanza de pesaje y detalle de elementos gruesos.  
Fuente: elaboración propia.



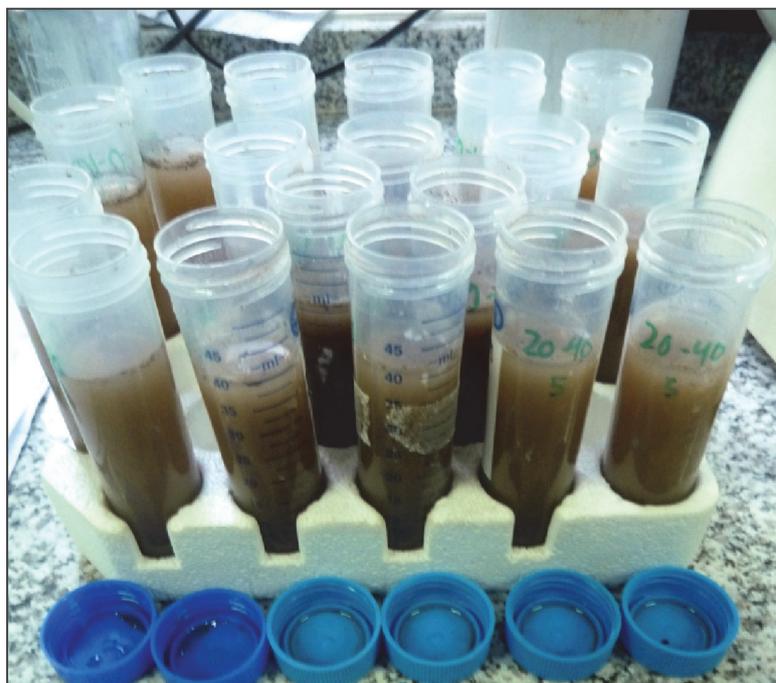
**Figura 75**

Molino de cuchilla y bolsas de papel de empaquetado.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 76**

Centrifuga utilizada para la eliminación de carbonatos.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 77**

Tubos tipo Falcon para centrifuga de 50 ml con tapa, utilizados para la eliminación de carbonatos. Fuente: elaboración propia.

