

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas



Tesis para la obtención del Grado Académico de Doctor en Ciencias Biológicas

**EFFECTOS DE LARGO PLAZO DEL USO DEL SUELO
SOBRE LA COMUNIDAD DE LOMBRICES DE TIERRA
(ANNELIDA, OLIGOCHAETA) EN LA PROVINCIA DE
SANTA FE**

Carolina Elisabet Masin

Director de Tesis: **Dr. Fernando Roberto Momo**

Lugar de realización: **Laboratorio de Ecotoxicología (Grupo Medio Ambiente) – Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC)**

Mi agradecimiento:

- *Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).*
- *A la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Litoral, sede del Doctorado en Ciencias Biológicas.*
- *Al Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), ámbito donde se desarrolló el trabajo de tesis.*
- *Al Dr. Fernando Momo y a la Dra. María Inés Maitre.*
- *A la Dra. Cristina Zalazar por el acompañamiento y apoyo incondicional brindados.*
- *Un especial agradecimiento al Dr. José Luis Godoy por su valioso aporte, asesoramiento y guía en el desarrollo del trabajo de tesis.*
- *A Alba Rut, Soledad, Mariano y Leticia, grupo de apoyo y trabajos.*
- *A Silvana, Javier, Marcelo, Eduardo y Fernanda, integrantes del INTEC.*
- *A Gabriella de la Universidad de la República de Uruguay.*
- *A mis compañeras Gisela y Melina.*
- *A mi familia y a Marcelo.*

Todos presentes en el desarrollo y concreción de este trabajo...momento tan importante de mi vida.

Parte de los datos presentados en este trabajo de tesis dieron lugar a:

Publicaciones

- Maitre M. I., Rodríguez A. R., **Masin C. E.**, Ricardo T. 2012. Chapter 2: Evaluation of earthworms present on natural and agricultural-livestock soils of the center northern littoral santafesino. In Pesticides - Advances in Chemical and Botanical Pesticide. Edited by R. P. Soundararajan, ISBN 978-953-51-0680-7. 382 pp.
- **Masin C. E.** & Rodríguez A. R. 2012. Evaluación preliminar de dos tipos de dieta en la especie endogea *Aporrectodea trapezoides* (Dugés, 1828) (Oligochaeta: Lumbricidae). Megadrilogica Vol. 15, N° 10: 219-226.
- **Masin. C. E.**; Cruz, M. S.; Rodríguez, A. R.; Demonte, M. J.; Vuizot, L. A.; Maitre, M. I.; Almada, M. S. 2017. Macrofauna edáfica asociada a diferentes ambientes de un vivero forestal (Santa Fe, Argentina). Cienc. Suelo (Argentina) 35 (1). En prensa.

Comunicaciones científicas

- **Masin, C. E.**; Momo, F. R.; Maitre, M. I.; Rodríguez, A. R. Comunidades de oligoquetos terrestres en suelos con diferentes usos y/o manejos en la provincia de Santa Fe, Argentina. IX Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología de Suelos. I Congreso Nacional de Biología Molecular de Suelos. Septiembre 2013. Santiago del Estero. ISBN: 978-987-1676-05-7.
- **Masin, C. E.**; Maitre, M. I.; Rodríguez, A. R.; Cruz, M. S.; Demonte, M. J.; Vuizot, L. A.; Momo, F. R. Efectos del uso del suelo sobre comunidades de lombrices de tierra. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Producción sustentable en ambientes frágiles. Mayo 2014. Bahía Blanca (Buenos Aires). ISBN: 978-987-24771-6-5.
- **Masin, C. E.** Lombrices de tierra como indicadores biológicos del uso del suelo. XVIII Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral. Septiembre 2014. Santa Fe.
- **Masin, C. E.**; Cruz, M. S.; Rodríguez, A. R.; Demonte, M. J.; Vuizot, L. A.; Maitre, M.I.; Momo, F. R.; Almada, M. S.; Lorenzatti, E. Estudio de la meso y macrofauna edáfica en tres ambientes con usos diferentes; Diversidad de arañas (Arachnida: Araneae) en ambientes con diferentes condiciones y uso del suelo. IV Congreso Nacional de Ecología y Biología del Suelo. Abril 2015. Esquel (Chubut).

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- **Masin, C.E.** Lombrices de tierra como indicadores biológicos del uso del suelo en la provincia de Santa Fe. XII Jornada Agrícola Ganadera: “Un Desafío” y el V Encuentro Nacional de Estudiantes de Ciencias Agropecuarias. Mayo 2015. Zavalla (Santa Fe).

Gran parte de los trabajos presentados fueron desarrollados gracias al aporte de los proyectos:

- SECTEI (2010-116-12) 2012: “Efectos del uso del suelo y prácticas de labranza sobre la oligoquetofauna en suelos de la provincia de Santa Fe”. Secretaría de Estado de Ciencia, Tecnología e Innovación. Pcia. de Santa Fe. Directora: Dra. Maitre, M. I. Finalizó 2014.

- CAI+D (503 201301 00076 LI) 2013: “Estudio ambiental sobre el impacto de los plaguicidas de uso masivo sobre la calidad del aire, suelo e incidencia de variables ambientales”. UNL. Santa Fe. Director: Dr. Eduardo Lorenzatti, E. En ejecución.

Índice

	Pág.
Abreviaturas y Símbolos.....	11
Resumen.....	12
Abstract.....	14
Capítulo 1. Introducción.....	16
1.1. Antecedentes.....	17
1.1.1. Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina.....	17
1.1.2. Avance productivo en Santa Fe.....	18
1.2. La provincia de Santa Fe.....	18
1.2.1. Localización geográfica.....	18
1.2.2. Relieve y Clima.....	20
1.2.3. Tipos de suelo y Provincias fitogeográficas.....	21
1.2.4. Cambios en el uso del suelo.....	24
1.3. Lombrices de tierra: potenciales bioindicadores del uso del suelo.....	26
1.3.1. Caracterización del grupo biológico.....	26
1.3.2. Relación entre lombrices de tierra y prácticas productivas.....	28
1.3.3. Diversidad y biogeografía de la oligoquetofauna en la Argentina.....	29
1.3.4. Investigaciones previas sobre lombrices de tierra en Santa Fe.....	30
1.4. Objetivos del Trabajo de Tesis.....	30
1.4.1. Objetivo general.....	30
1.4.2. Objetivos específicos.....	31
1.5. Hipótesis del trabajo	31
Capítulo 2. Materiales y Métodos.....	32
2.1. Área de estudio.....	33
2.1.1. Descripción de los sitios estudiados.....	34
2.2. Muestreos de suelo.....	44
2.2.1. Método de recolección de lombrices de tierra.....	44
2.2.2. Método de muestreo para el análisis físico y químico del suelo.....	44
2.3. Trabajo de laboratorio.....	45
2.3.1. Tratamiento de los ejemplares.....	45
2.3.2. Identificación taxonómica.....	47
2.3.3. Técnicas de análisis de variables físicas y químicas.....	48
2.4. Análisis estadísticos.....	49
2.4.1. Medidas de diversidad ecológica.....	49

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

2.4.2. Modelado estadístico multivariado de la estructura de correlación.....	51
Capítulo 3. Resultados y Discusión.....	54
3.1. Relevamiento de la oligoquetofauna en la provincia de Santa Fe.....	55
3.1.1. Descripción de las especies halladas en el estudio.....	55
3.1.2. Comparación con el estudio de Ljungström y colaboradores de 1975: perspectiva histórica y estado actual.....	70
3.2. Comunidades de lombrices de tierra en relación a la intensidad del uso del suelo y propiedades edáficas.....	74
3.2.1. Respuesta de las comunidades de lombrices a usos del suelo y nivel de perturbación antrópica.....	74
3.2.2. Relación de las comunidades de lombrices con las propiedades edáficas e intensidades del uso del suelo.....	95
3.2.3. Indicador de la calidad del suelo.....	109
Consideraciones Finales.....	112
Conclusiones generales.....	113
Perspectivas futuras.....	114
Referencias Bibliográficas.....	115
Anexo I.....	140
Anexo II.....	146

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Características de los niveles de perturbación.....	35
Tabla 2.2. Caracterización de los sitios estudiados durante 2012-2015 en la provincia de Santa Fe.....	36
Tabla 3.1. Especies de lombrices recolectadas en los 20 sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante los relevamientos de 2012-2015.....	75
Tabla 3.2. Abundancia de las especies halladas en los diferentes sitios de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	77
Tabla 3.3. Parámetros biológicos e índices ecológicos de los diferentes sitios relevados durante los muestreos estacionales 2012-2015. Los sitios fueron ordenados en relación al NiP (bajo, medio y alto) y mayor riqueza de especies.....	80
Tabla 3.4. Especies según origen y categoría ecológica registradas en los sitios con diferentes niveles de perturbación de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	84
Tabla 3.5. Características físicas y químicas de los sitios estudiados en la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	97

Índice de Figuras

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la provincia de Santa Fe (Argentina).....	19
Figura 1.2. División política de Santa Fe (Modificado de Jaluf, 2011).....	19
Figura 1.3. Condiciones climáticas de Santa Fe: A) Temperatura media anual (°C) y B) Precipitación media anual (mm) (Modificado de Jaluf, 2011).....	20
Figura 1.4. Mapa de suelos de la provincia de Santa Fe (Argentina) (Modificado de Jaluf, 2011).....	21
Figura 1.5. Provincia de Santa Fe incluyendo subdivisiones fitogeográficas y las isolíneas de temperatura y precipitaciones (Modificado de Arzamendia y Giraudo, 2004).....	24
Figura 2.1. Localización de los sitios muestreados en Santa Fe durante el período 2012-2015 (Modificado de Arzamendia y Giraudo, 2004). Referencias: 1= Los Tábanos; 2 = Villa Ocampo; 3= El Sombrerito; 4= Tartagal; 5= La Cabral; 6= Colonia Silva; 7= San Javier; 8= San Justo; 9= Naré; 10= Videla; 11= Helvecia; 12= Sarmiento; 13= Cayastá; 14= Laguna Paiva; 15= Grutly; 16= Rafaela; 17= Susana; 18= Monte Vera; 19= Recreo; 20= Ángel Gallardo; 21= San Jerónimo del Sauce; 22= Zavalla; 23= Rufino.....	33
Figura 2.2. Representación de la toma de muestras (monolitos) en los sitios de estudio.....	44
Figura 2.3. Revisión de los monolitos en laboratorio: suelo colocado en bandeja e iluminado (A), disgregación manual (B) y hallazgo de juveniles (C).....	45
Figura 2.4. Ejemplar adulto con clitelo prominente (marcado con círculo rojo) (A), individuos en estado juvenil (B), ootecas vistas en lupa a 10X (C) y recipientes de cría de los individuos inmaduros y ootecas (D y E) (Fotos: Masin, C).....	46
Figura 2.5. Ejemplar adulto fijado en forma casi recta (A) e individuos en tubos de ensayo con solución conservadora (B).....	46
Figura 2.6. Observación de ejemplares mediante lupa (A), coloración de individuos vivos (B), vista dorsal de segmentos y clitelo de forma anular (C), signos y tumescencias genitales en segmento XVIII ventralmente (D), campo genital masculino en parte ventral (E), vista ventral de clitelo en silla de montar y tubérculos puberales (F), vista dorsal de clitelo en silla de montar (G), disección de individuo (H), identificación de espermatecas (I).....	48
Figura 3.1. Número de especies por familia obtenido de los sitios muestreados en la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	55
Figura 3.2. Registro de <i>Dichogaster bolau</i> en los sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	56
Figura 3.3. Registro de <i>Microscolex dubius</i> en los sitios muestreados de Santa Fe	

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

durante el período 2012-2015.....	57
Figura 3.4. Registro de <i>Glossodrilus parecis</i> en la localidad de Rufino (23) (Dpto. Gral. López) de la provincia de Santa Fe durante 2012-20.....	58
Figura 3.5. Registro de <i>Aporrectodea caliginosa</i> en la localidad de Villa Ocampo (2) (Dpto. Gral. Obligado) de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	59
Figura 3.6. Registro de <i>Aporrectodea rosea</i> en los sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	60
Figura 3.7. Registro <i>Aporrectodea trapezoides</i> en gran parte de los sitios muestreados en la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	61
Figura 3.8. Registro de <i>Bimastos parvus</i> en la localidad de Monte Vera (18) del departamento La Capital de Santa Fe durante el relevamiento 2012-2015.....	62
Figura 3.9. Registro de <i>Eisenia fetida</i> en los departamentos Garay (11= Helvecia) y Gral. Obligado (2= Villa Ocampo) de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	63
Figura 3.10. Registro de <i>Octolasion tyrtaeum</i> en las localidades provinciales de La Cabral (5), Recreo (19), San Jerónimo del Sauce (21), Zavalla (22) y Rufino (23) durante 2012-2015.....	63
Figura 3.11. Registro de <i>Amyntas gracilis</i> en la localidad de Recreo (19) del departamento La Capital de Santa Fe durante 2012-2015.....	64
Figura 3.12. Registro de <i>Amyntas morrissi</i> en numerosos sitios relevados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	65
Figura 3.13. Registro de <i>Metaphire californica</i> en los sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	66
Figura 3.14. Registro de <i>Eukerria rosae</i> en la localidad de Susana (17) del dpto. Castellanos de Santa Fe durante 2012-2015.....	67
Figura 3.15. Registro de <i>Eukerria saltensis</i> en los dptos. San Cristóbal (5= La Cabral) y San Justo (6= Colonia Silva) de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.....	68
Figura 3.16. Registro de <i>Eukerria stagnalis</i> en diferentes sitios muestreados de la provincia durante 2012-2015.....	69
Figura 3.17. Registro de especies de lombrices de Ljungström y col. (1975) y del relevamiento actual (2012-2015). Los nombres de las especies con color azul son las que no se hallaron en muestreos actuales, y con rojo el nuevo registro. Los colores de los departamentos indican por quién fue relevado, y los que están en blanco no fueron estudiados hasta el momento.....	70
Figura 3.18. Comparación de la distribución de especies de lombrices en la provincia de Santa Fe según relevamiento actual (2012-2015) y el de Ljungström y col. (1975).....	71
Figura 3.19. Avance de la frontera agropecuaria, en particular del cultivo soja (en verde) en la Argentina durante los últimos 40 años (Modificado de CONICET, 2012). El	

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

contorno punteado en rojo indica el área de estudio en el que coincidieron ambos relevamientos (de 2012-2015 y Ljungström y col. (1975).....	72
Figura 3.20. Abundancia de lombrices (individuos.m ⁻²) en relación a los usos estudiados en la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Los colores de las barras indican el nivel de perturbación de los sitios: blanco= bajo, gris= medio y negro= alto. Las barras indican el desvío estándar (SD) de la media (n= 40 de los dos muestreos estacionales). Letras distintas indican diferencias significativas (p< 0,05).....	76
Figura 3.21. Ejemplares enrollados en cámaras de diapausa hallados en el sitio H 3 (A) y juveniles de pequeño tamaño en los usos agrícolas A 1 (B) y A 2 (C).....	79
Figura 3.22. Riqueza total de especies de lombrices en los diferentes sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante el relevamiento 2012-2015. Los sitios fueron agrupados de acuerdo al NiP, partiendo de bajo, medio y alto.....	81
Figura 3.23. Ejemplares obtenidos en los ambientes GMN 4 (A), FV (B), H 1 (C) y H 2 (D) con diferencia marcada en tamaño respecto a los colectados en sitios agrícola A 1 (E) y hortícola H 3 (F).....	85
Figura 3.24. Presencia de especies en los sitios relevados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Los colores indican categoría ecológica: rojo= epígea; rosado= epiendógea; celeste= endógea. Referencias: D.b= <i>Dichogaster bolau</i> ; M.d= <i>Microscolex dubius</i> ; G.p= <i>Glossodrilus parecis</i> ; A.c= <i>Aporrectodea caliginosa</i> ; A.r= <i>Aporrectodea rosea</i> ; A.t= <i>Aporrectodea trapezoides</i> ; B.p= <i>Bimastos parvus</i> ; E.f= <i>Eisenia fetida</i> ; O.t= <i>Octolasion tyrtaeum</i> ; A.g= <i>Amyntas gracilis</i> ; A.m= <i>Amyntas morrisi</i> ; M.c= <i>Metaphire californica</i> ; E.r= <i>Eukerria rosae</i> ; E.s= <i>Eukerria saltensis</i> ; E.st= <i>Eukerria stagnalis</i>	88
Figura 3.25. Biplot de Análisis de Componentes Principales entre las variables que caracterizan la comunidad de lombrices (Den, Riq y Div) y el NiP de los sitios relevados durante 2012-2015. Referencias: Den= Densidad (individuos.m ⁻²), Div= Diversidad de especies, Riq= Riqueza de especies, NiP= Nivel de perturbación antrópica.....	89
Figura 3.26. Biplot basado en los dos primeros componentes principales entre las variables que caracterizan la comunidad de lombrices (Den, Riq y Div) y el NiP de los usos de los sitios relevados durante 2012-2015. Referencias: Den= Densidad (individuos.m ⁻²); Div= Diversidad de especies, Riq= Riqueza de especies, NiP= Nivel de perturbación antrópica.....	90
Figura 3.27. Ensamblajes de lombrices de tierra en sitios con diferente heterogeneidad ambiental registrados en la provincia de Santa Fe durante relevamiento 2012-2015. Referencias: D.b= <i>D. bolau</i> ; M.d= <i>M. dubius</i> ; A.c= <i>A. caliginosa</i> ; A.t= <i>A. trapezoides</i> ; A.r= <i>A. rosea</i> ; B.p= <i>B. parvus</i> ; E.f= <i>E. fetida</i> ; A.g= <i>A. gracilis</i> ; A.m= <i>A. morrisi</i> ; M.c= <i>M. californica</i> ; E.t= <i>E. stagnalis</i> . Letras en rojo indican especies nativas.....	93
Figura 3.28. Representación de variabilidad explicada acumulada para cada número de	

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

componentes principales retenidos.....	99
Figura 3.29. Biplot basado en las correlaciones entre las abundancias de las categorías ecológicas (epígeas, epiendógeas y endógeas) con las propiedades edáficas y el NiP de los sitios estudiados durante 2012-2105. Referencias: C 1= epígeas; C 2= epiendógeas; C 3= endógeas.....	100
Figura 3.30. Biplot de correlación, representando el 49,34 % de la variabilidad en los datos, entre las categorías ecológicas, propiedades edáficas y NiP de los sitios relevados en 2012-2015. Referencias: C 1= epígeas; C 2= epiendógeas; C 3= endógeas.....	103
Figura 3.31. Contribución de las mediciones a cada una de las abundancias de C 1, C 2 y C 3 (variables respuesta). La correlación mostrada considera a las variables centradas y escaladas. Referencias: C 1= epígeas; C 2= epiendógeas; C 3= endógeas.....	104
Figura 3.32. Biplot del modelo ajustado en función de las correlaciones entre las propiedades edáficas y la abundancia de las categorías ecológicas (C1, C2 y C3) sin contemplar la variable NiP de los sitios muestreados en Santa Fe durante 2012-2015. Referencias: C1= epígeas; C2= epiendogeas, C3= endógeas; DA= densidad aparente; MO= materia orgánica.....	105
Figura 3.33 Representación esquemática e hipotética de las relaciones entre las características del uso del suelo y la comunidad de lombrices de tierra de los sitios relevados en Santa Fe durante 2012-2015 (Modificado de Díaz Porres y col., 2014). Referencias: Los colores de las letras de los usos indican el NiP, verde= bajos, naranja= medios y azul= altos. La flecha amarilla representa la riqueza/diversidad de especies en los ensambles de lombrices.....	107
Figura 3.34. Contribución de cada variable predictora a la variable respuesta NiP. Estos coeficientes relacionan variables centradas y escalas.....	111

Abreviaturas y Símbolos

A (1, 2, 3, 4): uso Agrícola

ACP: Análisis de Componentes Principales

BR (1, 2): uso Borde de Ruta

C: Carbono

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

C2: Especies epiendógeas

C1: Especies epígeas

C3: Especies endógeas

DA: Densidad aparente

Den: Densidad (individuos.m⁻²)

Div: Diversidad de especies

GMN (1, 2, 3 4): uso Ganadería en Monte nativo

H (1, 2): uso Hortícola

JdC: uso Jardín de Casa

MO: Materia orgánica

N: Nitrógeno

NiP: Nivel de perturbación antrópica

Riq: Riqueza de especies

VF: uso Vivero Forestal

2D: Dos dimensiones (plano sin profundidad y movimiento lineal)

3D: Tres dimensiones (con profundidad y movimiento libre a todos lados)

Resumen

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre la comunidad de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) en la provincia de Santa Fe

En los últimos treinta años la provincia de Santa Fe fue afectada por el proceso de agriculturización caracterizado por un régimen de perturbación que implicó la utilización de nuevas tierras, como la reconversión de los sistemas agrícolas, frutihortícolas y ganaderos existentes, en particular sobre los suelos de mejor aptitud. La degradación del suelo y su relación con las comunidades de la edafofauna se ha vuelto un tema crucial para el manejo del recurso. Las lombrices de tierra cumplen un rol clave en la estructura y fertilidad del suelo, siendo además consideradas como los principales motores biológicos en los sistemas agropecuarios. No obstante, estos organismos muestran estrecha relación con las características físicas y químicas del suelo y sensibilidad a las perturbaciones del mismo, constituyendo así un buen indicador de la calidad del suelo, desde el nivel de parcela hasta el de paisaje.

El objetivo de este trabajo de Tesis fue estudiar las comunidades de lombrices de tierra de la provincia de Santa Fe, con la finalidad de determinar si los cambios observados en la diversidad de estos organismos son atribuibles al uso y manejo de los suelos y evaluar la magnitud de estos cambios.

Durante el período 2012-2015 se llevaron a cabo muestreos en 23 localidades de la provincia de Santa Fe, cubriendo gran parte del territorio en su extensión norte-sur y este-oeste, considerando heterogeneidad de ambientes y diferentes escenarios de intervención antrópica. La amplitud del estudio a escala de provincia respondió también al interés por indagar y contrastar información con un notable trabajo realizado por Ljungström y colaboradores, hace cuatro décadas atrás en Santa Fe. En cada sitio la oligoquetofauna fue muestreada en otoño y primavera (dos muestreos estacionales), siguiendo el método estandarizado Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), y además se tomaron muestras de suelo para la determinación de los análisis de las características físicas y químicas. En el laboratorio se revisaron manualmente las muestras para la extracción y conteo de los ejemplares, para luego ser colocados en tubos de vidrio rotulados con alcohol al 70% para su conservación y posterior diagnóstico.

En cada sitio se evaluó el nivel de perturbación (NiP) del uso de la tierra a través de indicadores, y la densidad poblacional, riqueza y diversidad de especies para las comunidades de lombrices usando estimadores e índices ecológicos. Para establecer y mostrar las relaciones entre las variables biológicas de las comunidades de lombrices de tierra con las

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

propiedades del suelo y el NiP de cada sitio se realizó un análisis estadístico multivariado de los datos.

Los resultados mostraron que el número de especies en el relevamiento actual fue menor presentando 15 especies (*Dichogaster bolaii*, *Microscolex dubius*, *Glossodrilus parecis*, *Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea*, *A. trapezoides*, *Bimastos parvus*, *Eisenia fetida*, *Octolasion tyrtaeum*, *Amyntas gracilis*, *A. morrissi*, *Metaphire californica*, *Eukerria rosae*, *E. saltensis* y *E. stagnalis*), que coincidieron con el 60 % de las 23 especies reportadas en el trabajo de Ljungström y colaboradores. No obstante, se incorporó al listado *E. rosae*, especie nativa sudamericana no registrada en el estudio de 1975. La especie *A. morrissi* y las del género *Aporrectodea* fueron las más frecuentes, mostrando mayor plasticidad para colonizar una amplia diversidad de ambientes. La abundancia y riqueza de las comunidades de lombrices variaron en los diferentes sitios, respondiendo sensiblemente al nivel de perturbación (NiP) del uso del suelo. En este sentido, los sitios con NiP bajos y medios asociados a usos: hortícola (H 1, H 2), jardín de casa (JdC), vivero forestal (VF), ganadería en ambientes naturales (GMN 2, GMN 4) y aquellos con producción mixta (A/G 1) registraron ensambles de lombrices más diversos. Por otra parte, los sitios con uso agrícola intensivo mostraron tendencia hacia una riqueza baja de lombrices.

En conclusión, la comunidad de lombrices de tierra resultó ser un indicador pertinente y válido para la propuesta del estimador de la calidad del suelo de un determinado ambiente. En este sentido, este estimador constituye una herramienta potencial para ser aplicada en la evaluación y monitoreo del uso y manejo del suelo, promoviendo la sostenibilidad de los sistemas de producción en la provincia de Santa Fe.

Abstract

Long term effects of the soil use in the earthworms' community (Annelida, Oligochaeta) in Santa Fe province

In the last thirty years, the province of Santa Fe was affected by the process of agriculturization characterized by a disturbance regime that involved the use of new land, including the conversion of agricultural systems, horticultural and livestock systems, particularly in soils with the best capability. Soil degradation and its relationship with communities of soil fauna has become a crucial resource for management issues. Earthworms play a key role in the structure and soil fertility, and are also considered as main biological engines in agricultural systems. However, these organisms show close relationship with the physical and chemical soil characteristics and sensitivity to perturbations thereof, thus constituting a good indicator of soil quality, from the level of plot to the landscape.

The aim of this work was to study the earthworm communities in Santa Fe province, in order to determine if the observed changes in the diversity of these organisms are attributable to the use and management of soils and to evaluate the magnitude of these changes.

During the period 2012-2015, sampling were carried out in 23 localities of Santa Fe province, covering a large part of the territory in its north-south and east-west extension, considering heterogeneity of environments and different scenarios of anthropic intervention. The scale of study at provincial level also responded to the interest in investigating and contrasting information with a remarkable work done by Ljungström and collaborators, four decades ago in Santa Fe. In each site earthworms were sampled in autumn and spring (two seasonal samplings), following the standard method Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), and also soil samples were taken to determine the physical and chemical characteristics of the sample. In laboratory the samples were manually reviewed for extraction and counting of specimens, then placed in glass tubes labeled with 70% alcohol for preservation and subsequent diagnosis. In each site, the level of disturbance (NiP) of land use through indicators, and the population density, richness and diversity of species for the earthworm' communities using estimator and ecological indexes were evaluated. To establish and show the relationships between the biological variables of earthworm' communities with the soil properties and the NiP of each site we performed multivariate statistical analysis of the data.

The results showed that species' number in present survey was lower, presenting 15 species (*Dichogaster bolau*, *Microscolex dubius*, *Glossodrilus parecis*, *Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea*, *A. trapezoides*, *Bimastos parvus*, *Eisenia fetida*, *Octolasion tyrtaeum*, *Amyntas gracilis*, *A. morrisi*, *Metaphire californica*, *Eukerria rosae*, *E. saltensis* and *E. stagnalis*), which correspond with 60 % of the 23 species previously in the study of Ljungström and collaborators.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

Nonetheless, *E. rosae*, a South American native species not registered in the 1975 study, was included in the listing. The species *A. morrissi* and those of genus *Aporrectodea* were the most frequent, showing greater plasticity to colonize a wide diversity of environments. The abundance and richness of earthworm' communities varied in the different sites, responding significantly to level of disturbance (NiP) of the soil use. In this sense, sites with low and medium NiP with uses horticultural (H 1, H 2), house garden (JdC), forest nursery (VF), livestock in natural environments (GMN 2, GMN 4) and those with mixed production (A/G 1) they recorded more diverse earthworm' assemblages. On the other hand, sites with intensive agricultural use showed tendency a towards low earthworm richness.

In conclusion, earthworms community resulted a relevant and valid indicator for the proposal of soil quality estimator of a given environment. In this sense, this estimator constitutes a potential tool to be applied in the evaluation and monitoring of the use and management of soil, promoting the sustainability of production systems in the province of Santa Fe.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

1.1.1. Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina

La evolución de la producción agropecuaria en las últimas décadas en Sudamérica estuvo determinada por un marcado aumento en la expansión de las tierras de cultivo y por la intensificación en el uso del suelo, asociada a una creciente demanda de insumos y prácticas agronómicas perfeccionadas a partir del modelo tecnológico de la Revolución Verde (Baldi y Paruelo, 2008; Viglizzo y Jobbágy, 2010).

Gran parte de los cambios en el territorio, en cobertura y uso del suelo, se produjeron a expensas de la transformación de los ecosistemas naturales. De acuerdo a informes de la FAO (2011), entre los años 2000 y 2010 se registró una tasa de deforestación anual del 0,46% en América Latina y países del Caribe donde la principal causa fue la conversión de tierras forestales en agrícolas. El Gran Chaco americano, que se extiende por Bolivia, Paraguay y Argentina, fue uno de los principales ecosistemas afectados (Boletta y col., 2006).

En los últimos treinta años, la Argentina ha sido escenario de un proceso de agriculturización caracterizado por transformaciones asociadas a la intensificación de la actividad agrícola, al reemplazo de rotaciones agrícola-ganaderas por agricultura continua, a cambios tecnológicos, y a la búsqueda de beneficios económicos de corto plazo, sin tener en cuenta los costos ambientales y sin controles estatales eficientes (Paruelo y col., 2005). Actualmente los focos de crecimiento de la superficie cultivada en el país, caracterizados por incrementos de más del 75%, se ubican en el centro norte de la región Pampeana, en el Chaco sub-húmedo y en una línea sur-norte ubicada en la zona de transición entre las Yungas y el Gran Chaco. Mientras que el incremento de las prácticas de cultivo en la región Chaqueña se realiza por reemplazo del bosque nativo o deforestación, en la región Pampeana este crecimiento se produce por reemplazo de actividades ganaderas preexistentes sobre pastizales naturales o pasturas perennes implantadas (Nosetto y col., 2005; Paruelo y col., 2005; 2006). Esta transformación de la producción agropecuaria argentina involucró un cambio tecnológico con introducción de cultivos transgénicos, siembra directa, mayor uso de fertilizantes y plaguicidas y en menor medida, prácticas asociadas a la agricultura de precisión (Satorre, 2005).

El cultivo de soja lideró la incorporación de tecnología a través de la expansión de variedades transgénicas (resistentes al glifosato) y el incremento exponencial del uso del glifosato como herbicida básico. El cambio se manifestó en un aumento muy rápido de la superficie cultivada y de los rendimientos del cultivo (Martínez-Ghersa y Ghersa, 2005). Esta transformación generó otros cambios no menos importantes, como el impacto ecológico dado por la rápida simplificación del sistema de producción (Viglizzo, 2007), que ocasiona mayor pérdida de materia orgánica y riesgo de erosión de los suelos, expansión de plagas, como así también extracción acelerada de macro y micronutrientes (Casas, 2001). En respuesta a estas

problemáticas se practica siembra directa, labranza reducida, mayor fertilización y aplicación de plaguicidas.

1.1.2. Avance productivo en Santa Fe

La producción agropecuaria en Santa Fe está sustentada por diversos factores: por un lado, la extensa superficie de la provincia en sentido norte-sur, que le confiere características climáticas diversas posibilitando distintos tipos de cultivos, y por otro el potencial productivo o aptitud de sus suelos, prácticamente sin limitaciones para las actividades agrícolas. Sin embargo, el vertiginoso avance de la frontera agropecuaria implicó transformaciones significativas en la heterogeneidad del paisaje en Santa Fe, incrementándose desde 1960 hasta la actualidad. Dicho avance condujo a que tanto áreas de bosque nativo así como pastizal, natural o ganadero, del centro y norte provincial fueran sustituidas exclusivamente por producción agrícola, y en especial por el cultivo de soja (Heredia y col., 2006; Viglizzo y Jobbágy, 2010; Miretti y col., 2012). La implementación de agricultura continua y de un manejo del suelo sin respetar su aptitud productiva trae como consecuencias la pérdida de materia orgánica y nutrientes, la disminución de la acidez, la erosión y el deterioro de la estructura y la biodiversidad edáfica (Morello y Matteucci, 2000).

1.2. La provincia de Santa Fe

1.2.1. Localización geográfica

La provincia de Santa Fe se encuentra en el centro-este de la República Argentina y cuenta con una superficie de 133.007 km². Se ubica entre los meridianos de 59° y 63° de longitud oeste y los paralelos de 28° y 34° de latitud sur, en una extensa planicie que se caracteriza por la suavidad de su relieve (Castignani, 2011). Limita con las provincias de: Chaco al norte, Santiago del Estero y Córdoba al oeste, Buenos Aires al sur, y al este separadas por el Río Paraná con Entre Ríos y Corrientes al este (Figura 1.1).

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

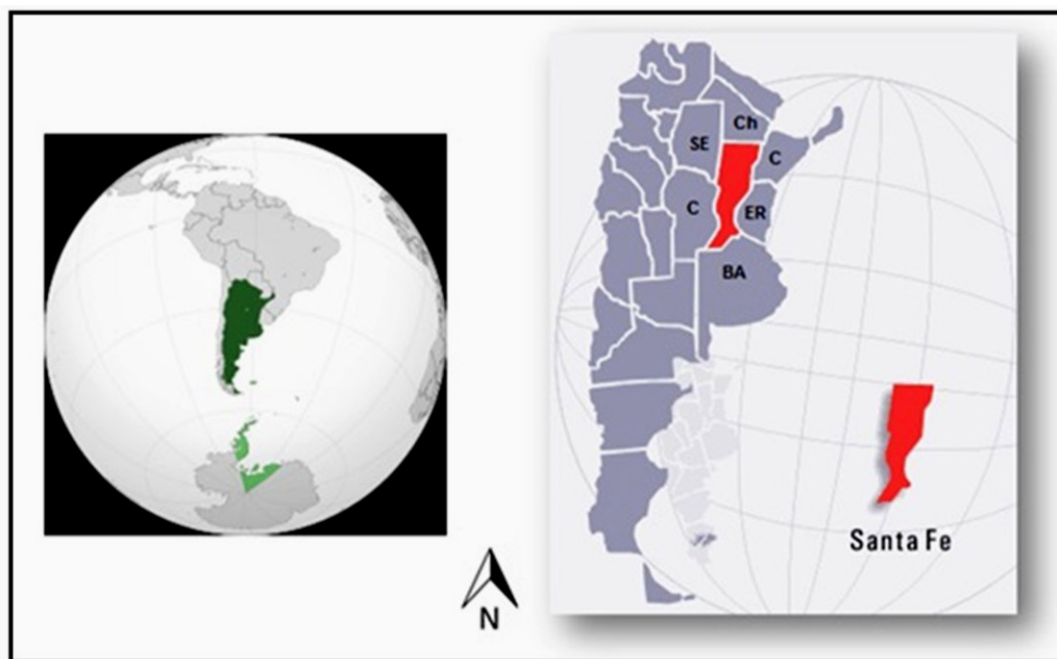


Figura 1.1. Ubicación geográfica de la provincia de Santa Fe (Argentina). Referencias: Ch= Chaco, C= Corrientes, ER= Entre Ríos, BA= Buenos Aires, C= Córdoba, SE= Santiago del Estero.

Políticamente Santa Fe se divide en 19 departamentos y tiene una población de 3.200.736 habitantes (Gobierno de Santa Fe, 2016) (Figura 1.2.).



Figura 1.2. División política de Santa Fe (Modificado de Jaluf, 2011).

1.2.2. Relieve y clima

La provincia de Santa Fe forma parte de la gran llanura que caracteriza a la parte noreste del país, apenas ondulada en algunas regiones (especialmente en el norte), y sólo interrumpida por el curso de ríos y arroyos. La zona comprendida al norte del río Salado es una llanura baja, de difícil desagüe e inundable, denominada Bajos Submeridionales. Al este, la región cercana al río Paraná es anegadiza por lo que las aguas de las crecientes suelen cubrirla con frecuencia. Este paisaje de llanura tiene una superficie formada por loess y limo. Por tratarse de una provincia con mayor extensión en sentido norte-sur, Santa Fe presenta climas diferenciados. La parte norte exhibe características chaqueñas con clima cálido, temperaturas con 21 °C promedio y precipitaciones que oscilan entre 850 y más de 1.100 milímetros anuales, que disminuyen hacia el oeste (Lewis y Collantes, 1974). En el área sur prevalece un clima templado con características pampeanas: no registra calor extremo ni frío intenso (Figura 1.3). La humedad es alta debido a las precipitaciones, que son más copiosas en verano.

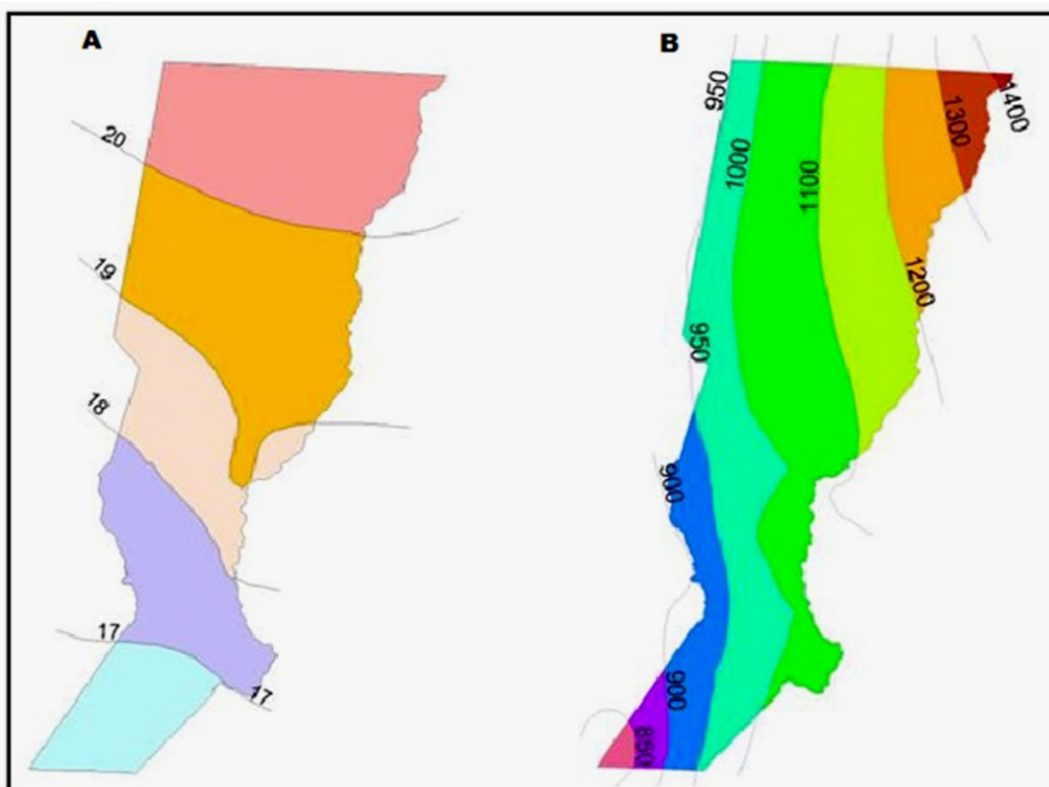


Figura 1.3. Condiciones climáticas de Santa Fe: A) Temperatura media anual (°C) y B) Precipitación media anual (mm) (Modificado de Jaluf, 2011).

Cabe destacar que en la región lindera con Santiago del Estero se presenta el clima tropical con estación seca, donde la variación de la temperatura es acentuada entre las estaciones y las lluvias predominan durante el verano. Sin embargo, en el noreste de la provincia hay un clima subtropical sin estación seca, siendo las lluvias abundantes durante todo el año (superan los 1.000 milímetros) y no hay grandes cambios en la temperatura, cuyo promedio es de 20 °C.

1.2.3. Tipos de suelo y Provincias fitogeográficas

Los dos ambientes climáticos claramente diferenciados (el Chaco y el Pampeano) explican el marcado cambio de suelo: Alfisoles al norte y Molisoles al sur, en tanto que los Entisoles se ubican principalmente a los alrededores del río Paraná (Figura 1.4).

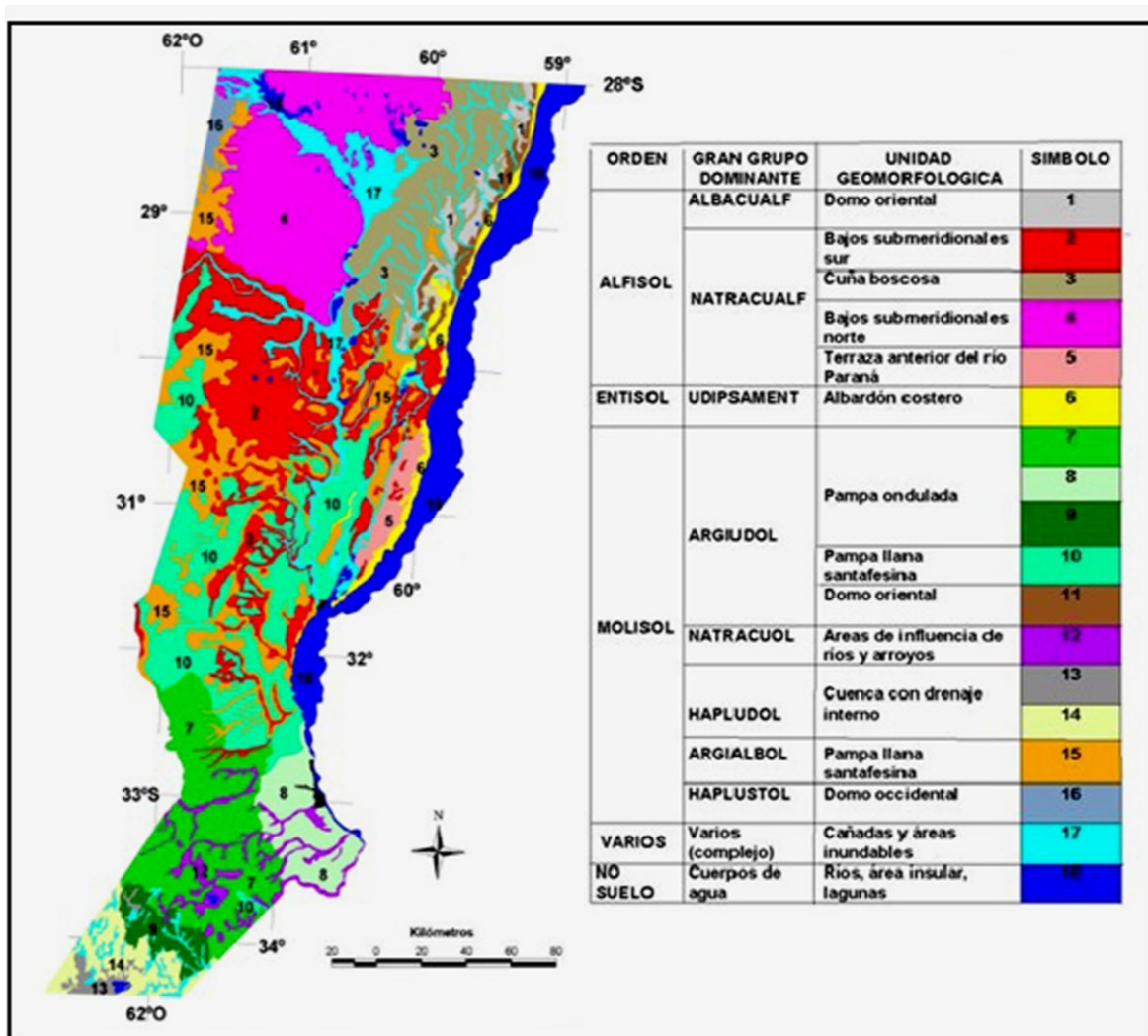


Figura 1.4. Mapa de suelos de la provincia de Santa Fe (Argentina) (Modificado de Jaluf, 2011).

De acuerdo a la información aportada por Mosconi y col. (1981), Panigatti (2010) y USDA (2014) se caracterizan los tres órdenes de suelo presentes en Santa Fe:

Alfisol

Suelos grises, con alto contenido de arcilla y baja permeabilidad; tienen de bajo a mediano contenido de materia orgánica. La relativamente alta saturación en bases del *solum* y la presencia de reservas importantes de nutrientes en el horizonte C, son indicativos de buena

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

fertilidad natural en estos suelos, siendo más aptos para actividad ganadera que agrícola. Están bien representados en buena parte de la región chaqueña y el litoral de la provincia.

Entisol

Suelos castaños, débilmente desarrollados, con materiales de acarreo por viento, agua y/o gravedad, y de baja fertilidad por carecer de materia orgánica. En muchos de estos suelos el tiempo ha sido muy corto para permitir el desarrollo de horizontes. Algunos se encuentran sobre pendientes muy fuertes, donde la erosión predomina sobre los procesos de pedogénesis, y otros forman parte de planicies de inundación que reciben nuevos depósitos aluviales a intervalos frecuentes. Los Entisoles pueden tener cualquier régimen hídrico y térmico, material original, vegetación o edad. En la provincia se encuentran en las planicies inundables y en las márgenes de los arroyos o ríos.

Molisol

Suelos negros, sueltos, con buen drenaje y ricos en materia orgánica y bases, lo que les proporciona buenas condiciones de fertilidad. Presentan un grado variable de desarrollo del perfil, desde poco a bien evolucionados, con una alteración baja a media. En su gran extensión los Molisoles se localizan en casi todos los departamentos de la provincia, siendo utilizados para la producción agropecuaria y forestal.

Además de los tres órdenes descritos, la provincia presenta áreas clasificadas como "Varios", relacionando a complejos de cañadas y zonas inundables y, a "No Suelos" como a diferentes cuerpos de agua.

En función de determinadas condiciones geomorfológicas y climáticas relativamente uniformes, el territorio santafesino se caracteriza por una fisonomía vegetal de comunidades naturales y seminaturales, que comparten un grupo considerable de especies dominantes, una dinámica y condiciones ecológicas generales. A razón de estudios de Lewis y Collantes (1974), Dinerstein y col. (1995) y Burkart y col. (1999), en Santa Fe se encuentran representadas cuatro provincias fitogeográficas (Figura 1.5):

1- Chaqueña, con dos formaciones: el Chaco Seco, ubicado al noroeste de la provincia y se caracteriza por déficit hídrico, con predominio de bosques xerófilos dominados por quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl. 1881), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schltr.) y el quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae* Engl. 1885), además de varias especies de algarrobos (*Prosopis* spp.) y espinillos (*Acacia* spp.). El Chaco Húmedo, ubicado en el nordeste y centro norte, posee mayores precipitaciones (más de 1.100 mm). Su vegetación está formada por un mosaico de fisonomías que van desde bosques deciduos sub-húmedos subtropicales dominado por quebracho colorado chaqueño (*S. balansae*), hasta sabanas de palmeras y prados, además de diversos tipos de humedales.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

2- Espinal: representa la transición entre las formaciones fitogeográficas Chaqueña y Pampeana, y se caracteriza por la presencia de bosques bajos xerófilos, compuestos por algarrobo negro (*Prosopis nigra* Griseb.), ñandubay (*Prosopis affinis* Spreng.), acompañado por quebracho blanco (*A. quebracho-blanco*), tala (*Celtis spinosa* Gillies ex Planch.), espinillos (*Acacia caven* (Molina) Molina, *Acacia atramentaria* Benth.), y el chañar (*Geoffroea decorticans* (Gill. ex Hook & Arn.) Burkart 1949).

3- Valle de inundación del río Paraná: incluido en la Provincia Paranaense (Cabrera, 1976), aunque fue mencionada con identidad propia como ecorregión (Dinerstein y col., 1995; Burkart, 1999). Conforman un mosaico muy complejo de hábitats que están bajo la influencia de los ciclos de crecientes y bajantes del río Paraná. Sus principales formaciones vegetales son bosques subtropicales húmedos, selvas en galería, sauzales de *Salix humboldtiana* Willd y alisales de *Tessaria integrifolia* L., diversos tipos de sabanas inundables y humedales dados por ríos, arroyos, lagunas, bañados y esteros.

4- Pampeana: ocupa el sur de la provincia de Santa Fe, y está compuesta principalmente por distintos tipos de praderas, principalmente “flechillar” de *Stipa neesiana* Trin. & Rupr., *Stipa hialina* (Nees) Barkworth y *Stipa papposa* L., y “espartillares” de *Spartina argentinensis* (Trin.) Parodi y *Spartina densiflora* Brongn. 1829 en los suelos bajos salobres. Contiene lagunas endorreicas con grandes espejos de agua.

Las provincias fitogeográficas se suceden acompañando los distintos tipos climáticos: paisajes pampeanos en el extremo meridional, espinal hacia el centro de la provincia y monte chaqueño húmedo y seco en el extremo septentrional. El territorio exponente Delta del Paraná, presenta una amplia variedad de ambientes acuáticos, verdadera prolongación de la selva misionera en medio de la llanura pampeana.

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

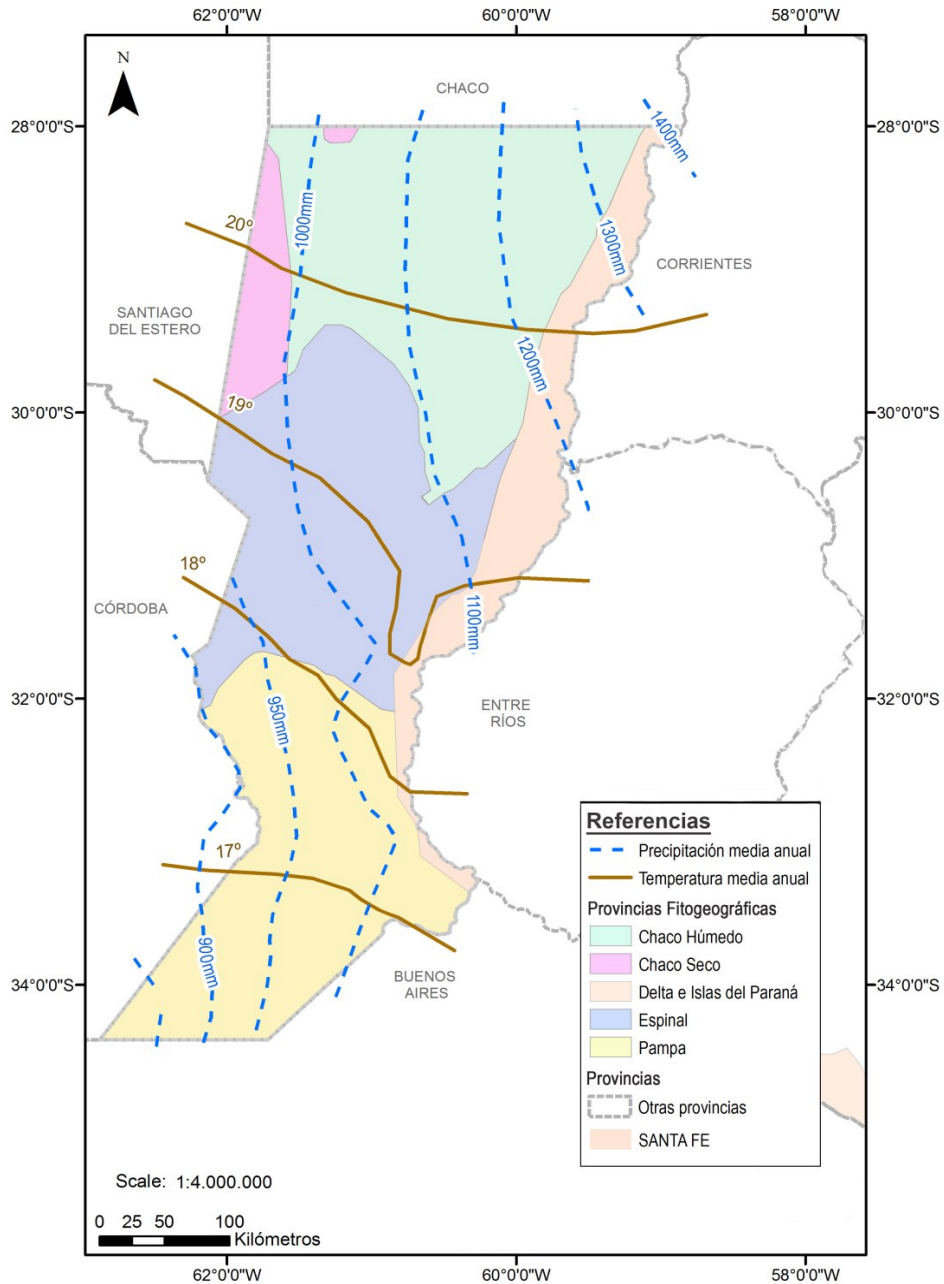


Figura 1.5. Provincia de Santa Fe incluyendo subdivisiones fitogeográficas y las isólinas de temperatura y precipitaciones (Modificado de Arzamendia y Giraudó, 2004).

1.2.4. Cambios en el uso del suelo

La dinámica de la agriculturización, mencionada en el punto 1.1., es un caso particular de los frecuentes cambios producidos por los humanos en el uso del suelo, o en el tipo de aprovechamiento que realizan de los ecosistemas terrestres, donde los niveles de impacto sobre los recursos naturales no son uniformes ni en el espacio ni en el tiempo (Paruelo y col., 2005, 2006).

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

En la provincia de Santa Fe, durante los últimos 25 años, los cambios de mayor magnitud sobre la biodiversidad espacial se evidenciaron en las formaciones fitogeográficas Pampeana y del Espinal, siguiendo en orden de importancia la del Chaco y Delta. El incremento en la demanda por nuevas tierras llevó a la sustitución de bosque nativo y pastizales naturales por producción agrícola y ganadera. En este sentido, la información del diagnóstico ambiental para la región Chaqueña realizado por Adámoli y col. (2004), confirman que la zona norte de Santa Fe experimentó en las últimas dos décadas un notorio incremento del área cultivada, en especial con soja. Este avance de la frontera agrícola se amplificó en diferentes partes del territorio de la provincia, asociado básicamente a la adopción del paquete tecnológico (glifosato, semilla transgénica, siembra directa), desencadenando competencia en el uso del suelo con desplazamiento de la ganadería a zonas con suelos de menor fertilidad. Además en cuanto al uso, se marcó una tendencia sostenida hacia un patrón de especialización (generalmente soja-trigo), con reducción de la rotación, y la consecuente degradación del suelo (Domínguez y col., 2013).

Las áreas en que se expandió el stock ganadero comprendieron pastizales naturales y además islotes e islas, liberando tierras para cultivar. Esta relocalización de la actividad a tierras con escasa aptitud agrícola no está exenta de problemas ambientales, ya que se verifican prácticas de manejo mediante el uso del fuego que, por su extensión y escala, son un factor de riesgo inherente (Domínguez y Orsini, 2009).

Desde el punto de vista regional, el Norte (Departamentos General Obligado, Vera, 9 de Julio, San Cristóbal y San Justo), típicamente ganadero por el tipo de suelos, y la zona costera (Garay y San Javier) con producción en orden de importancia hortícola, arrocería y ganadera, concentran el 70% del stock ganadero. El mismo creció el 17 % y compensó la reducción de la región Sur (Departamentos Belgrano, Caseros, Constitución, Gral. López, Iriondo, Rosario, San Lorenzo), de aptitud agrícola, y de la región Centro (Departamentos Castellanos, La Capital, Las Colonias, San Jerónimo, San Martín) con uso mixto de los suelos. Según Domínguez y col (2013), se fue dando una relocalización de la actividad en tierras marginales de escasa aptitud agrícola.

Los diferentes usos y manejos del suelo generan cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, afectando en el tiempo la calidad o salud del recurso (Navarrete Segueda y col., 2011; Baridón, 2015). Doran y Parkin (1994), definen la calidad del suelo como la capacidad de funcionamiento del mismo, dentro del ecosistema y de las limitaciones de uso de la tierra, que permite la productividad biológica y favorece el mantenimiento y crecimiento de plantas, animales y del hombre.

Cabrera y Crespo (2001), Brévault y col. (2007), Ayuke y col. (2011), Tiroesele y Moreki (2012), Díaz Porres y col. (2014), Sabattini y col. (2015), Domínguez y Bedano (2016), Drager y col. (2016), Gómez Pamies y col. (2016), analizan el rol de la edafofauna, en particular de algunos

grupos de organismos, que por su intervención en aspectos físicos y químicos del suelo, constituyen potenciales indicadores biológicos de la calidad del suelo. Diversos estudios (Lavelle, 1997; Paoletti, 1999; Birkas y col., 2004; Römcke y col., 2005; Riley y col., 2008; Domínguez y col., 2009a; Blouin y col., 2013; Bartz y col., 2014, Bertrand y col., 2015; Falco y col., 2015; Bedano y Domínguez, 2016), proponen el uso de las comunidades de lombrices como una herramienta válida de evaluación del efecto de los usos y las prácticas de manejo del suelo.

1.3. Lombrices de tierra: potenciales bioindicadores del uso del suelo

1.3.1. Caracterización del grupo biológico

El papel de los animales edáficos en la formación del suelo fue reconocido por primera vez por Charles Darwin en 1837 y bien ejemplificada en su último libro "*The formation of vegetable mould through the action of worms, with observations on their habits*" (Darwin, 1881; Feller y col., 2003). Pero no fue hasta la década de 1980 que la investigación sobre el papel de la fauna del suelo en la pedogénesis ganó fuerza, con un incremento de artículos que describen y destacan el papel de las lombrices de tierra en este proceso (Bouché, 1977; Goudie, 1988; Hole, 1981; Lamparski y Kobel-Lamparski, 1988; Lavelle, 1988; Lee, 1983; Pop y Postolache, 1987; Tsukamoto, 1986).

Las lombrices de tierra conocidas como Megadrilos, pertenecen al Orden Haplotaxida de la Clase Oligochaeta (gr. *oligos*, poco; *chaete*, espina) incluida en el Phylum Annelida (lat. *annelus*, pequeño anillo). Estos oligoquetos terrestres no sólo constituyen un componente importante de la biomasa animal del suelo (más del 80%), sino que juegan un rol altamente significativo en los ecosistemas terrestres. Las lombrices intervienen de forma directa e indirecta en diversos procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, promoviendo la humificación y mejorando la fertilidad y estructura (Lee, 1985; Momo y col., 1993; Edwards y Bohlen, 1996; Ríos, 2005; Lavelle y col., 2006). A través de la generación de sus galerías o también llamadas madrigueras, las lombrices de tierra movilizan el material dentro y entre los horizontes del suelo, mezclando así fracciones orgánicas e inorgánicas, lo que lleva a la transformación y creación de nuevos bioagregados. Estas acciones inducen a la modificación de la porosidad, la aireación e infiltración del agua, como así también estimulan la actividad microbiana afectando las tasas de descomposición y el ciclo de nutrientes (Brown y col., 2000; Bohlen y col., 2002; Bossuyt y col., 2005; Costello y Lamberti, 2009; Duhour y col., 2009; Domínguez y col., 2009b; Cabrera y Vidal, 2010).

De acuerdo a sus hábitos de alimentación y su hábitat preferido, las lombrices de tierra pueden ser clasificadas funcionalmente en epigeas, anécicas y endogeas (Bouché, 1977), aunque

también se usan categorías intermedias tales como epiendogeas, endoanécicas, entre otras (Cunha y col., 2016). Las epigeas viven en la hojarasca, en la materia orgánica (MO) poco degradada, en el mantillo acumulado cerca de la superficie del suelo, o bien bajo la corteza de árboles muertos en los bosques y montes. Las anécicas eligen la MO de acuerdo a su palatabilidad llegando a consumir hasta la que presenta alto contenido de tanino siempre que esté pre-fermentada, y pueden alimentarse en la superficie o arrastrar la hojarasca hasta las madrigueras que excavan en dirección vertical en el suelo. En tanto, las lombrices endogeas son geófagas que viven en el perfil del suelo y se alimentan de MO de diferente calidad (Lavelle, 1981), siendo: especies poli, meso y oligo-húmicas, es decir que ingieren suelo rico, intermedio y pobres en contenido de C, respectivamente. Blanchart y col. (1997) también divide las lombrices de tierra en especies asociadas a la compactación y descompactación, en función a su capacidad de modificar la estructura del suelo, en tanto que Lavelle (1997), las dividió en transformadores de la hojarasca e ingenieros del ecosistema.

Numerosos estudios muestran que determinados factores biotópicos como el pH, la materia orgánica, la cantidad de carbono, fósforo y nitrógeno, el cociente carbono/nitrógeno, la capacidad de intercambio catiónico, la humedad, la textura, la densidad aparente, la cobertura vegetal, la topografía y la historia geológica del suelo, condicionan la relación entre el suelo y las lombrices (Ljungström y col., 1973; Righi, 1979; Nakamura, 1988; Dotson y Kalisz, 1989; Craig, 1992; Momo y col., 1993; Falco y col., 1995; Momo y col., 2003; Ernst y col., 2008; Domínguez y col., 2009a; Duhour y col., 2009). Es debido a esta estrecha relación con las características físicas y químicas del suelo sumado a su sensibilidad a las perturbaciones del mismo, que las lombrices de tierra constituyen un buen indicador de la calidad del suelo, desde el nivel de parcela hasta el de paisaje (Craig, 1992; Momo y col., 1993; Paoletti, 1997; Falco y Momo, 1998; Blanchart y col., 1999; Emmerling, 2001; Momo y col., 2003; Velásquez Ibañez, 2004; Pulleman y col., 2005; Brussaard y col., 2007; Capowiez y col., 2009; Domínguez y col., 2009a; Suthar, 2009; Bartz y col., 2010; Kherbouche y col., 2012; Pelosi y col., 2014a; Bertrand y col., 2015; Carnovale y col., 2015; Falco y col., 2015; Cunha y col., 2016).

En acuerdo con Paoletti (1999), el concepto de bioindicador asumido en el presente trabajo, refiere a especie o ensamble de especies que está particularmente adaptada a características específicas del paisaje y/o reacciona a los impactos y cambios del hábitat. Es así que la comunidad de lombrices de tierra representa un potencial bioindicador para evaluar el estado del suelo de sistemas bajo intervención antrópica. Según Paoletti y Bressan (1996) y Paoletti (1999), el concepto bioindicador es una simplificación trivial de lo que probablemente sucede en la naturaleza, pero se convirtió en el paradigma significativo del proceso de evaluación y monitoreo de los diferentes impactos y transformaciones del ambiente (Butt y Lowe, 2004; Nunes y col., 2007; Römbke y col., 2007; Bartz y col., 2013 y 2014).

1.3.2. Relación entre lombrices de tierra y prácticas productivas

Las lombrices de tierra cumplen un rol clave en la estructura y fertilidad del suelo, siendo además consideradas como principales motores biológicos en los sistemas agropecuarios (Lemtiri y col., 2014). En los agroecosistemas la intensificación de las actividades humanas (labranza, uso de agroquímicos, pastoreo de ganado, rotación de cultivo, reemplazo de vegetación natural, sistema de riego, entre otras) lleva a modificaciones y/o deterioro de las características estructurales y biológicas del suelo (Edwards, 1984; Lee, 1985; Ernst y col., 2009). A menudo la degradación del suelo está asociada con la disminución de la diversidad y abundancia de las comunidades de invertebrados, entre ellas las lombrices de tierra (Lee y col., 1991; Lavelle, 1997).

Numerosos estudios relacionados con los efectos de las prácticas agrícolas sobre las lombrices de tierra concluyeron que la remoción del suelo con arado profundo, y de forma intensiva, reduce las poblaciones de estos invertebrados; en tanto que la siembra directa promueve la abundancia de lombrices (Edwards y col., 1996; Chan, 2001; Johnson-Maynard y col., 2007, Eriksen-Hamel y col., 2009; Peigné y col., 2009). Asimismo, trabajos de Kirchner y col. (1993), Leroy y col. (2007), Leroy y col. (2008), Reinecke y col. (2008) y Bertrand y col. (2015), aducen que el uso agrícola del suelo acompañado con prácticas de mínima remoción, aplicación de residuos orgánicos de cultivos, así como la realización de cultivos de cobertura y suministro de abonos o fertilizantes orgánicos favorecen positivamente la composición, el tamaño y la dinámica de las comunidades biológicas del suelo, entre ellas las lombrices. Por otra parte, Van Eekeren y col. (2008), reportan que la conversión de suelos de larga data de actividad agrícola a pastizal estimula la riqueza y abundancia de lombrices, lo que se evidenció en el segundo año después de la conversión.

Con respecto a las actividades tradicionales de pastoreo de ganado, trabajos previos (Curry, 1998; Schon y col., 2008; Schon y col., 2011; Bueno y Jiménez, 2014), demuestran que cuando la presión y abundancia relativa de animales es baja o intermedia la diversidad de la comunidad de lombrices aumenta, a lo que se suma, en beneficio a estos invertebrados el aporte de materia orgánica del ganado. La sobrecarga de animales en un área para el pastoreo puede acarrear compactación del suelo y su degradación, causando el deterioro del hábitat de las lombrices de tierra (Brady y Well, 2002; Bueno y col., 2013).

Las lombrices de tierra pueden ser sugeridas como un potencial indicador de la sustentabilidad de prácticas agropecuarias que los mismos productores aplican en sus suelos, y de este modo optimizar los diferentes sistemas productivos (Lemtiri y col., 2014).

1.3.3. Diversidad y biogeografía de la oligoquetofauna en Argentina

En Argentina se encuentran seis familias de lombrices de tierra, cuatro de origen Gondwánico (nativas): Glossoscolecidae, Almidae, Ocnerodrilidae y Acanthodrilidae, y dos exóticas Lumbricidae y Megascolecidae (Falco y col., 2007).

La última revisión sistemática de lombrices de tierra de la Argentina fue realizada por Mischis (2007), donde actualiza las especies y subespecies terrestres y anfibias conocidas y su distribución por provincias. Las familias sudamericanas Ocnerodrilidae y Acanthodrilidae son las que presentan la mayor cantidad de especies, 21 y 18 respectivamente, siguiéndoles Glossoscolecidae con 14 y Almidae con una especie. Con respecto a las familias introducidas, Lumbricidae y Megascolecidae están representadas con 18 y 7 especies respectivamente, presentando una amplia distribución en el país. En síntesis, se conoce un total de 79 especies, correspondiendo a 33 géneros y seis familias (Tabla A.1, Anexo I).

Los géneros exóticos más comunes son *Aporrectodea*, *Bimastos*, *Dendrobaena*, *Dendrodrilus*, *Eisenia*, *Octodrilus* y *Octolasion*, de la familia Lumbricidae, y *Amyntas* de Megascolecidae. Es muy probable que éstos fueron dispersados desde Europa por la acción voluntaria o involuntaria del hombre, registrándose actualmente como dominantes en tierras de pastoreo, de uso agrícola y jardines de zonas templadas del país (Falco y col., 2007). Por su condición de eurioicas, las especies de estos grupos presentan mayor habilidad que otras para colonizar y adaptarse a nuevos ambientes, y una vez introducidas en un área, pueden causar la desaparición de las especies locales (Stephenson, 1930).

La familia Acanthodrilidae ya a principios del Cretácico (hace 120 millones de años) ocupaba lo que hoy es la Patagonia. En la actualidad el género nativo *Microscolex* (Acanthodrilidae) presenta un retroceso frente a las especies invasoras posiblemente debido a las condiciones climáticas actuales del sur de América muy diferentes a las que reinaban en Gondwana (Falco y col., 2007). En este sentido, Fragoso y col. (1999a), señalan que las especies exóticas están mejor adaptadas que las nativas a los cambios a nivel continental-regional (lluvias, temperaturas) y a nivel local (cambios edáficos, cobertura vegetal), mientras que la mayoría de las nativas son incapaces de adaptarse a las variaciones regionales, aunque algunas especies son capaces de tolerar pequeñas variaciones a nivel local.

Trabajos desarrollados en Argentina (Ljungström y col., 1972; Momo y col., 1993; Falco y col., 1995; Mischis, 1996; Falco y Momo, 1998; Momo y col., 2003; Herrera y Mischis, 2007; Domínguez y col., 2009a; Masin y col., 2011; Maitre y col., 2012; Falco y col., 2015; Bedano y Domínguez, 2016; Domínguez y Bedano, 2016), muestran que las comunidades de lombrices de tierra están condicionadas no sólo por las características edáficas del suelo y el tipo de vegetación presente sino también por la historia del uso e intensidad del mismo. Quinn y Harrison (1988), sugieren que el factor preponderante en la distribución de estos macroinvertebrados es la disponibilidad de microhábitats, por lo que la tasa de incremento en el

número de especies sería muy alta en áreas pequeñas, estabilizándose a nivel meso geográfico, tal como pasa con algunas plantas.

1.3.4. Investigaciones previas de lombrices de tierra en Santa Fe

Las primeras referencias sobre el estudio de las lombrices de tierra en el país datan de fines del siglo XIX (Weyembergh, 1879; Michaelsen, 1900; Cognetti de Martiis, 1901), y fueron fundamentalmente de carácter sistemático y zoogeográfico. Estos estudios contribuyeron de manera trascendental al conocimiento de los oligoquetos terrestres, siendo información de base para investigaciones posteriores. Para la segunda mitad del siglo XX se distinguieron por sus contribuciones en oligoquetofauna de Argentina Gilberto Righi, Per-Olf Ljungström y Catalina de Mischis.

La historia de las lombrices de tierra en la provincia de Santa Fe tomó notoriedad recién en la década de 1970, a partir de publicaciones locales (Ljungström 1971; Ljungström y Emiliani, 1971; Ljungström y col., 1973; Ljungström y col., 1975), y regionales Righi (1979). Dichas divulgaciones informaron sobre taxonomía, distribución y ecología de lombrices de tierra de la provincia, sumando aportes interesantes referidos a las potencialidades de estos organismos como recurso natural.

Cuarenta años más tarde, los trabajos relacionados al estudio de lombrices de tierra en Santa Fe siguen siendo escasos (Maitre y col., 2012; Masin y col., 2011, 2013, 2014, 2016), posiblemente debido a la gran extensión territorial de la provincia y, sobre todo, a la falta de especialistas en taxonomía y ecología de lombrices en Argentina.

Considerando la importancia de las lombrices como bioindicadores del suelo, el ampliar el conocimiento de este grupo animal en los distintos aspectos como taxonomía, biología de las diferentes especies y función que realizan en el ecosistema suelo, permitirá evaluar el impacto de las prácticas y actividades empleadas en los suelos de la provincia, y poder generar información para ser consideradas en la protección del recurso suelo.

1.4. Objetivos del Trabajo de Tesis

1.4.1. Objetivo general

Estudiar las comunidades de lombrices de tierra de la provincia de Santa Fe, con la finalidad de determinar si los cambios observados en la diversidad de estos organismos son atribuibles al uso de los suelos y evaluar qué magnitud tienen esos cambios.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✦ Actualizar el registro de la fauna de lombrices presente en la provincia de Santa Fe teniendo en cuenta la información aportada por Ljungström y col. (1975).
- ✦ Determinar los cambios en la diversidad y riqueza de lombrices de tierra en relación al uso de los suelos.
- ✦ Establecer las relaciones entre la estructura de las comunidades de lombrices y los parámetros físicos y químicos de los suelos estudiados.
- ✦ Proponer criterios generales para el uso de las lombrices de tierra como bioindicadores de impacto antropogénico de los suelos de la provincia de Santa Fe.
- ✦ Discutir el posible impacto de los diferentes usos y manejos del suelo sobre los servicios ecosistémicos asociados a la acción de las lombrices.

1.5. Hipótesis de Trabajo

Se establecieron las siguientes hipótesis:

H₁: La riqueza y distribución actual de lombrices en la provincia de Santa Fe difiere de los registros conocidos del trabajo de Ljungström y col. (1975).

H₂: Suelos de la provincia de Santa Fe con similares características físicas y químicas pero con aplicación de distintos manejos, se diferenciarán marcadamente en la composición y diversidad de las comunidades de lombrices de tierra.

H₃: La intensificación en el uso del suelo afecta negativamente la riqueza, composición y abundancia, de las comunidades de lombrices de la provincia de Santa Fe.

Capítulo 2

Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el período 2012–2015 comprendiendo como área de estudio diferentes localidades de la provincia de Santa Fe con un total de 23 sitios muestreados, cubriendo gran parte del territorio en su extensión norte-sur y este-oeste (Figura 2.1

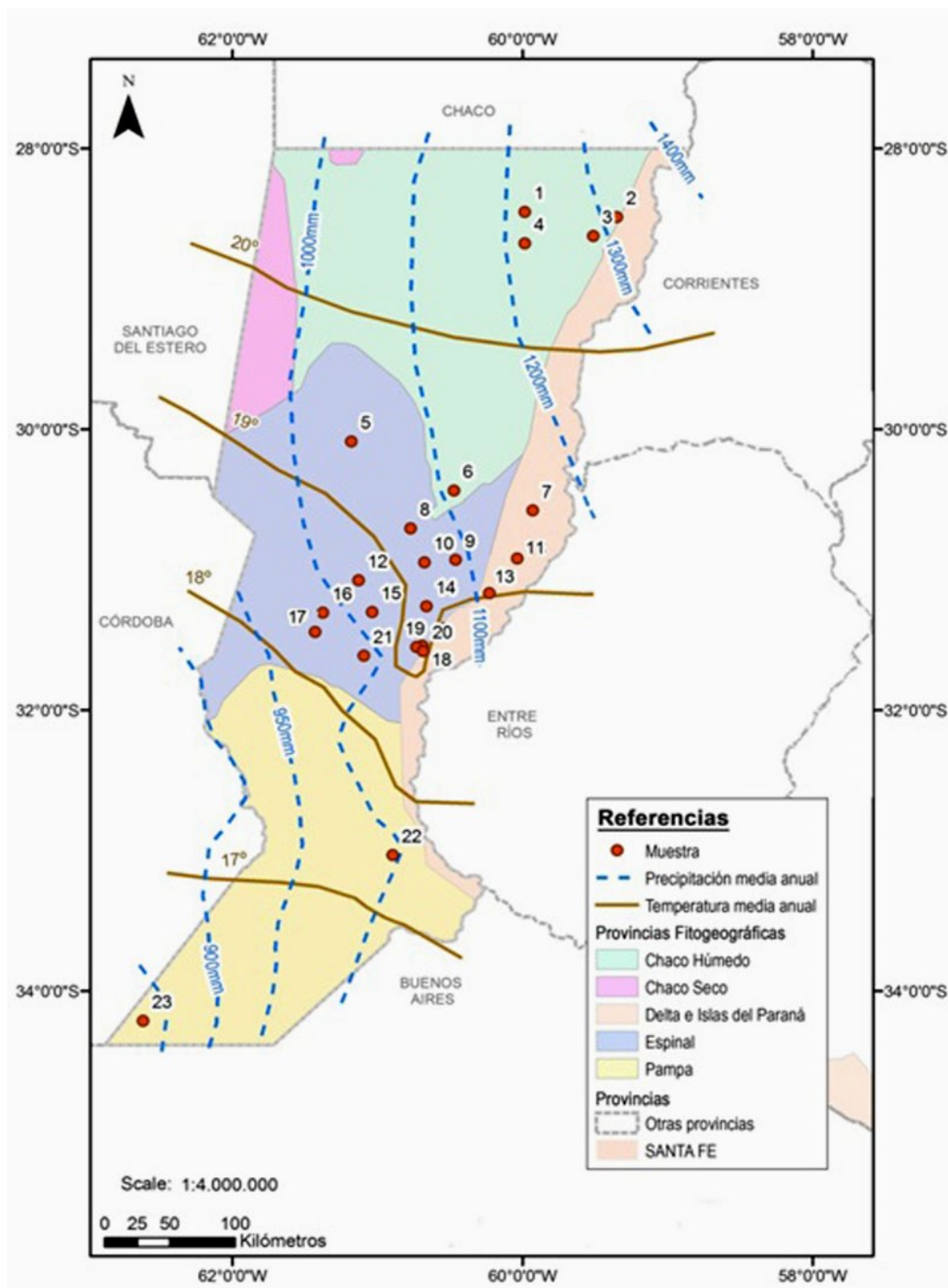


Figura 2.1. Localización de los sitios muestreados en Santa Fe durante el período 2012-2015 (Modificado de Arzamendia y Giraud, 2004). Referencias: 1= Los Tábanos; 2 = Villa Ocampo; 3= El Sombrerito; 4= Tartagal; 5= La Cabral; 6= Colonia Silva;7= San Javier; 8= San Justo; 9= Naré; 10= Videla; 11= Helvecia; 12= Sarmiento; 13= Cayastá; 14= Laguna Paiva; 15= Grutly; 16= Rafaela; 17= Susana; 18= Monte Vera; 19= Recreo; 20= Ángel Gallardo; 21= San Jerónimo del Sauce; 22= Zavalla; 23= Rufino.

La amplitud del estudio a escala de provincia respondió al interés por indagar y contrastar información con un trabajo notable (Ljungström y col., 1975), realizado hace cuatro décadas atrás en Santa Fe. En ese estudio se plasma datos relevantes sobre la distribución y riqueza de lombrices de tierra en diferentes zonas de la provincia. Esta información previa disponible fue la base para iniciar un relevamiento que permitiera comparar los posibles cambios producidos en las comunidades de lombrices en función del uso y manejo del suelo actuales.

2.1.1. Descripción de los sitios estudiados

Los sitios muestreados fueron seleccionados teniendo en cuenta las condiciones para cumplir con los objetivos y testear las hipótesis planteadas. La distribución de los mismos contempló la heterogeneidad de ambientes y diferentes escenarios de intervención antrópica asociados a usos y manejos del suelo de la provincia de Santa Fe.

Como el uso del suelo y, en particular su intensidad, se considera uno de los factores determinantes de la abundancia y riqueza de poblaciones de organismos edáficos (Giller y col., 2005), se propone valorar cada sitio con un nivel de perturbación empírico (NiP). Esta valoración refiere al nivel de disturbio o perturbación del hábitat en relación al impacto que generan determinadas actividades antrópicas, permitiendo caracterizar el uso del suelo de cada sitio mediante la utilización de indicadores. Algunos autores proponen sistemas de indicadores (Gómez y col., 1996; López Ridaura y col., 2002; van der Werf y Petit, 2002), entendidos éstos como algo que hacen claramente perceptible una tendencia o un fenómeno que no es inmediatamente fácil de ser detectado, y que permiten comprender el estado de sustentabilidad de un sistema o los aspectos críticos que lo ponen en peligro (Sarandón, 1998). Se considera que no existe un conjunto de indicadores universales que puedan ser utilizados para cualquier situación (Sarandón y col. 2003; Sarandón y col. 2006). En consecuencia, para este estudio se seleccionaron indicadores fáciles de obtener e interpretar, que proporcionan la información necesaria para detectar tendencias en los sitios muestrados, que se presentan en tabla 2.1. En la misma, los indicadores individuales seleccionados (I_1 , I_2 , I_3 , I_4 y I_5) refirieron al tipo de indicador de presión o de manejo, que indican el efecto que las distintas prácticas de manejo ejercen sobre dicho sistema y evaluando además la sustentabilidad del manejo del suelo. A su vez, cada indicador estuvo compuesto por subindicadores cuantificados (A, B, C, D, E, F, G y H), en el que la selección de uno de ellos otorga el valor (absoluto) a su indicador correspondiente. En Anexo II se presenta la Tabla 2A sobre valores calculados de los indicadores individuales y del Indicador Global (IG) del nivel de perturbación de los sitios estudiados en la provincia de Santa Fe durante el período 2012-2015.



Tabla 2.1. Características de los niveles de perturbación.

Gradiente de Perturbación (- → +)										
Nivel de perturbación (NiP)		0	Bajo - Intervalo: [0 – 2,5)			Medio - Intervalo: [2,5 – 3,5)			Alto - Intervalo: [3,5 – 5)	
INDICADORES	I₁: Cobertura del suelo (Valor)	A Vegetación silvestre intacta del ambiente (0)	B Vegetación silvestre mínimamente intervenida (1)	C Vegetación implantada (Estratos arbóreo y/o herbáceo) (1,5)		D Vegetación implantada y rastrojos de cultivo (3)			E Cobertura mínima por rastrojos (4)	
	I₂: Uso del suelo (Valor)	A No (0)	B Borduras (1)	C Recreativo (1,5)	D* Ganadería extensiva (2)	E Hortícola familiar (2,5)	F Agrícola / ganadero (3)	G Hortícola intensiva (3,5)	H Agrícola intensiva (4,5)	
	I₃: Tipo de labranza y tiempo (Valor)	A Ninguna (0)	B SD (≤5 años) (1,5)		C SD (≤15 años) (2)		D SD (≤20 años) y LM (≤10 años) (3)		E SD (>25 años) y LM (≤20 años) (4)	
	I₄: Diversidad de cultivos en el espacio y rotación/es en el año (Valor)	A Vegetación silvestre (0)	B Policultivo con rotaciones (1)	C 1 cultivo con descanso (1,5)	D 2 cultivos con rotación (2)		E 1 cultivo con rotación (3)		F 1 cultivo sin rotación (4,5)	
	I₅: Fertilizantes y Plaguicidas (número de aplicaciones por año) (Valor)	A Sin aplicación (0)	B sólo aporte orgánico del ganado (0,5)	C 1 aplicación de enmienda orgánica (1)	D 1 aplicación de enmienda y/o fertilizante químico (1,5)	E 1 dosis simple (recomendada) de herbicida (2)	F 1 aplicación de enmienda, 1 de fertilizante químico + 1 dosis simple de herbicidas (2,5)	G 1 aplicación de fertilizantes químicos + 2 dosis simples de herbicidas e insecticidas (3)	H 2 aplicaciones de fertilizantes químicos + 3 o 4 dosis simples de herbicidas e insecticidas (4,5)	
Indicador Global: $NiP = (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5) / 5$										



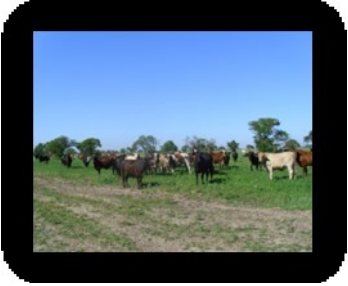
Referencias: SD= Siembra directa; LM= Labranza mínima; LC= Labranza convencional; * el valor del I₂ en clasificación D (=2) se pondera multiplicando por el coeficiente 5, en el caso de sobrecarga animal.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**




Tabla 2.2. Caracterización de los sitios estudiados durante 2012-2015 en la provincia de Santa Fe.

Sitio	Localidad (Dpto. provincial)	Localización Geográfica	Tipo de Suelo	Uso del Suelo	Nivel de Perturbación	
1	Los Tábanos (Vera)	28°27'07,13"S; 59°58'57,59"O	Alfisol / asociación de Natracualf típico y albico y Ocracualf udólico. Alcalinidad sódica a más de 50 cm y anegabilidad.	Ganadería en Monte Nativo (GMN 1)		Bajo (IG= 0,7)
				<ul style="list-style-type: none"> - Se practica ganadería extensiva de bovinos en monte nativo desde hace 25 años. - Presenta cobertura vegetal, manteniendo la vegetación natural de la zona, incluyendo estratos arbóreo (con extracción de algunos ejemplares) y herbáceo. 		
2	Villa Ocampo (Gral. Obligado)	28°29'16,28"S; 59°20'55,40"O	Molisol / asociación de Argiudol ácuico, típico y vértico. Drenaje deficiente por escurrimiento dificultoso, erosión hídrica y permeabilidad lenta.	Hortícola (H 1)		Bajo (IG= 2,3)
				<ul style="list-style-type: none"> - Producción intensiva de cultivos de verduras y hortalizas desde hace 28 años. - Se realiza policultivo de estación (como lechuga, acelga, achicoria, zapallito, rúcula, cebolla de verde, berenjena, maíz choclo, entre otros) con aplicación de labranza mínima y siembra directa para la siembra. - El suelo presenta cubierta vegetal prácticamente todo el año. - Se aplican riego artificial y enmiendas orgánicas (de vacuno y pollo) para fertilizar, y además plantas aromáticas para el control de plagas. - Se realiza rotación de cultivos. - Hace 10 años que no se aplican plaguicidas. El control de malezas se realiza manualmente. 		



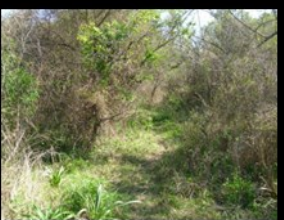
**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

3	El Sombrerito (Gral. Obligado)	28°37'19,13"S; 59°30'43,20"O	Idem sitio 2.	<p>Agrícola (A 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se producen cultivos agrícolas desde hace 30 años. Desde hace 20 se aplica labranza mínima y siembra directa en reemplazo a la labranza convencional. - Se cultiva soja como cultivo principal, rotando con maíz o girasol. - Uso frecuente de agroquímicos, como fertilizantes: urea (100 kg.ha^{-1}), fosfato diamónico (45 kg.ha^{-1}) y fosfato monoamónico (45 kg.ha^{-1}), y entre los plaguicidas: herbicidas glifosato (4 L.ha^{-1}) y 2,4-D ($0,5 \text{ L.ha}^{-1}$), fungicidas ($800 \text{ cm}^3.\text{ha}^{-1}$) e insecticida cipermetrina ($150 \text{ cm}^3.\text{ha}^{-1}$). 		<p>Alto (IG= 3,8)</p>
4	Tartagal (Vera)	28°40'29,61"S; 59°58'57,59"O	Idem sitio 1	<p>Agrícola / Ganadero (A/G 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se practica desde hace 25 años actividad agrícola alternada con pastoreo de ganado bovino y caprino. - Se producen cultivos forrajeros, como alfalfa, moha y sorgo, mediante siembra directa y en ocasiones se realiza labranza mínima. - Se usa herbicida glifosato ($3,5 \text{ L.ha}^{-1}$), 2,4-D ($0,8 \text{ L.ha}^{-1}$), y hasta 2013 se aplicaba endosulfán (sin precisión de dosis). 		<p>Medio (IG= 3)</p>
5	La Cabral (San Cristóbal)	30°5'12,97"S; 61°10'46,72"O	<p>Molisol / asociación de Argiudol ácuico, Argialbol típico y Argiudol típico. Drenaje deficiente por escurrimiento dificultoso, anegabilidad y permeabilidad lenta.</p>	<p>Agrícola / Ganadero (A/G 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se realiza actividad agrícola alternada con pastoreo de ganado bovino hace más de 10 años. - Se producen cultivos de pastura, como alfalfa y moha, mediante siembra directa y labranza mínima. - En los 10 años de actividad agrícola solo en dos oportunidades se utilizó herbicida glifosato ($2,5 \text{ L.ha}^{-1}$). - El lote linda con un relicto de monte nativo. 		<p>Bajo (IG= 2,3)</p>




**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

6	Colonia Silva (San Justo)	30°26'07,32"S ; 60°28'22,38"O	Molisol / asociación de Argiudol típico, ácuico y Argialbol típico. Permeabilidad lenta y drenaje deficiente por escurrimiento dificultoso.	<p align="center">Ganadería en Monte Nativo (GMN 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se practica ganadería extensiva de bovinos en monte nativo hace más de 20 años. - Presenta cobertura vegetal natural de la zona. Se mantienen estratos arbóreo (raleado por extracción de algunos árboles) y herbáceo. 		Bajo (IG= 0,7)
7	San Javier* (San Javier)	30°34'41,24"S; 59°55'45,89"O	Entisol / asociación de Udipsament thapto, árgico y álfico. Fertilidad y permeabilidad excesiva. Predomina suelo con horizonte A color pardo a pardo oscuro, textura arenosa franca fina, estructura de grano simple, bien provisto de materia orgánica y reacción débilmente ácida.	<p align="center">Jardín de Casa (JdC)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Patio trasero de una casa de familia, usado como jardín desde hace 20 años. Anteriormente funcionó como huerta orgánica, donde se producían cultivos hortícolas usando enmienda orgánica (de pollo) y prescindiendo de agroquímicos. Actualmente hay plantas frutales. - El suelo está cubierto por una densa gramínea, la cual es controlada mediante máquina. 		Bajo (IG= 0,6)
8	San Justo* (San Justo)	30°42'20,42"S ; 60°46'14,01"O	Molisol / asociación de Argiudol típico y ácuico. Permeabilidad lenta y drenaje deficiente por escurrimiento dificultoso.	<p align="center">Agrícola / Ganadero (A/G 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se siembran cultivos forrajeros (avena, alfalfa y sorgo) alternando con pastoreo de ganado bovino desde hace 25 años. - Antes de la siembra, se remueve el suelo con rastras de discos de tipo de arrastre, llegando a una profundidad máxima de 10 cm. A veces se realiza siembra directa. - Se utilizan agroquímicos de forma frecuente en el año, como fertilizantes urea (80 kg ha⁻¹) y fosfato diamónico (45 kg.ha⁻¹), y plaguicidas glifosato (3,5 L.ha⁻¹) y 2,4-D (0,5 L.ha⁻¹). - Una de las características del sitio es su pronunciada pendiente, siendo susceptible el suelo a perder nutrientes por escurrimiento y lixiviación debido a las lluvias. 		Alto (IG= 3,7)

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

9	Naré (San Justo)	30°55'48,36"S; 60°27'35,85"O	Molisol / asociación de Haplacuoal típico y Natracualf típico. Inundables y con alcalinidad sódica a menos de 50cm.	Ganadería en Monte Nativo (GMN 3)	<ul style="list-style-type: none"> - Se practica ganadería extensiva de bovinos en monte nativo desde hace más de 20 años. - Presenta cobertura vegetal natural, manteniendo estratos herbáceo y arbóreo. Este último fue intervenido mínimamente mediante raleos y podas para el avance del ganado. 		Bajo (IG= 0,7)
10	Videla* (San Justo)	30°56,'49,82" S; 60°40'31,43"O	Idem sitio 6.	Agrícola (A 2)	<ul style="list-style-type: none"> - Se realiza actividad agrícola intensiva por más de 30 años, donde en los últimos 15 se practica siembra directa, antes labranza convencional. - Hace cinco años consecutivos que se desarrolla monocultivo soja. - Se usan agroquímicos de forma frecuente en el año, como fertilizantes urea (80 kg.ha⁻¹), fosfato diamónico (45 kg.ha⁻¹) y fosfato monoamónico (40 kg.ha⁻¹) y plaguicidas glifosato (4,5 L.ha⁻¹), 2,4-D (0,5 L.ha⁻¹), fungicidas (850 cm³.ha⁻¹) y cipermetrina (150 cm³.ha⁻¹). 		Alto (IG= 4)
11	Helvecia* (Garay)	31°01'59,30"S; 60°05'29,94"O	Entisol / asociación de Udipsament álfico, thapto y árgico. Suelos de color parduzco, libremente drenados y con predominio de fracción arenosa, con permeabilidad excesiva y fertilidad.	Ganadería en Monte Nativo (GMN 4)	<ul style="list-style-type: none"> - Se practica ganadería extensiva de bovinos en monte nativo desde hace más de 20 años. - Presenta cobertura vegetal natural de la zona, manteniendo estratos herbáceo y arbóreo. - Se han realizado prácticas de raleos y podas. 		Bajo (IG= 0,7)

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**




Agrícola / Ganadero (A/G 4)					Medio (IG= 3)
12	Sarmiento (Las Colonias)	31°04'02,54"S; 61°08'43,79°O	Idem sitio 6.		
Ganadería en Pastizal Natural (GPN)					Medio (IG= 2,6)
13	Cayastá* (Garay)	31°10'02,20"S; 60°13'42,94°O	Idem sitio 11.		
Agrícola / Ganadero (A/G 5)					Alto (IG= 3,5)
14	Laguna Paiva* (La Capital)	31°15'34,70"S; 60°39'41,36°O	Se corresponde a un Complejo Indiferenciado. Suelos inundables, con alcalinidad a menos de 50 cm y salinidad.		

- Dedicado a la actividad agrícola alternado con ganadería bovina desde hace 20 años.
- Se siembran cultivos forrajeros y en los últimos cinco años se incorporó soja mediante labranza mínima y siembra directa.
- Se usan agroquímicos como fertilizante urea (80 kg.ha⁻¹) y plaguicidas glifosato (4 L.ha⁻¹) y 2,4-D (800 g.ha⁻¹).




- Se realiza actividad ganadera extensiva de bovinos desde hace 25 años.
- El suelo presenta una cubierta de pastos naturales, en algunos sectores es escasa llegando a evidenciar partes desnudas, debido a la sobrecarga animal.
- No se utilizan fertilizantes solo plaguicida glifosato (20 cm³.L⁻¹) en caso de invasión de malezas.
- Es un sitio bajo, el suelo posee una carga importante de salitre.
- En caso de lluvias abundantes en la zona, llega agua por escurrimiento de sitios con actividad agrícola, que tienden a encharcar el predio con arrastre de residuos de agroquímicos.

- Se practica desde hace 25 años actividad agrícola alternada con ganadería bovina.
- Se siembran cultivos de pasturas mediante siembra directa y labranza mínima, rotando con soja y maíz.
- Se usa fertilizante sulfato de amonio (1 L.ha⁻¹) y plaguicidas glifosato (2 L.ha⁻¹), 2,4-D (700 cm³.ha⁻¹) y dicamba (100 cm³.ha⁻¹).




**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

15	Grutly* (Las Colonias)	31°18'02,98"S; 61°02'14,40"O	Idem sitio 8.	Agrícola / Ganadero (A/G 6)	<ul style="list-style-type: none"> - Se realiza actividad agrícola alternada con ganadera bovina desde hace 20 años. - Se siembran cultivos forrajeros (avena y alfalfa) rotando con maíz, mediante labranza siembra directa y mínima. - Se usa enmiendas orgánicas provenientes de ganado bovino y pollo. - Se usan plaguicidas glifosato (2 L.ha⁻¹) y atrazina (3 L.ha⁻¹). 		Medio (IG= 2,7)
16	Rafaela* (Castellanos)	31°18'19,71"S; 61° 22' 34,7"O	Idem sitio 8.	Borde de Ruta (BR 1)	<ul style="list-style-type: none"> - Franja longitudinal entre la banquina de un tramo de la Ruta Provincial N° 70 y la cuneta. - La existencia de dicha franja supera los 30 años, la cual se originó por remoción para terraplenar la ruta. - El suelo presenta una cubierta de vegetación natural (pastizal) espontánea, parcialmente modificada. 		Bajo (IG= 0,4)
17	Susana (Castellanos)	31°24'57,36"S; 60°32'39,8"O	Idem sitio 8.	Borde de Ruta (BR 2)	<ul style="list-style-type: none"> - Franja longitudinal extendida entre la banquina de un tramo de la Ruta Provincial N° 34 y la cuneta. - Franja originada desde hace más de 30 años a partir del terraplenamiento de la ruta. - El área muestreada presenta cubierta de vegetación natural (pastizal) parcialmente modificada. La cuneta presentaba acumulación de agua debido a últimas lluvias caídas. 		Bajo (IG= 0,4)

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

18	Monte Vera* (La Capital)	31°32'26,76"S; 60°41'28,66"O	Molisol / asociación de Argiudol típico, ácuico y Argialbol típico. Permeabilidad lenta y drenaje deficiente por escurrimiento dificultoso.	<p align="center">Hortícola (H 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se realiza horticultura intensiva desde hace 30 años. - Se siembran varios tipos de hortalizas de estación (achicoria, acelga, zanahoria, pimiento, lechuga, berenjena, zapallito, entre otros) mediante labranza mínima y siembra directa. - Se aplican prácticas de rotación de cultivos, riego artificial e incorporación de enmiendas orgánicas (estiércol de vacuno y de pollo). - Se usan plaguicidas glifosato (2 L.ha⁻¹) y cipermetrina (60 cm³.ha⁻¹). 		Medio (IG= 2,8)
19	Recreo* (La Capital)	31°33'1,89"S; 60°43'46,78"O	Idem sitio 6.	<p align="center">Vivero Forestal (VF)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forma parte desde hace 20 años de la zona parquizada de un vivero forestal. - La vegetación natural fue reemplazada parcialmente, manteniendo algunas especies arbóreas y herbáceas. - El suelo presenta densa cobertura vegetal sobre todo de herbáceas, manteniendo a las mismas con control mecánico (cortadora de pasto). 		Bajo (IG= 0,6)
20	Ángel Gallardo (La Capital)	31°34'47,00"S ; 60°41'4,00"O	Idem sitio 6.	<p align="center">Hortícola (H 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dedicado a la actividad hortícola intensiva por más de 30 años. - Se cultivan verduras y hortalizas, entre ellas: cebolla de verdeo, lechuga, zanahoria y actualmente se introdujo el cultivo de higos. - Desde los últimos 20 años se aplica labranza mínima y siembra directa en reemplazo de la labranza convencional. Las rotaciones de cultivos son poco frecuentes. - Uso de agroquímicos presente desde el inicio de la actividad productiva. En la actualidad se utilizan fertilizante urea (70 kg.ha⁻¹) y de forma frecuente plaguicidas cipermetrina (60 cm³.ha⁻¹), glifosato (2,5 L.ha⁻¹), lambdacialotrina (85 cm³.ha⁻¹) y sulfato de cobre (2 g.L⁻¹) de acuerdo al cultivo de estación. 		Alto (IG= 3,6)

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

21	San Jerónimo del Sauce* (Las Colonias)	31°36'45,78"S ; 61°05'33,60"O	Molisol / asociación de Argiudol típico y ácuico. Permeabilidad lenta y drenaje deficiente por escurrimiento dificultoso.	<p align="center">Agrícola (3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realiza actividad agrícola intensiva por más de 25 años. - En los últimos años solo se practica rotación trigo-soja. - Aplicación de siembra directa hace 18 años. - Se utilizan agroquímicos como fertilizantes sulfato de calcio en grano (sin precisión de dosis), superfosfato simple o triple (200 kg.ha⁻¹), urea (80 kg.ha⁻¹) y plaguicidas glifosato (3 L.ha⁻¹), 2,4-D (0,5 L.ha⁻¹), metsulfuron (6 g.ha⁻¹), deltametrina (400 ml.ha⁻¹), clorantraniliprole (25 cm³.ha⁻¹), ENGEO®: mezcla de tiametoxam y lambdialotrina (100 cm³.ha⁻¹) y fungicidas (sin precisión de dosis). 		Alto (IG= 3,8)
22	Zavalla (Rosario)	33°02'23,79"S ; 60°52'57,25"O	Molisol / Argiudol vértico. Drenaje deficiente por impermeabilidad.	<p align="center">Agrícola (A 4)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Practica actividad agrícola intensiva por más de 25 años. - Predio experimental donde realizan ensayos de cultivos de forma continua, aplicándose prácticas de labranza mínima y siembra directa. - Las rotaciones en los últimos años fueron soja-trigo. - Se usan agroquímicos, entre los más frecuentes, fertilizante urea (70 kg.ha⁻¹) y plaguicidas glifosato (3 L.ha⁻¹), 2,4-D (0,5 L.ha⁻¹), cipermetrina (150 cm³.ha⁻¹). 		Alto (IG= 3,7)
23	Rufino (Gral. López)	34°12'41,8"S; 62°37'01,0"O	Molisol / asociación de Hapludol éntico y típico. Susceptibilidad de erosión eólica.	<p align="center">Agrícola (A 5)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dedicado a la actividad agrícola hace 10 años, y linda con un relicto de monte nativo. - Se realizaron campañas de cultivos de soja y avena mediante labranza siembra directa y labranza mínima. - Se usan agroquímicos fertilizante urea (100 kg.ha⁻¹), fosfato diamónico (40 kg.ha⁻¹) y plaguicidas glifosato (2,5 L.ha⁻¹), 2,4-D (0,5 L.ha⁻¹) y cipermetrina (130 cm³.ha⁻¹). 		Medio (IG= 3,1)

Referencias: *Sitios registrados por Ljungström y col. (1975).

2.2. Muestras de suelo

2.2.1. Método de recolección de lombrices de tierra

Para el estudio de la oligoquetofauna se consideró el método estandarizado Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993).

En cada sitio se dispuso de una superficie de estudio de 1 ha aproximadamente, donde se tomaron en total 40 muestras (monolitos) durante dos instancias de muestreo estacional en el año, una en otoño y otra en primavera. La selección de estas estaciones se debió a que, por sus condiciones ambientales (temperatura y humedad) estables para los oligoquetos terrestres, se espera encontrar mayor abundancia de organismos. Cada muestreo consistió en la extracción mediante pala de 20 monolitos de suelo de 30 x 30 x 30 cm, regularmente espaciado uno de otro por 15 m (Figura 2.2), siguiendo una línea imaginaria en forma de zig-zag. La distribución espacial de las muestras debe, preferentemente, buscar la representatividad del ambiente específico a ser muestreado, con un esfuerzo de muestreo aceptable y sin que la varianza sea exagerada (Velásquez Ibáñez, 2004; Rossi y col., 2006). Cada uno de los monolitos extraídos fue puesto en bolsa de plástico oscuro, con su referencia correspondiente para el posterior traslado a laboratorio y revisión.

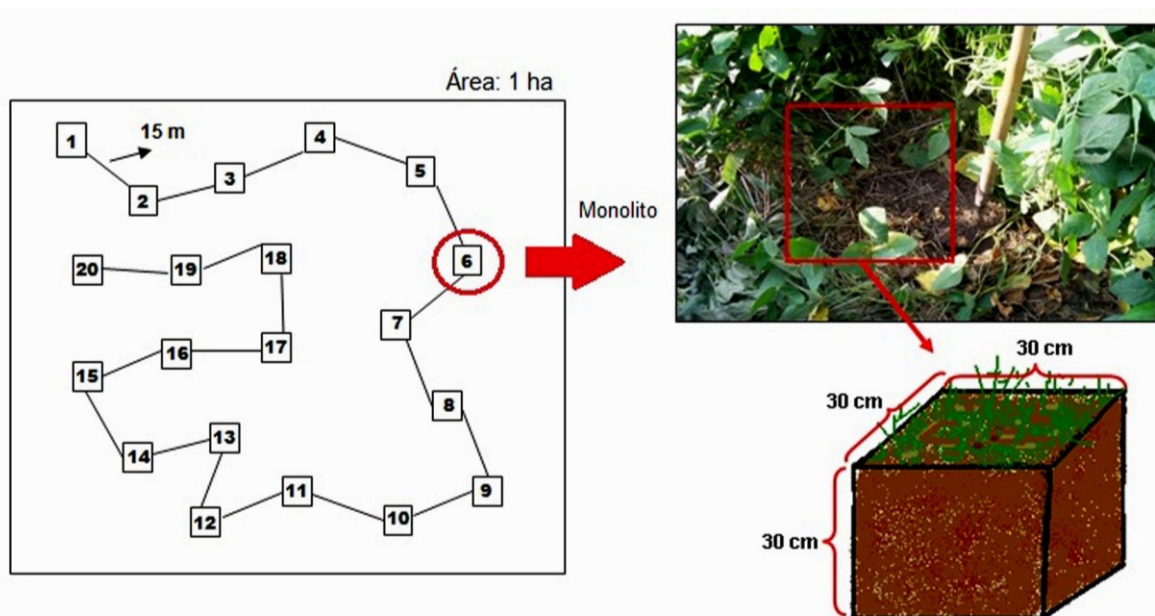


Figura 2.2. Representación de la toma de muestras (monolitos) en los sitios de estudio.

2.2.2. Método de muestro para el análisis físico y químico del suelo

La determinación de las propiedades físicas, con excepción de la densidad aparente (DA), y químicas para cada sitio se realizó a partir de una muestra de suelo de 1 kg aproximadamente, la que resultó de la mezcla de los monolitos que se extrajeron del sitio. La muestra obtenida fue colocada en bolsa de plástico oscura, rotulada con los datos del sitio, para el envío al

laboratorio del IDICYT de la Facultad de Ingeniería, Geoecología y Medio Ambiente (Universidad Católica de Santa Fe) para realización de los análisis correspondientes.

La medición de la densidad aparente se realizó mediante el método del cilindro (Baver y col., 1973), tomando tres muestras de suelo en cada uno de los sitios. Dichas muestras fueron llevadas al laboratorio de Ecotoxicología (Grupo Medio Ambiente – INTEC) para su determinación.

La medición de las propiedades físicas y químicas se realizó una sola vez por sitio durante un muestreo estacional. En el ítem 2.3.3 se describen las variables físicas y químicas medidas y sus respectivas técnicas de análisis.

2.3. Trabajo de laboratorio

2.3.1. Tratamiento de los ejemplares

De cada monolito extraído en los muestreos, se procedió en laboratorio a su revisión manual para la extracción y conteo de los ejemplares (adultos y juveniles) y ootecas (cocones) hallados. En este sentido, el suelo de la muestra (monolito) fue colocado en una bandeja de tamaño adaptable a su volumen, se lo iluminó mediante lámpara (marca Schmitten) de 75 W y efectuó la disgregación manual de forma minuciosa, para facilitar la visualización de las ootecas y ejemplares juveniles pequeños (Figura 2.3).



Figura 2.3. Revisión de los monolitos en laboratorio: suelo colocado en bandeja e iluminado (A), disgregación manual (B) y hallazgo de juveniles (C) (Fotos: Masin, C).

Los individuos adultos recolectados (condición que se externaliza por la presencia del clitelo), fueron fijados y luego colocados en tubos de vidrio con solución conservadora con su respectivo rótulo para posterior identificación (Figura 2.4 A).

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

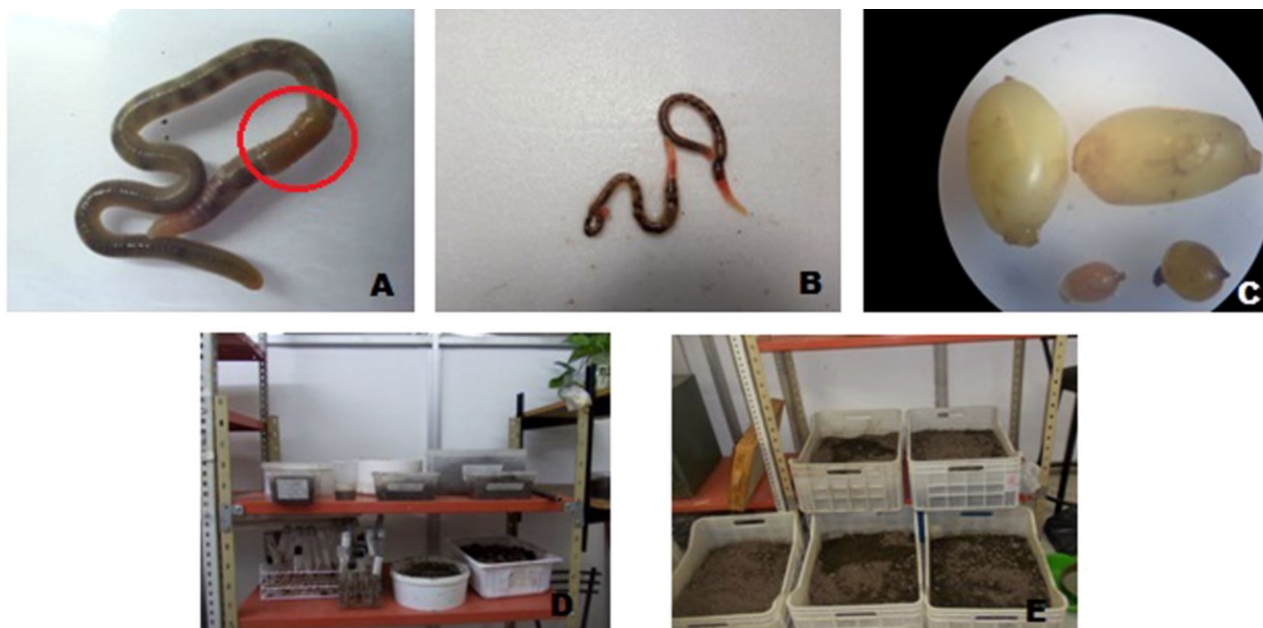


Figura 2.4. Ejemplar adulto con clitelo prominente (marcado con círculo rojo) (A), individuos en estado juvenil (B), ootecas vistas en lupa a 10X (C) y recipientes de cría de los individuos inmaduros y ootecas (D y E) (Fotos: Masin, C).

La fijación de los ejemplares consistió en colocarlos en una bandeja con solución de formalina al 4% (según metodología de Moreno y Borges, 2004) durante 30 segundos, y aplicando suaves pinceladas mediante pincel tipo artístico con cerdas redondeadas se les dio forma de bastón, prácticamente rectos y estirados (Figura 2.5 A). Luego las lombrices fueron puestas en recipientes nuevamente con solución fijadora durante 48 horas, para después ser colocadas en tubos de vidrio rotulados con alcohol al 70% para su conservación y diagnóstico posterior (Figura 2.5 B).

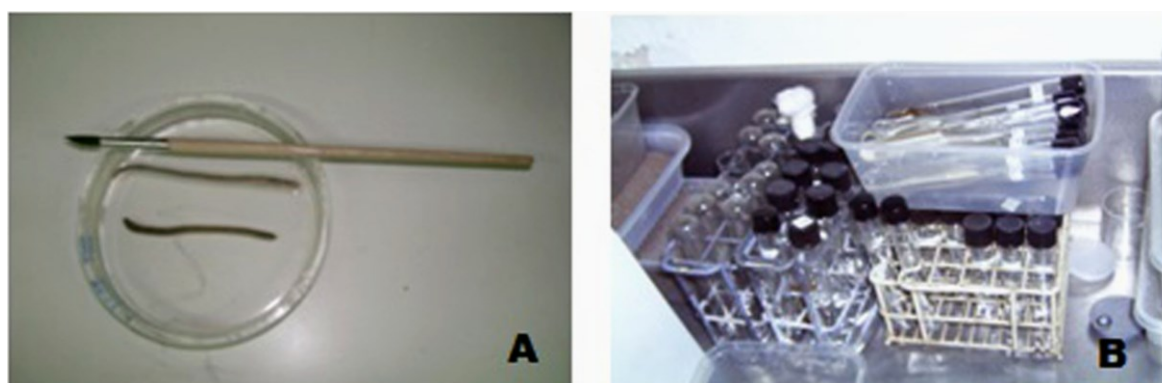


Figura 2.5. Ejemplar adulto fijado en forma casi recta (A) e individuos en tubos de ensayo con solución conservadora (B) (Fotos: Masin, C).

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

En cuanto a los ejemplares en estado juvenil y las ootecas fueron contados y depositados en recipientes rotulados (Figura 2.4 D y E), con suelo del sitio de donde se los extrajo, para criarlos en condiciones de laboratorio hasta estado adulto (Figura 2.4 B y C). El tiempo de desarrollo de los ejemplares varió de cuatro a ocho meses aproximadamente, debido al tiempo que le demandó a los especímenes ajustarse a las condiciones de laboratorio en las que fueron criados. Entre estas condiciones, las elementales fueron mantener la humedad del suelo cercana al 60 %, suministro de alimento (estiércol de vaca seco molido y/o restos orgánicos frescos de frutas y verduras) y temperatura ambiente entre 20 – 25 °C. De esta manera, la cría de los individuos juveniles facilitó llegar a una segura identificación taxonómica de los mismos.

2.3.2. Identificación taxonómica

Para la identificación a nivel especie se procedió a la observación de caracteres morfológicos externos e internos de los individuos mediante lupa binocular estereoscópica “Arcano” ST 30 2L., utilizando oculares 10x WF y 15X WF y objetivo 2x (Figura 2.6 A).

La disponibilidad de ejemplares adultos permitió la visualización y reconocimiento de estructuras externas (Figura 2.6 B, C, D, E, F y G), las que facilitaron la identificación de las especies.

Para el estudio de la anatomía interna se ubicó al espécimen con la cara dorsal hacia arriba en una bandeja de disección. Se colocó un alfiler tipo entomológico, atravesando oblicuamente el segmento IV y otro alfiler en la parte posterior cerca del pigidio estirando el cuerpo. Luego se introdujo una tijera de punta recta y fina unos 15 segmentos detrás del clitelo y se cortó por la línea media dorsal hasta el segmento II. Se fijó la pared del cuerpo con alfileres (Figura 2.6 H) y se examinaron las estructuras de interés taxonómico (Figura 2.6 I).

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

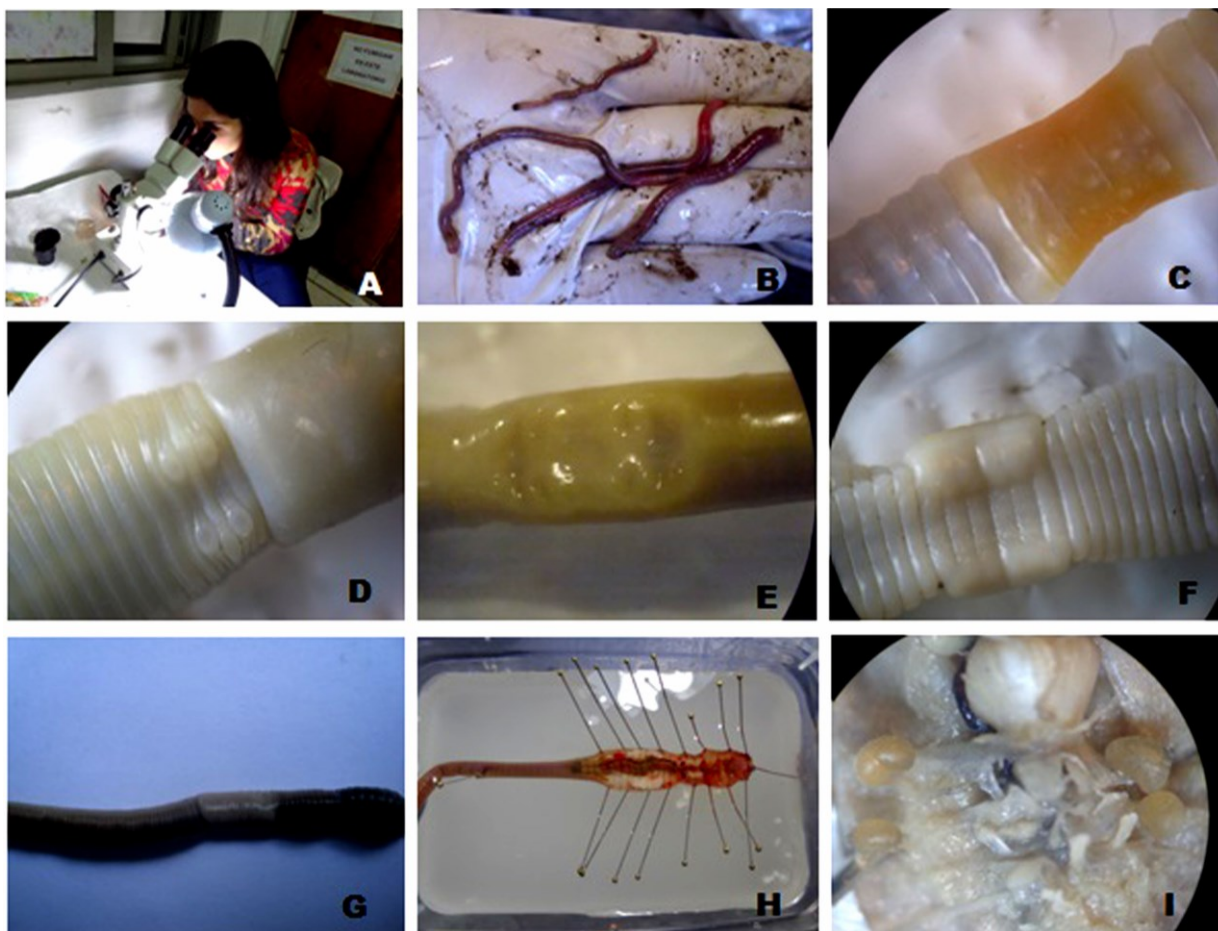


Figura 2.6. Observación de ejemplares mediante lupa (A), coloración de individuos vivos (B), vista dorsal de segmentos y clitelo de forma anular (C), signos y tumescencias genitales en segmento XVIII ventralmente (D), campo genital masculino en parte ventral (E), vista ventral de clitelo en silla de montar y tubérculos puberales (F), vista dorsal de clitelo en silla de montar (G), disección de individuo (H), identificación de espermatecas (I) (Fotos: Masin, C).

La diagnosis de las lombrices fue realizada siguiendo claves de Righi (1979), Mischis (1991) y Reynolds (1996), lográndose concretar la identificación del total de los ejemplares recolectados. Además, las especies identificadas fueron clasificadas en las categorías ecológicas propuestas por Bouché (1977): epígeas, anécicas y endógeas.

2.3.3. Técnicas de análisis de variables físicas y químicas

Las características físicas y químicas determinadas de cada sitio estudiado fueron: contenido de materia orgánica (MO) (%) y carbono orgánico (C) (%) por el método de Walkley y Black (1934); nitrógeno total (N) (%) por Kjeldahl macroescala (MAG, 1982); el pH por el método potenciométrico en relación suelo-agua 1:2,5 p/v (Jackson, 1976); densidad aparente (DA) por método del cilindro (Baver y col., 1973); textura por método de pipeteado para análisis

granulométrico de fracciones menores a 62 micrones (Gee y Bauder, 1986) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) con uso de acetato amonio 1 N pH 7 para la extracción de cationes intercambiables, como Calcio (Ca^{++}) y Magnesio (Mg^{++}) por complexometría y de Sodio (Na^+) y Potasio (K^+) por fotometría de llama (MAG, 1982).

2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico multivariado permite aprovechar la información de correlación entre las variables y analiza los datos de forma conjunta. En cuanto al análisis estadístico univariado, si bien es importante para comprender el comportamiento de los datos no tiene en cuenta si las variables están correlacionadas. Es decir, analizar características en forma independiente puede ser muy engañoso, si están correlacionadas. En consecuencia, en esta tesis primero se realizó un análisis exploratorio univariado (estadística descriptiva), a efectos de describir aproximadamente el comportamiento de los datos y construir hipótesis sobre los mismos, siguiendo con un análisis estadístico multivariado de los datos, a efectos de concluir sobre un determinado comportamiento estudiado.

2.4.1. Medidas de diversidad ecológica

Para cada sitio, se determinó la densidad poblacional (individuos. m^{-2}) y la composición taxonómica de lombrices de tierra. Las comunidades de lombrices de cada sitio fueron caracterizadas mediante estimadores e índices ecológicos.

Para determinar diferencias entre la densidad total de las especie por ambiente se utilizó el análisis de varianza no paramétrico para muestras independientes de Kruskal-Wallis, seguido de la prueba U de Mann-Whitney para identificar las diferencias entre grupos específicos cuando la prueba mostró diferencias de significación estadística ($p < 0,05$).

La riqueza de especie fue calculada mediante Chao 2, un estimador no paramétrico que tiene en cuenta a las especies observadas en exactamente una y dos unidades de muestreo (Espinosa, 2003; Magurran, 2004). El índice se calcula (ecuación 2.1):

$$S_{est} = S_{obs} + (L^2 / 2M) \quad (2.1)$$

donde:

S_{est} : es la riqueza de especies estimada,

S_{obs} : es la riqueza de especies observada,

L : número de especies encontradas en una sola muestra,

M : número de especies encontradas en solo dos muestras

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

Se calculó la diversidad específica de cada sitio mediante el índice de Shannon-Wiener (H') usando el programa EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013).

El índice de Shannon nos da una idea de la complejidad de la comunidad combinando datos de riqueza con la abundancia relativa de las especies. Su fórmula es (ecuación 2.2):

$$H' = - \sum_i^S p_i \cdot \log_2 p_i \quad (2.2)$$

donde:

S es el número de especies (la riqueza de especies), y p_i es la proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos N (o la abundancia relativa de la especie i -ésima), calculada como el cociente n_i/N donde n_i es el número de individuos de la especie i (Southwood y Henderson, 2000). Este índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies) y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia). Su valor mínimo posible es cero, si todos los individuos de la muestra pertenecen a la misma especie, y no tiene valor máximo aunque se admite que en las comunidades naturales no suele superar un valor de 5 bits/individuo.

Para determinar si todas las especies que representan la comunidad de un sitio muestran la misma abundancia se empleó el índice de Equidad de Pielou (también llamado de Uniformidad o Equitatividad), que se obtiene utilizando la fórmula (ecuación 2.3):

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} \quad (2.3)$$

donde:

$$H'_{max} = \log_2 (S)$$

El índice de Pielou adopta valores entre 0 y 1, el número 1 indica que todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad.

Se compararon la riqueza y composición de la comunidad actual de lombrices por localidad o departamento con las reportadas en el trabajo de Ljungström y col. (1975) para determinar la magnitud de los cambios.

2.4.2. Modelado estadístico multivariado de la estructura de correlación

Se realizaron análisis multivariados de las variables que afectan a las comunidades de lombrices de tierra en el área estudiada.

En primer término se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables que caracterizaron a la comunidad de lombrices, densidad, riqueza y diversidad de especie (H'), con el nivel de perturbación (NiP) para determinar la relación entre la comunidad y la valoración empírica propuesta del nivel de perturbación.

Para demostrar la relación entre las comunidades de lombrices y las propiedades físicas y químicas de los ambientes seleccionados se ajustó una estructura de correlación. Luego, para evaluar la respuesta de las especies de lombrices a un conjunto de variables ambientales y el NiP de los usos de los sitios muestreados, se realizó un ACP a una matriz de datos compuesta con datos biológicos (abundancias de las especies agrupadas en categorías ecológicas), propiedades físicas y químicas del suelo, y el NiP de los sitios. Se realizaron análisis de contribuciones de las variables predictoras a cada categoría a fin de determinar cómo influencia cada variable en cada categoría ecológica.

Finalmente, se propone un estimador de la calidad del suelo (desarrollado en el ítem 3.2.3) a partir de los indicadores como de las lombrices de tierra, las propiedades edáficas y el nivel de perturbación antrópica de los sitios relevados en la provincia de Santa Fe.

A continuación se describe el enfoque de modelado latente utilizado.

El ACP es un procedimiento estadístico que utiliza una transformación ortogonal para convertir un conjunto de observaciones de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores (o scores) de variables linealmente no correlacionadas denominadas componentes principales (o variables latentes). El ACP es utilizado principalmente como una herramienta en el análisis exploratorio de datos y para hacer modelos predictivos. En este trabajo para realizar un ACP, el vector de las mediciones \mathbf{z} se compone de en una parte respuesta \mathbf{y} (con p variables respuesta) y de en una parte predictora/causante \mathbf{x} (con m variables predictoras), es decir: $\mathbf{z}' = [\mathbf{y}' \ \mathbf{x}']$, a fin de ajustar un modelo de correlación entre ambos vectores (Godoy y col., 2014). Las N observaciones recolectadas del vector \mathbf{z} (con dimensión $n=p+m$) se ordenan en la siguiente matriz de datos:

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{z}'_1 \\ \vdots \\ \mathbf{z}'_N \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \mathbf{y}'_1 \\ \vdots \\ \mathbf{y}'_N \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \mathbf{x}'_1 \\ \vdots \\ \mathbf{x}'_N \end{bmatrix} \end{bmatrix}, \quad (N \times n), \quad (2.4)$$

donde \mathbf{z}'_i es la i -ésima observación multivariada recolectada (con $i = 1 \dots N$), compuesta por la i -ésima parte predictora \mathbf{x}'_i y la respectiva parte respuesta \mathbf{y}'_i . Antes de componer la matriz de datos \mathbf{Z} , se centra y escala cada medición del vector \mathbf{z} para que cada variable del conjunto de datos posea media igual a cero y desvió unitario. El modelado \mathbf{YX} -ACP, típicamente obtenido a través del algoritmo NIPALS (Non-linear Iterative Partial Least Squares), produce un modelo latente que descompone la matriz de datos $\mathbf{Z} = [\mathbf{Y} \ \mathbf{X}]$ en vectores de observaciones (o scores) de las variables latentes (\mathbf{t}_a), vectores de peso (o loadings) (\mathbf{p}_a), y errores residuales ($\tilde{\mathbf{z}}$), de la siguiente manera (Godoy y col., 2014):

$$\mathbf{Z} = \sum_{a=1}^A \mathbf{t}_a \mathbf{p}'_a = \mathbf{TP}' + \tilde{\mathbf{z}}, \quad (2.5)$$

donde A es el número de componentes principales retenidos en el modelo, $\mathbf{T} = [\mathbf{t}_1 \dots \mathbf{t}_A]$ es ortogonal por columnas y $\mathbf{P} = [\mathbf{p}_1 \dots \mathbf{p}_A]$ es ortonormal por columnas (es decir, $\mathbf{P}'_z \mathbf{P}_z = \mathbf{I}$). Para una nueva matriz \mathbf{Z} , si se pos-multiplica por \mathbf{P} , se obtienen las predicciones de \mathbf{T} :

$$\mathbf{T} = \mathbf{ZP} = [\mathbf{Y} \ \mathbf{X}] \begin{bmatrix} \mathbf{P}_y \\ \mathbf{P}_x \end{bmatrix} = \mathbf{YP}_y + \mathbf{XP}_x, \quad (2.6)$$

porque $\tilde{\mathbf{z}} \mathbf{P} = \mathbf{0}$, puesto que el espacio fila de $\tilde{\mathbf{z}}$ pertenece al espacio nulo de \mathbf{P} . La matriz \mathbf{P} define la descomposición de la matriz de datos \mathbf{Z} de la siguiente manera: \mathbf{Z} se proyecta al espacio latente a través de \mathbf{P} (ecuación 2.6), y se reconstruye por medio de \mathbf{P}' (ecuación 2.5). En resumen, el ACP implica la descomposición del conjunto de datos \mathbf{Z} a lo largo de las direcciones de máxima variabilidad.

Un conjunto de datos se puede modelar a través ACP, sin diferenciar variables predictoras de variables respuesta. O alternativamente, el mismo conjunto de datos se puede analizar por medio de Partial Least Squares Regression (PLSR), que considera explícitamente la existencia de relaciones causales intrínsecas entre variables predictoras y variables respuesta. En ACP, el vector de las mediciones \mathbf{z} se puede dividir en una parte conocida \mathbf{x} y una parte desconocida \mathbf{y} . En consecuencia, el modelo ACP se puede particionar de la siguiente manera:

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} \mathbf{y} \\ \mathbf{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_y \\ \mathbf{P}_x \end{bmatrix} \mathbf{t}_z. \quad (2.7)$$

Cuando sólo se utiliza \mathbf{x} (la parte conocida de \mathbf{z}) para estimar el vector latente \mathbf{t}_z , se tiene la siguiente relación:

$$\hat{\mathbf{t}}_z = (\mathbf{P}'_x \mathbf{P}_x)^{-1} \mathbf{P}'_x \mathbf{x} \quad (2.8)$$

Por tanto, dado \mathbf{x} se puede predecir \mathbf{y} de la parte superior de la ecuación (2.7) y la ecuación (2.8), como sigue:

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{P}_y (\mathbf{P}'_x \mathbf{P}_x)^{-1} \mathbf{P}'_x \mathbf{x}. \quad (2.9)$$

Este modelo de predicción basado en ACP (ecuación 2.9) es equivalente a un modelo de regresión basado en PLSR si el número de variables latentes A retenidas en el modelo ACP es menor o igual que m ($A \leq m$). Lo que equivale a decir que el número de colinealidades es mayor o igual al número de respuestas p , $n - A \geq p$ (Godoy y col., 2014).

En esta tesis un modelo de correlación ajustado se representó mediante un biplot. Un biplot es una representación gráfica de datos multivariantes, herramienta eficaz para visualizar la magnitud y el signo de la contribución de cada variable original a los primeros dos/tres componentes principales (o variables latentes). En dicha representación gráfica cada observación multivariada se representa en términos de las variables latentes correspondientes. Esto proporciona un marco para entender los desplazamientos de las variables latentes (o scores) en relación a las variables originales. La representación biplot impone una convención de signos, forzando al elemento con mayor magnitud en cada vector de peso a ser positivo. Si se cambia el signo de un vector peso (para que su elemento con mayor magnitud sea positivo), también se cambia el signo de su correspondiente variable latente, por tanto no se altera el producto $\mathbf{P}\mathbf{t}_z$ (ver ecuación 2.6 y 2.7).

Capítulo 3

Resultados y Discusión

3.1. Relevamiento de la oligoquetofauna en la provincia de Santa Fe

En este punto se presenta un listado de especies de lombrices de tierra resultante de un reciente relevamiento (2012-2015), que aporta y complementa un trabajo de referencia sobre oligoquetofauna en la provincia de hace 40 años atrás aportado por Ljungström y col. (1975).

El conocimiento sistemático de las lombrices puede ayudar a construir hipótesis sobre las relaciones entre las zonas muestreadas y aportar información de géneros o especies indicadoras en la evaluación ambiental, la investigación ecológica y la conservación y el manejo de los recursos naturales (Feijoo, 2007; Bartz y col., 2014; Cunha y col., 2016).

3.1.1. Descripción de las especies halladas en el estudio

Las lombrices de tierra que se recolectaron en los diferentes sitios de la provincia correspondieron a 15 especies, agrupadas en 10 géneros y cinco familias (Figura 3.1). Del total de las especies identificadas cinco son nativas de América del Sur (*Microscolex dubius*, *Glossodrilus parecis*, *Eukerria rosae*, *Eukerria saltensis* y *Eukerria stagnalis*), y el resto introducidas (exóticas) de Norte América, África, Asia y Europa.

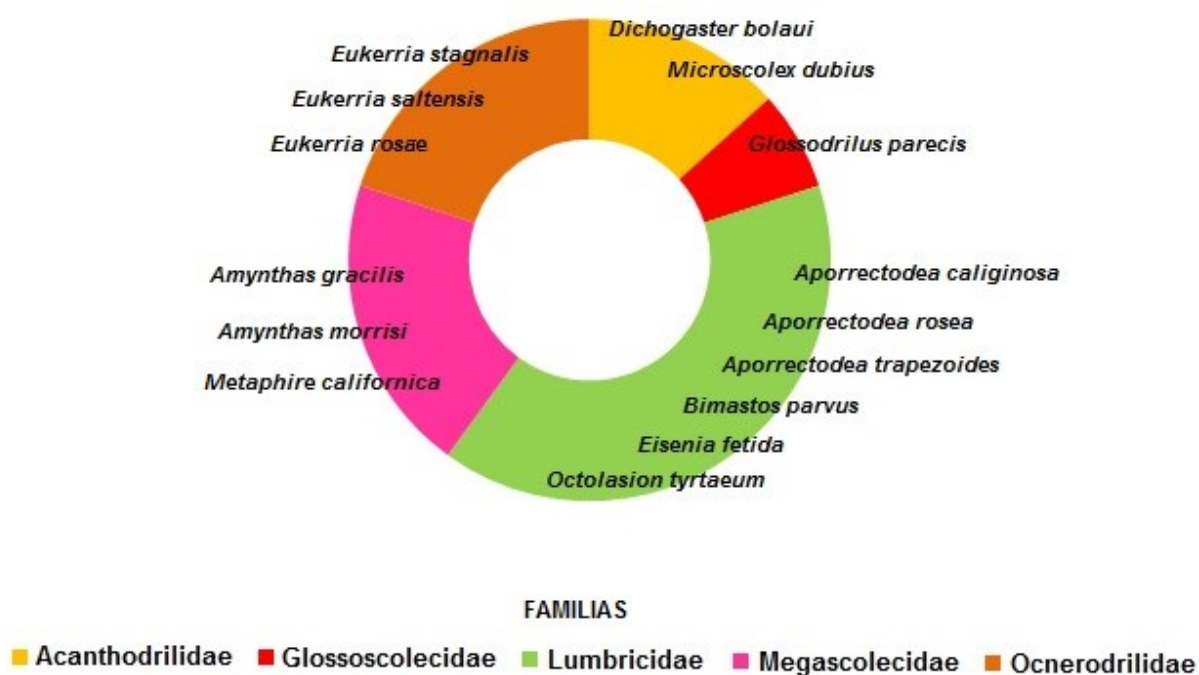


Figura 3.1. Número de especies por familia obtenido de los sitios muestreados en la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.

A continuación se detallan los oligoquetos terrestres registrados en el estudio, caracterizándolos brevemente en su aspecto ecológico y referenciándolos en localización geográfica y tipos de ambiente. Los sitios estudiados fueron descriptos en el capítulo 2, en el ítem 2.1.1, para más detalles.

Familia ACANTHODRILIDAE (Claus, 1880)

***Dichogaster bolau* (Michaelsen, 1891)**

Citada para Argentina en las provincias de Chaco y **Santa Fe** (Mischis, 2007). En este estudio se la registró en los departamentos Gral. Obligado (en Villa Ocampo), La Capital (en Recreo), San Javier (en San Javier) y Vera (en las localidades de Los Tábanos y Tartagal), en ambientes con uso hortícola, ganadero, agrícola/ganadero, jardín de casa y en un predio de un vivero forestal (Figura 3.2).



Figura 3.2. Registro de *Dichogaster bolau* en los sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Referencias: 1= Los Tábanos, 2= Villa Ocampo, 4= Tartagal, 7= San Javier y 19= Recreo.

D. bolau es una especie exótica, pertenece a la subfamilia Benhamiinae, y de acuerdo con Csuzdi (1996), es originaria de África tropical oriental. Sin embargo, como especie peregrina tiene una amplia distribución mundial en regiones tropicales, subtropicales y de clima templado frío (Gates, 1970; Lee, 1987; Hendrix y Bohlen, 2002).

Según Lavelle (1983) y Fragoso (2001), *D. bolau* es endógena polihúmica aunque Martínez (2002), la consideró una especie epiendógena siendo capaz de explorar hábitats aéreos, viviendo sobre troncos (Eisen, 1896; Lavelle, 1983), o habitando en el suelo suspendido sobre palmas en selva lluviosa (Fragoso y Lavelle, 1995). En Europa y América del Norte esta especie está muy extendida en los invernaderos (Sims y Gerard, 1985), en tanto que trabajos de Terhivuo (1991) y Erséus y col. (1994), reportan la presencia frecuente de *D. bolau* dentro de los sistemas de alcantarillado de edificios de ciudades europeas. En coincidencia a esto último, Csuzdi y col. (2008) la definen a *D. bolau* como una especie de lombriz “domicole”, término que se aplica a las especies que se adaptan a vivir en viviendas urbanas, ya que la

registraron de forma abundante en numerosos ámbitos domiciliarios, en particular en las bañeras, duchas y tuberías de alcantarillas, de ciudades de Europa y África.

***Microscolex dubius* (Fletcher,1887)**

En Argentina citada para las provincias de Buenos Aires, Chubut, Córdoba, La Pampa, Río Negro, Santa Cruz, Santa Fe, Chaco y **Santa Fe**, San Luis, Tierra del Fuego, Tucumán (Mischis, 2007). En este trabajo se la registró en los departamentos Garay (en Helvecia), Gral. López (en Rufino), La Capital (en Monte Vera), Las Colonias (en las localidades de Grutly y San Jerónimo del Sauce), San Javier (en San Javier) y San Justo (en Colonia Silva y Naré), en ambientes con uso ganadero, agrícola, hortícola, agrícola/ganadero y en jardín de casa (Figura 3.3).

El género *Microscolex* pertenece a la subfamilia Acanthodrilinae, y de acuerdo a Beddard (1895) tiene su origen en América del Sur, donde en Argentina está representado por nueve especies, entre ellas *M. dubius* (Tabla 1.A – Anexo I). Es una especie epiendógea (Bouché, 1972), aunque Fragoso (2001), la menciona como endógea, y peregrina según Michaelsen (1900), y Herrera y Mischis (2007). Asociada a hábitats naturales y artificiales (Mischis, 1998), en suelos con abundante materia orgánica y bajo excremento también (Momo y col., 1993).



Figura 3.3. Registro de *Microscolex dubius* en los sitios muestreados de Santa Fe durante el período 2012-2015. Referencias: 6= Colonia Silva, 7= San Javier, 9= Naré, 11= Helvecia, 15= Grutly, 18= Monte Vera, 21= San Jerónimo del Sauce y 23= Rufino.

Familia GLOSSOSCOLECIDAE (Michaelsen, 1900)

***Glossodrilus parecis* (Righi & Ayres, 1975)**

Si bien en la lista actualizada de Mischis (2007), esta especie es citada sólo para la provincia de Córdoba, en el trabajo de Ljungström y col. de 1975 ya aparece registrada para la provincia de Santa Fe en dos departamentos (La Capital y Las Colonias). En este estudio se la registró sólo en el departamento Gral. López, localidad de Rufino, asociada a un suelo con actividad agrícola intensiva de pocos años. Anteriormente dicho suelo formaba parte de un relicto de monte nativo (Figura 3.4).

G. parecis es una especie nativa, endémica de América del Sur (Brown y James, 2007) y endógena polihúmica (Lavelle, 1981). Son escasos los registros de los glossoscolécidos en territorio argentino, habiéndose hallado esta especie en suelo con actividad agrícola en Córdoba (Mischis y Herrera, 2006). Otros estudios (Mischis y Righi 1999; Jiménez y col., 2007), la citan tanto en suelos dedicados al pastoreo de ganado como en pastizales naturales.



Figura 3.4. Registro de *Glossodrilus parecis* en la localidad de Rufino (23) (Dpto. Gral. López) de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.

Familia LUMBRICIDAE (Rafinesque-Schmaltz, 1815)

***Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826)**

Citada para Argentina en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, La Pampa, Río Negro, San Luis, Santa Cruz, **Santa Fe** y Tucumán (Mischis, 2007). Registrada en el presente estudio sólo en el departamento Gral. Obligado (en Villa Ocampo) en un suelo con actividad hortícola (Figura 3.5).



Figura 3.5. Registro de *Aporrectodea caliginosa* en la localidad de Villa Ocampo (2) (Dpto. Gral. Obligado) de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.

A. caliginosa es exótica y endógena, encontrándose como la mayoría de los lumbrícidos en áreas agrícolas (principalmente) y ambientes naturales (Fragoso y Brown, 2007). Estudios en Argentina reportan a esta especie en diversos ambientes como en invernaderos, jardín botánico, sitios de pesca y camping, pastizales perturbados y en aquellos con actividad agropecuaria (Mischis, 1998; Momo y col., 1993, 2003; Falco y col., 2015), pudiendo estar influida por el tipo de vegetación dominante (Falco y col., 1995).

***Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826)**

Citada para Argentina en las provincias de Córdoba, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Salta, San Luis, Santa Cruz, **Santa Fe** Tierra del Fuego y Tucumán (Mischis, 2007). En este estudio fue registrada en los departamentos Garay (en Cayastá), Gral. López (en Rufino), Gral. Obligado (en Villa Ocampo), La Capital (en las localidades de Ángel Gallardo y Monte Vera), Las Colonias (en Grutly, Sarmiento y San Jerónimo del Sauce), San Justo (en Colonia Silva, Naré) y en Vera (en Los Tábanos y Tartagal), en suelos de monte nativo con introducción de ganado para pastoreo como en aquellos dedicados a actividades productivas (agrícola, hortícola, agrícola/ganadera) presentando niveles de perturbación considerables (Figura 3.6).

A. rosea es una especie exótica, endógena, se la puede encontrar como dominante en tierras de pastoreo, uso agrícola y jardines de la zona templada de Argentina (Falco y col., 2007).

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe



Figura 3.6. Registro de *Aporrectodea rosea* en los sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Referencias: 1= Los Tábanos, 2= Villa Ocampo, 4= Tartagal, 6= Colonia Silva, 9= Naré, 12= Sarmiento, 13= Cayastá, 15= Grutly, 18= Monte Vera, 20= Ángel Gallardo, 21= San Jerónimo del Sauce y 23= Rufino.

***Aporrectodea trapezoides* (Dugés, 1828)**

Citada para Argentina en las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Córdoba, Chubut, Entre Ríos, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Río Negro, Salta, San Luis, Santa Cruz, **Santa Fe**, Tierra del Fuego, Tucumán (Mischis, 2007). En este estudio fue registrada en los departamentos Castellanos (en Rafaela), Garay (en Helvecia y Cayastá), Gral. López (en Rufino), Gral. Obligado (en localidades de Villa Ocampo y El Sombrerito), Las Colonias (en Sarmiento, Grutly y San Jerónimo del Sauce), La Capital (en Monte Vera y Recreo), Rosario (en Zavalla), San Cristóbal (en La Cabral), San Javier (en San Javier), San Justo (en localidades de Colonia Silva, San Justo, Naré y Videla) y Vera (en Tartagal), en suelos con uso exclusivamente agrícola o alternado con pastoreo de ganado, hortícola, vivero forestal, y aquellos asociados a bordes de ruta (Figura 3.7).

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe



Figura 3.7. Registro *Aporrectodea trapezoides* en gran parte de los sitios muestreados en la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Referencias: 2= Villa Ocampo, 3= El Sombrerito, 4= Tartagal, 5= La Cabral, 6= Colonia Silva, 7= San Javier, 8= San Justo, 9= Naré, 10= Videla, 11= Helvecia, 12= Sarmiento, 13= Cayastá, 15= Grutly, 16= Rafaela, 18= Monte Vera, 19= Recreo, 21= San Jerónimo del Sauce, 22= Zavalla y 23= Rufino.

A. trapezoides es exótica originaria de Europa y endógena (Ortiz-Gamino y col., 2016), siendo una especie eurioica como el resto de las especies del género *Aporrectodea* (Terhivuo, 1988; Mato y col., 1988; Momo y col., 1993). Se caracteriza por mostrar mejor habilidad para adaptarse a nuevos ambientes y una vez introducida en un área incrementa su abundancia y puede desplazar a las especies locales. Algunos autores como Stephenson (1930) y Mischis (1996), atribuyen a *A. trapezoides* con ese comportamiento.

***Bimastos parvus* (Eisen, 1874)**

Para Argentina citada en las provincias de Entre Ríos, Jujuy, **Santa Fe** y Tucumán (Mischis, 2007). Fue registrada en el departamento La Capital, en un suelo con producción hortícola de la localidad de Monte Vera (Figura 3.8).

B. parvus es una especie exótica originaria de América del Norte (Reynolds, 2014). Es epígea y suele hallarse tanto en áreas de bosques tropicales debajo de troncos en descomposición y rocas (Gates, 1967; Fragoso y Lavelle, 1992; James, 2000), como así también en pastizales con ganadería semi-intensiva bajo rotación de pasturas (Ortiz-Gamino y col., 2016). Falco y col. (1995) la citan como una especie endógena mesohúmica habiéndola hallado en un predio forestado.



Figura 3.8. Registro de *Bimastos parvus* en la localidad de Monte Vera (18) del departamento La Capital de Santa Fe durante el relevamiento 2012-2015.

***Eisenia fetida* (Savigny, 1826)**

Citada para Argentina en las provincias de Buenos Aires, Chubut, Córdoba, Entre Ríos, Río Negro, **Santa Fe** y Tucumán (Mishis, 2007). En el presente estudio de relevamiento fue hallada en los departamentos Garay (en Helvecia) en suelo de un relicto de monte nativo con actividad de pastoreo de ganado, y en Gral. Obligado (en Villa Ocampo), en un suelo con uso hortícola (Figura 3.9).

E. fetida comúnmente conocida como “lombriz roja californiana” (Ferruzzi, 1987), es una especie exótica, del grupo de los lumbrícidos, de categoría epígea (Bouché, 1977), que vive en o cerca de la superficie del suelo, por lo general en las capas de hojarasca o en sustratos ricos en materiales orgánicos, y por su comportamiento no tienden a generar madrigueras (Edwards y Bohlen, 1996; Römbke y col., 2005). Esta especie por su eficiencia en procesos de biodegradación y estabilización de diversos residuos orgánicos es considerada de gran interés comercial o productivo asociada a estudios de vermicompostaje, parasitología, biología y microbiología por sus ventajas económicas y ambientales que representa la producción de humus, biomasa y reconversión de residuos industriales y agrícolas (Dominguez, 2004; Nogales y col., 2008; Suthar, 2008) .

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe



Figura 3.9. Registro de *Eisenia fetida* en los departamentos Garay (11= Helvecia) y Gral. Obligado (2= Villa Ocampo) de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.

***Octolasion tyrtaeum* (Savigny, 1826)**

Citada para Argentina en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, La Rioja, Río Negro, San Luis, **Santa Fe** y Tucumán (Misichis, 2007). En el estudio fue registrada para los departamentos Gral. López (en Rufino), La Capital (en Recreo), Las Colonias (en San Jerónimo del Sauce), Rosario (en Zavalla) y San Cristóbal (en La Cabral), en sitios con uso agrícola, agrícola/ganadero y vivero forestal (Figura 3.10).



Figura 3.10. Registro de *Octolasion tyrtaeum* en las localidades provinciales de La Cabral (5), Recreo (19), San Jerónimo del Sauce (21), Zavalla (22) y Rufino (23) durante 2012-2015.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

O. tyrtaeum es una especie exótica, del sudeste de Europa y el sudoeste de Asia, y endógena mesohúmica (Fragoso, 2001), asociada a suelos con importantes niveles de materia orgánica, fósforo y nitrógeno (Falco y col., 2007), como también en pilas de residuos en descomposición y troncos caídos (Herrera y Mischis, 2007).

Familia MEGASCOLECIDAE (Rosa, 1891)

***Amyntas gracilis* (Kinberg, 1867)**

Si bien, en la lista actualizada de Mischis (2007), sobre lombrices en Argentina no está citada *A. gracilis* para la provincia de Santa Fe, sí fue registrada en el trabajo de 1975 de Ljungström y colaboradores. En el presente estudio fue reportada en el departamento La Capital, en la localidad de Recreo, en un suelo de un vivero forestal (Figura. 3.11).



Figura 3.11. Registro de *Amyntas gracilis* en la localidad de Recreo (19) en el departamento La Capital de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.

A. gracilis es originaria de Asia (Reynolds y Reinecke, 1977), considerada peregrina, antropocora y euritópica, muy utilizada como carnada para la pesca lo que favorece su dispersión. Es una especie epiendógena y suele estar en los primeros centímetros del perfil edáfico tanto en pastizales dedicados a la ganadería extensiva y semi-intensiva bajo rotación de pasturas, como también debajo de troncos caídos y en descomposición, formando túneles y galerías y alimentándose de madera (Herrera y Mischis, 2007; Ortiz-Gamino y col., 2016).

***Amyntas morrisi* (Beddard, 1892)**

Citada para Argentina en las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Córdoba y **Santa Fe** (Mischis, 2007). En el presente trabajo fue registrada en los departamentos Garay (en Helvecia y Cayastá), Gral. Obligado (en Villa Ocampo y El Sombrerito), en La Capital (en Laguna Paiva, Monte Vera y Recreo), San Cristóbal (en La Cabral), San Javier (en San Javier), San Justo (en las localidades de Colonia Silva, San Justo y Videla), Vera (en Tartagal), en suelos asociados tanto a uso agrícola, de manera exclusiva o alternada con pastoreo de ganado, como de ganadería en ambientes naturales (monte nativo y pastizal natural), así también en aquellos con actividades hortícola y forestal (Figura 3.12).



Figura 3.12. Registro de *Amyntas morrisi* en numerosos sitios relevados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Referencias: 2= Villa Ocampo, 3= El Sombrerito, 4= Tartagal, 5= La Cabral, 6= Colonia Silva, 7= San Javier, 8= San Justo, 10= Videla, 11= Helvecia, 13= Cayastá, 14= Laguna Paiva, 18= Monte Vera y 19= Recreo.

A. morrisi es asiática originaria de China que vive en suelos neutros y no sobrevive en aquellos que se congelan temporariamente (Reynolds, 1974; Reynolds y Reinecke, 1977). Es una especie epiendógea, peregrina, antropocora y euritópica utilizada frecuentemente, al igual que *A. gracilis*, como carnada para la pesca. Presenta una amplia distribución horizontal y vertical en el perfil edáfico, y a veces suele habitar especialmente los primeros centímetros del suelo, debajo y dentro de troncos caídos y en sustratos suspendidos como tapiz de musgos (Herrera y Mischis, 2007).

***Metaphire californica* (Kinberg, 1867)**

Para Argentina citada en las provincias de Córdoba, **Santa Fe** y Tucumán (Mischis, 2007). En el estudio se la registró en los departamentos Garay (en Helvecia), Gral. Obligado (en Villa Ocampo), La Capital (en Monte Vera y Recreo), Las Colonias (en San Jerónimo del Sauce), San Javier (en San Javier), San Justo (en Colonia Silva) y Vera (en Tartagal), en suelos con usos agrícola, ganadero, hortícola y forestal y también en ambientes naturales (monte nativo) dedicados al pastoreo de ganado (Figura 3.13).

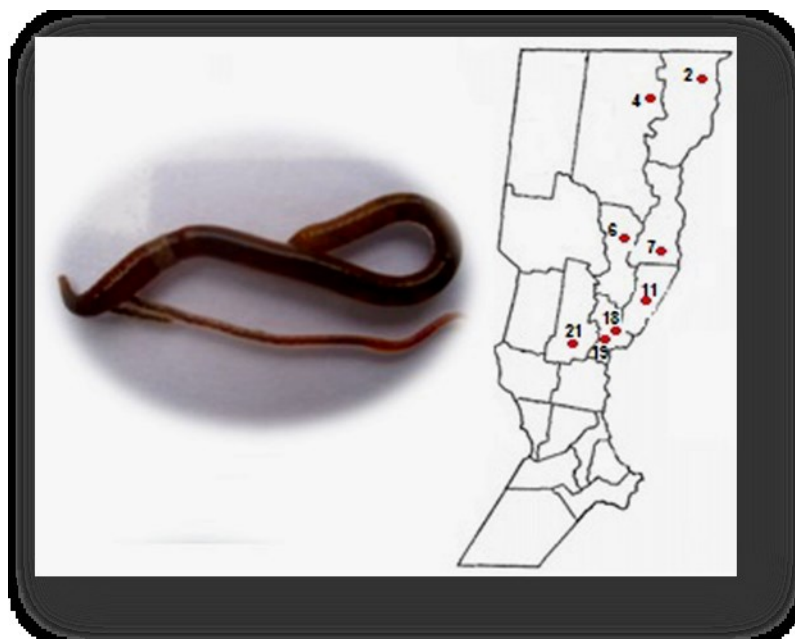


Figura 3.13. Registro de *Metaphire californica* en los sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Referencias: 2= Villa Ocampo, 4= Tartagal, 6= Colonia Silva, 7= San Javier, 11= Helvecia, 18= Monte Vera, 19= Recreo, 21= San Jerónimo del Sauce.

M. californica es asiática, al igual que *A. morrissi* es originaria de China, siendo peregrina, antropocora y euritópica; no sobrevive en suelos que se congelan y son muy utilizadas como carnada para la pesca, facilitando esto su dispersión. Es una especie epiendógea hallada en baja abundancia, restringida a los primeros centímetros del perfil edáfico, además de estar presente bajo rocas y hasta los tres metros de altura sobre árboles en pie (Herrera y Mischis, 2007).

Familia OCNERODRILIDAE (Beddard, 1891)

***Eukerria rosae* (Beddard, 1895)**

Citada para Argentina en la provincia de Buenos Aires (Mischis, 2007). En el presente trabajo de relevamiento se la halló en el departamento Castellanos en la localidad de Susana en un suelo de borde de ruta (Figura 3.14). Esta especie se incorpora como un nuevo registro en la lista de especies para Santa Fe, ya que en estudios previos (incluyendo el de Ljungström y col., 1975) no fue citada.



Figura 3.14. Registro de *Eukerria rosae* en la localidad de Susana (17) del departamento Castellanos de Santa Fe durante 2012-2015.

La información relacionada a *E. rosea*, particularmente sobre su ecología en Argentina es escasa. Pertenece a una familia nativa de América del Sur y es una especie endógena oligohúmica (Falco y col., 1995; Herrera y Mischis, 2007). Estudios realizados en Santa Fe, más precisamente en la llanura aluvial del valle de inundación del río Paraná (Emiliani y col., 1971; Emiliani y col., 1973), reportan que biotopos saturados de agua, ya sea por el aporte de los ríos y charcas adyacentes, y con materia orgánica de los vegetales del lugar suelen estar habitados por especies del género *Eukerria*.

***Eukerria saltensis* (Beddard, 1895)**

Para Argentina citada en las provincias de Catamarca, Córdoba, Entre Ríos, La Rioja, Salta, San Luis, **Santa Fe** y Tucumán (Mischis, 2007). En el presente trabajo fue registrada en los departamentos San Cristóbal (en La Cabral) y San Justo (en Colonia Silva) en suelos asociados a usos agrícola alternado con pastoreo de ganado y ganadería en monte nativo (Figura 3.15).

E. saltensis es una especie nativa de América del Sur y endógena oligohúmica (Falco y col., 1995; Herrera y Mischis, 2007) y, al igual que *E. rosea*, la información disponible sobre la especie es escasa para Argentina. Ljungström y col. (1973), reportan que las especies del género *Eukerria* son peregrinas y que están asociadas a suelos con elevado nivel de humedad. Un trabajo de Christoffersen (2008), sobre un inventario de megadrilos ocnodrilidos de América del Sur reporta que la especie *E. saltensis* amplió su distribución llegando a zonas templadas del Hemisferio Norte. Por otra parte, *E. saltensis* ha sido tema de interés en estudios experimentales (Stevens y Warren, 2000; Stevens y col., 2016), debido a que altas densidades de esta especie presentan efectos nocivos en plantaciones de arroz por la alta turbidez que generan en el agua.



Figura 3.15. Registro de *Eukerria saltensis* en los departamentos San Cristóbal (5= La Cabral) y San Justo (6= Colonia Silva) de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.

***Eukerria stagnalis* (Kinberg, 1867)**

Citada para Argentina en las provincias de Buenos Aires, Corrientes y **Santa Fe** (Mischis, 2007). En el trabajo de estudio fue registrada en los departamentos Garay (en Helvecia y Cayastá), Gral. Obligado (en Villa Ocampo y El Sombrero), San Justo (en Colonia Silva), La Capital (en Laguna Paiva y Monte Vera) y Vera (en Los Tábanos), en suelos con usos agrícola, de forma exclusiva o alternada con pastoreo de ganado, ganadería en ambientes naturales (monte nativo y pastizal natural), hortícola, forestal y en bordes de rutas (Figura 3.16).

E. stagnalis pertenece a un género nativo de América del Sur y por sus rasgos morfológicos, de alimentación y de hábitat es endógena oligohúmica (Falco y col., 1995; Herrera y Mischis, 2007), presente en suelos con tenor de humedad elevado, asociada a las raíces de plantas (Grosso y Brown, 2007). Grosso y col. (2006), reportaron que especies nativas de *Eukerria* sp. pueden prosperar bajo manejo intensivo, como se observó en un campo de cultivo de arroz inundado. En tanto que Falco y col. (2015), afirman que en zonas de la Pampa argentina *E. stagnalis* es comúnmente hallada en sistemas agrícolas recientes, indicando elevada humedad del suelo, acidez y bajos niveles de calcio y potasio del suelo.



Figura 3.16. Registro de *Eukerria stagnalis* en diferentes sitios muestreados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Referencias: 1= Los Tábanos, 2= Villa Ocampo, 3= El Sombrero, 6= Colonia Silva, 11= Helvecia, 13= Cayastá, 14= Laguna Paiva, 17= Susana, 18= Monte Vera y 21= San Jerónimo del Sauce.

3.1.2. Comparación con el estudio de Ljungström y colaboradores de 1975: perspectiva histórica y estado actual

Como se comentó en el ítem 1.3.4 las primeras publicaciones sobre oligoquetos medagrilos en la provincia de Santa Fe surgieron en la década del '70. El trabajo "Notas sobre los oligoquetos (lombrices de tierra) argentinos" realizado por Ljungström y colaboradores en 1975 consistió en uno de los estudios más completos en conocimientos y aportes sobre oligoquetofauna para Argentina. Tan es así, que más del 50% (16) de las provincias fueron relevadas, y entre ellas sobresale Santa Fe con datos inéditos y el mayor registro de especies de lombrices (23).

Se seleccionó el trabajo de Ljungström y col. (1975), con más de 40 años de antigüedad, como un registro base y de partida de especies de lombrices de tierra en Santa Fe, permitiendo de forma general interpretar y comparar con el relevamiento actual, información sobre riqueza de especies y distribución geográfica de estos macroinvertebrados en la provincia.

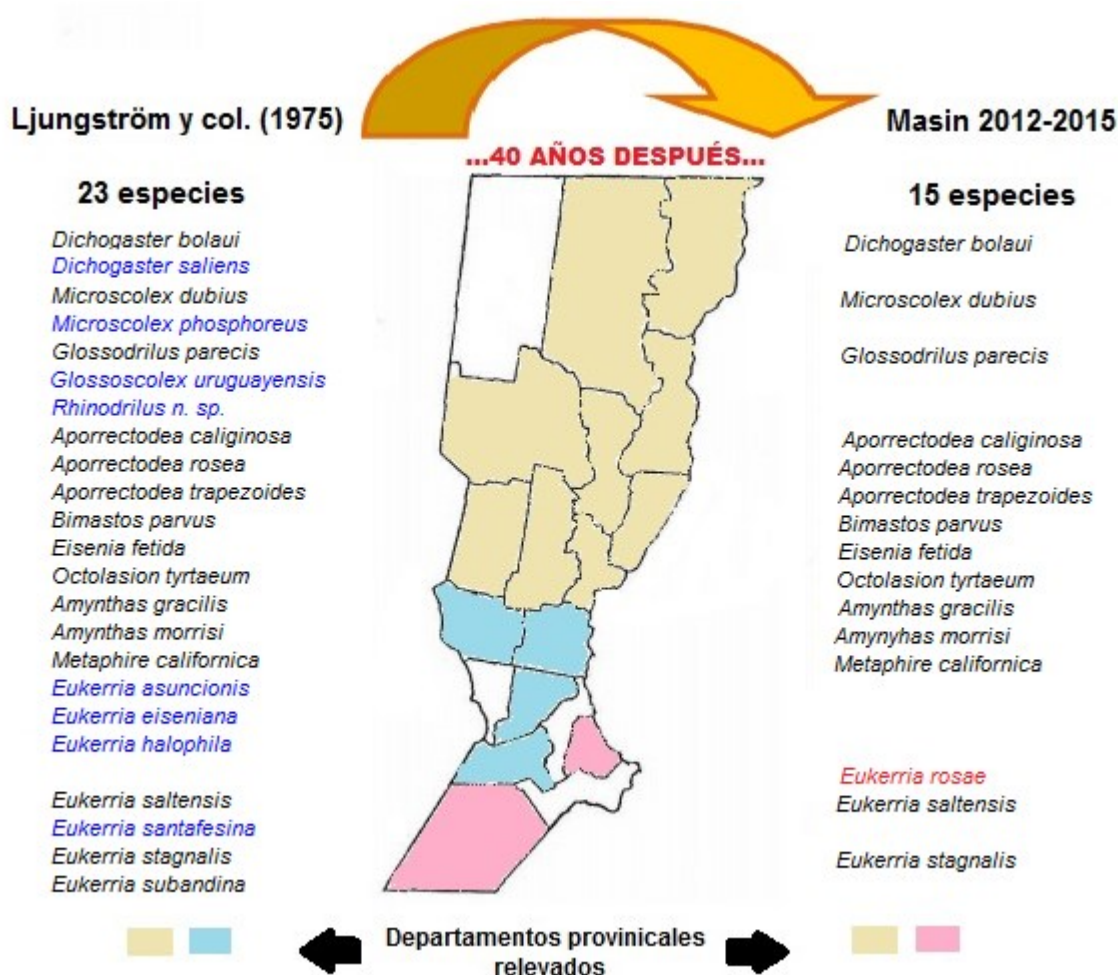


Figura 3.17. Registro de especies de lombrices de Ljungström y col. (1975) y del relevamiento actual (2012-2015). Los nombres de las especies con color azul son las que no se hallaron en muestreos actuales, y con rojo el nuevo registro. Los colores de los departamentos indican por quién fue relevado, y los que están en blanco no fueron estudiados hasta el momento.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

En Ljungström y col. (1975), la información que se brinda sobre oligoquetofauna de Santa Fe se basa en un registro general de presencia de especies por departamento provincial, sin precisar localización geográfica y caracterización del suelo en la mayoría de los puntos estudiados, como tampoco detalles del diseño de muestreo. Dichos autores constan en su trabajo que fueron 13 los departamentos relevados, de los cuales 10 también formaron parte del estudio actual (2012-2015) (Figura 3.17). En ambos relevamientos el área estudiada cubrió una parte considerable del territorio santafesino, en su extensión norte-sur y este-oeste, abarcando diferentes ambientes.

Resulta de la comparación de los dos trabajos que, si bien se registraron las mismas familias (Acanthodrilidae, Glossoscolecidae, Lumbricidae, Megascolecidae, Ocnodrilidae), el número de especies en el relevamiento actual fue menor, 15, representando y coincidiendo con el 60 % de las 23 especies de lombrices reportadas en el estudio de 1975 (Figura 3.17). La diferencia sustancial la marcaron las especies nativas, ya que en la lista de 40 años atrás representaron más del 50 % del total de las especies registradas, mientras que en el estudio actual sólo llegaron al 33 %. Contribuyó en este porcentaje *Eukerria rosae*, una especie que no estaba registrada por los autores hace cuatro décadas atrás, por lo que se incorpora a la lista de especies y distribución de lombrices para la provincia. *E. rosae* corresponde a una familia nativa para América del Sur, la cual fue mencionada en el ítem anterior 3.1.1.

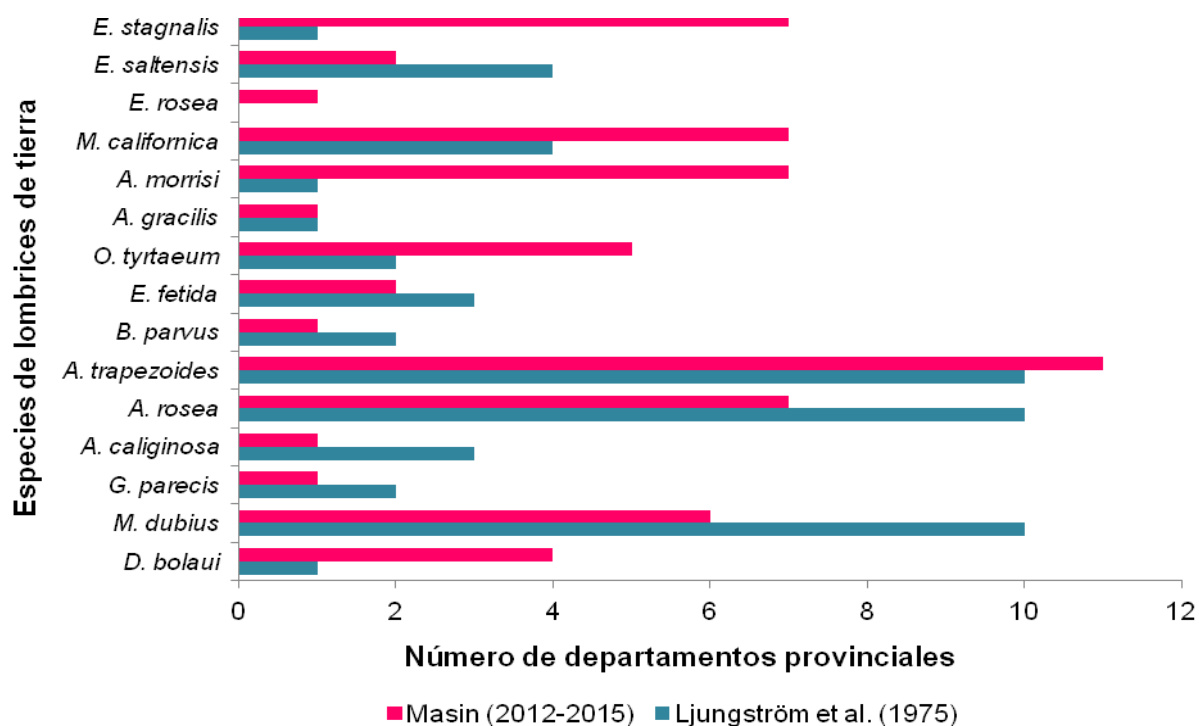


Figura 3.18. Comparación de la distribución de especies de lombrices en la provincia de Santa Fe según relevamiento actual (2012-2015) y el de Ljungström y col. (1975).

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

A diferencia de lo reportado por Ljungström y col. (1975), se destaca que cinco de las especies halladas (*Dichogaster bolau*, *Metaphire californica*, *Amyntas morrisi*, *Octolasion tyrtaeum* y *Eukerria stagnalis*), se registraron en un número mayor de departamentos, ampliando su área de distribución en la provincia, en tanto que la especie *M. dubius* fue registrada en menos departamentos (Figura 3.18). En cuanto al género *Aporrectodea*, en particular la especie *A. trapezoides* sobresale por mantener su distribución similar a la registrada hace 40 años atrás. Las especies de las familias Glossoscolecidae y Ocnerodrilidae fueron halladas en ambientes de las formaciones fitogeográficas del Chaco y Espinal, coincidiendo con Ljungström y col. (1975).

El hecho de disponer de una información limitada o insuficiente sobre la oligoquetoauna en Santa Fe en el lapso de 40 años, conduce a que no se puedan realizar aseveraciones precisas sobre las diferencias marcadas en riqueza y distribución de las lombrices en el territorio santafesino. No obstante, los escasos y discontinuos estudios sistemáticos sobre oligoquetofauna disponibles, permiten realizar una generalización actual de los patrones de distribución de las lombrices. En este sentido, se podría pensar que el nuevo escenario respecto a la riqueza y distribución de las especies, estaría relacionado con las transformaciones marcadas en la heterogeneidad del paisaje y uso del suelo debido a los cambios de las actividades agropecuarias a lo largo de cuatro décadas.

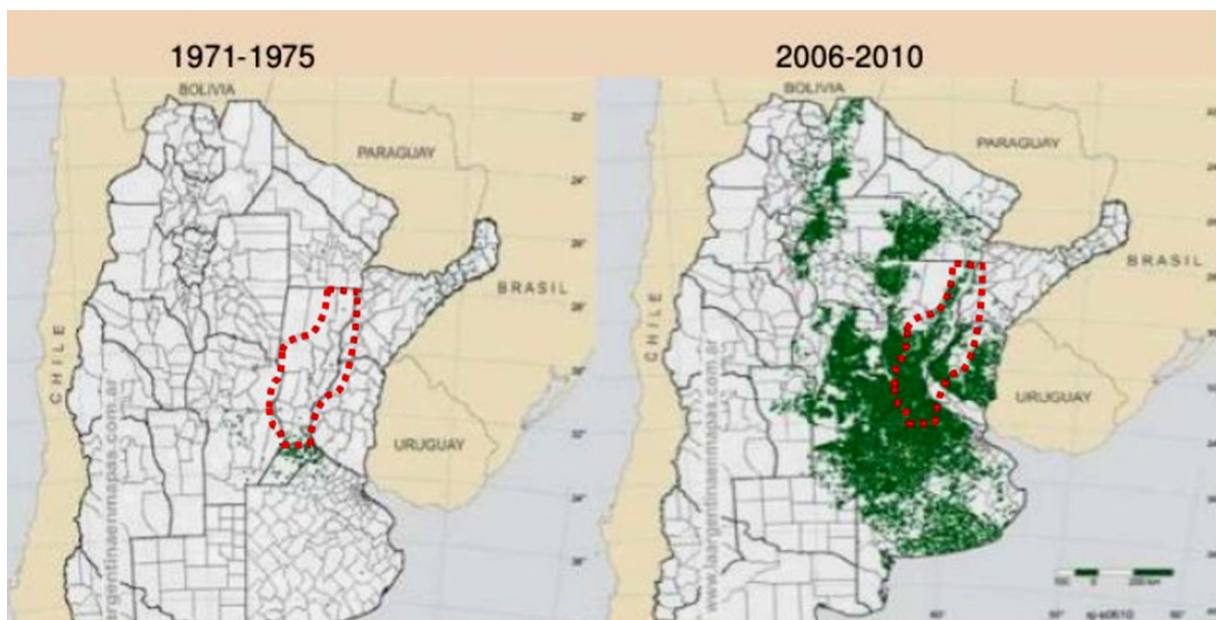


Figura 3.19. Avance de la frontera agropecuaria, en particular del cultivo soja (en verde) en la Argentina durante los últimos 40 años (Modificado de CONICET, 2012). El contorno punteado en rojo indica el área de estudio en el que coincidieron ambos relevamientos (de 2012-2015 y Ljungström y col. (1975)).

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

La figura 3.19 muestra como en 40 años las actividades agropecuarias, en particular el cultivo de soja, avanzaron notablemente sobre el territorio santafesino, generando cambios contrastantes en la diversidad del paisaje de las provincias fitogeográficas. En concordancia con Paoletti (1999), Dupont y col. (2012), Cunha y col. (2014) y Ortiz-Garmino y col. (2016), la distribución de las especies está fuertemente influenciada por la historia de transformación del paisaje dado por los usos del suelo. En este sentido, Tondoh y col. (2011) argumentan que la intensidad del uso del suelo afecta a las comunidades de lombrices y a su vez, éstas co-varían con las variables edáficas del agroecosistema, sumado al gradiente latitudinal y nutrientes del suelo que también actúan como una limitación para la distribución de las lombrices de tierra (Gerard, 1967), Fragoso y Lavelle (1992), Briones y col. (2009).

Siguiendo esta línea argumentativa, bien podría pensarse que la intensificación de las prácticas productivas influyó no sólo en los cambios de uso del suelo sino también en la estructura de los ambientes, implicando la fragmentación y pérdida de hábitats. En consecuencia, las especies asociadas a ambientes silvestres (naturales), en particular las nativas, tienden a desplazarse a otros sitios, hábitats, menos intervenidos antrópicamente (Ramírez Pisco y col., 2013). Esto podríamos relacionarlo con los resultados obtenidos en este trabajo, donde especies halladas anteriormente en áreas naturales o con mínima intervención antrópica (Ljungström y col., 1975), en la actualidad (relevamiento 2012-2015) no se encontraron, por ejemplo las especies nativas *M. phosphoreus*, *G. uruguayensis* y las del género *Eukerria* (Figura 3.19). Aportes de Haynes y col. (2003), Butt y Lowe (2004), Dlamini y Haynes (2004) y Tondoh y col. (2011), refieren que las prácticas agrícolas influyen fuertemente sobre la comunidad de lombrices conduciendo al aislamiento entre poblaciones de especies, reduciendo la persistencia y dispersión de algunas de ellas. Los ensambles de lombrices co-ocurrentes en los suelos en los diferentes ambientes, naturales e intervenidos antrópicamente, responden como indicadores de los cambios y estado del suelo.

Como se planteó en la Hipótesis 1, la presencia y distribución de especies de lombrices en la provincia, son diferentes entre los patrones actuales y los registrados en el trabajo de referencia de Ljungström y colaboradores de 1975. El cambio notable que experimentó la biodiversidad del paisaje de la provincia, asociado a usos y manejo del suelo de los sistemas productivos desarrollados durante 40 años, podría haber influenciado en la distribución y menor registro de especies de lombrices de tierra.

3.2. Comunidades de lombrices de tierra en relación a la intensidad del uso del suelo y propiedades edáficas

Las lombrices de tierra cumplen funciones importantes en la modificación de la estructura física, en la descomposición de la materia orgánica y la dinámica de mineralización y disponibilidad de los nutrimentos en el suelo. La abundancia y distribución de las especies están influenciadas por el estado ecológico del ambiente, dado no sólo por las condiciones edáficas sino también por el impacto de las prácticas antrópicas desarrolladas. Es más, la biomasa, el número de especies y las agrupaciones ecológicas son parámetros claves que brindan información elemental para comprender los cambios de las comunidades de lombrices en respuesta a los efectos de las prácticas agropecuarias en los suelos de agroecosistemas de diferentes paisajes (Lee, 1985; Paoletti, 1987; Edwards y Bohlen, 1996; Brussaard, 1999; Lavelle y Spain, 2001). En este contexto resulta también relevante tener presente que algunas especies son susceptibles al impacto de la actividad humana, mientras que otras lo soportan, razón por la cual las lombrices se tornan organismos útiles como indicadores biológicos de la calidad y salud del suelo y de la funcionalidad de los agroecosistemas (Feijoo y col., 1999; Feijoo, 2001; Nunes y col., 2007; Falco y col., 2015).

En este punto del trabajo se analiza cómo el uso del suelo en relación a su nivel de perturbación antrópica (NiP) y las propiedades edáficas afectan a la comunidad de lombrices de tierra de los diferentes ambientes estudiados en la provincia de Santa Fe. En este sentido, el desarrollo de la temática consideró tres secciones donde se analizaron:

- 3.2.1: relación del grupo biológico de estudio con el uso del suelo y su NiP, donde este último es considerado como una valoración empírica de las características de las actividades y/o prácticas del uso suelo que presenta cada sitio evaluado (Tabla 2.1);
- 3.2.2: estudio de las comunidades de lombrices con el NiP y las propiedades edáficas del suelo (Tabla 3.4);
- 3.2.3: la utilización de las lombrices como bioindicador y el NiP para estimar la calidad del suelo de los usos estudiados.

Cabe aclarar que en el desarrollo de este punto se consideraron 20 de los 23 sitios relevados en todo el estudio, ya que por impedimento climático no se completaron los muestreos estacionales en tres sitios (A/G 4 de Sarmiento, BR 1 de Rafaela y A 4 de Zavalla). De igual modo, estos tres sitios se utilizaron para validar modelos que se ajustaron utilizando los 20 sitios restantes.

3.2.1. Respuesta de las comunidades de lombrices a usos del suelo y nivel de perturbación antrópica

Se recolectaron en los sitios estudiados un total de 10626 individuos correspondientes a 15 especies agrupadas en cinco familias (Tabla 3.1). Entre éstas, Lumbricidae fue la mejor

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

representada con el 40% del total de las especies registradas, seguida de Megascolecidae y Ocnerodrilidae ambas con el 20%, Acanthodrilidae con el 13,3% y por último la familia Glossoscolecidae con el 6,7%.

Tabla 3.1. Especies de lombrices recolectadas en los 20 sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante los relevamientos de 2012-2015.

Especies	Familia	Sitio*
<i>Dichogaster bolau</i>	Acanthodrilidae	1=GMN 1; 2=H 1; 4=A/G 1; 7=JdC; 19=VF
<i>Microscolex dubius</i>		6=GMN 2=H 1; 7=JdC; 9=GMN 3; 11=GMN 4; 15=A/G 6; 18=H 2; 21=A 3; 23=A 5
<i>Glossodrilus parecis</i>	Glossoscolecidae	23=A 5
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	Lumbricidae	2=H 1
<i>Aporrectodea rosea</i>		1=GMN 1; 2=H 1; 4=A/G 1; 6=GMN 2; 9=GMN 3; 13=GPN; 15=A/G 6; 18=H 2; 20=H 3; 21=A 3; 23=A 4
<i>Aporrectodea trapezoides</i>		2=H 1; 3=A 1; 4=A/G 1; 5=A/G 2; 6=GMN 2; 7=JdC; 8=A/G 3; 9=GMN 3; 10=A 2; 11=GMN 4; 13=GPN; 15=A/G 6; 18=H 2; 19=VF; 21=A 3; 23=A 5
<i>Bimastos parvus</i>		18=H 2
<i>Eisenia fetida</i>		2=H 1; 11=GMN 4
<i>Octolasion tyrtaeum</i>		5=A/G 2; 19=VF; 21=A 3; 23=A 5
<i>Amyntas gracilis</i>		19=VF
<i>Amyntas morrisi</i>	Megascolecidae	2=H 1; 3=A 1; 4=A/G 1; 5=A/G 2; 6=GMN 2; 7=JdC; 8=A/G 3; 10=A 2; 11=GMN 4; 13=GPN; 14=A/G 5; 18=H 2; 19=VF
<i>Metaphire californica</i>		2=H 1; 4=A/G 1; 6=GMN 2; 7=JdC; 11=GMN 4; 18=H 2; 19=VF; 21=A 3
<i>Eukerria rosae</i>	Ocnerodrilidae	17=BR
<i>Eukerria saltensis</i>		5=A/G 2; 6=GMN 2
<i>Eukerria stagnalis</i>		1=GMN 1; 2=H 1; 3=A 1; 6=GMN 2; 11=GMN 4; 13=GPN; 14=A/G 5; 17=BR 2; 18=H 2; 21=A 3

*Cada sitio está representado: por un número que indica el orden de su posición geográfica en la provincia de Santa Fe, y por una abreviatura que expresa el uso del suelo. Referencias: GMN (1, 2, 3, 4)= Ganadería en Monte Nativo; H (1, 2, 3)= Hortícola; A (1, 2, 3, 5)= Agrícola; A/G (1, 2, 3, 5, 6)= Agrícola/Ganadero; JdC= Jardín de Casa; GPN= Ganadería en Pastizal Natural; BR 2= Borde de Ruta; VF= Vivero Forestal. Detalles de los sitios en Figura 2.1 y Tabla 2.1 del capítulo 2.

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

La abundancia de lombrices varió significativamente entre los sitios con diferentes usos ($H=16,72$; $p < 0,05$), destacándose con los valores más altos los suelos con usos hortícola (H 1), ganadería en monte nativo (GMN 1), vivero forestal (VF) y aquellos con actividades alternadas agrícola/ganadera (A/G 5 y A/G 2) (Figura 3.20, Tabla 3.2).

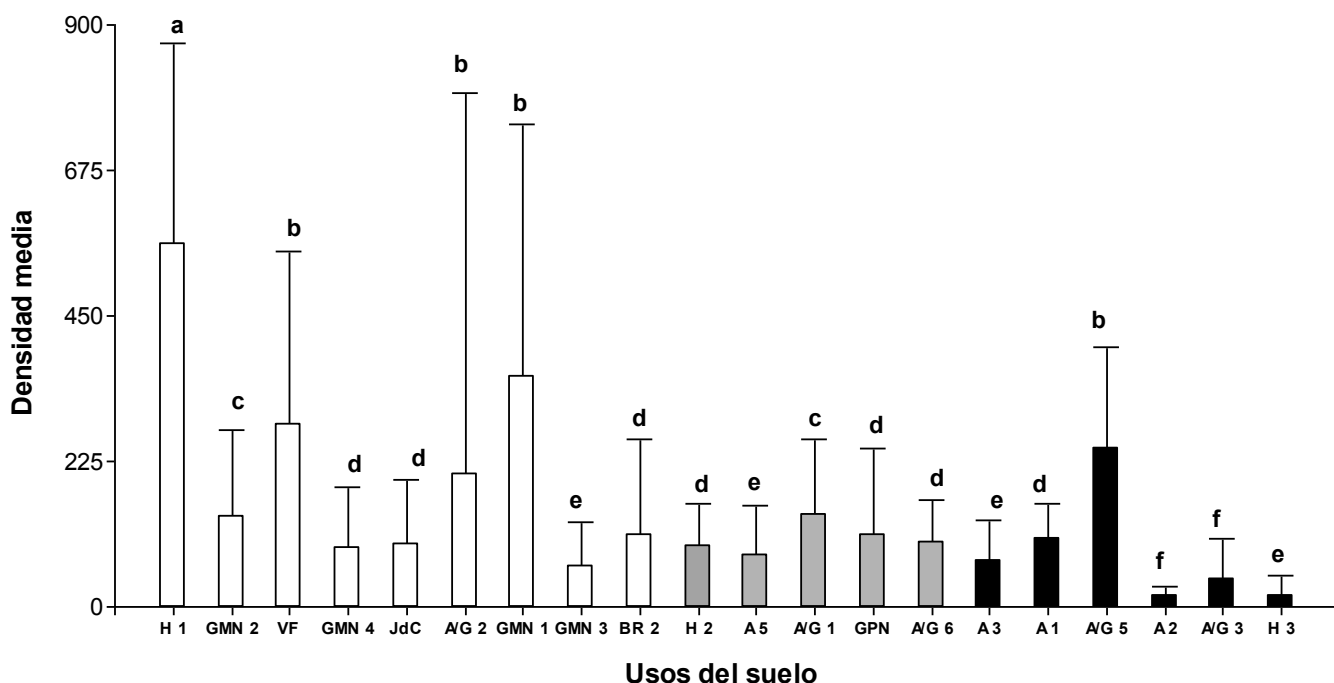


Figura 3.20. Abundancia de lombrices (individuos.m⁻²) en relación a los usos estudiados en la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Los colores de las barras indican el nivel de perturbación de los sitios: blanco= bajo, gris= medio y negro= alto. Las barras indican el desvío estándar (DE) de la media (n= 40 de los dos muestreos estacionales). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En general en los 20 sitios relevados, la proporción de individuos juveniles fue notablemente mayor a la de adultos, llegando a representar entre el 59 y 100 % del total de los ejemplares recolectados. En este sentido, los usos con alto nivel de perturbación antrópica, como A 1, A 2, A/G 3, A/G 5 y H 3, presentaron los valores más altos en porcentajes de juveniles, entre 98 y 100 % ($p > 0,05$) (Tabla 3.2). También se observaron individuos en estado de diapausa, enrollados dentro de una cámara de estivación de forma esférica (Figura 3.21), hecho que no fue característico en los usos con niveles de perturbación bajo y medio.

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe

Tabla 3.2. Abundancia de las especies halladas en los diferentes sitios de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Los sitios fueron ordenados en relación al NiP (bajo, medio y alto). y mayor riqueza de especies.

NiP	IG	N° sitio (Localidad)	Uso del suelo	Especies	Abundancia		
					Juveniles	Adultos	Total
B A J O	2,3	2 Villa Ocampo	H 1	<i>D. bolau</i>	302	27	329
				<i>A. caliginosa</i>	19	2	21
				<i>A. rosea</i>	13		13
				<i>A. trapezoides</i>	566	116	682
				<i>E. fetida</i>	5		5
				<i>A. morrisi</i>	402	106	508
				<i>M. californica</i>	352	87	439
				<i>E. stagnalis</i>	19	2	21
				<i>M. dubius</i>	10	8	18
				<i>A. rosea</i>	2	18	20
	0,7	6 Colonia Silva	GMN 2	<i>A. trapezoides</i>	162	53	215
				<i>A. morrisi</i>	10	47	57
				<i>M. californica</i>	92	19	11
				<i>E. saltensis</i>	49	9	58
				<i>E. stagnalis</i>	24	3	27
				<i>D. bolau</i>	8		8
	0,6	19 Recreo	VF	<i>A. trapezoides</i>	4	1	5
				<i>O. tyrtaeum</i>	102	40	142
				<i>A. gracilis</i>	4		4
				<i>A. morrisi</i>	267	37	304
				<i>M. californica</i>	496	61	557
				<i>M. dubius</i>	11	2	13
				<i>A. trapezoides</i>	89	65	154
	0,7	11 Helvecia	GMN 4	<i>E. fetida</i>	2		2
				<i>A. morrisi</i>	8		8
				<i>M. californica</i>	24	15	39
<i>E. stagnalis</i>				106	9	115	
<i>D. bolau</i>				3		3	
0,6	7 San Javier	JdC	<i>M. dubius</i>	7	35	42	
			<i>A. trapezoides</i>	14	10	24	
			<i>A. morrisi</i>	68	15	105	
			<i>M. californica</i>	95	17	172	
			<i>A. trapezoides</i>	69		69	
2,3	5 La Cabral	A/G 2	<i>O. tyrtaeum</i>	27	6	33	
			<i>A. morrisi</i>	3	1	4	
			<i>E. saltensis</i>	573	51	624	
0,7	1 Los Tábanos	GMN 1	<i>D. bolau</i>	385	125	510	
			<i>A. trapezoides</i>	347	18	365	
			<i>E. stagnalis</i>	378	25	403	
0,7	9 Naré	GMN 3	<i>M. dubius</i>	11		11	
			<i>A. trapezoides</i>	127	2	88	
			<i>A. rosea</i>	41	47	129	
		17	BR 2	<i>E. rosae</i>	10	9	19

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

		Susana		<i>E. stagnalis</i>	233	149	382
M E D I O	2,8	18 Monte Vera	H 2	<i>M. dubius</i>	8	17	25
				<i>A. rosea</i>	50	25	73
				<i>A. trapezoides</i>	132	48	180
				<i>B. parvus</i>	12	16	28
				<i>A. morrisi</i>	8	8	16
				<i>M. californica</i>	2	4	6
				<i>E. stagnalis</i>	6	7	13
				<i>M. dubius</i>	7	1	8
	3,1	23 Rufino	A 5	<i>G. parecis</i>	63	15	78
				<i>A. rosea</i>	29	6	35
				<i>A. trapezoides</i>	92	8	100
				<i>O. tyrtaeum</i>	47	15	62
	3	4 Tartagal	A/G 1	<i>D. bolau</i>	113	5	118
				<i>A. rosea</i>	11		11
				<i>A. trapezoides</i>	46	12	58
				<i>A. morrisi</i>	174	45	219
2,6	13 Cayastá	GPN	<i>M. californica</i>	109	1	110	
			<i>A. rosea</i>	26	5	31	
			<i>A. trapezoides</i>	228	92	320	
			<i>A. morrisi</i>	16	2	28	
2,7	15 Grutly	A/G 6	<i>E. stagnalis</i>	15	1	16	
			<i>M. dubius</i>	19	2	21	
			<i>A. rosea</i>	3	2	8	
A L T O	3,8	21 San Jerónimo del Sauce	A 3	<i>A. trapezoides</i>	317	16	333
				<i>M. dubius</i>	2		2
				<i>A. rosea</i>	5		5
				<i>A. trapezoides</i>	131	80	211
				<i>O. tyrtaeum</i>	6		6
				<i>M. californica</i>	6	2	8
	3,8	3 El Sombrerito	A 1	<i>E. stagnalis</i>	24		24
				<i>A. trapezoides</i>	85	49	134
				<i>A. morrisi</i>	98		98
	3,5	14 Laguna Paiva	A/G 5	<i>E. stagnalis</i>	118	34	152
				<i>A. morrisi</i>	346	4	350
	4	10 Videla	A 2	<i>E. stagnalis</i>	531	5	536
				<i>A. trapezoides</i>	37		37
	3,7	8 San Justo	A/G 3	<i>A. morrisi</i>	22		22
				<i>A. trapezoides</i>	124		124
	3,6	20 Ángel Gallardo	H 3	<i>A. morrisi</i>	29		29
<i>A. rosea</i>				63		63	

* NiP= Nivel de perturbación: Bajo [0 – 2,5), Medio [2,5 – 3,5), Alto [3,5 – 5); IG= Indicador General del NiP.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**



Figura 3.21. . Ejemplares enrollados en cámaras de diapausa hallados en el sitio H 3 (A) y juveniles de pequeño tamaño en los usos agrícolas A 1 (B) y A 2 (C).

La elevada proporción de lombrices de pequeño tamaño, en estado juvenil activo o en diapausa es frecuente en suelos con uso intensivo (Springett y Gray, 1992; Jiménez y col. 2001b; Jiménez y col., 2007), donde prácticas como el tipo de labranza convencional y rotaciones intensivas, monocultivo, elevada frecuencia y dosis de aplicación de agroquímicos, en especial plaguicidas, impactan sobre la disminución de la actividad biológica, retardo en el crecimiento y maduración de los individuos (Parfitt y col., 2010; de Vries y col., 2013; Lemtiri y col., 2014).

Los resultados obtenidos para la densidad poblacional en los diferentes usos del suelo concuerdan también con Zerbino y col. (2006), Barot y col. (2007), Zerbino (2007), Riley y col. (2008), Pelosi y col. (2009) y Bertrand y col. (2015), quienes reportan que la estructura de las poblaciones de lombrices de tierra (número de individuos, proporción de juveniles / adultos), dependen del sistema de producción, de la intensidad y programación de las operaciones de labranza. Además, dichos autores argumentan que la densidad poblacional es afectada por los cambios en la vegetación, cantidad y calidad de los residuos del cultivo y por actividades de pastoreo, que generan variaciones no sólo en las condiciones del medio edáfico (factores abióticos y bióticos) sino también en los procesos internos que ocurren en la población de lombrices (fecundidad y capacidad de dispersión). Por otra parte, en el estudio se observaron algunas tendencias, como lo muestran los usos GMN 2, JdC, GMN 3, GMN 4 y BR 2, donde la abundancia de lombrices fue menor respecto a los sitios con uso intensivo del suelo. Esto se corresponde con lo señalado por Rodríguez (2000), Borges (2004) y Brown y James (2007), donde las comunidades de lombrices en ecosistemas nativos o agroecosistemas con mínima perturbación presentan baja densidad de individuos.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

Tabla 3.3. Parámetros biológicos e índices ecológicos de los diferentes sitios relevados durante los muestreos estacionales 2012-2015. Los sitios fueron ordenados en relación al NiP (bajo, medio y alto) y mayor riqueza de especies.

NiP	N° sitio (Localidad)	Uso del suelo	Densidad (ind.m ⁻²)*	Riqueza (Chao)	Índice de Shannon (H')	Equitatividad (J')
B	2 Villa Ocampo	H 1	560 ± 311,77	8 ± 0,52	1,48	0,74
	6 Colonia Silva	GMN 2	140 ± 134,25	7 ± 0,28	1,59	0,82
A	19 Recreo	VF	283 ± 267,67	6 ± 0,52	1,05	0,59
	11 Helvecia	GMN 4	92 ± 93,71	6 ± 0,49	1,22	0,68
J	7 San Javier	JdC	96 ± 100,15	5 ± 0,48	1,19	0,74
O	5 La Cabral	A/G 2	203 ± 598,22	4 ± 0,4	0,53	0,38
	1 Los Tábanos	GMN 1	355 ± 391,30	3 ± 0	1,09	0,99
M	9 Naré	GMN 3	63 ± 67,84	3 ± 0,05	0,84	0,76
	17 Susana	BR 2	111 ± 148,38	2 ± 0,13	0,19	0,28
	18 Monte Vera	H 2	95 ± 65,09	7 ± 0,25	1,40	0,72
E	23 Rufino	A 5	79 ± 77,82	5 ± 0,22	1,42	0,88
D	4 Tartagal	A/G 1	143 ± 114,50	5 ± 0,22	1,36	0,84
I	13 Cayastá	GPN	110 ± 134,35	4 ± 0,14	0,69	0,50
	15 Grutly	A/G 6	100 ± 63,74	3 ± 0,34	0,33	0,30
A	21 San Jerónimo del Sauce	A 3	71 ± 61,96	6,49 ± 1,27	0,69	0,39
	3 El Sombrerito	A 1	107 ± 52,48	3 ± 0	1,08	0,99
L	14 Laguna Paiva	A/G 5	246 ± 155,67	2 ± 0	0,67	0,97
T	5 Videla	A 2	16 ± 16,46	2 ± 0,03	0,66	0,95
O	8 San Justo	A/G 3	42 ± 63	2 ± 0,03	0,49	0,70
	20 Ángel Gallardo	H 3	17 ± 31,94	1 ± 0	-	-

Referencia: * La densidad expresada en media ± desvío estándar

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

Los sitios asociados a nivel de perturbación bajo (H 1, GMN 2, VF, GMN 4 y JdC) y medio (H 2, A 5, A/G 1) presentaron los valores más altos de riqueza (Tabla 3.2).

Las especies presentes en los ensambles de los distintos sitios con nivel de perturbación bajo fueron *D. bolaui*, *A. rosea*, *M. dubius*, *A. trapezoides*, *O. tyrtaeum*, *E. stagnalis*, *A. morrisi*, *M. californica*, *A. gracilis*, *E. saltensis*, *E. rosea*; *E. fetida*, *A. caliginosa*; en tanto que las presentes en los sitios con perturbación media fueron *G. parecis*, *B. parvus*, y las ocho primeras del conjunto anterior (Figura 3.22).

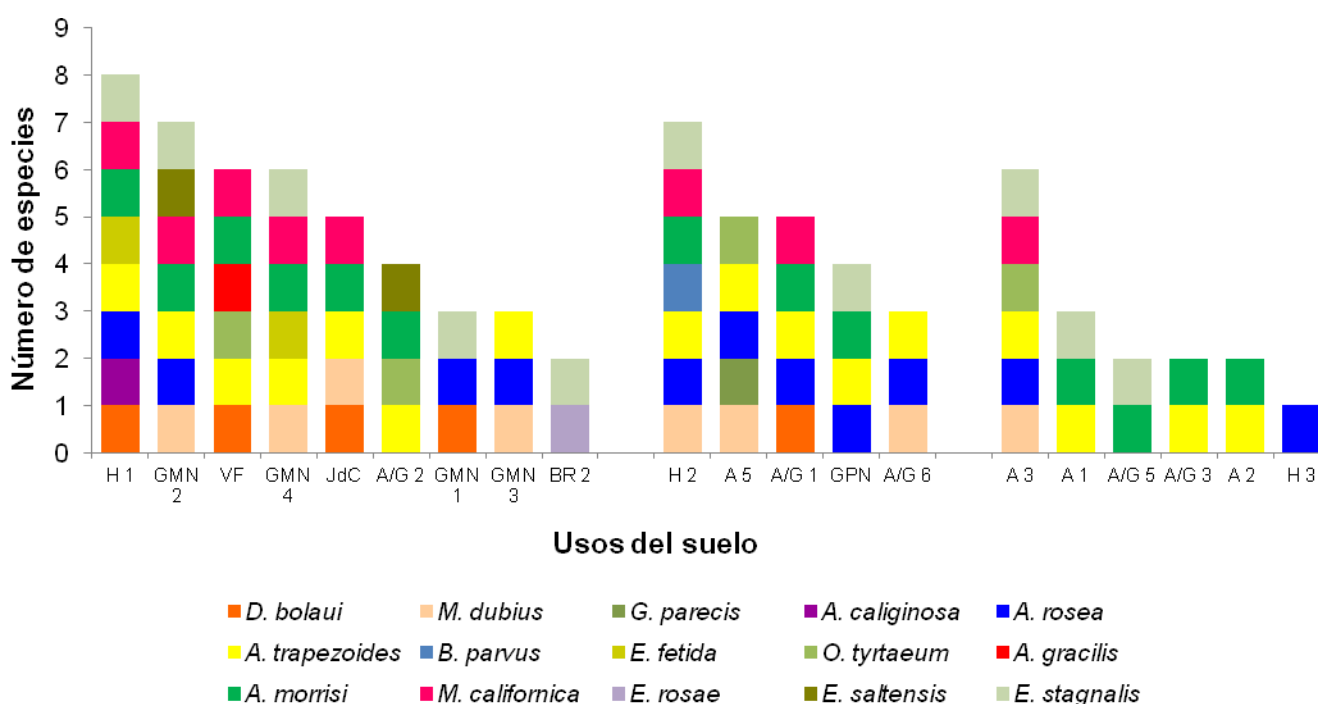


Figura 3.22. Riqueza total de especies de lombrices en los diferentes sitios estudiados de la provincia de Santa Fe durante el relevamiento 2012-2015. Los sitios fueron agrupados de acuerdo al NiP, partiendo de bajo, medio y alto.

Con respecto a los sitios con nivel de perturbación antrópica alto (A1, A/G 5, A 2 y H 3), la riqueza fue baja, excepto A 3 (Tabla 3.2). Los ensambles de especies estuvieron representados por *M. dubius*, *A. rosea*, *A. trapezoides*, *O. tyrtaeum*, *A. morrisi*, *M. californica* y *E. stagnalis*, prácticamente la mitad de la registrada por los usos con niveles de perturbación bajo, como se muestra en la Figura 3.22.

De acuerdo con los valores del índice de equitatividad (Tabla 3.2), los sitios que presentaron diversidad alta (H 1, H 2, GMN 2, GMN 4 y VF) también sobresalieron por valores que indicaron que las abundancias de sus especies estuvieron equitativamente distribuidas o representadas en la comunidad, es decir que la mayor diversidad se debió más a la equitatividad que a la

riqueza. No obstante, los sitios A 1, A/G 5, A 2 y A/G 3, con baja riqueza y diversidad, también mostraron valores altos de equitatividad (0,99; 0,97; 0,95 y 0,70 respectivamente).

Tanto la diversidad como la abundancia de especies están relacionadas con el funcionamiento de los ecosistemas (a través de procesos tales como la productividad y la estabilidad) y por su modificación como resultado de actividades humanas (Maclaurin y Sterelny, 2008). Es así que la riqueza de las especies coexistentes refleja una combinación de fuerzas histórico-evolutivas y contemporáneo-ecológicas que actúan como determinantes de la diversidad en las comunidades ecológicas (Tokeshi, 1999; Begon y col., 2006); además puede ser asociada en cierta medida a la estabilidad del sistema. De la misma manera, un aumento de la dominancia, con la consiguiente disminución de la equitatividad, es indicador de mayor actividad biológica y flujos energéticos más intensos (Margalef, 1991). Varios trabajos reportan que los cambios en la diversidad, abundancia y distribución de las especies de lombrices están relacionados de forma marcada por las prácticas productivas, entre ellas, tipo de labranza, secuencias de cultivos, rotaciones, agroquímicos, abonos orgánicos y pastoreo de ganado, las cuales inducen a la heterogeneidad de las condiciones edáficas del ambiente (Lee, 1985; Fragoso y Lavelle, 1992; Edwards y Bohlen, 1996; Kladvko, 2001; Scown y Baker, 2006; Peigne y col., 2009; Domínguez y col., 2010; Roger-Estrade y col., 2010; Huerta y Van del Wal, 2012; Jiménez y col., 2012; Bertrand y col. 2015). En este estudio dicha situación se reflejó en los sitios H1, H2, A/G1, A/G2 y GMN4.

Otros autores (van Vliet y col., 2004; Suthar, 2009; Wickings y Grandy, 2013), también sostienen que la disminución de la riqueza de lombrices en los agroecosistemas con actividad agrícola dominante o realizada en forma frecuente, se debe a la intensidad de las prácticas productivas aplicadas. Según Stinner y House (1990); Kladvko y col. (1997); Chan (2001); Johnson-Maynard y col. (2007); Zerbino (2010), entre las más favorables para las poblaciones de oligoquetos terrestres figuran la siembra directa y la labranza mínima respecto al sistema de labranza convencional, ya que no producen daño mecánico directo, las fluctuaciones de la temperatura y humedad en el suelo son menores y aumentan el contenido de materia orgánica conservando el material vegetal en la parte superficial del suelo. Sin embargo, en el presente trabajo de tesis, no todos los sitios estudiados que aplicaron estas prácticas de labranza (A/G3, A/G6, A2, A1) mostraron respuestas beneficiosas hacia las lombrices de tierra. Coincidiendo con algunos trabajos (Kladvko y col., 1997; Carpenter-Boggs y col., 2000; Chan, 2001; Zaller y Kopke, 2004; Chan y Heenan, 2006; Simonsen y col., 2010; Zerbino, 2012), las razones que explican estas discordancias se deben a que dichas prácticas de labranza al combinarse con otras, como aplicaciones de agroquímicos, en especial de plaguicidas, rotaciones, secuencias de cultivos, pastoreo de ganado, enmiendas orgánicas, cobertura vegetal, generan efectos que pueden resultar positivos o negativos para la oligoquetofauna.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

Posiblemente, en los sitios que utilizaron plaguicidas, tanto el tipo como las dosis y la frecuencia de las aplicaciones generaron una situación perjudicial para las comunidades de lombrices. Si bien en los sitios relevados, y especialmente en los que presentaron larga data de uso de plaguicidas, los análisis de residuos realizados sólo detectaron organoclorados (de vida media más larga), se consideró como información válida y concreta la descripción detallada de los diferentes agroquímicos actuales (incluyendo tipo y dosis) que informaron los productores (ver Tabla 2.2). Según Eijsackers y col. (2005) y Pelosi y col. (2014b), los insecticidas y fungicidas son directamente tóxicos para las lombrices de tierra, afectando su supervivencia, crecimiento y comportamiento. Similares efectos se reportaron también para los herbicidas, en especial glifosato, el de mayor demanda en los usos estudiados y 2,4-D (Mohasin y col., 2005; Casabé y col., 2007, Correia y Moreira, 2010; Santadino y col., 2014). Según Bauer y Römcke (1997), como así también Bertrand y col. (2015) y Domínguez y col. (2016), los efectos letales de los agroquímicos, en particular los plaguicidas, bajo condiciones de campo raramente se observan cuando son usados a tasas de aplicación normales, pero pueden ocurrir efectos subletales sobre el crecimiento y la reproducción, dependiendo de las especies de lombrices y del producto utilizado. En relación con esto, y con la considerable alteración física que presentan los suelos agrícolas por las prácticas de labranza (ver Tabla 2.2), la abundancia, actividad y maduración de los oligoquetos se ven significativamente disminuidos, afectando el mantenimiento de las funciones vitales del suelo (Kladivko, 2001).

Los sitios H 1 y H 2 asociados a un nivel de perturbación bajo y medio respectivamente, registraron los ensambles de lombrices más complejos, probablemente debido a la aplicación de siembra directa, la labranza mínima, el uso moderado de agroquímicos, las enmiendas orgánicas y la práctica de policultivos.

Los sitios GMN 2 y GMN 4, ambos con nivel bajo de perturbación también presentaron los ensambles de lombrices más complejos pero debido quizás a la heterogeneidad de estos ambientes y al aporte del estiércol del propio ganado que sirve como fuente de alimento a las especies de lombrices de tierra presentes (Scown y Baker, 2006; Leroy y col., 2008).

Si bien, la incorporación de materia orgánica a los agroecosistemas, independientemente del producto aplicado (residuos de cultivos, desechos verdes, estiércol de ganado, etc.), benefician a las comunidades de lombrices, la cantidad y calidad de las enmiendas orgánicas favorecen no sólo aumentando la abundancia y diversidad de especies sino también suministrando recursos alimenticios a los grupos ecológicos (epígeas, anécicas y endogeas) (Bertrand y col. (2015). En particular las categorías ecológicas epígeas, epiendogeas y endogeas, estuvieron representadas sólo en H 1, H 2 y en el uso GMN 4 (Tabla 3.3).

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

Tabla 3.4. Especies según origen y categoría ecológica registradas en los sitios con diferentes niveles de perturbación de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.

NiP	Usos del suelo	Origen(*)				Categoría ecológica(**)		
		Nativas		Exóticas		Epígeas	Epiendogeas	Endogeas
		N° Sp.	%	N° Sp.	%	(%)	(%)	(%)
B A J O	H 1	1	1,04	7	98,96	0,24	46,93	52,83
	GMN 2	3	20,52	4	79,48	0	37,05	62,95
	VF	0	0	6	100	0	84,80	15,20
	GMN 4	2	38,70	4	61,30	0,60	18,13	81,27
	JdC	1	12,14	4	87,86	0	92,19	7,81
	A/G 2	1	85,47	2	14,53	0	0	100
	GMN 1	1	31,5	2	68,5	0	0	100
	GMN 3	1	4,82	2	95,18	0	4,82	95,18
M	BR 2	2	100	0	0	0	0	100
E	H 2	2	11,14	5	88,86	8,21	13,78	78,01
D	A 5	2	30,38	3	69,62	0	24,73	75,27
I	A/G 1	0	0	5	100	0	63,76	36,24
O	GPN	1	4,05	3	95,95	0	7,08	92,92
	A/G 6	1	5,80	2	94,20	0	5,80	94,20
A L T O	A 3	2	11,32	4	88,68	0	5,07	94,93
	A 1	1	39,50	2	60,5	0	0	100
	A/G 5	1	60,50	1	39,5	0	39,50	60,50
	A 2	0	0	2	100	0	37,29	62,71
	A/G 3	0	0	2	100	0	18,95	81,05
	H 3	0	0	1	100	0	0	100

Referencia: (*) Los valores se expresan en número y relación porcentual; (**) Los valores se expresan en relación porcentual.

De acuerdo a lo relevado, se encontraron ensambles constituidos por especies epiendogea-endogeas y con mayor diversidad y densidad relativa especies endogeas en los usos JdC, VF, GMN 2, GMN 3, A/G 6 y A 5. En cuanto a los usos BR 2, GMN 1 y A/G 2 presentaron ensambles sólo de especies endogeas. El 75 % de los sitios con niveles de perturbación altos presentaron ensambles conformados por especies epiendogea-endogeas, mientras que el 25 % sólo de especies endogeas (Tabla 3.3). Una característica que destacó a los individuos recolectados de los usos H 1, H 2, GMN 1, GMN 2, GMN 3, GMN 4, VF, JdC, A 5, con respecto

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe

al resto de los sitios fue el mayor tamaño (biomasa) que presentaron tanto adultos como juveniles (Figura 3.23).



Figura 3.23. Ejemplares obtenidos en los ambientes GMN 4 (A), FV (B), H 1 (C) y H 2 (D) con diferencia en tamaño respecto a los colectados en sitios agrícola A 1 (E) y hortícola H 3 (F) (Foto: Masin, C).

La presencia de especies de diferentes grupos ecológicos, como la mayor biomasa observada en los individuos hallados, resultaría no sólo de las prácticas productivas desarrolladas (Brown y col., 1999; Ivask y col., 2007; Capowiez y col., 2009; Pelosi y col. 2009), sino también de la heterogeneidad espacial y disponibilidad de recursos de materia orgánica presentes en el suelo

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

(Brown y col. 2004). Asimismo Jänsch y col. (2005) y Lavelle y col. (2006), señalan que los suelos asociados a usos productivos condicionan la abundancia, biomasa, composición de especies y categorías ecológicas de las lombrices, quienes aportan información sobre la calidad del perfil del suelo. En este sentido, dichos autores destacan la relevancia de las especies que habitan en los suelos de los agroecosistemas, pues contribuyen a la estructura y fertilidad a través de la formación de galerías y bioagregados, el reciclado de nutrientes, la infiltración del agua y la aireación.

Si bien se registraron especies epigeas (*B. parvus* y *E. fetida*), su presencia estuvo restringida sólo en los sitios con niveles de perturbación bajo (H 1 y GMN 4), y con niveles de perturbación antrópica media (H 2). Este grupo ecológico tiende a ser afectado negativamente por las prácticas de labranza (Ivask y col., 2007); en cambio las lombrices endógeas (*D. bolau*, *G. parecis*, *A. caliginosa*, *A. rosea*, *A. trapezoides*, *O. tyrtaeum*, *E. stagnalis*, *E. saltensis* y *E. rosea*), están menos impactadas, ya que su acceso a la materia orgánica se facilita cuando los residuos de las cosechas ya están incorporados en las capas más profundas del perfil y parcialmente descompuestos por los microorganismos del suelo (Nuutinen, 1992; Wyss y Glasstetter, 1992). En concordancia con Peigne y col. (2009), Rosas-Medina y col. (2010) y de Oliveira y col. (2012), las especies endógeas del género *Aporrectodea* son tolerantes a la labranza del suelo y representaron el mayor porcentaje de los individuos recolectados tanto en los suelos bajo niveles de perturbación altos como medios y bajos.

A excepción del uso VF, en el resto de los sitios con niveles de perturbación bajo y medio, se mostraron ensambles con una o más especies nativas (*G. parecis*, *M. dubius*, *E. rosae* y *E. stagnalis*), destacándose los usos con niveles de perturbación bajos con porcentajes más elevados de nativas respecto a los usos con perturbación media (Tabla 3.3). En los sitios relacionados a usos con niveles de perturbación bajos, las asociaciones de especies más frecuentes fueron *A. morrisoni* – *M. californica* y *M. dubius* – *A. trapezoides*, en más del 50 % de los sitios, mientras que en los que presentaron perturbación media, el 40 % registró la asociación de especies más común dada por *A. morrisoni* – *M. californica*. Sólo el 50 % de los sitios con niveles de perturbación altos registraron especies nativas. La asociación más frecuente en el 60 % de los ambientes fue *A. trapezoides* – *A. morrisoni*.

Como ya se comentó, la distribución espacial y las asociaciones de especies de lombrices, nativas y/o exóticas, dependen del paisaje y de las condiciones específicas del suelo, determinadas por el uso y manejo del mismo (Callahan y col., 2003).

Los trabajos de Mischis (1998), Duhour (2011) y Falco y col. (2007 y 2015), registraron a *M. dubius* en suelos con alto contenido en MO, de hábitats naturales o antropizados con bajo nivel de disturbio. Esto coincide en parte con lo registrado en el presente estudio, ya que *M. dubius* fue hallada no sólo en suelos con niveles de perturbación bajos (GMN 2, GMN 3, GMN 4 y JdC) y medios (H 2, A/G 6 y A 5), sino también en un sitio (A 3) con uso intensivo del suelo.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

Tanto en este último sitio como en otros con niveles de perturbación altos (A 1 y A/G 5), se registraron especies nativas (*M. dubius* y *E. stagnalis*), posiblemente debido a la capacidad de tolerancia que expresan las nativas respecto a los cambios inducidos por las prácticas productivas en el suelo (Grosso y Brown, 2007; Ramírez Pisco y col., 2013). La especie *M. californica* también presentó una distribución similar a *M. dubius*, asociada a suelos con niveles de perturbación bajos (VF, H 1, GMN 2, GMN 4 y JdC), medios (H 2 y A/G 1) y alto (A 3) con menor abundancia. Esto último no coincide con lo afirmado por Fragoso y Rojas (1994) y Brown y col. (2004), quienes la registran como exótica predominante en sistemas agrícolas perturbados.

En relación a lo expresado anteriormente, en los ecosistemas con niveles de perturbación altos el porcentaje de especies nativas tiende a decrecer, a tal punto que en algunos no suelen registrarse (Fragoso, 2001; Huerta, 2007). Esta situación se evidenció en el trabajo, particularmente en los sitios A 2, A/G 3 y H 3. Si bien, las especies nativas predominan en los ambientes naturales o en aquellos ecosistemas con niveles de perturbación menor (Pashanasi, 2007; Römbke, 2007; Sautter y col., 2007), algunas suelen estar presentes en sitios con uso intensivo del suelo, siendo capaces de soportar las variaciones de los efectos de las actividades antrópicas a nivel local (Fragoso y col., 1999b). En tanto que las exóticas abundan en los ambientes antropizados, como lo registrado en H 1, H 2, A/G 1, GMN 3, GPN, A/G 6, A 5, pero sobre todo en agroecosistemas con niveles de perturbación altos, como en A 2, A/G 3 y H 3. Estas especies parecen adaptarse al impacto de las prácticas productivas y pueden ser colonizadoras invasivas / oportunistas, ocupando el nicho de las especies nativas que desaparecen después de la transformación del ambiente, tal como ocurre con el reemplazo de la vegetación natural por fines agropecuarios (Brown y James, 2007). Esta información demuestra el gran potencial de las comunidades de lombrices (presencia y proporción de especies nativas y exóticas) como indicadores biológicos de alteración y/o la integridad del hábitat y la calidad del suelo (Nunes y col, 2007).

A partir de los resultados obtenidos, se destaca que las especies exóticas *A. trapezoides*, *A. morrisi*, *A. rosea* y la nativa *E. staganlis* tuvieron no sólo los valores más altos de abundancia total en todo el estudio, registrando 2775, 1748, 709 y 1689 individuos respectivamente, sino también fueron las más frecuentes (Tabla 3.2). La primera se halló en 17 sitios, la segunda en 12 y las dos últimas en 11 y 10 de los 20 sitios considerados (Figura 3.24).

Las especies exóticas *A. trapezoides* y *A. morrisi* son consideradas peregrinas (Edwards y Bohlen, 1996), ya que presentaron una amplia distribución en la provincia de Santa Fe registrándose en prácticamente todos los ambientes relevados, con diferentes usos, niveles de perturbación y gradiente latitudinal (Tabla 3.2). Posiblemente esto se deba no sólo a su

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

dispersión pasiva y favorecida por las actividades humanas sino también a sus características fisiológicas y de comportamiento, tales como la reproducción partenogenética, poliploidía y gran plasticidad ecológica (Lee, 1985; Fragoso y col., 1999a; Nahmani y col., 2003). Según Brown y col. (2004) y Nunes y col. (2007), la amplitud de la distribución de un organismo, abarcando diferentes regiones y usos del suelo, resulta un potencial bioindicador ambiental aportando información relevante sobre los cambios del impacto de las perturbaciones antrópicas en los suelos.

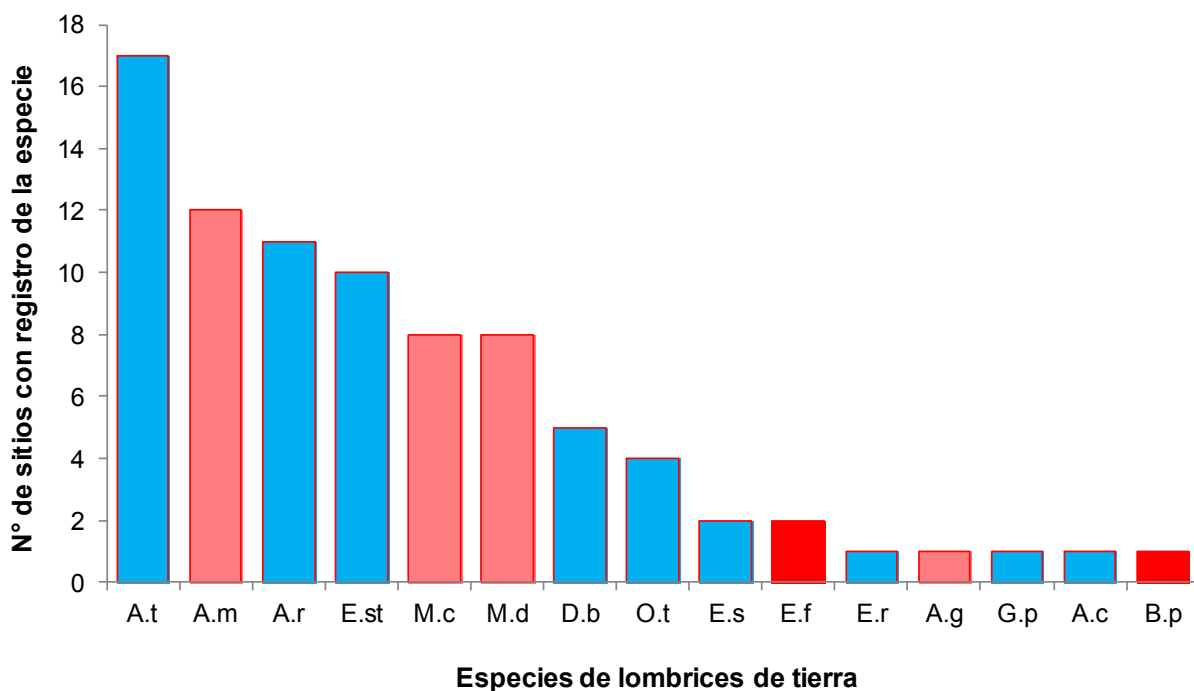


Figura 3.24. Presencia de especies en los sitios relevados de la provincia de Santa Fe durante 2012-2015. Los colores indican categoría ecológica: rojo= epigea; rosado= epiendogea; celeste= endogea. Referencias: D.b= *Dichogaster bolau*; M.d= *Microscolex dubius*; G.p= *Glossodrilus parecis*; A.c= *Aporrectodea caliginosa*; A.r= *Aporrectodea rosea*; A.t= *Aporrectodea trapezoides*; B.p= *Bimastos parvus*; E.f= *Eisenia fetida*; O.t= *Octolasion tyrtaeum*; A.g= *Amyntas gracilis*; A.m= *Amyntas morrisi*; M.c= *Metaphire californica*; E.r= *Eukerria rosae*; E.s= *Eukerria saltensis*; E.st= *Eukerria stagnalis*.

Los suelos utilizados durante un largo período para actividades de agricultura exhiben condiciones edáficas donde determinadas especies de lombrices suelen ser tolerantes a las mismas, siendo el caso de algunas endógeas del género *Aporrectodea*, que se convierten en dominantes en dichos suelos (Kherbouche y col., 2012). Esto concuerda con lo registrado en el estudio, donde *A. trapezoides* fue la especie peregrina invasiva sobresaliente, registrándose en la mayoría de los sitios relevados. Los trabajos de Fragoso y col. (1999a y b), Brown y col. (2004 y 2007) y Chan y Barchia (2007), comentan que la predominancia de las especies exóticas, entre ellas *A. trapezoides*, *A. rosea* y *A. morrisi*, se debe a que están más adaptadas a las

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

variaciones climáticas y edáficas, como así también a las perturbaciones antrópicas, siendo frecuentes en sistemas manejados con uso intensivo del suelo.

En cuanto a la especie nativa *E. stagnalis*, fue hallada mayormente en suelos con niveles de perturbación bajos y medios (GMN 1, GMN 2, GMN 4, BR 2, H 1 y H 2), con elevada humedad (saturados) o bien cercanos a cuerpos de agua. En coincidencia con los aportes de Momo y col. (2003), Zerbino (2011) y Falco y col. (2015), se asocia a esta especie como indicadora de elevada humedad y acidez en sistemas con calidad de suelos buenos a deteriorados.

A continuación, bajo la hipótesis de que el uso del suelo (cuantificado a través de su NiP) afecta a las comunidades de lombrices (caracterizadas por tres parámetros: Densidad (Den), Diversidad (Div) y Riqueza (Riq)), se ajustó un modelo de Análisis de Componentes Principales para analizar la correlación entre estas variables en un espacio reducido. Cabe recordar que en el capítulo 2, ítem 2.4.2, se propuso un mapeo entre las características del uso del suelo y una valoración empírica del nivel de perturbación antrópico (Tabla 2.1). En este ítem se analizó dicho mapeo empírico con el fin de determinar su validez.

La figura 3.25 muestra un biplot, representando el 94,4% de la variabilidad en los datos, de las correlaciones entre las cuatro variables consideradas, donde la valoración empírica del nivel de perturbación (NiP) del suelo posee una correlación negativa con las tres propiedades que caracterizan las comunidades de lombrices (Den, Div, Riq). Es decir el vector NiP es opuesto a los vectores Den, Div, Riq.

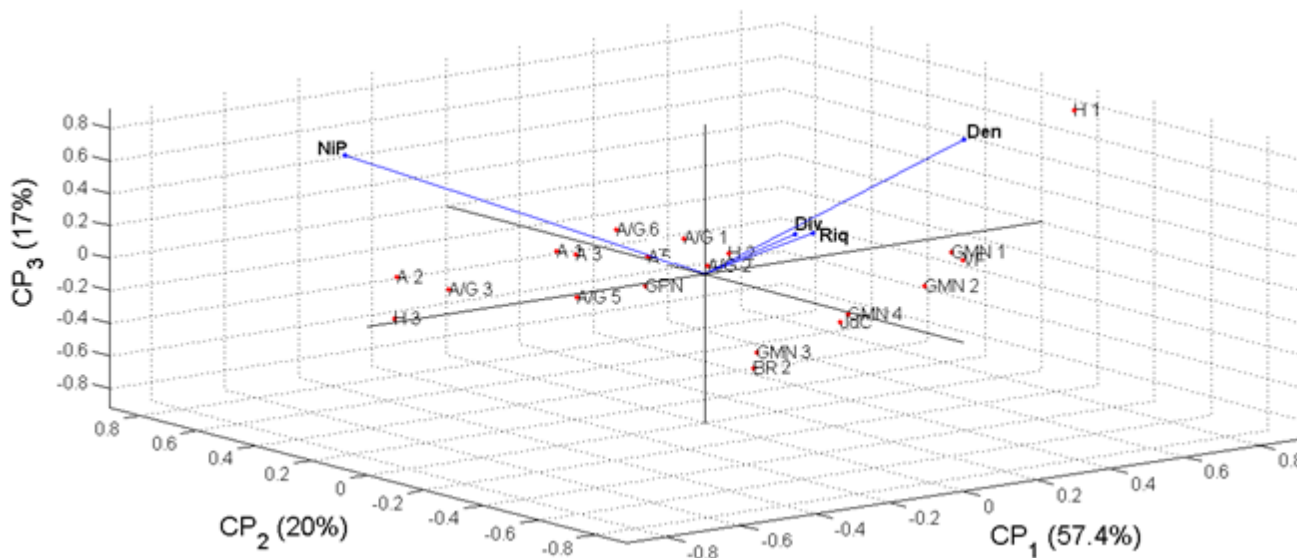


Figura 3.25. Biplot del Análisis de Componentes Principales entre las variables que caracterizan la comunidad de lombrices (Den, Riq y Div) y el NiP de los sitios relevados durante 2012-2015. Referencias: Den= Densidad (individuos.m²); Div= Diversidad de especies (H'), Riq= Riqueza de especies, NiP= Nivel de perturbación antrópica.

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

La figura 3.26 muestra una representación en los dos primeros componentes principales, con el 77,4 % de la variabilidad en los datos, complementando la información aportada por el biplot anterior (Figura 3.25). En ambas gráficas se observa que los sitios con uso intensivo del suelo y valores bajos en riqueza y abundancia de lombrices, como A1, A 2, A/G 3, A/G 5 y H 3 se ubicaron a la izquierda cercanos al NiP. El sitio A 3 si bien se correlacionó positivamente con el NiP, registró el valor más alto en riqueza de especies diferenciándose de los sitios anteriores con niveles de perturbación altos. Por el contrario, los sitios con niveles de perturbación bajos (H 1, GMN 2, VF, GMN 4, JdC y A/G 2) y medios (H 2, A 5 y A/G 1), exhibieron ensambles con valores altos en número de especies y también -la mayoría de ellos-, en abundancia posicionándose a la derecha del biplot. Respecto a los sitios GMN 1 y BR 2 (con valores bajos de NiP) y GPN y A/G 6 (con valores medios de NiP), la baja Den, Riq y Div condicionaron su ubicación en el biplot. Posiblemente los ensambles exhibidos por estos sitios estuvieron espacialmente estructurados por su respuesta a la variabilidad espacial en los recursos y la heterogeneidad del hábitat, debidos a la cobertura vegetal, la arquitectura radicular, los nutrientes disponibles en el suelo y la actividad del ganado como de la siembra de cultivos (Feijoo, 2001).

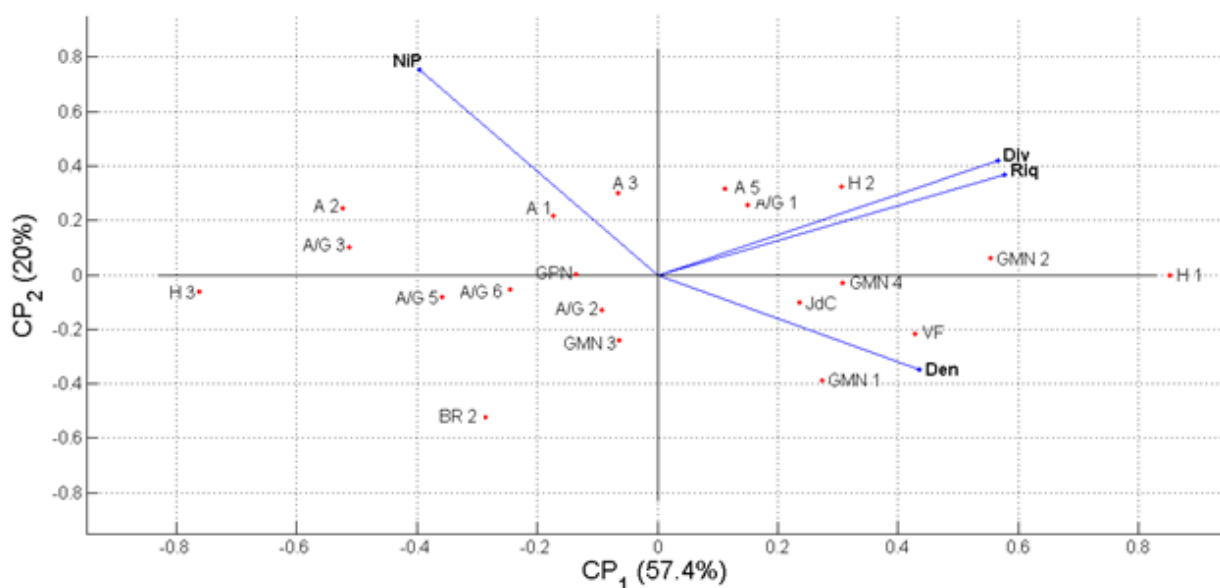


Figura 3.26. Biplot basado en los dos primeros componentes principales entre las variables que caracterizan las comunidades de lombrices (Den, Riq y Div) y el NiP de los usos de los sitios relevados durante 2012-2015. Referencias: Den= Densidad (individuos.m⁻²); Div= Diversidad de especies, Riq= Riqueza de especies, NiP= Nivel de perturbación antrópica.

En base a las correlaciones halladas que validan el mapeo propuesto, la estructura de las comunidades de lombrices de tierra, en términos de riqueza y abundancia, están condicionadas

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

por el uso y manejo del suelo. En este sentido, los ensambles de lombrices registrados en los diferentes sitios responden a los efectos de prácticas antrópicas como tipo de labranza, aplicación de agroquímicos, rotación de cultivos, cobertura vegetal del suelo, pastoreo de ganado, que según aportes Curry (2004) y Geissen y col. (2009), la frecuencia e intensidad de estas prácticas generan modificaciones tanto en las condiciones físicas y químicas del medio edáfico, como en la composición biológica del hábitat.

En este sentido, los sitios H 1 y H 2 que aplicaron prácticas más conservacionistas, como presencia de cobertura vegetal (natural o por cultivos), rotaciones y fertilización orgánica (estiércol de vacuno y/o de pollo como también incorporación de residuos de cultivos), exhibieron los ensambles más diversos, presentando especies de las tres categorías ecológicas (epigeas, epiendogeas y endogeas). Estos sitios resultaron sistemas beneficiosos para las lombrices de tierra, a los que se suman JdC, VF GMN 2, GMN 4 (con niveles de perturbación bajos), y A/G 1 y A 5 (con niveles de perturbación medios). Trabajos de Leroy y col. (2008), Flohre y col. (2011), Zerbino (2012), Crittenden y col. (2014), Domínguez y col. (2014) y Domínguez y Bedano (2016), destacan que tanto la incorporación de material vegetal (residuos de cultivos) y enmiendas orgánicas como el aporte de exudados radiculares en el suelo, favorecen a la comunidad de lombrices de tierra, tanto en composición y abundancia como en las actividades físicas y metabólicas de estos organismos, que cumplen un rol clave en la dinámica de la MO, ciclos biogeoquímicos y estructura y fertilidad del suelo.

Por otra parte, en ambientes con presencia de ganado como GMN 1, GMN 2, GMN 3, GMN 4, GPN, A/G 1, A/G 2, A/G 3 A/G 5 y A/G 6, las lombrices se vieron beneficiadas debido al aporte de materia orgánica a través de la deposición de estiércol (Mijangos y col., 2006; Smith y col., 2008). Sin embargo, la actividad ganadera puede acarrear efectos negativos, donde presiones del pisoteo del ganado generan disturbios en el hábitat afectando negativamente a las lombrices (Cluzeau y col., 1992; Ligthart, 1997; Bueno y col., 2010). Esta situación fue observada en el sitio GPN donde el área a muestrear presentó "parches" con actividad intensiva de pisoteo animal, generando en esas zonas posible compactación y degradación del suelo. El valor de la DA= 1,35 (Tabla 3.4) registrado en dicho sitio fue crítico (Taboada y Álvarez, 2008), indicando que el suelo se encuentra en un estado vulnerable de compactación, lo cual impactaría en la comunidad de lombrices. Además, en los usos A/G 1, A/G 2, A/G 3 A/G 5 y A/G 6, donde alternaron ganadería con siembra de pasturas, es posible que dicha siembra influyera, en mayor o menor medida, de forma negativa sobre la oligoquetofauna presente, ya que la siembra de cultivos de pasturas estuvo asociada a prácticas como tipo labranza del suelo, fertilización sintética y aplicación de plaguicidas. Según Paoletti (1999), Lemtiri y col. (2014) y Bertrand y col. (2015), los agroquímicos, en particular los plaguicidas, presentan efectos nocivos, crónicos o directamente letales, en los oligoquetos terrestres. Como se mencionó anteriormente en este ítem, el grado de impacto de los plaguicidas está asociado

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

básicamente a la composición química y dosis aplicada del producto (Paoletti, 1999; Bertrand y col., 2015). En cuanto a los fertilizantes químicos, según Lowe y Butt (2002) Bertrand y col. (2015) y Murchiea y col. (2015), no son perjudiciales, influyendo la mayoría indirectamente sobre las lombrices de tierra a través de un aumento en el rendimiento de las plantas y consecuentemente en un aumento en los residuos vegetales que permanecen en el suelo después de la cosecha. En relación a los sitios estudiados que utilizaron agroquímicos, estas sustancias posiblemente impactaron en diferente magnitud sobre los ensambles de lombrices registrados, afectando tanto la abundancia como la riqueza de especies.

En la figura 3.27 se muestra una representación de la heterogeneidad de ambientes en las diferentes localidades muestreadas. Esta heterogeneidad del paisaje en parches de espacios irregulares y con diferencias en usos y niveles de perturbación antrópica, podrían explicar las diferencias en riqueza y composición de especies de los ensambles lombrices por hábitats particulares. En este sentido, los sitios señalados en la figura 3.17 brindan un posible panorama sobre las condiciones actuales del ambiente, en algunos casos favorables o “amigables” con la biodiversidad de lombrices, como lo muestran H 1, H 2, VF, GMN 1, A/G 1 y A/G 6, y en otros casos como A 1 haciendo visible una situación de alerta, debido posiblemente al estrés provocado por las prácticas productivas aplicadas. Según Fragoso y col. (1999) y Ramírez Pisco y col. (2013), la distribución, el número de individuos, las especies y categoría ecológica de las lombrices cambian con el manejo del suelo, donde la intensidad del uso en relación a los sistemas de producción influyen en el comportamiento de estos organismos.

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

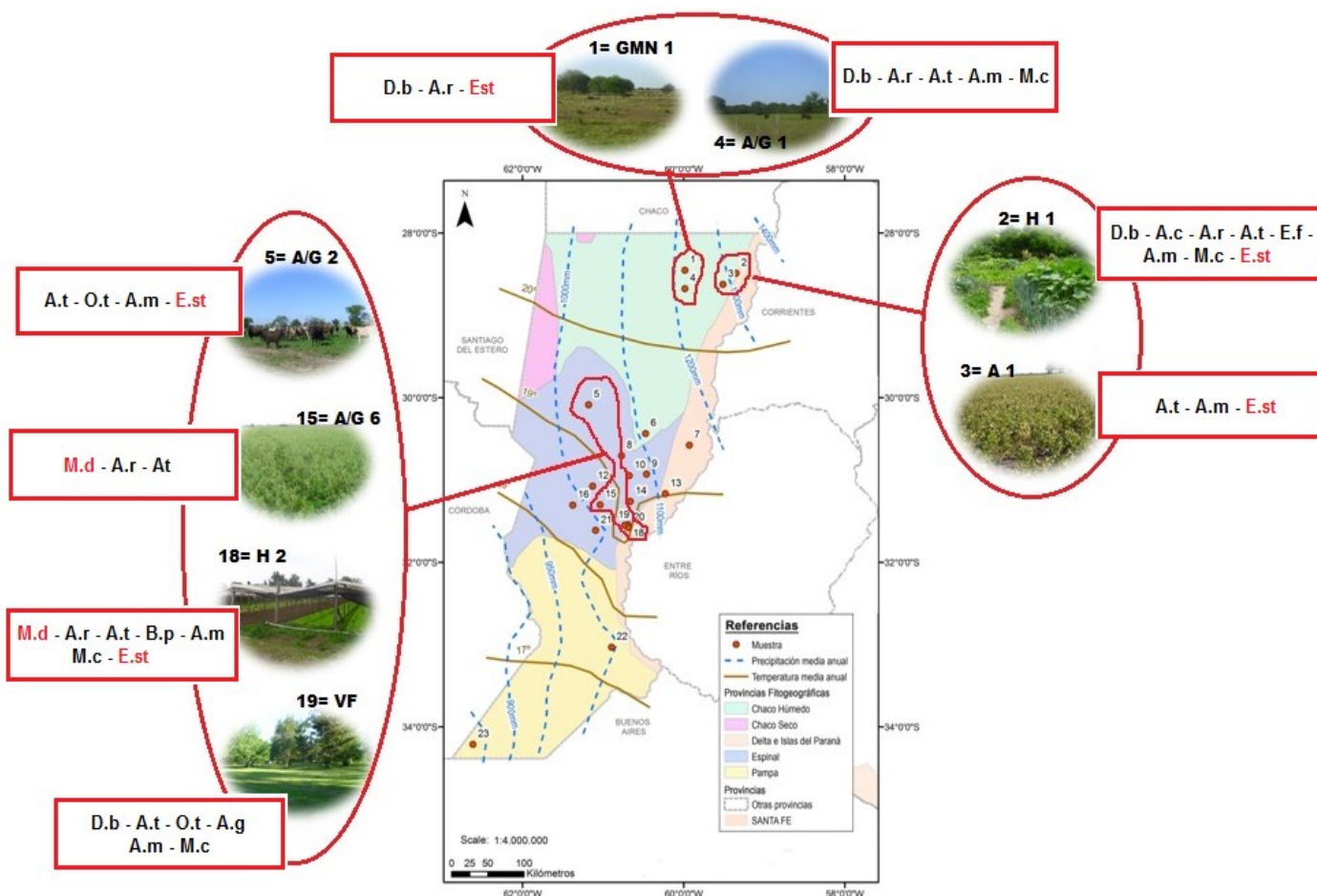


Figura 3.27. Ensamblajes de lombrices de tierra en sitios con diferente heterogeneidad ambiental registrados en la provincia de Santa Fe durante relevamiento 2012-2015. Referencias: D.b= *D. bolau*; M.d= *M. dubius*; A.c= *A. caliginosa*; A.t= *A. trapezoides*; A.r= *A. rosea*; B.p= *B. parvus*; E.f= *E. fetida*; A.g= *A. gracilis*; A.m= *A. morrisi*; M.c= *M. californica*; E.t= *E. stagnalis*. Letras en rojo indican especies nativas.

Otro punto a destacar, la composición de especies que presentan los sitios nos permiten pensar que la distribución, el número de individuos, las especies y categoría ecológica de las lombrices cambian con el manejo del suelo. En concordancia con aportes de Jones y col. (1994), Fragoso y col. (1997 y 1999b), Feijoo y col. (2006) y Bartz y col. (2014), las prácticas productivas, en particular las intensivas, al modificar el ambiente físico, la disponibilidad de recursos y nichos del medio edáfico, afectan la presencia y actividades de las especies de lombrices, siendo las epigeas las más afectadas negativamente respecto a las endogeas. Estas observaciones dadas por los autores son coincidentes con lo registrado en el sitio A 1, de la figura 3.27.

Por otro lado, Fragoso y Lavelle (1992), Fragoso y col. (1995), Edwards y Bohlen (1996), y Lavelle y col. (1998), destacan que las especies nativas no toleran los cambios causados por las prácticas agrícolas intensivas, lo que conduce a una dominancia de las especies exóticas.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

En el presente estudio los hallazgos registrados son coincidentes con estos autores, donde los sitios con niveles de perturbación altos (A 2, A/G 3, H 3) presentan ensambles sólo de especies exóticas, a excepción de A 1, A 3 y A/G 5 donde si bien registraron especies nativas (*E. stagnalis* y *M. dubius*), no son dominantes.

Las lombrices de tierra proveen servicios críticos al ecosistema (Lavelle y col., 2006), por lo que la información aportada por este grupo biológico como bioindicador ayuda a evaluar no sólo el impacto de las prácticas productivas en el suelo sino también también los servicios y bienes de los ecosistemas, promoviendo la sustentabilidad del recurso suelo (Ramírez Pisco y col., 2013; Bertrand y col., 2015).

3.2.2. Relación de las comunidades de lombrices con las propiedades edáficas e intensidades del uso del suelo

En esta sección se analiza la relación entre las comunidades de lombrices, las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico y el nivel de perturbación antrópico (NiP) del suelo.

La comunidad de lombrices de cada sitio estudiado estuvo representada por la abundancia de las categorías ecológicas. La categoría de una especie ofrece información relevante sobre la función que el organismo desempeña en el hábitat donde vive, basada en hábitos alimentarios y otros parámetros como el comportamiento, morfología y demografía. Según Rodríguez y col. (2007), es imprescindible conocer distintos caracteres como el contenido intestinal, pigmentación, desarrollo muscular, forma y dirección de los túneles, vagilidad, ciclo de vida, tipos de capullos, etc., para ubicar a una especie en una categoría funcional dada.

Además, considerando que las categorías ecológicas responden de manera diferente al uso del suelo y prácticas productivas, en este trabajo se ofrece otro enfoque de análisis para interpretar el impacto del uso y nivel de perturbación antrópica del medio edáfico en relación a las lombrices que lo habitan.

Para tener una estimación representativa de las abundancias de cada especie en cada sitio se tomaron 20 muestras (o bloques) en dos estaciones (otoño y primavera), es decir, 40 bloques por sitio. En los 20 sitios estudiados se hallaron 15 especies diferentes, las cuales fueron contabilizadas (abundancia) y agrupadas en tres categorías ecológicas (C 1= Epigeas, C 2= Epiendogeas y C 3= Endogeas). En este análisis, las abundancias totales de cada categoría son las variables respuestas, es decir, el vector respuesta está dado por:

$$y' = [C1 \ C2 \ C3], \quad (1 \times 3) \quad (3.1)$$

donde C 1 es la abundancia de la categoría C 1, en forma equivalente para C 2 y C 3. Por tanto, la abundancia de la categoría C1 es la suma de las abundancias promedio de las especies pertenecientes a esa categoría. Similarmente, para C 2 y C 3.

El número de muestras/sitios considerados para calibración (20 en total) es bajo en relación al número de las propiedades físicas y químicas medidas del suelo (12 propiedades) (ver tabla 3.5). En consecuencia, se selecciona un grupo reducido de cinco propiedades edáficas (MO, pH, D.A., Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺) para formar parte de las variables predictoras. El vector predictor propuesto está compuesto como sigue:

$$x' = [NiP \ MO \ pH \ DA \ Ca \ Mg], \quad (1 \times 6) \quad (3.2)$$

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

donde NiP es el nivel de perturbación del suelo asociado al sitio (ver Tabla 3.3). En consecuencia, el vector de mediciones resulta conformado como sigue:

$$\mathbf{z}' = [\mathbf{y}' \ \mathbf{x}'], (1 \times 9) \quad (3.3)$$

Tabla 3.5. Características físicas y químicas de los sitios estudiados en la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.

NiP	N° sitio Localidad	Uso del suelo	MO (%)	C (%)	N (%)	pH	D.A. (g/cm ³)	Textura del suelo (%)			C.I.C (me/100g)			
								Arena	Limo	Arcilla	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
B	2 Villa Ocampo	H 1	5,17	3	0,26	6,8	1,24	41	36,8	22,2	24,8	4,6	0,3	0,36
	6 Colonia Silva	GMN 2	7,15	4,14	0,34	6,5	0,83	7,8	60,7	31,5	15,2	0,6	1	1,92
	19 Recreo	VF	4	2,32	0,21	6,2	1,17	14,4	60,5	25,1	10,8	1	0,7	1,12
	11 Helvecia	GMN 4	5,05	2,93	0,24	6,3	1,04	26	50	23	19,4	2,2	1	0,28
	7 San Javier	JdC	2,86	1,6	0,12	6,8	1,37	47,9	35,5	16,6	13,2	1,8	0,62	0,72
	5 La Cabral	A/G 2	4,35	2,52	0,21	7	1,05	3,6	63,2	33,3	24	0,4	4,62	1,9
	1 Los Tábanos	GMN 1	7,9	4,58	0,55	6,6	0,98	11,8	48,5	39,7	27,6	6,6	1,2	4,8
	9 Naré	GMN 3	2,6	1,51	0,14	6,05	1,27	46,45	30,75	22,8	9,3	1,15	1,04	0,80
	17 Susana	BR 2	4,1	2,37	0,20	6,1	1,15	3,7	50,3	46	15,4	1,4	0,7	3,2
	16 Rafaela*	BR 1	4,6	2,7	0,25	6,4	0,91	30,3	64,8	5	13	0,4	0,7	2,1
M	18 Monte Vera	H 2	2,6	1,5	0,19	6,5	1,22	20,1	60,3	19,6	9,8	0,8	0,42	1,2
E	23 Rufino	A 5	2,18	1,26	0,14	5,6	1,21	13,8	14,6	71,6	9,6	0,2	0,07	1
D	4 Tartagal	A/G 1	3,2	1,88	0,15	6,6	0,91	12,1	53,3	34,7	12,8	1,6	0,5	1,78
I	13 Cayastá	GPN	2,4	1,39	0,13	7	1,35	63,2	23,1	13,7	21	0,4	2,62	0,1

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

O	15 Grutly	A/G 6	2,96	1,72	0,18	6,6	1,3	27,2	61,3	11,5	16	0,2	0,5	1,6
	12 Sarmiento*	A/G 4	3,29	1,89	0,17	5,9	1,26	5,9	60,8	33,3	12,8	0,4	1	1,8
A	21 San Jerónimo del Sauce	A 3	3,42	1,98	0,18	5,6	1,09	4,9	65,9	29,2	12,2	1	0,2	1,4
	3 El Sombrero	A 1	1,85	1,07	0,09	6,3	1,06	22,2	54,8	23	5,2	4,8	0,6	1,8
L	14 Laguna Paiva	A/G 5	2,16	1,25	0,09	6,2	1,35	12,1	61,6	26,3	5,76	2,44	0,7	1,44
T	22 Zavalla*	A 4	2,18	1,72	0,14	6,1	1,11	12,7	26,1	61,2	10,2	1,1	0,6	1,12
O	8 San Justo	A/G 3	2,56	1,49	0,12	6,2	1,16	23,7	56,1	20,2	6,6	6	0,1	1,8
	10 Videla	A 2	2,76	1,6	0,12	6,1	1,12	24,6	68,7	6,7	10,8	3	0,1	1,3
	20 Ángel Gallardo	H 3	1,53	0,89	0,08	7,2	1,05	23,6	58,3	18,1	7,2	2,8	0,7	1,44

* Sitios que por inclemencias climáticas presentaron un muestreo estacional incompleto, por lo que no fueron incluido en el análisis general.

Referencia: GMN (1, 2, 3, 4)= Ganadería en monte nativo; H (1, 2, 3)= Hortícola; A (1, 2, 3, 4, 5)= Agrícola; A/G (1, 2, 3, 4, 5, 6)= Agrícola/Ganadero; JdC= Jardín de casa; GPN= Ganadería en pastizal natural; BR (1, 2)= Borde de ruta; VF= Vivero forestal.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

Partiendo de la hipótesis de que las poblaciones de lombrices agrupadas en tres categorías (tres variables respuesta), podrían ser predecibles de este grupo de seis variables predictoras, se ajustó un modelo ACP a la matriz de datos **Z** (20 × 9).

La figura 3.28 muestra la variabilidad explicada porcentual para cada número de componentes principales retenidos en el modelo de correlación. Esta figura muestra que reteniendo seis componentes en el modelo se logra representar el 92,65 % de la variabilidad presente en los datos analizados, lo cual señala que existen tres colinealidades entre las nueve variables consideradas. Este resultado demuestra una relación causa-efecto entre las 6 propiedades consideradas (NiP, pH, DA, MO, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) y las tres comunidades (C1, C2, C3), validando la hipótesis inicial de modelado (H0: Adicionar el nivel de perturbación del uso del suelo a las propiedades edáficas, permite describir el efecto incidente sobre las poblaciones de lombrices).

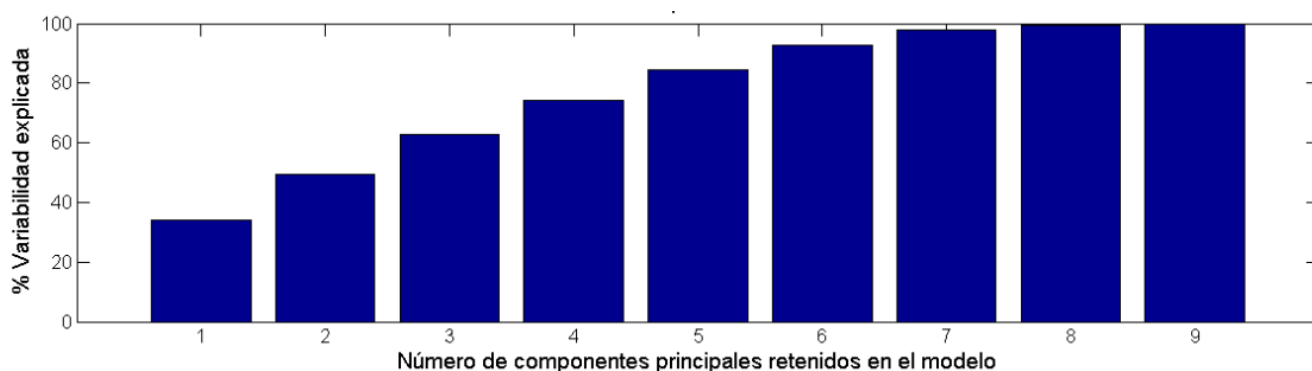


Figura 3.28. Representación de variabilidad explicada acumulada para cada número de componentes principales retenidos.

La figura 3.29 presenta las relaciones existentes entre las abundancias de las tres categorías con las propiedades edáficas y el NiP. El porcentaje de varianza explicada por cada componente se muestra en su respectivo eje, representando los tres el 62,97 % de la variabilidad total. El biplot muestra que la variable NiP está en dirección opuesta a las abundancias de las categorías de epigeas (C 1), epiendogeas (C 2) y endogeas (C 3), confirmando así que dicha variable es un indicador confiable del nivel de perturbación del suelo afectando negativamente a dichas categorías.

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

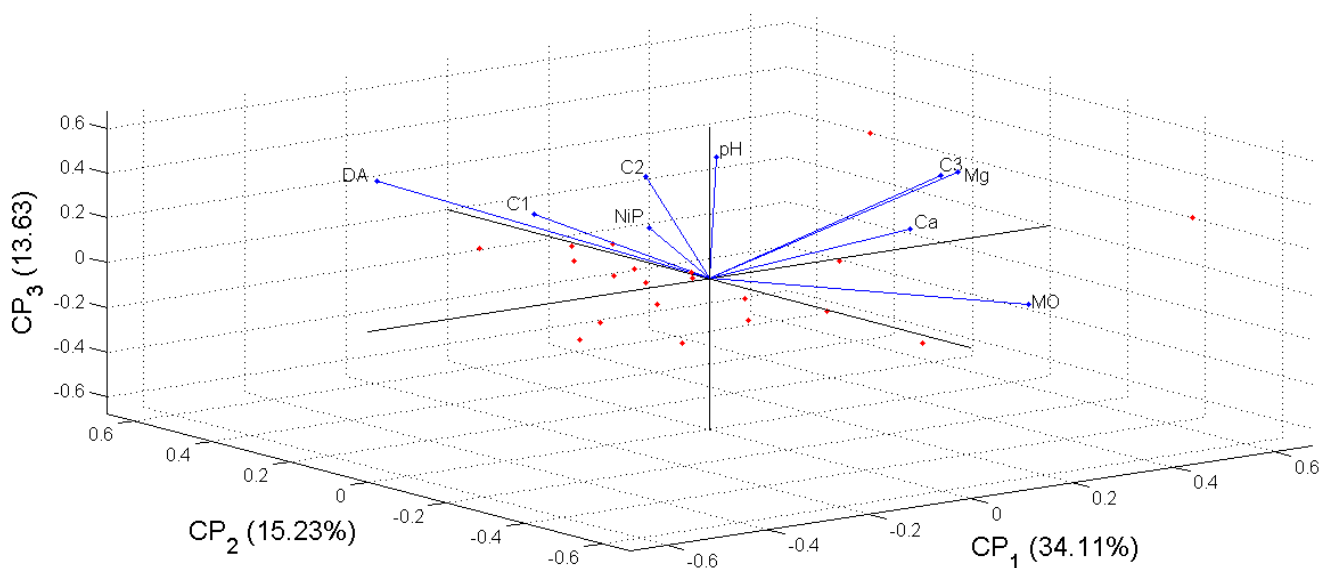


Figura 3.29. Biplot basado en las correlaciones entre las abundancias de las categorías ecológicas (epigeas, epiendogeas y endogeas) con las propiedades edáficas y el NiP de los sitios estudiados durante 2012-2105. Referencias: C 1= epigeas; C 2= epiendogeas; C 3= endogeas.

Los valores altos en abundancia y riqueza de especies de las tres categorías ecológicas, se relacionaron positivamente con suelos que presentaron condiciones de pH levemente ácido a neutro, valores de medio a alto de MO y cationes Ca^{++} y Mg^{++} , como también $\text{DA} < 1,30$ (suelos normales, no compactados). Los sitios H 1, H 2, GMN 2, VF y GMN 4 con ensamblajes de lombrices más diversos (Tabla 3.2), registraron valoraciones edáficas similares a las descritas anteriormente, excepto la MO, que se acercó a los valores de los suelos con NiP alto. Según Galantini y Suñer (2008), la materia orgánica se usa con frecuencia como indicador de la calidad del suelo, pero su valoración no necesariamente está asociada con un mejor estado del sistema, tal como muestran los resultados del presente trabajo. Respecto a los valores altos de densidad y riqueza de especies relacionados a los cationes intercambiables, Edwards y Bohlen (1996), confirman que los suelos con altas concentraciones de bases totales intercambiables de calcio y magnesio favorecen la densidad y riqueza de lombrices de tierra. Estos nutrientes dependen en gran parte de la materia orgánica en el suelo como de aportes externos (fertilizantes y abonos verdes), en donde las lombrices asimilan el calcio del suelo para transformarlo en carbonato de calcio en las glándulas calcíferas del tubo digestivo, facilitando su aprovechamiento e influyendo sobre la disponibilidad de calcio en los suelos.

La DA es un indicador físico que describe la compactación del suelo representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller & Håkansson, 2010). Según Taboada y Alvarez (2008), opinan que la DA a partir de $1,3 \text{ g.cm}^{-3}$ es el valor crítico a partir del cual la reducción del

volumen total de poros es aproximado al 50 %. En relación a esto, los sitios con NiP bajo y medio (H 1, GMN 2, GMN 4, VF y H 2), donde la abundancia y riqueza de especies de las categorías ecológicas fueron altas, la DA estuvo representada por un rango de 0,83 - 1,24 g.cm⁻³. En tanto que, los sitios con NiP alto y valores de abundancia y riqueza bajos (A 1, A 2, A/G 3 y H 3), registraron valores de DA dentro del rango 1,05 – 1,16 g.cm⁻³, cercanos al de los suelos con NiP bajos y medios. Los sitios que presentaron valor igual o mayor al valor crítico fueron A/G 5, A/G 6, GPN y JdC (Tabla 3.5), donde el primero con NiP alto y los dos seguidos con NiP medio se relacionaron con riqueza baja, en tanto que el último sitio con NiP bajo su riqueza fue mayor. El trabajo de Domínguez y col. (2009a), reportan que en suelos del centro-sur de Córdoba (Argentina) con uso agrícola y más de 10 años bajo la técnica de siembra directa, presentaron una DA en el rango 1,21 - 1,26 g.cm⁻³, no afectando la abundancia de lombrices, en particular de Lumbricina, pero a partir de 1,38 g.cm⁻³ registran una abrupta disminución en la abundancia. Por otra parte, Álvarez y col. (2012) reportan que en sistemas productivos de la región Pampeana, si bien no registraron valor crítico de DA, no significó que la calidad de los suelos sea óptima, ya que esta última estuvo condicionada por factores que hacen al manejo del suelo. En este trabajo de tesis coincidentemente con el último autor mencionado, la DA de los sitios estudiado no fue determinante de la diversidad de los ensambles.

En los sitios con valores altos de riqueza de especies, como en los ambientes de monte (GMN 2, GMN 4), forestal (VF) y en los que se implementó policultivo (H 1 y H 2), la diversificación de especies vegetales presente crea condiciones que influyen favorablemente en las poblaciones de las especies co-ocurrentes, en particular de las categorías epigeas y epiendogeas (Schmidt y col., 2001; Huerta, 2007; Fragoso, 2007).

Las especies de C 1 (*B. parvus* y *E. fetida*) estuvieron asociadas con valores altos en residuos orgánicos de los suelos con niveles de perturbación bajo y medio. La mayoría de las especies de C 2 (*A. gracilis*, *M. californica* y *M. dubius*) respondió de forma similar a las de C 1, sobresaliendo con los porcentajes más altos en los sitios JdC y VF. Los jardines de casa, viveros forestales y huertas son ambientes que tienden a registrar proporciones importantes de epiendogeas, en particular de la familia Megascolecidae (Brown y col., 2006; Grosso y col., 2006; Sautter y col., 2007). En este sentido, el presente estudio muestra que las especies megascolécidas *A. gracilis*, *A. morrisi* y *M. californica*, representaron el 75 % de la categoría epiendogea. Los autores Peixoto y Marochi (1996) y Brown y col. (2001 y 2006) argumentan que las especies del género *Amyntas*, entre ellas *A. morrisi*, si bien se registran frecuentemente en jardines y huertas, también están presentes en sitios con actividad agropecuaria, en particular en suelos agrícolas bajo siembra directa. En relación a ello, *A. morrisi* mostró un amplio registro en la provincia encontrándose aún en suelos con valores

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

bajos en MO y asociados a usos con niveles de perturbación altos (A 1, A 2, A/G 3, A/G 5) (Tabla 3.1 y Figura 3.22).

En cuanto a especies del grupo C 3 estuvieron presentes en todos los sitios estudiados, destacándose las del género *Aporrectodea* y en particular *A. trapezoides*, como las más frecuentes y abundantes en prácticamente todos los usos, ya sea con niveles de perturbación antrópica bajos, medios y altos (Tabla 3.1). *A. trapezoides* por su reproducción partenogenética y condición eurioica, es una especie invasora dominante en diferentes tipos de suelo y hábitats (Lavelle y col., 1987; Barros y col., 2004).

Tal como se mencionó en el punto 3.2.1, las altas proporciones de endogeas, en particular de las especies del género *Aporrectodea*, que se registraron en los relevamientos tanto en suelos con niveles de NiP bajos, medios como altos, reflejan alto potencial reproductivo y colonizador en hábitats con recursos abundantes o en donde las condiciones no son tan beneficiosas (Satchell, 1980; Schmidt y col., 2001).

La abundancia y distribución de las especies de lombrices no sólo están condicionadas por parámetros físicos y químicos del medio edáfico, sino también por las condiciones del uso y manejo que se hace del suelo que lo habitan. El uso del suelo genera cambios en los recursos disponibles para la biota edáfica, afectando así la diversidad de los grupos funcionales y la habilidad de las distintas especies a adaptarse a los cambios debidos al manejo (Huerta y col., 2005; Brussaard y col., 2007; Postma-Blaauw y col., 2010).

Las relaciones de las lombrices de tierra con los factores edáficos (MO, pH, textura y compactación del suelo, nutrientes catiónicos y humedad), fueron estudiadas por Ljungström y col. (1972, 1973) hace más de cuatro décadas donde ya vislumbraban que el factor intensidad del uso del suelo también determinaba el grado de impacto sobre el ambiente edáfico. En concordancia con esos aportes el presente estudio permite confirmar que la abundancia y distribución de las especies de lombrices están condicionadas por parámetros físicos y químicos del suelo, pero fundamentalmente por las condiciones del uso y manejo que se hace del mismo.

En la figura 3.30 se muestra un biplot considerando solo CP1 y CP2, en donde además se identifican los sitios/muestras. Este biplot permite visualizar la magnitud y signo de la contribución de cada variable original a estos dos componentes principales, y como cada observación/sitio es representado en términos de estos componentes.

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

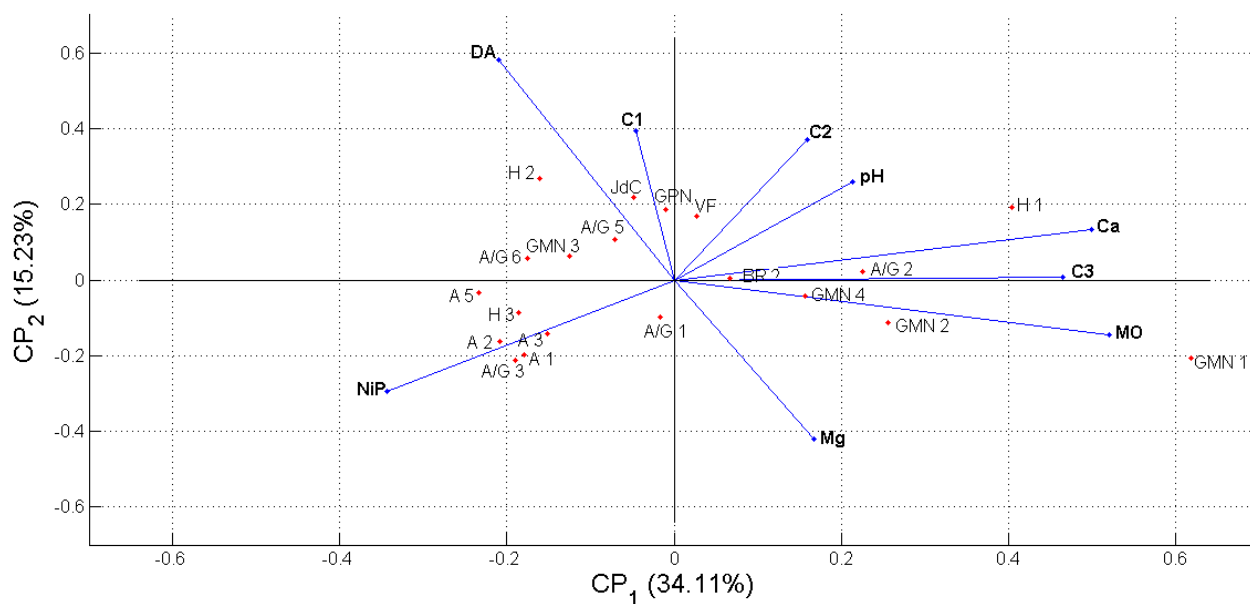


Figura 3.30. Biplot de correlación, representando el 49,34 % de la variabilidad en los datos, entre las categorías ecológicas, propiedades edáficas y NiP de los sitios relevados en 2012-2015. Referencias: C 1= epigeas; C 2= epiendogeas; C 3= endogeas.

En esta figura se observa que al incorporarse la variable NiP y combinarse con las propiedades edáficas, donde los valores de las abundancias de las categorías ecológicas cambiaron de posición en el biplot respecto a la figura 3.29. La contribución del NiP delineó los valores altos de abundancia y riqueza de especies de las categorías ecológicas hacia la zona de los sitios con niveles de perturbación bajo (H 1, GMN 2, GMN 4, VF, JdC, A/G 2) y medio (H 2). Estos hallazgos coinciden con lo que se esperaba, validando el modelo de correlación ajustado.

La figura 3.31 muestra el coeficiente de correlación de cada variable predictora (propiedades edáficas, NiP y las abundancias de las categorías restantes) con las abundancias de cada categoría ecológica. Cada una de ellas está en mayor o menor medida influenciada por los diferentes factores predictivos. Las contribuciones (o correlaciones) observadas en la figura 3.31 son las esperadas, salvo la correlación positiva que tiene el NiP sobre C1. Esto señala que el modelo tendría que ser analizado para mejores contribuciones.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

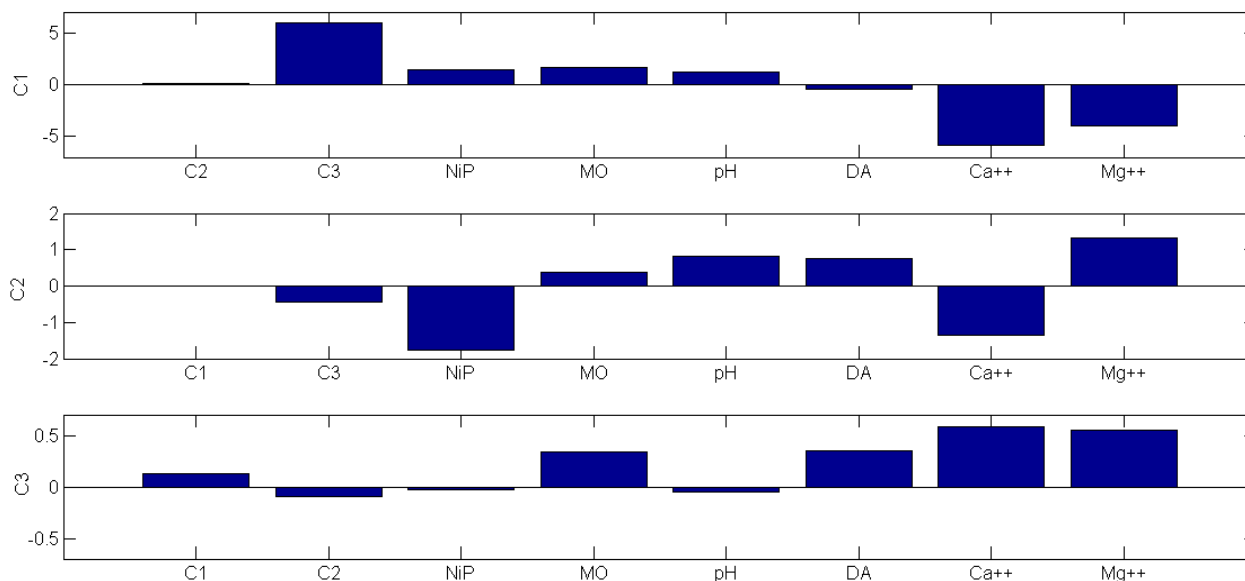


Figura 3.31. Contribución de las mediciones a cada una de las abundancias de C 1, C 2 y C 3 (variables respuesta). La correlación mostrada considera a las variables centradas y escaladas. Referencias: C 1= epigeas; C 2= epiendogeas; C 3= endogeas.

A los efectos de evaluar la relación entre las comunidades de lombrices y las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico se realizó un modelo de correlación (ACP), sin considerar el NiP del suelo.

En la figura 3.32 se presenta un biplot de las correlaciones entre las propiedades edáficas y la abundancia de las diferentes categorías ecológicas (C1, C2 y C3), en donde las especies endogeas (C 3), mostraron una correlación positiva y alta con Ca⁺⁺ y MO; mientras que las epigeas (C 1), una correlación opuesta con MO y Mg⁺⁺ y positiva con DA. Como se observa, estas correlaciones no concuerdan con la naturaleza del comportamiento de las categorías, en particular las epigeas, y con lo observado en el estudio, ya que en el biplot se hallan más apartadas de la zona en donde se las esperaría encontrar, es decir próximas de H 1, H 2 y GMN 4.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

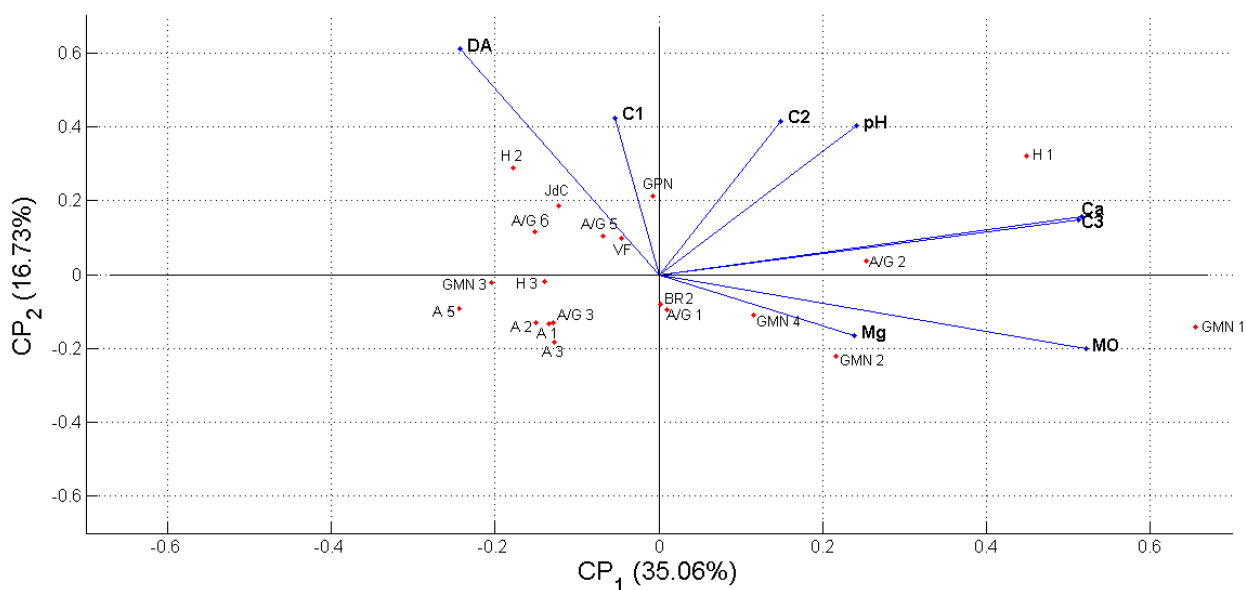


Figura 3.32. Biplot del modelo ajustado en función de las correlaciones entre las propiedades edáficas y la abundancia de las categorías ecológicas (C1, C2 y C3) sin contemplar la variable NiP de los sitios muestreados en Santa Fe durante 2012-2015. Referencias: C1= epigeas; C2= epiendogeas, C3= endogeas; DA= densidad aparente; MO= materia orgánica.

Las lombrices de tierra se alimentan y viven en el suelo, por lo que las propiedades físicas y químicas del mismo influyen en la composición y abundancia de sus comunidades (Curry y col., 2008). Por el contrario, Baker y col. (1992); Mele y Carter (1999); Chan y Barchia (2007); Kherbouche y col. (2012), reportan que han obtenido correlaciones significativas de las comunidades de lombrices de tierra con los sistemas de producción y niveles de perturbación más que con los parámetros físicos y químicos del suelo. A su vez, Díaz Porres y col. (2014), comentan que las relaciones entre usos y variables físicas y químicas del suelo no son los mejores indicadores del efecto de la intensidad del uso del suelo (o nivel de perturbación) sobre los cambios en las comunidades de oligoquetos terrestres. En tanto que Fraser y col. (1996), Giménez y col. (1997), Chan (2001) y Lálberte y Tylianakis (2011), afirman que las propiedades edáficas son alteradas por la intensificación del uso del suelo afectando el hábitat y los recursos alimenticios de las lombrices. Teniendo en cuenta lo citado y relacionándolo con la información obtenida anteriormente, las categorías ecológicas responden de manera diferente a la intensificación del uso del suelo. De acuerdo con los hallazgos de Ivask y col. (2007), Capowiez y col. (2009) y Pelosi y col. (2009), las lombrices del grupo epigea se ven afectadas negativamente no sólo por la labranza del suelo, siendo vulnerables al daño mecánico, sino también a la exposición directa de los plaguicidas. Esta situación podría relacionarse con los sitios A 3, A 1, A/G 5, A 2, A/G 3 y H 3, en los que no registraron especies

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

epigeas. Asimismo, las especies epigeas también se ven condicionadas negativamente por el impacto de los plaguicidas y de la labranza, ya que al vivir cerca de la superficie del suelo con horizontes orgánicos, sus galerías (madrigueras) son destruidas por la acción mecánica implicando que sean heridas o muertas, situación que se presentó en H 3. En tanto que las endogeas parecen ser menos impactadas por las aplicaciones de plaguicidas, e incluso a veces favorecidas por el tipo de labranza, como la siembra directa debido a que los residuos de las cosechas son parcialmente descompuestos por los microorganismos del suelo facilitando su acceso a la materia orgánica (Wyss y Glasstetter, 1992; de Oliveira y col., 2012; Bertrand y col., 2015). Concordando con resultados de Pelosi y col. (2009) y Rosas-Medina y col. (2010), las lombrices endogeas representan el mayor porcentaje (superando el 70 %) de la abundancia total de las lombrices registradas, tanto en sistemas con manejo convencional como conservacionista. La predominancia de especies endogeas juega un rol interesante en los procesos edáficos, ya que ingieren considerables cantidades de partículas orgánicas y minerales y generan luego bioagregados, construyen extensas galerías en el perfil del suelo y aceleran las tasas de mineralización y la disponibilidad de agua y nutrientes (Brown y col., 2004). Las especies del grupo ecológico endogea regulan numerosos procesos físicos y químicos del suelo a corto, mediano y largo plazo, y el hecho de considerar la reducción de sus abundancias implicaría cambios drásticos en el hábitat (Fragoso y col., 1997).

Es menester entonces tomar en cuenta el nivel de perturbación del uso del suelo a fin de encontrar una correlación válida entre el ambiente edáfico y las comunidades de lombrices. Numerosos trabajos (Enckell y Rundgren, 1988; Brown y col., 2003; Butt y Lowe, 2004; Nunes y col. 2007; García-Pérez y col., 2014; Gutiérrez-Sarmiento y Cardona, 2014; Ortiz-Gamino y col., 2016), sugieren que estos organismos edáficos si bien están condicionados a determinadas propiedades edáficas, responden más sensiblemente a los cambios de las perturbaciones antrópicas generadas en los ambientes, aportando valiosa información como bioindicadores del estado del suelo.

La figura 3.33 resume las relaciones entre las comunidades de lombrices y los usos del suelo, resultado de los análisis anteriores de las variables biológicas, propiedades edáficas y el NiP, que separaron y agruparon a los diferentes tipos de uso en función del estado del suelo. En relación a ello, los sitios con ensambles de lombrices complejos (> riqueza > diversidad) se situaron cercanos a la base de la pirámide, siendo suelos con valores de perturbación bajos y medios; en tanto que los sitios con valores bajos en riqueza y diversidad de especies, estuvieron más próximo a la cúspide de dicha pirámide, asociándose a usos con niveles de perturbación altos. En este sentido, las prácticas de manejo del suelo que se realizaron en los sitios, generaron cambios en las condiciones edáficas, que condicionan marcadamente la composición y abundancia de las comunidades de lombrices. En coincidencia con Navarrete Segueda y col. (2011) y Bozarth y col. (2016) la información aportada por las lombrices de

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

tierra y su ecología de diferentes hábitats proporcionan una visión útil sobre la productividad y salud de los ecosistemas.

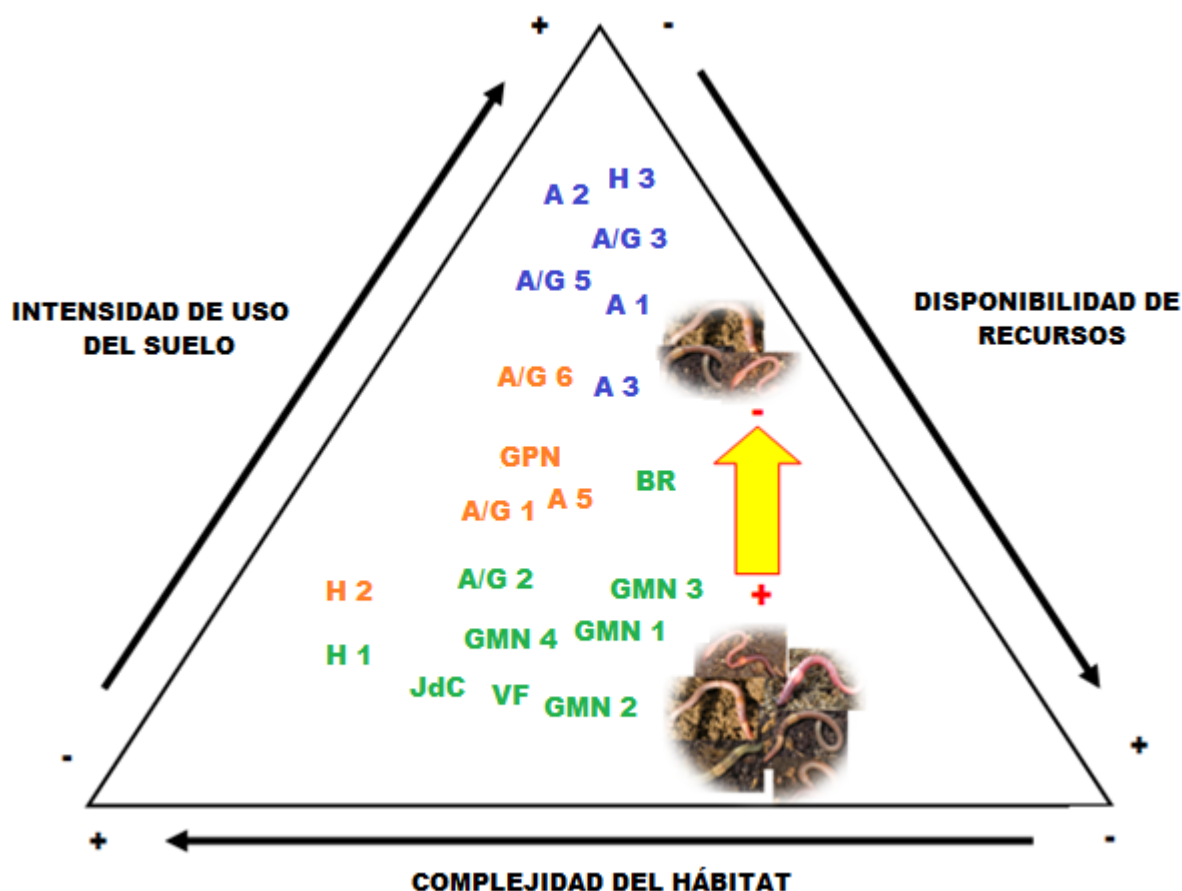


Figura 3.33. Representación esquemática e hipotética de las relaciones entre las características del uso del suelo y la comunidad de lombrices de tierra de los sitios relevados en Santa Fe durante 2012-2015 (Modificado de Díaz Porres y col., 2014). Referencias: Los colores de las letras de los usos indican el NiP, verde= bajos, naranja= medios y azul= altos. La flecha amarilla representa la riqueza/diversidad de especies en los ensambles de lombrices.

Las lombrices de tierra participan en la regulación de la dinámica de la materia orgánica y del ciclo biogeoquímico de los nutrientes, en la neutralización de las toxinas generadas por los productos químicos y en la modificación de la estructura y fertilidad del suelo (Velázquez Ibañez, 2004). Estos servicios son esenciales para el mantenimiento de un ecosistema y constituyen además un recurso importante para el manejo sustentable de los sistemas productivos.

En resumen, a partir de los resultados analizados en este ítem se comprueba la hipótesis de que, en los suelos santafesinos con uso y propiedades edáficas similares, tanto la diversidad como la abundancia de especies fueron marcadamente diferentes. En este sentido, suelos con

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

niveles de perturbación altos la riqueza y diversidad de especies fue baja, en tanto que suelos con prácticas productivas conservacionistas registraron ensambles de lombrices más diversos.

3.2.3. Indicador de la calidad del suelo: estimador del NiP

El recurso suelo, es un eje fundamental de la sostenibilidad, porque en él ocurren importantes cambios de índole físico, químico y biológico, los que están estrechamente relacionados con funciones de producción de los suelos, con procesos de disponibilidad de nutrientes, con la materia orgánica y con la calidad intrínseca de los mismos (Ullé y col., 2012).

El concepto de calidad del suelo lleva implícito el de manejo y prácticas que el hombre realiza en los sistemas (Doran, 2002), así también el concepto de sostenibilidad que conlleva al de indicadores que permitan evaluar y monitorear los cambios ocurridos a través del tiempo (Bockstaller & Girardin, 2003). Las lombrices de tierra son consideradas como indicadores eficaces para monitorear y evaluar el estado del suelo ante el impacto de las perturbaciones antrópicas, como también para la interpretación de la dinámica de la MO, constituyendo una herramienta útil y potencial en la sustentabilidad de los agroecosistemas (Paoletti y Bressan, 1996; Paoletti, 1999; Höfer y col., 2001; Nunes y col., 2007; Römbke y col., 2007; Navarrete Segueda y col., 2011; Kherbouche y col., 2012; Bartz y col., 2014).

Las lombrices de tierra resultaron una herramienta válida para brindar información relevante sobre el impacto de las perturbaciones antrópicas en los sitios estudiados. Su utilización como bioindicador permite ampliar la capacidad de conocimientos sobre la biodiversidad presente en los suelos y sobre el rol de dichas especies en el funcionamiento de los ecosistemas (Velázquez Ibañez, 2004; Bartz y col., 2013). Por otra parte, este bioindicador, como se vió en las secciones 3.2.1 y 3.2.2, brinda alertas tempranas de las direcciones que pueden tomar ciertos atributos básicos de un suelo, sometido a diferentes tipos de intervención antropogénica. Además, en las secciones 3.2.1 y 3.2.2, se probó que el NiP es un buen indicador de la perturbación del suelo a partir de la relación entre la abundancia y composición de especies de la comunidad de lombrices y propiedades edáficas.

En consecuencia, el objetivo de esta sección es diseñar un estimador de la calidad del suelo, basado en la hipótesis de que las lombrices de tierra son un buen bioindicador de la calidad del suelo dada su íntima relación con las características físicas y químicas del suelo y su alta sensibilidad a las perturbaciones antrópicas.

En este sentido, particularmente, en la sección anterior 3.2.2 se obtuvo un modelo de correlación \mathbf{P} , dado por: $\mathbf{z} = \mathbf{P}\mathbf{t}_z$, para el siguiente vector de mediciones: $\mathbf{z}' = [C1 \ C2 \ C3 \ NiP \ MO \ pH \ DA \ Ca \ Mg]$. Este vector se centró y se escaló utilizando los siguientes vectores de medias y desvíos estimados a partir del conjunto de datos \mathbf{Z} :

$$\bar{\mathbf{z}}' = [0.044 \ 4.155 \ 8.996 \ 3.025 \ 3.540 \ 6.413 \ 1.146 \ 13.833 \ 2.150],$$

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

$$\sigma_z = [0.157 \ 6.969 \ 8.116 \ 1.118 \ 1.692 \ 0.432 \ 0.148 \ 6.561 \ 1.940].$$

donde el valor medio de NiP es 3,025 con un desvío igual a 1,118. A continuación, el vector de las mediciones \mathbf{z} se reordenó como sigue:

$$\mathbf{z}' = [NiP \ C1 \ C2 \ C3 \ MO \ pH \ DA \ Ca \ Mg]' = [y \ \mathbf{u}'], \quad (3.4)$$

donde se apartó la variable NiP del resto de las variables, con $NiP = y$. Así mismo, el vector \mathbf{z} se puede dividir en una parte conocida \mathbf{u} y una parte desconocida y . En consecuencia, el modelo de correlación obtenido con ACP se puede particionar de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} y \\ \mathbf{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_y \\ \mathbf{P}_u \end{bmatrix} \mathbf{t}_z. \quad (3.5)$$

donde \mathbf{P}_y y \mathbf{P}_u es la partición de la matriz \mathbf{P} correspondiente a la reordenación en ecuación 3.4. Utilizando imputación de datos perdidos, se puede utilizar solo \mathbf{u} (la parte conocida de \mathbf{z}) para estimar y , a través de la siguiente ecuación (Godoy y col. 2014):

$$\hat{y} = \mathbf{P}_y (\mathbf{P}'_u \mathbf{P}_u)^{-1} \mathbf{P}'_u \mathbf{u}. \quad (3.6)$$

En efecto, midiendo las ocho variables de \mathbf{u} y utilizando imputación de datos perdidos (ecuación 3.6) se puede estimar el valor del NiP. A continuación, con el valor predicho del nivel de perturbación se puede ingresar a la tabla 2.1 de mapeo NiP-características y ver las características asociadas a ese valor estimado de NiP. De esta manera, a través del recuento de especies de lombrices y medición de las propiedades edáficas, se propone a este estimador (Ecuación 3.6) como un indicador de la calidad del suelo de la provincia de Santa Fe.

La figura 3.34 muestra el valor de los coeficientes que relacionan cada predictor con el indicador del NiP, es decir, las contribuciones de cada variable predictora a la predicción de NiP. Esta figura muestra que la contribución de DA al NiP es la menos sensible y que la contribución del Mg^{++} al NiP es la más sensible.

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

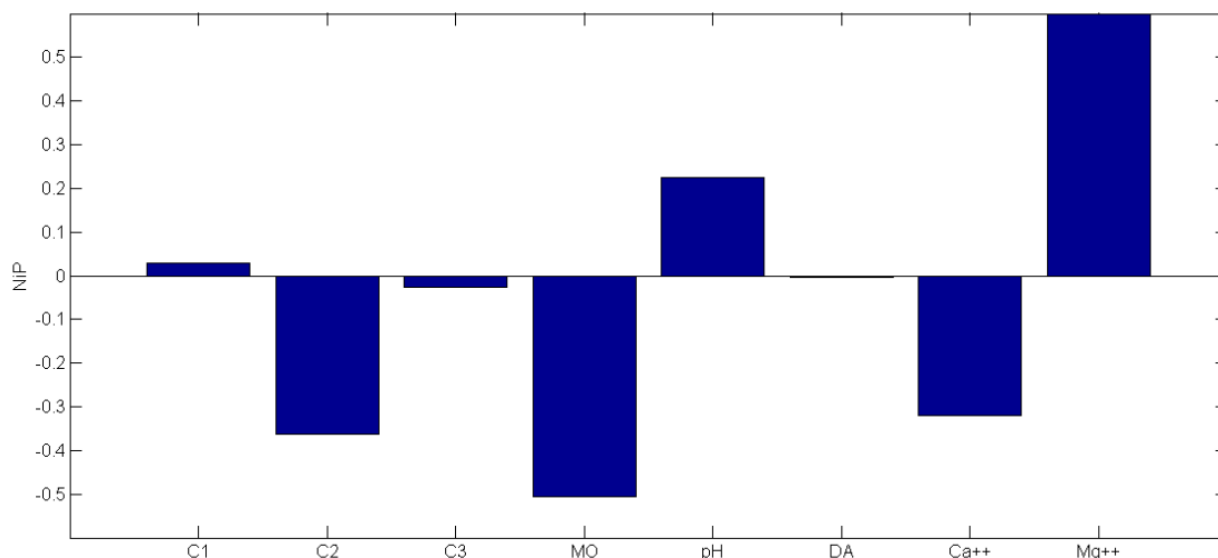


Figura 3.34. Contribución de cada variable predictor a la variable respuesta NiP. Estos coeficientes relacionan variables centradas y escalas.

Utilizando los sitios Sarmiento (A/G 4), Rafaela (BR 1) y Zavalla (A 4) (ver tabla 2.2); como datos de validación se calculó la raíz del error cuadrático medio del estimador del NiP para estas tres muestras y resultó un error estándar despreciable ($< 0,1$); dado que un error estándar cercano a 0,5 perjudicaría significativamente la confianza del estimador. De esta manera, el indicador propuesto resulta prometedor. Para obtener un estimador más confiable (que el logrado) se necesitarían más sitios muestrados a lo largo de la provincia de Santa Fe. Sin embargo, esta primera aproximación genera conocimiento útil del estado actual del suelo de manera rápida, económica y eficaz. Cabe aclarar, que el estimador propuesto no pretende definirse como universal para evaluar la calidad de suelos, pero sí sugiere ser utilizado en los suelos de la provincia de Santa Fe y en aquellos que presenten características similares. No obstante y en concordancia con aportes de Velázquez Ibáñez (2004), la metodología utilizada para la creación del estimador puede aplicarse para generar otros respecto a suelos con condiciones biofísicas diferentes.

En resumen, se diseñó un estimador de calidad del suelo a partir de la calibración de indicadores como las lombrices de tierra, propiedades edáficas y nivel de perturbación del suelo (NiP) de los sitios relevados en la provincia, el cual permitirá evaluar y detectar problemas en el funcionamiento del suelo y ampliar el número de posibles opciones de manejo sostenible del recurso suelo. Además, teniendo en cuenta que la calidad del suelo es dinámica por lo que puede cambiar a corto plazo acorde al nivel de perturbación del uso del suelo, se propone al presente estimador como una herramienta sustancial para monitorear los suelos santafesinos y plantear estrategias aplicables a las políticas y acciones de sustentabilidad del recurso suelo.

Consideraciones Finales

Conclusiones generales

En base a los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente trabajo de tesis doctoral se arribaron a las siguientes conclusiones:

Relevamiento taxonómico de la oligoquetofauna en la provincia de Santa Fe

- El trabajo de relevamiento taxonómico 2012-2015 aportó y complementó el estado de conocimiento de la oligoquetofauna presente en la provincia de Santa Fe, a partir del estudio de Ljungström y col. (1975).
- La presencia y distribución de las especies de lombrices actuales tuvieron diferentes patrones que los registrados hace cuatro décadas atrás en la provincia.
 - El número de especies fue menor coincidiendo con el 60 % de las 23 especies reportadas en el estudio de 1975, si bien se registraron las mismas familias (Acanthodrilidae, Glossoscolecidae, Lumbricidae, Megascolecidae, Ocnerodrilidae).
- La proporción de especies nativas fue también menor, siendo el 33 % respecto al 50 % registrado hace 40 años.
- Se incorpora *Eukerria rosae*, especie nativa sudamericana al listado de especies y distribución de lombrices de la provincia de Santa Fe.
- Las especies *Dichogaster bolaii*, *Metaphire californica*, *Amyntas morrissi*, *Octolasion tyrtaeum* y *Eukerria stagnalis*, se registraron en un número mayor de departamentos, ampliando su distribución en la provincia, en tanto que la especie *M. dubius* fue registrada en un área considerablemente menor. En cuanto al género *Aporrectodea*, en particular la especie *A. trapezoides* sobresale por mantener su distribución similar a la registrada hace 40 años atrás.
- A partir de estos resultados y de bibliografía consultada se podría pensar que el cambio en la distribución y riqueza de la oligoquetofauna está relacionado con la transformación de la biodiversidad del paisaje, asociado a usos y manejo del suelo de los sistemas productivos de la provincia desarrollados durante 40 años.

Estructura de las comunidades de lombrices en relación a parámetros físicos y químicos y usos de los suelos estudiados

- La comunidad de lombrices de tierra varió con la intensidad del uso del suelo, donde la densidad, diversidad y actividad de las especies están marcadamente determinadas por el nivel de perturbación antrópica.
- Los valores más altos de riqueza y diversidad se observaron en los suelos con NiP bajo y medio, con uso hortícola (H 1 y H 2), ganadería extensiva en monte nativo (GMN 2 y GMN4), vivero forestal (VF) y jardín de casa (JdC).

Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la provincia de Santa Fe

- La presencia de especies nativas fue mayormente registrada en los sitios con NiP bajo (H 1, GMN 1, GMN 2, GMN 3, GMN 4, JdC, A/G 2), y medio (H 2, GPN, A/G 6, A 5).
- Los sitios con NiP alto asociados a uso hortícola (H 3), agrícola alternado con actividad ganadera (A/G 3) y agrícola intensivo (A 2), exhibieron ensambles de especies exóticas.
- Las prácticas conservacionistas favorecen la calidad del suelo y con ello la complejidad de los ensambles de lombrices de tierra.
- Los sitios con uso hortícola (H 1, H 2) y gandería extensiva en monte nativo (GMN 4) registraron especies de lombrices de las tres categorías ecológicas.
- Las propiedades edáficas MO, DA y cationes nutrientes Ca^{++} y Mg^{++} impactan sobre la abundancia y riqueza de los ensambles de lombrices.
- A partir de los resultados obtenidos y analizados, la comunidad de lombrices de tierra es una herramienta válida para evaluar y monitorear la calidad del suelo.
- El diseño de un estimador de calidad de suelo a partir de la calibración de los indicadores lombrices de tierra, propiedades edáficas y nivel de perturbación del suelo, permitiría detectar problemas en el funcionamiento del suelo y ampliar el número de posibles opciones de manejo sostenibles del recurso.

Perspectivas futuras

Debido a la contribución de la oligoquetofauna en el funcionamiento del sistema suelo, es necesario profundizar el conocimiento de estos organismos a escala local y regional.

Una mejor descripción del impacto de la intensidad de uso del suelo y de los tipos de prácticas productivas sobre las comunidades de lombrices presentes en los agroecosistemas, requiere de monitoreos estacionales y plurianuales. Estos datos podrían plasmarse en otros modelos que también expliquen el efecto de las prácticas de labranza en la dinámica de la población de lombrices. De esta manera, se puede analizar los servicios ecológicos mediados por las especies presentes en los campos y evaluar cuali-cuantitativamente los efectos que las prácticas de cultivo ejercen sobre el estado de salud del suelo.

Referencias Bibliográficas

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Adámoli, J.; Tonella, S.; Ginzbrug, R. 2004. Diagnóstico ambiental del Chaco Argentino. Dirección de Conservación del Suelo y Lucha contra la Desertificación. Secretaría de Ambiente y desarrollo Sustentable. 105 pp. www.ambiente.gov.ar/archivos/web/chaco/file/diagnostico_ambiental_expeditivo.pdf; (se accedió el 02-05-2016).
- Álvarez, C. R.; Fernández, P. L.; Taboada, M. A. 2012. Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos en la región Pampeana. *Ciencia del Suelo (Argentina)*, 30(2):173-178.
- Anderson, J. M.; Ingram, J. S. I. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. 2nd ed. Wallingford, UK, CABI, 221pp.
- Arzamendia, A.; Giraudo, A. R. 2004. Usando patrones de biodiversidad para la evaluación y diseño de áreas protegidas: las serpientes de la provincia de Santa Fe (Argentina) como ejemplo. *Revista Chilena de Historia Natural* 77:335-348.
- Ayuke, F. O.; Brussaard, L.; Vanlauwe, B.; Six, J.; Lelei, D. K.; Kibunja, C. N.; Pulleman, M. M. 2011. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology*, 48:53-62.
- Baker, G. B.; Buckerfield, J.; Grey-Gardner, R.; Richard, R.; Doube. B. 1992. The abundance and diversity of earthworms in pasture soils in the Fleurieu Peninsula, South Australia. *Soil Biology and Biochemistry*, 12:1389-1395.
- Baldi, G.; Paruelo, J. M. 2008. Land-Use and Land Cover Dynamics in South American Temperate Grasslands. *Ecology and Society*. 13(2):6, 1-20.
- Baridón, J. E. 2015. Cambios físicos, químicos y microbiológicos en suelos subtropicales de la provincia de Formosa ante el proceso de agriculturización. Un aporte al conocimiento de la calidad del suelo y sus indicadores. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Agrarias y Forestales. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires. 114 pp.
- Barot, S.; Rossi, J. P.; Lavelle, P. 2007. Self-organization in a simple consumer resource system, the example of earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 39:2230-2240.
- Barros, E.; Grimaldi, M.; Sarrazini, M.; Chauvel, A.; Mitja, D.; Desjardins, T.; Lavelle, P. 2004. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazonia. *Applied Soil Ecology*, 26:157-168.
- Bartz, M. L. C.; da Costa, A. C. S.; Tormena, C. A.; de Souza Jr., I. G.; Brown, G. G. 2010. Sobrevivência, produção e atributos químicos de coprólitos de minhocas em um Latossolo Vermelho distroférico (Oxisol) sob diferentes sistemas de manejo. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, Número Especial 2:261-280.
- Bartz, M. L. C.; Pasini, A.; Brown, G. G. 2013. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. *Applied Soil Ecology* 69:39-48.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Bartz, M. L. C.; Brown, G.G.; da Rosa, M. G.; Filho, O. K.; James, S. W.; Decaëns, T.; Baretta, D. 2014. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. *Applied Soil Ecology* 83:59-70.
- Bauer, C.; Römcke, J. 1997. Factors influencing the toxicity of two pesticides on three lumbricid species in laboratory tests. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 05-708.
- Baver, L. D.; Gardner, W. H.; Gardner, W. R. 1973. *Física de suelos*. Ed. UTEHA. México. 529 pp.
- Bedano, J. C.; Domínguez, A. 2016. Large-scale agricultura management and soil meso and macrofauna conservation in the Argentine Pampas. *Sustainability*, 8, 653,1-25.
- Beddard, F. E. 1895. *A monograph of the order of Oligochaeta*. Oxford: Clarendon Press. 806pp
- Begon, M.; Townsend, C. R.; Harper, J. L. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*, cuarta edición. Blackwell, Oxford. 738 pp.
- Bertrand, M.; Barot, S.; Blouin, M.; Whalen, J.; de Oliveira, T.; Roger-Estrade, J. 2015. Earthworm services for cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 553-567.
- Birkas, M.; Jolankai, M.; Gyuricza, C.; Percze, A. 2004. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil Tillage Research*, 78:185-196.
- Blanchart, E.; Lavelle, P.; Braudeau, E.; Le Bissonnais, Y.; Valentin, C. 1997. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. *Soil Biology and Biochemistry* 29:431-439.
- Blanchart, E.; Albrecht, A.; Alegre, J.; Duboisset, A.; Gilot, C.; Pashanasi, B.; Lavelle, P. Brussaard, L. 1999. Effects of earthworms on soil structure and physical properties. *In: Lavelle, P.; Brussaard, L.; Hendrix, P. (eds.). 1999. Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*. CAB International, Oxon, UK. 149-172.
- Blouin, M.; Hodson, M. E.; Delgado, E. A.; Baker, G.; Brussaard, L.; Butt, K. R.; Dai, J.; Dendooven, L.; Peres, G.; Tondoh, J. E.; Cluzeau, D.; Brun, J. J. 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *Europe Journal of Soil Science* 64:161-182.
- Bockstaller, C.; Girardin, P. 2003. How to validate environmental indicator. *Agricultural Systems*, 76:639-653.
- Bohlen, P. J.; Parmelee, R. W.; McCartney, D. A.; Edwards, C. A. 1997. Earthworm effects on carbon and nitrogen dynamics of surface litter in corn agroecosystems. *Ecological Applications*, 7:1341-1349.
- Bohlen, P. J.; Edwards, C. A.; Zhang, Q.; Parmelee, R. W.; Allen, M. 2002. Indirect effects of earthworms on microbial assimilation of labile carbon. *Applied Soil Ecology* 20:255-261.
- Boletta, P. E.; Ravelo, A. C.; Planchuelo, A. M.; Grilli, M. 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management* 228:108-14.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Borges, S. 2004. The current status of research on territorial Oligochaetes of Puerto Rico. En: Moreno, A. G.; Borges, S. (Eds.). *Avances en taxonomía de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta)*. Editorial Complutense, Madrid, 275-298.
- Bossuyt, H.; Six, J.; Hendrix, P. F. 2005. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry* 37:251-258.
- Bouché, M. B. 1972. *Lombriciens de France: ecologie et systematique*. Paris: INRA.
- Bouché, M. B. 1977. *Stratégies lombriciens*. In: Lohm, U.; Persson, T. (eds.). *Soil organisms as components of ecosystems*. Ecology Bulletin N° 25. Swedish Natural Science Research Council, Stockholm, 122-132.
- Bozarth, M. A.; Farrish, K. W.; Damoff, G. A.; James VanKley, J.; Young, J. L. 2016. Spatial Distribution of Earthworms in an East Texas Forest Ecosystem. *Applied Soil Ecology*, 104:91-103.
- Brady, N. C.; Well, R. R. 2002. *The Nature and Properties of Soils*. 13th Edition, ISBN 0-13-016763-0. Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J., 960 pp.
- Brévault, T.; Bikay, S.; Maldés, J. M.; Naudin, K. 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil and Tillage Research* 97:140-149.
- Briones, M. J. I.; Ostle, N. J.; McNamara, N. P.; Poskitt, J. 2009. Functional shifts of grassland soil communities in response to soil warming. *Soil Biology and Biochemistry* 47:315-322.
- Brown, G. G.; Pashanasi, B.; Villenave, C.; Patron, J. C.; Senapati, B. K.; Giri, S.; Barois, I.; Lavelle, P.; Blanchart, E.; Blakemore, R. J. Spain, A. V.; Boyer, J. 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: Lavelle, P.; Brussaard, L.; Hendrix, P. F. (Eds.). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. Wallingford: CBA International, 87-147.
- Brown, G. G.; Barois, I.; Lavelle, P. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Europe Journal of Soil Biology*, 36:177-198.
- Brown, G. G.; Pasini, A.; Benito, N. P.; Aquino, A. M. Correia, M. E. F. 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems. *In: Proceeding of the International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. Montreal: UNU and CBD. CD-ROM.
- Brown, G. G.; Benito, N. P.; Pasini, A.; Sautter, K. D.; Guimaraes, M. F.; Torres, E. 2003. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná state, Brazil. *Pedobiologia*, 47:764-771.
- Brown, G. G.; Moreno, A. G.; Barois, I.; Fragoso, C.; Rojas, P.; Hernández, B.; Patron, J. C. 2004. Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103:313-327.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Brown, G. G.; James, S. W.; Pasini, A.; Nunes, D. H.; Benito, N. P. Martins, P. T.; Sautter, K. D. 2006. Exotic, peregrine and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution and effects on soils and plants. *Caribbean Journal of Science*, 42:111-117.
- Brown, G. G.; James, S. W. 2007. Biodiversidade e biogeografia das minhocas no Estado de Sao Paulo, Brasil. *In*: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Eds.). *Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 391-400.
- Brussaard, L. 1999. On the mechanisms of interactions between earthworms and plants. *Pedobiologia* 43:880-885.
- Brussaard, L.; de Ruiter, P. C.; Brown, G. G. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121:233-244.
- Bueno, C. G.; Barrio, I. C.; García-González, R.; Alados, C. L.; Gómez-García, D. 2010. Does wild boar rooting affect livestock grazing areas in alpine grasslands? *European Journal of Wildlife Research*, 56:765-770.
- Bueno, C. G.; Azorín, J.; Gómez-García, D.; Alados, C. L.; Badía, D. 2013. Occurrence and intensity of wild boar disturbances: effects on the physical and chemical soil properties of alpine grasslands. *Plant Soil* 373:243-256.
- Bueno, C. G.; Jiménez, J. J. 2014. Livestock grazing activities and wild boar rooting affect alpine earthworm communities in the Central Pyrenees (Spain). *Applied Soil Ecology* 83:71-78.
- Burkart, R.; Bárbaro, N. O.; Sánchez, R. O.; Gómez, D. A. 1999. Eco-regiones de la Argentina. Programa de Desarrollo Institucional, Componente de Política Ambiental, Administración de Parques Nacionales. Buenos Aires, Argentina, 42 pp.
- Butt, K. R.; Lowe, C. N. 2004. Anthropogenic influences on earthworm distribution, Isle of Rum National Nature Reserve, Scotland. *European Journal of Soil Biology*, 40:63-72.
- Cabrera, A. L. 1994. Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Editorial Acme, Buenos Aires, Argentina:1-85.
- Cabrera, G; Crespo, G. 2001. Influence of the edaphic biota on soil fertility in grassland ecosystems. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 35(1):3-8.
- Cabrera J. A. M. & Vidal I. R. 2010. Efecto del manejo de residuos agrícolas en lombrices de tierra (Oligochaeta) en suelos de origen volcánicos. *Congreso Internacional de Investigación de Academia Journals*. Volumen III. Chiapas, México.
- Callahan, M. A.; Blair, J. M.; Todd, T. 2003. Macroinvertebrates in north american tallgrass prairie soils: effects of fire, mowing, and fertilization on density and biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 35:1079-1093.
- Capowiez, Y.; Cadoux, S.; Bouchant, P.; Ruy, S.; Roger-Estrade, J.; Richard, G.; Boizard, H. 2009 The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 105: 209–216.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Carnovale, D.; Baker, G.; Bissett, A.; Thrall, P. 2015. Earthworm composition diversity and biomass under three land use systems in south-eastern Australia. *Applied Soil Ecology* 88:32-40.
- Carpenter-Boggs, L.; Kennedy, A. C.; Reganold, J. P. 2000. Organic and biodynamic management: effects on soil biology. *Soil Science Society American Journal* 64:1651-1659.
- Casabé, N.; Piola, L.; Fuchs, J.; Oneto, M. L.; Pamparato, L.; Basack, S.; Giménez, R.; Massaro, R.; Papa, J. C.; Kesten, E. 2007. Ecotoxicological assessment of the effects of glyphosate and chlorpyrifos in an Argentine soya field. *Journal of Soils and Sediments*, 7:232-239.
- Casas, R. 2001. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, tomo LV, 247 pp.
- Castignani, H. 2011. Zonas Agroeconómicas homogéneas Santa Fe. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina, 61 pp.
- Chan K. Y. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity-implications for functioning in soils. *Soil and Tillage Research*, 57(4):179-191.
- Chan, K. Y.; Heenan, D. P. 2006. Earthworm population dynamic in conservation tillage systems in south-eastern Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 44:425-431.
- Chan, K.Y.; Barchia, I. 2007. Soil compaction controls the abundance, biomass and distribution of earthworms in a single dairy farm in south-eastern Australia, *Soil and Tillage Research*, 94:75-82.
- Christoffersen, M. L. 2008. A catalogue of the Ocnerodrilidae (Annelida, Oligochaeta) from South America. *Italian Journal of Zoology*, 75(1):97-107.
- Cluzeau, D.; Binet, F.; Vertes, F.; Simon, J. C.; Riviere, J. M.; Trehen, P. 1992. Effects of intensive cattle trampling on soil-plant-earthworms system in two grassland types. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:1661-1665.
- Cognetti de Martiis, L. 1901. Oligocheti raccolti dal Dott. F. Silvestri nel Chile e nella Republica Argentina. *Bollettino di Zoologia ed Anatomia Comparata della Reale Università di Torino*. 16, 1-2.
- Colwell, R. K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.1.0. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.
- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet). 2012. La Argentina en mapas: evolución de la agricultura. Disponible en: <http://www.laargentinaenmapas.com.ar/caste/gale.htm> (se accedió el 02-06-2016).
- Correia, F. V.; Moreira, J. C. 2010. Effects of glyphosate and 2,4-D on earthworms (*Eisenia foetida*) in laboratory tests. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85(3):264-268.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Costello, D. M.; Lamberti, G. A. 2009. Biological and physical effects of non-native earthworms on nitrogen cycling in riparian soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 41:2230-2235.
- Craig E. 1992. Efectos del uso y las características del suelo sobre la ocurrencia y abundancia de lombrices de tierra. Trabajo final de graduación en Ingeniería Agronómica. UNLuján, 125 pp.
- Crittenden, S. J.; Eswaramurthy, T.; de Goede, R. G. M.; Bussaard, L.; Pulleman, M. M. 2014. Effect of tillage on earthworms over short- and medium-term in conventional and organic farming. *Applied Soil Ecology* 83:140-148.
- Csuzdi, C. 1996. Revision der Unterfamilie Benhamiinae Michaelsen, 1897 (Oligochaeta: Acanthodrilidae). *Mitteilungen aus dem Museum für Naturkunde in Berlin* 72:347-367.
- Csuzdi, Cs.; Pavlicek, T.; Nevo, E. 2008. Is *Dichogaster bolau* (Michaelsen, 1891) the first domicile earthworm species? *European journal of soil biology* 44:196-201.
- Cunha, L.; Montiel, R.; Novo, M.; Orozco-terWengel, P.; Rodrigues, A.; Morgan, A. J.; Kille, P. 2014. Living on a volcano's edge: genetic isolation of an extremophile terrestrial metazoan. *Heredity* 112:132-142.
- Cunha, L.; Brown, G. G.; Stanton, D. W.; Da Silva, E.; Hansel, F.A.; Jorge, G.; McKey, D.; Vidal-Torrado, P.; Macedo, R. S.; Velásquez, E.; James, S. W.; Lavelle, P.; Kille, P.; the Terra Preta de Indio Network. 2016. Soil animals and pedogenesis: the role of earthworms in anthropogenic soils. *Soil Science*, Vol 181 (3/4):110-125.
- Curry, J. P. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. In: Edwards, C. A. (Ed.), *Earthworm Ecology*, C. R. C. Press, Boca Raton, 37-64.
- Curry, J. P. 2004. Factors affecting the abundance of earthworms in soils. *In*: Edwards C. A. (Ed.). *Earthworm ecology*. Boca Raton: C. R. C. Press L. L. C.,91-114.
- Curry, J. P.; Doherty, P.; Purvis, G.; Schmidt, O. 2008. Relationships between earthworm populations and management intensity in cattle-grazed pastures in Ireland. *Applied Soil Ecology* 39: 58-64.
- Darwin, C. 1881. *The Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms, With Observations on Their Habits*. London, J. Murray, 326 pp.
- de Oliveira, T.; Bertrand, M.; Roger-Estrade, J. 2012. Short-term effects of ploughing on the abundance and dynamics of two endogeic earthworm species in organic cropping systems in northern France. *Soil and Tillage Research*, 119:76-84.
- de Vries, F. T.; Thébault, E.; Liri, M.; Birkhofer, K.; Tsiafouli, M. A.; Bjørnlund, L.; Bracht Jørgensen, H.; Brady, M. V.; Christensen, S.; de Ruiter, P. C.; d'Hertefeldt, T.; Frouz, J.; Hedlund, K.; Hemerik, L.; Gera Hol, W. H.; Hotes, S.; Mortimer, S. R.; Setälä, H.; Sgardelis, S. P.; Uteseny, K.; van der Putten, W. H.; Wolters, V.; Bardgett, R. 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110:14296-14301.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Díaz Porres, M.; Rionda, M. H.; Duhour, A. E.; Momo, F. R. 2014. Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria. *Ecología Austral* 24:327-334.
- Dinerstein, E.; Olson, D. M.; Graham, D. J.; Webster, A. L.; Primm, S. A.; Bookbinder, M. P.; Ledec, G. 1995. A conservation assessment of the territorial ecoregiones of Latin América and Caribbean. The World Bank & World Wildlife Foundation, Washington, District of Columbia, USA. 9 Mpas + 129 pp.
- Dlamini, C. T.; Haynes, J. R. 2004. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Applied Soil Ecology*, 27:77-88.
- Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. *In*: Edwards, C. A. (Ed.). *Earthworm Ecology*. 2nd Ed. C. R. P. Press, Boca Raton, Florida, 381-424.
- Domínguez, A.; Bedano, J. C.; Becker, A. R. 2009a. Cambios en la comunidad de lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina) como consecuencia del uso de la técnica de siembra directa en el centro-sur de Córdoba, Argentina. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 27(1):11-19.
- Domínguez, J.; Aira, M.; Gómez-Brandón, M. 2009b. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas* 18 (2):20-31.
- Domínguez, N.; Orsini, G. 2009. Impactos en la estructura agraria de la ampliación de la frontera agrícola en base a la expansión del cultivo de soja en la Región Pampeana: la historia reciente de Entre Ríos. 1^a Ed. Buenos Aires: Ediciones Cooperativas.
- Domínguez, A.; Camilo, J. C.; Becker, A. R. 2010. Negative effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. *Soil and Tillage* 110,51-59.
- Domínguez, N.; Orsini, G. A.; Beltrán, A. L. 2013. Impactos Territoriales de las Transformaciones en la Matriz Agropecuaria en la región Central Argentina. VI Jornadas de Economía Crítica. Economía Política y Política Económica. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina, 1-21.
- Domínguez, A.; Bedano, J. C.; Becker, A. R.; Arolfo, R. V. 2014. Organic farmig forest agroecosystem functioning Argentinian températe soils: Evidence from litter decomposition and soil fauna. *Applied Soil Ecology*, 83:170-176.
- Domínguez, A.; Bedano, J. C. 2016. Earthworm and enchytraeid co-occurrence pattern in organic and conventional farming: consequences for ecosystem engineering. *Soil Science*, Vol. 181 (3/4):148-156.
- Doran, J. W.; Parkin, T. B. 1994. Defining and assessing soil quality. *In*: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. C.; Stewart, B. A. (eds). *Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environments*. Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA, 3-21.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Doran, J. W. 2002. Soil health and global sustainability translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88:119-127.
- Dotson, D. B.; Kalisz, P. J. 1989. Characteristics and ecological relationships of earthworm assemblages in undisturbed forest soils in the southern Appalachians of Kentucky, USA. *Pedobiología*. 33: 211-220.
- Drager, K. I.; Hirmas, D. R.; Hasiotis, S. T.; Bents, T. C. 2016. Effects of Ant (*Formica subsericea*) Nest Development on Physical and Hydrological Properties in a Coarse-Textured Soil. *Soil Science*, 181 (3/4):166-174.
- Duhour, A.; Falco, L.; Sabatté, L.; Momo, F. 2009. Response of earthworm communities to soil disturbance: fractal dimension of soil and species' rank-abundance curve. *Applied Soil Ecology*, 43:83-88.
- Duhour, A. 2011. Interrelaciones entre la comunidad de lombrices de tierra y la estructura y uso del suelo que habitan: Dominios funcionales y cambios estructurales. Tesis (Doctoral) – Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires, 152 pp.
- Dupont, L.; Decaëns, T.; Lapied, E.; Chassany, V.; Marichal, R.; Dubs, F.; Maillot, M.; Roy, V. 2012. Genetic signature of accidental transfer of the peregrine earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Clitellata, Glossoscolecidae) in French Guiana. *European Journal of Soil Biology* 53:70-75.
- Edwards C. A. 1984. Changes in agricultural practice and their impact upon soil organisms. *In*: Jenkins D. (Ed.). *The impact of agriculture on wildlife, agriculture and the environment*. Proceedings of ITE symposium N° 13. Monks Wood Experimental Station, Sawtry, Cambridgeshire, UK, 56-65.
- Edwards, C. A.; Bohlen, P. J. 1996. *Biology and ecology of earthworms*. 3rd Ed. Chapman and Hall, London, 426 pp.
- Eijsackers, H.; Beneke, P.; Maboeta, M.; Louw, J. P. E.; Reinecke, A. J. 2005. The implications of copper fungicide usage in vineyards for earthworm activity and resulting sustainable soil quality. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62:99-111.
- Eisen, G. 1896. Pacific Coast Oligochaeta II. *Memoirs of the California Academy of Science*, 2:123-198.
- Emiliani, F.; Ljungström, P. O.; Priano, L.; Gutierrez, T.; Calamunte, R. 1971. Sobre la ecología de la *Eukerria halpophila* (Oligochaeta, Ocneroдрilidae). *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Biol.)*, 69:19-22.
- Emiliani, F.; Orellana, J. A.; Ljungström, P. O. 1973. Contribución al conocimiento de la ecología de *Eukerria eiseniana* (Oligochaeta, Acanthodrilidae). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. IDIA, Suplemento* 29:50-54.
- Emmerling, C. 2001. Response of earthworm communities to different types of soil tillage. *Applied Soil Ecology* 17:91-96.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Enckell, P. H.; Rundgren, S. 1988. Anthropochorous earthworms (Lumbricidae) as indicators of abandoned settlements in the Faroe Islands. *Journal of Archaeological Science*, 15: 439-451
- Eriksen-Hamel N. S.; Speratti, A. B.; Whalen, J. K.; Légeré, A.; Madramootoo, C. A. 2009. Earthworm populations and growth rates related to long-term crop residue and tillage management. *Soil and Tillage Research*, 104(2):311-316.
- Ernst, G.; Felten, D.; Volhand, M.; Emmerling, C. 2008. Impact of ecologically different earthworm species on soil water characteristics. *Europe Journal of Soil Biology*, 45:207-213.
- Ernst G.; Emmerling, C. 2009. Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass and community composition of earthworms after a ten year period. *Europe Journal of Soil Biology*, 45(3):247-251.
- Erséus, C.; P. Omodeo, P.; Rota, E. 1994. The first records of the allochthonous species *Dichogaster saliens* and *D. bolau* (Oligochaeta: Octochaetidae) from Sweden. *Megadrilogica* 6(2):17-20.
- Espinosa, T. E. 2003. ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos: ciencia y cultura*, Vol. 52. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, 53-56.
- Falco, L. B.; Momo F. R.; Craig E. B. 1995. Asociación de lombrices de tierra y su relación con la cobertura vegetal en suelos forestados de Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 68:523-528.
- Falco, L. B.; Momo, F. R. 1998. Farming practice of soil fauna: changes in earthworm communities. In: *International Symposium on earthworm ecology*, 6. Universidad de Vigo y Universidad Complutense de Madrid, 99 pp.
- Falco, L. B.; Momo, F. R.; Mischis, C. C. 2007. Capítulo 15: Ecología y biogeografía de las lombrices de tierra en la Argentina. In: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Ed.). *Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 247-253.
- Falco, L. B.; Sandler, R.; Momo, R.; Di Ciocco, C.; Saravia, L. Coviella, C. 2015. Earthworm assemblages in different intensity of agricultural uses and their relation to edaphic variables. *PeerJ* 3:1-18.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. *State of the World's Forests 2011*. FAO, Roma, Italia, 168 pp. FAOSTAT. 2015. Dirección de Estadística de la FAO Economic and Social Development Department, Italy. <http://faostat3.fao.org> (se accedió el 04/05/2016).
- Feijoo, A.; Knapp, B. E.; Lavelle, P. Moreno, A. G. 1999. Quantifying soil macrofauna in a Colombian watershed. *Pedobiologia* 43:513-517.
- Feijoo, A. 2001. Impacto del uso del la tierra en áreas de laderas sobre comunidades e macrofauna del suelo (Caldono, Cauca, Colombia). Tesis (Doctorado) – Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 216 pp.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Feijoo, M. A.; Quintero, H.; Fragoso, C. E. 2006. Earthworm communities in forest and pastures of the Colombian Andes. *Caribbean Journal of Science* 42:301-310.
- Feijoo, A. 2007. Capítulo 6: Registros históricos y listado de las lombrices de tierra de Colombia. *In: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Ed.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 133-145.
- Feller, C.; Brown, G. G. Blanchart, E.; Deleporte, P.; Chernyanskii, S. S. 2003. Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: Various lessons from past to future. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 99:29-49.
- Ferruzzi, C. 1987. *Manual de lombricultura*. Editorial Mundi Prensa. Madrid-Castelo 37. Madrid, España. 138 p.
- Flohre, A.; Rudnick, M.; Traser, G.; Tschardtke, T.; Eggers, T. 2011. Does soil biota benefit from organic farming in complex vs simple landscapes? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141:210-214.
- Fragoso C.; Lavelle, P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology and Biochemistry* 24:1397-1408.
- Fragoso, C.; Rojas, P. 1994. Earthworms from southeastern Mexico. New acanthodriline genera and species (Megascolecidae, Oligochaeta). *Megadrilogica*, Vol.6 (1):1-12.
- Fragoso, C.; Lavelle, P. 1995. Are earthworms important in the decomposition of tropical litter? *In: Reddy, M. V. (Ed.). Soil organisms and litter decomposition in the tropics*. New Delhi: Oxford & IBH, 104-112.
- Fragoso, C.; Brown, G. G.; Patrón, J. C.; Blanchart, E.; Lavelle, P.; Pashanasi, B.; Senapati, B. K.; Kumar, T. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and ecosystem function: the role of earthworms. *Applied Soil Ecology*, 6:17-35.
- Fragoso, C.; Kanyonyo, J.; Moreno, A. G.; Senapati, B. K.; Blanchart, E.; Rodríguez, C. 1999a. A survey of tropical earthworms: taxonomy, biogeography and environmental plasticity. *In: Lavelle, P.; Hendrix, P.; Brussaard, L. (Eds.). Earthworm management in tropical agroecosystems*. Wallingford: CAB International. 1-26.
- Fragoso, C.; Lavelle, P.; Blanchart, E.; Senapati, B. K.; Jiménez, J. J.; Marínez, M. A.; Decaëns, T.; Tondoh, J. 1999b. Earthworm communities of tropical agroecosystems: Origin, structure and influence of management practices. *In: Lavelle, P.; Brussaard, L.; Hendrix, P. F. (Eds.). Earthworm management in tropical agroecosystems*. Wallingford: CAB International, 27-55.
- Fragoso, C. 2001. Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): diversidad, ecología y manejo. *Acta Zoológica Mexicana*, Número especial 1:131-171.
- Fragoso, C.; Brown, G. G. 2007. Ecología y taxonomía de las lombrices de tierra en Latinoamérica: El primer Encuentro Latino-Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetos

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

(ELAETAO 1). *En*: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Eds.). *Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 25-68.

- Fraser, P. M.; Williams, P. H.; Haynes, R. J. 1996. Earthworm species, population size and biomass under different cropping systems across the Canterbury Plains, New Zealand, *Applied Soil Ecology*, 3:49-57.

- Galantini, J.; Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, 25:41-55.

- García-Pérez, J. A.; Alarcón-Gutiérrez, E.; Perroni, Y.; Barois, I. 2014. Earthworm communities and soil properties in shaded coffee plantations with and without application of glyphosate. *Applied Soil Ecology*, 83:230-237.

- Gates, G. E. 1967. On the earthworm fauna of the great American desert and adjacent areas. *Great Basin Naturalist*, 27:142-176.

- Gates, G. E. 1970. *Miscellanea megadrilologica VII*. *Megadrilologica* 1(2):1-14.

- Gee, G.W., Bauder, J. W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph N° 9, second ed. ASA and SSSA, Madison, WI, 383-411.

- Geissen, V.; Peña-Peña, K.; Huerta, E. 2009. Effects of different land use on soil chemical properties, decomposition rate and earthworm communities in tropical Mexico. *Pedobiologia*, 53:75-86.

- Gerard, B. M. 1967. Factors affecting earthworms in pastures. *Journal of Animal Ecology* 36: 235-252.

- Giménez, C.; Fereres, E.; Ruz, C.; Orgaz, F. 1997. Water relations and gas exchange of olive trees: diurnal and seasonal patterns of leaf water potential, photosynthesis and stomatal conductance. *Acta Horticulturae*, 449:411-415.

- Gobierno de Santa Fe. 2016. *La provincial de Santa Fe. Ubicación*.

<https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/93668#> (se accedió el 05/06/2016).

- Godoy, J. L.; Vega J.R.; Marchetti, J.L. 2014. Relationships between PCA and PLS-regression. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 130:182-191.

- Gómez, A. A.; Swete Kelly, D. E.; Syers, J. K.; Coughlan, K. J. 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. *Methods for assessing soil quality, SSSA Special Publication 49*: 401-410. Soil Science Society of America.

- Gómez Pamies, D. F.; Godoy, M. C.; Coronel, J. M. 2016. Macrofauna edáfica en ecosistemas naturales y agroecosistemas de la eco-región Esteros del Iberá (Corrientes, Argentina). *Ciencia del Suelo (Argentina)* 34(1):43-56.

- Goudie A. S. 1988. The geomorphological role of termites and earthworms in the tropics. In: Viles H. A. (ed.). *Biogeomorphology*, 166-192.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Grosso, E.; Jorge, G.; Brown, G. G. 2006. Exotic and native earthworms in various land use systems of central, southern and eastern Uruguay. *Caribbean Journal of Science*, 42(3):294-300.
- Grosso, E. G.; Brown, G. G. 2007. Biodiversidad y ecología de las lombrices de tierra en el Uruguay. *En: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Eds.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 275-280.
- Gutiérrez-Sarmiento, M. C.; Cardona, C. M. 2014. Caracterización ecológica de las lombrices de tierra (*Pontoscolex corethrurus*) como indicadores de suelos compactados en condiciones de alta humedad del suelo con diferentes coberturas vegetales (Zipacón, Cundinamarca). *Revista Científica*, 19:41-55.
- Haynes, R. J.; Dominy, G. S.; Graham, M. H. 2003. Effect of agricultural land-use on soil organic matter status and the composition of earthworm communities in KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95:453-464.
- Hendrix, P. F.; Bohlen, P.J. 2002. Exotic earthworm invasions in North America: ecological and policy implications. *BioScience* 52:801-811.
- Heredia, O. S.; Giuffré, L.; Gorleri, F. J.; Conti, M. E. 2006. Calidad de los suelos del norte de Santa Fe. Efecto de la geomorfología y el uso de la tierra. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 24 (2):109-114.
- Herrera, J. A.; Mischis, C. C. 2007. Capítulo 16: Lombrices de tierra de las Yungas: taxonomía, biogeografía y ecología en áreas de selva subtropical (Provincia de Jujuy, Argentina). *In: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Ed.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 255-264.
- Höfer, H.; Hanagarth, W.; García, M.; Martus, C.; Franklin, E.; Römcke, J.; Beck, L. 2001. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian antropogenic and natural ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 37: 229-235.
- Hole F. D. 1981. Effects of animals on soil. *Geoderma*. 25:75-112.
- Huerta, E; Rodríguez-Olán, J.; Evia-Castillo, I.; Montejó-Meneses, E.; Cruz-Mondragón, M.; García-Hernández, R. 2005. La diversidad de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) en el Estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, Volumen 21(42):73-83.
- Huerta, E. 2007. Las lombrices de tierra de Tabasco: perspectivas de manejo. *In: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Ed.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 117-132.
- Huerta, E.; Van del Wal, H. 2012. Soil macroinvertebrates' abundance and diversity in home gardens in Tabasco, México, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *European Journal of Soil Science*, 50:68-75.
- Ivask, M.; Kuu, A.; Sizov, E. 2007. Abundance of earthworm species in Estonian arable soils. *European Journal of Soil Biology*, 43:39-42.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Jaluf, A. C. 2011. Suelos y ambientes de Santa Fe. En: Panigatti, J. L.; Cruzate, G. A.; Vivas, H. (eds.) 2007. Instituto de Suelos. INTA. Disponible en <http://inta.gob.ar/imagenes/santafe.jpg/view> (se accedió el 08/07/2016).
- Jackson, M. L. 1976. Determinación de los cationes metálicos canjeables de los suelos. (p.:123-189). En: Análisis químico de suelos. Ed. Omega S. A., Barcelona, España, 662 pp.
- James, S. 2000. Earthworms (Annelida: Oligochaeta) of the Columbia River Basin Assessment Area. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, OR, US. 13 pp.
- Jänsch S.; Römbke, J.; Didden, W. 2005. The use of enchytraeids in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62:266-277.
- Jiménez, J. J.; Brown, G. G.; Decaëns, T.; Feijoo, A. Lavelle, P. 2001. Differences in the timing of diapauses and patterns of aestivation in tropical earthworms. In: Jimenez, J. J.; Thomas, R. J. (Eds.). *Nature's Plow: Soil Macroinvertebrate Communities in the Neotropical Savannas of Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 121-136.
- Jiménez, J. J.; Decaëns, T.; Mariani, L.; Lavelle, P. 2007. Biología y ecología de las lombrices de tierra de las sabanas neotropicales de Colombia. *In: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Eds.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 147-165.
- Jiménez, J. J.; Decaëns, T.; Lavelle, P.; Rossi, J. P. 2012. Soil environmental heterogeneity allows spatial co-occurrence of competitor earthworm species in a gallery forest of the Colombian "Llanos". *Oikos* 121:915-926.
- Johnson-Maynard J. L.; Umiker, K. J.; Guy S. O. 2007. Earthworm dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. *Soil and Tillage Research*, 94(2):338-345.
- Jones, D.T.; Taylor, W.R.; Thornton, J.M. 1994. A model recognition approach to the prediction of all-helical membrane protein structure and topology. *Biochemistry* 33 (10): 3038-3049.
- Keller, T.; Häkansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154:398-406.
- Kherbouche, D.; Bernhard-Reversat, F.; Moali, A.; Lavelle, P. 2012. The effect of crops and farming practices on earthworm communities in Soummam valley, Algeria. *European Journal of Soil Biology* 48:17-23.
- Kirchner M. J.; Wollum II, A. F.; King, L. D. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 57(5):1289-1295.
- Kladvko, E. J.; Akhoury, N. M.; Weesies, G. 1997. Earthworm populations and species distributions under no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(3-4):613-615.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Kladvko, E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*, 61: 61–76.
- Lálberte, E.; Tylianakis, J. M. 2011. Cascading effects of long-term land-use changes on plant traits and ecosystem functioning. *Ecology*, 93:145-155.
- Lamparski, F.; Kobel-Lamparski, A. 1988. Bodenprofil und Bodentransport unter dem Einfluß der tiefgrabenden Regenwurmart *Lumbricus badensis*. *Pedobiologia*. 31:189-198.
- Lavelle, P. 1981. Stratégies de reproduction chez les vers de terre. *Acta Oecol.* 2:117-133.
- Lavelle, P. 1983. The soil fauna of tropical savannas. I. The community structure. In: Bourlière, F (Ed.). *Tropical savannas*. Amsterdam: Elsevier, 477-484.
- Lavelle, P.; Barois, I.; Cruz, C. Hernández, A.; Pineda, A.; Rangel, P. 1987. Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta), a peregrina geophagous earthworm of the humid tropics. *Biology and Fertility of Soils*, 5:188-194.
- Lavelle, P. 1988. Earthworm activities and the soil system. *Biology and Fertility of Soils*. 6:237-251.
- Lavelle P. 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecology Research*, 27:93-132.
- Lavelle, P.; Pashanasi, B.; Charpentier, F.; Gilot, C.; Rossi, J.P.; Derouard, L.; Andre, J.; Ponge, J.F.; Bernier, N. 1998. Large-scale effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics. *In: Edwards, C.A. (Ed.). Earthworm Ecology*. Saint Lucie Press, London. 389pp.
- Lavelle, P.; Spain, A. V. 2001. *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Lavelle P.; Decaëns T.; Aubert M.; Barot S.; Blouin M.; Bureau F.; Margerie P.; Mora P. & Rossi J. P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42: 3-15.
- Lee, K. E. 1983. Soil animals and pedological processes. In: CSIRO Division of Soils. *Soil: An Australian Viewpoint*. London, Academic Press, 629-644.
- Lee, K. E. 1985. *Earthworms: their ecology and relationships with soil and land use*. Academic Press.
- Lee, K. E. 1987. Peregrine species of earthworms. *In: Bonvicini Pagliai, A. M.; Omodeo, P. (Eds.). Selected Symposia and Monographs 2*, Mucci, Modena: 315-327.
- Lee K. E.; Foster R. C. 1991. Soil fauna and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*, 29(6):745-775.
- Lemtiri, A.; Colinet, G.; Alabi, T.; Cluzeau, D.; Zirbes, L.; Haubruge, E.; Francis, F. . 2014. Impacts of earthworms on soil components and dynamics. A review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 18(1):121-133.
- Leroy, B. L. M.; Van den Bossche, A.; De Neve, S.; Reheul, D.; Moens, M. 2007. The quality of exogenous organic matter: short-term influence on earthworm abundance. *Europe Journal of Soil Biology*, 43(1):196-200.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Leroy, B. L. M.; Schmidt, O.; Van den Bosschea, A.; Reheulc, D.; Moensd, M. 2008. Earthworm population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Pedobiologia*, 52(2):139-150.
- Lewis, J. P.; Collantes, M. B. 1974. La vegetación de la provincia de Santa Fe. Reseña general y enfoque del problema. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 15:343-356.
- Ligthart, T. N. 1997. Thin section analysis of earthworm burrow disintegration in a permanent pasture. *Geoderma*, 75:135-148.
- Ljungström, P. O. 1971. Sistemática de los oligoquetos santafesinos. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*. 2:39-42.
- Ljungström, P. O.; Emiliani, F. 1971. Contribución al conocimiento de la ecología y distribución geográfica de las lombrices de tierra (oligoquetos) de la Provincia de Santa Fe (Argentina). *IDIA*, 19-32.
- Ljungström, P. O.; Priano, J. J.; Orellana, J. 1972. Relación entre lombrices y composición de suelo. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*, 3:93-99.
- Ljungström P. O.; de Orellana J. A. & Priano J. J. L. 1973. Influence of some edaphic factors on earthworms distribution in Santa Fe Province (Argentina). *Pedobiología* 13:236-247.
- Ljungström P. O.; Emiliani F. & Righi G. 1975 Notas sobre los oligoquetos (Lombrices de tierra) argentinos. *Revista Asociación Ciencias Naturales del Litoral*, 6:1-42.
- López-Ridaura, S.; Maserá, O.; Astier, M. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological Indicators* 2: 135-148
- Lowe C. N.; Butt K. R. 2002. Influence of organic matter on earthworm production and behaviour: a laboratory based approach with applications for soil restoration. *Europe Journal Soil Biology*, 38(2):173-176.
- Maclaurin, J.; Sterelny, K. 2008. *What is biodiversity?* The University of Chicago Press, Chicago. 224 pp.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1982. Toma de muestras y determinaciones analíticas en suelos y aguas. Dirección General de Extensión e Investigación Agropecuaria. Departamento de Apoyo Analítico. Provincia Santa Fe. Argentina.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd., ISBN 0-632-05633-9 Blackwell Publishing. 260 pp.
- Maitre, M. I.; Rodríguez, A. R.; Masin, C. E.; Ricardo T. 2012. Chapter 2: Evaluation of earthworms present on natural and agricultural-livestock soils of the center northern litoral santafesino. In: *Pesticides - Advances in Chemical and Botanical Pesticide*. Edited by R.P. Soundararajan, Rijeka, Croatia. 382 pp.
- Margalef, R. 1991. *Teoría de los sistemas ecológicos*. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona, España. 290 pp.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Martínez, M. A. 2002. Comunidades de oligoquetos (Annelida: Oligochaeta) en tres ecosistemas con diferente grado de perturbación en Cuba. Tesis (Doctoral) – Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Habana (Cuba).
- Martínez-Ghersa, M. A.; Ghersa, C. M. 2005. Consecuencias de los recientes cambios agrícolas. En: La Transformación de la Agricultura Argentina. Oesterheld, M. (Ed.). Ciencia Hoy, 15:37-45.
- Masin, C. E.; Rodríguez, A. R.; Maitre, M. I. 2011. Evaluación de la abundancia y diversidad de lombrices de tierra en relación con el uso del suelo en el Cinturón Hortícola de Santa Fe (Argentina). Ciencia del Suelo (Argentina) 29(1):21-28.
- Masin, C. E.; Momo, F. R.; Maitre, M. I.; Rodríguez, A. R. Comunidades de oligoquetos terrestres en suelos con diferentes usos y/o manejos en la provincia de Santa Fe, Argentina. IX Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología de Suelos. I Congreso Nacional de Biología Molecular de Suelos. ISBN: 978-987-1676-05-7. Septiembre 2013. Santiago del Estero.
- Masin, C. E.; Maitre, M. I.; Rodríguez, A. R.; Cruz, M. S.; Demonte, M. J.; Vuizot, L. A.; Momo, F. R. Efectos del uso del suelo sobre comunidades de lombrices de tierra. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Producción sustentable en ambientes frágiles. ISBN: 978-987-24771-6-5. Mayo 2014. Bahía Blanca (Buenos Aires).
- Masin, C. E.; Cruz, M. S.; Rodríguez, A. R.; Demonte, M. J.; Vuizot, L. A.; Maitre, M. I.; Almada, M. S. Macrofauna edáfica asociada a diferentes ambientes de un vivero forestal (Santa Fe, Argentina). Ciencia del Suelo (Argentina). 2016. En prensa.
- Mato, S.; Mascato, R.; Trigo, D.; Díaz Cosin, D. J. 1988. Vertical distribution in soil of earthworms in Sierra del Caurel. 1. Species and vegetation types. Pedobiologia 32:193-200.
- Mele, P. M.; Carter, M. R. 1999. Species abundance of earthworms in arable and pasture soils in south-eastern Australia. Applied Soil Ecology, 129-137.
- Michaelsen, W. 1900. Oligochaeta. Das Tierreich 10. Berlin: R. Friedländer Verlag, 575 pp.
- Mijangos, I.; Pérez, R.; Albizu, I.; Garbisu, C. 2006. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. Enzyme and Microbial Technology, 40:100-106.
- Miretti, M. C.; Pilatti, M.; Lavado, R. S.; Imhoff, S. C. 2012. Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en Argiudoles del Centro de la provincial de Santa Fe (Argentina). Ciencia del Suelo (Argentina) 30(1):67-73.
- Mischis C. C. 1991. Las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la Provincia de Córdoba, Argentina. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. 59(3 y 4):187-237.
- Mischis, C. C. 1996. La Oligoquetofauna de la provincial de Córdoba (Annelida, Oligochaeta). In: Di Tada, I. E.; Bucher, E. H. (Ed.). Biodiversidad de la provincia de Córdoba. Fauna, Vol. 1. Río Cuarto: Universidad Nacional de Río Cuarto, 63-70.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Mischis, C. C. 1998. Diversidad, patrones de distribución y estructura comunitaria de la oligoquetofauna terrestre de las Sierras Chicas de la provincia de Córdoba, Argentina. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Física y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.
- Mischis, C. C.; Righi, G. 1999. Contribution to knowledge of the Oligochaetofauna (Annelida, Oligochaeta) from Argentina. *Gayana* 63(2):11-13.
- Mischis, C. C.; Herrera, J. A. D. 2006. Review of the distribution of exotic earthworms (Annelida, Oligochaeta) in Argentina and confirmed examples of their introduction. *Caribbean Journal of Science*, 42(3):285-293.
- Mischis, C. C. 2007. Capítulo 14: Catálogo de las lombrices de tierra de la Argentina (Annelida, Oligochaeta). In: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Ed.). *Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 241-246.
- Mohasin, M.; Bhowmik, P.; Banerjee, A.; Somchoudhury, A. 2005. Effect of some herbicides on earthworm (*Metaphire posthuma*) under field conditions. *Journal of Crop and Weed*, 1:17-19.
- Momo, F.; Giovanetti, C.; Malacalza, L. 1993. Relación entre la abundancia de distintas especies de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) y algunos parámetros fisicoquímicos en un suelo típico de la estepa pampeana. Publicación de la Asociación Argentina de Ecología. Universidad Nacional de Luján. Bs. As. Argentina. 7-14.
- Momo F. R.; Falco L. B. & Craig E. B. 2003. Las lombrices de tierra como indicadores del deterioro del suelo. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 8:55-63.
- Morello, J.; Matteucci, S. D. 2000. Singularidades territoriales y problemas ambientales de un país asimétrico y terminal. *IADE / Realidad Económica* 169:1-14.
- Moreno, A. G. y Borges, S. 2004. Avances en taxonomía de lombrices de tierra = Advances in earthworm taxonomy: Annelida: Oligochaeta. 1ª Edición. ISBN: 8474917530. Editorial Complutense, S. A. 428 pp.
- Mosconi F. P.; Priano L. J. J.; Hein N. E.; Moscatelli G.; Salazar J. C.; Gutiérrez T. & Cáceres L. 1981. Mapa de Suelos de la Provincia de Santa Fe. Tomo I. INTA de Rafaela y Castelar. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Santa Fe (MAG), 246 pp.
- Murchiea, A. K.; Blackshawb, R. P.; Gordono, A. W. 2015. Responses of earthworm species to long-term applications of slurry. *Applied Soil Ecology*, 96: 60–67.
- Nahmani, J.; Lavelle, P.; Lapied, E.; Van Oort, F. 2003. Effects of heavy metal soil pollution on earthworm communities in the north of France. *Pedobiologia*, 47:663-669.
- Nakamura Y. 1988. The effects of soil Management on the soil faunal makeup of a cropped andosol in central Japan. *Soil and Tillage Research*. 12:177-186.
- Navarrete Segueda, A.; Vela Correa, G.; López Blanco, J.; Rodríguez Gamiño, M. L. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS* 80:29-37.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Nogales, R.; Domínguez, J.; Mato, S. 2008. Vermicompostaje. *En*: Moreno, J.; Moral, R. (Eds.). Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 187-207.
- Nosetto, M. D., Jobbagy, E. G.; Paruelo, J. M. 2005. Land-use change and water losses: the case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. *Global Change Biology* 11(7):1101-1117.
- Nunes, D. H.; Pasini, A.; Benito, N. P.; Brown, G. G. 2007. Minhocas como bioindicadoras da qualidade ambiental. Um estudo de caso na região de Jaguapitã, Brasil. *En*: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Eds.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina. Londrina: Embrapa Soja, 461-474.
- Nuutinen, V. 1992. Earthworm community response to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. *Soil and Tillage Research*, 23:221-239.
- Ortiz-Gamino, D.; Pérez-Rodríguez, P.; Ortiz-Ceballos, A. 2016. Invasion of the tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Rhinodrilidae, Oligochaeta) in temperate grasslands. *PeerJ* 4:1-20.
- Panigatti, J. L. 2010 Argentina: 200 años, 200 suelos. Ed. INTA, Buenos Aires, 345 pp.
- Paoletti, M. G. 1987. Soil tillage, soil predator dynamics, control of cultivated plant pests. In: Striganova, B. R. (Ed.). *Soil Fauna and Soil Fertility*. Nauka Moscow: 417-422.
- Paoletti, M. G.; Bressan, M. 1996. Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance. *Critical Reviews in Plant Sciences* 15(1):21-62.
- Paoletti, M. G. 1997. Are there alternatives to wheat and cows in order to improve landscape quality and biodiversity? *In*: Napier, T.; Camboni, S.; Tvrdon, J. (Eds.). *Soil and Water Conservation Policies: Successes and Failures*, Water and Soil Conservation Society, in press.
- Paoletti, M. G. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 74,137-155.
- Parfitt, R.; Yeates, G. W.; Ross, J. D. Schon, N. L.; Mackay, A. D.; Wardle, D. A. 2010. Effect of fertilizer, herbicide and grazing management of pastures on plant and soil communities. *Applied Soil Ecology*, 45:175-186.
- Paruelo, J. M.; Guerschman, J. P.; Verón, S. R. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy*. 15(87):14-23.
- Paruelo, J. M.; Guerschman, J. P.; Piñeiro, G.; Jobbagy, E. G.; Verón, S. R.; Baldi, G.; Baeza, S. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*. X(2):47-61.
- Pashanasi, B. 2007. Las lombrices de tierra en diferentes ecosistemas de la Amazonia Peruana. *In*: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Ed.). *Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 199-205.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Peigné J.; Cannavaciolo, M.; Gautronneau, Y.; Aveline, A.; Giteau, J. L.; Cluzeau, D. 2009. Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil and Tillage Research*, 104(2):207-214.
- Peixoto, R. T.; Marochi, A. I. 1996. A influencia da minhoca *Pheretima sp.* Nas propriedades de um latossolo vermelho escuro álico e no desenvolvimento de culturas em sistema de plantio direto em Arapoti-PR. *Revista Plantio Direto*, 35:23-35.
- Pelosi, C.; Bertrand, M.; Roger-Estrade, J. 2009. Earthworm community in conventional, organic and direct seeding with living mulch cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development* 29:287-295.
- Pelosi, C.; Pey, B.; Hedde, M.; Caro, G.; Capowiez, Y.; Guernion, M.; Peigné, J.; Piron, D.; Bertrand, M.; Cluzeau. 2014a. Reducing tillage in cultivated fields increases earthworm functional diversity. *Applied Soil Ecology* 83:79-87.
- Pelosi, C.; Barot, S.; Capowiez, Y.; Hedde, M.; Vandenbulcke, F. 2014b. Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34:199-228.
- Pop V. V., and T. Postolache. 1987. Giant earthworms build up vermic mountain rendzinas. In: Bonvicini Pagliai A., and P. Omodeo (eds.). *On Earthworms*. Mucchi, Modena, 141-150.
- Postma-Blaauw, M. B.; de Goede, R. G. M.; Bloem, J.; Faber, J. H. Brussaard, L. 2010. Soil biota community structure and abundance under agricultural intensification and extensification. *Ecology*, 91(2):17-25.
- Pulleman, M. M.; Six, J.; Uyl, A.; Marinissen, J. C. Y.; Jongmans, A. G. 2005. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agriculture soils. *Applied Soil Ecology*, 29:1-15.
- Quinn, J. F.; Harrison, S. 1988. Effects of habitat fragmentation and insolation on species richness: evidence from biogeographic patterns. *Oecologia*, 75:132-140.
- Ramírez Pisco, R.; Albertus, R. M. C.; Reinecke, A. A.; Larink, O. 2013. Dinámica de las poblaciones de lombrices en un Andisol sometido a distintos sistemas de uso del suelo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín* 66(2):7045-7055.
- Reinecke A. J.; Albertus R. M. C.; Reinecke, S. A.; Larink, O. 2008. The effects of organic and conventional management practices on feeding activity of soil organisms in vineyards. *African Zoology*, 43(1):66-74.
- Reynolds, J. W. 1974. Are oligochaetes really hermaphroditic amphimictic organisms? *Biologist* 56(82): 90-99.
- Reynolds, J. W.; Reinecke, A. J. 1977. A preliminary survey of the earthworms of the Kruger National Park, South Africa (Oligochaeta: Glossoscolecidae, Megascolecidae and Octochaetidae). *Wet. Bydraes, P.U. vir C.H.O. (B)*, 89:1-19.
- Reynolds J. W. 1996. *Earthworm biology and ecology. Course Manual*. Lindsay: Sir Sandford Fleming College, 196 pp.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Reynolds, J. W. 2014. A checklist by counties of earthworms (Oligochaeta: Lumbricidae) in Wyoming, USA. *Megadrilologica* 16(4):29-36.
- Righi G. 1979. Introducción al estudio de las lombrices del suelo (Oligoquetos Megadrilos) de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*, 10:89-155.
- Riley, H.; Pommeresche, R.; Eltun, R.; Hansen, S.; Korsæth, A. 2008. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 124:275-284.
- Ríos, Y. S. 2005. "Importancia de las Lombrices en la Agricultura" en *Sistemas integrados de producción con no rumiantes*. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Agronomía. Cátedra de Zoología Agrícola.
- Rodríguez, C. 2000. Comunidades de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) en ecosistemas con diferentes grados de perturbación. *Revista de Biología*, 12(2):147-155.
- Rodríguez, C.; Borges, S.; Martínez, M. A.; Fragoso, C.; James, S. W.; González, G. 2007. Biodiversidad y ecología de las lombrices de tierra en las islas caribeñas. *In: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Eds.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 71-90.
- Roger-Estrade, J.; Anger, C.; Bertrand, M.; Richard, G. 2010. Tillage and soil ecology: partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research* 111:33-40.
- Römbke, J.; Jänsch, S.; Didden, W. 2005. The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62(2):249-265.
- Römbke, J. 2007. Taxonomy and biogeography of Peruvian earthworms. *In: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Ed.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 193-198.
- Römbke, J.; Jänsch, S.; García, M. 2007. Earthworms as bioindicators (in particular for the influence of land use). *In: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Ed.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 449-460.
- Rosas-Medina, M. A.; de León-González, F.; Flores-Macias, A.; Payan-Zelaya, F.; Borderas-Tordesillas, F.; Gutiérrez-Rodríguez, F.; Fragoso-González, C. 2010. Effect of tillage, sampling date and soil depth on earthworm population on maize monoculture with continuous stover restitutions. *Soil and Tillage Research*, 108:37-42.
- Sabattini, J. A.; Sabattini, R. A.; Anglada, M. M.; Ayala, F. 2015. Distribución espacial de nidos de hormigas cortadoras en un bosque nativo del Centro Norte de Entre Ríos (Argentina). *Revista Científica Agropecuaria* 19(1-2):17-27.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Santadino M.; Coviella, C.; Momo, F. 2014. Glyphosate sublethal effects on the population dynamics of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). *Water, Air, and Soil Pollution*, 225:1-8.
- Sarandón, S. J. 1998. The development and use of sustainability indicators: a need for organic agriculture evaluation. XII International Scientific Conference IFOAM. M. del Plata, Argentina. 135pp
- Sarandón, S. J.; Marasas, M. E.; Dipietro, F.; Belaus, A.; Muiño, W.; Oscares, E. 2003. Evaluación de la sustentabilidad del manejo de suelos en agroecosistemas de la provincia de La Pampa, Argentina, mediante el uso de indicadores. Resúmenes (CD Rom), I Congresso Brasileiro de Agroecología, IV Seminario Internacional sobre Agroecología, V Seminario Estadual sobre Agroecología, Porto Alegre (RS). EMATER/ ASCAR, Resumen RN117, pp. 4
- Sarandón, S. J.; Zuluaga, M. S.; Cieza, R.; Gómez, C.; Janjetic, L.; Negrete, E. 2006. Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Agroecología* 1: 19-28
- Satchell, J. E. 1980. *r* worms and *K* worms: a basis for classifying lumbricid earthworm strategies. In Dindal, D. L. (Ed.). *Soil biology as related to land use practices: Proceedings of the VII International Soil Zoology Colloquium*. EPA, Washington D. C., 848-863.
- Satorre, E. H. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura actual. *En: La Transformación de la Agricultura Argentina*. Oesterheld, M. (Ed.). *Ciencia Hoy*, 15:24-31.
- Sautter, K. D.; Brown, G. G.; Pasini, A.; Benito, N. P.; Nunes, D. H. James, S. 2007. Ecología e biodiversidade das minhocas no Estado do Paraná, Brasil. *En: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Eds.). Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 377-390.
- Schmidt, O.; Curry, J. P.; Hackett, R. A.; Purvis, G.; Clements, R. O. 2001. Earthworm communities in conventional wheat monocropping and low-input wheat-clover intercropping systems. *Annals of Applied Biology*, 138:377-388.
- Schon, N. L.; Mackay, A. D.; Minor, M. A.; Yeates, G. W.; Hedley, M. J., 2008. Soil fauna in grazed New Zealand hill country pastures at two management intensities. *Applied Soil Ecology* 40:218-228.
- Schon, N. L.; Mackay, A. D.; Gray, R. A. Minor, M. A. 2011. Earthworms in New Zealand sheep-and dairy-grazed pastures with focus on anecic *Aporrectodea longa*. *Pedobiologia* 54 (Suppl.): 131-137.
- Scown, J.; Baker, G. 2006. The influence of livestock dung on the abundance of exotic and native earthworms in a grassland in southeastern Australia. *European Journal of Soil Biology*, 42:310-315.
- Simonsen, J.; Posner, J.; Rosemeyer, M.; Baldock, J. 2010. Endogeic and anecic abundance in six Midwestern cropping systems. *Applied Soil Ecology*, 44:147-155.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Sims, R. W.; Gerard, B. M. 1985. Earthworms. Synopses of the British Fauna. 31. Leiden Brill Publ. Co. 171 pp.
- Smith, R. G.; McSwiney, C. P.; Grangy, A. S.; Suwanwaree, P.; Snider, R. M.; Robertson, G. P. 2008. Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient. *Soil and Tillage Research*, 100:83-88.
- Southwood, T. R. E.; Henderson, P. A. 2000. *Ecological methods*. 3rd Edición. . ISBN: 0632054778 Blackwell Science, Oxford. 575 pp.
- Springett, J. A.; Gray, R. A. J. 1992. Effect of repeated low doses of biocides on the earthworm *Aporrectodea caliginosa* in laboratory culture. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:1739-1744.
- Stephenson, J. 1930. *The Oligochaeta*. Oxford: Clarendon Press, 978 pp.
- Stevens, M. M.; Warren, G. N. 2000. Laboratory studies on the influence of the earthworm *Eukerria saltensis* (Beddard) (Oligochaeta: Ocnerodrilidae) on overlying water quality and rice plant establishment. *International Journal of Pest Management* 46(4):303-310.
- Stevens, M. M.; Mo, J.; Warren, G. N.; Doran, G. S. 2016. Evaluation of potential biocides for control of the earthworm *Eukerria saltensis* (Oligochaeta: Ocnerodrilidae), a pest of rice in southern Australia. *Crop Protection*, 84:159-167.
- Stinner, B. R.; House, G. J. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology* 35: 299-318.
- Suthar, S.; Singh, S. 2008. Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry. *Science of the Total Environment* 394:237-243.
- Suthar, S. 2009. Earthworm communities a bioindicator of arable land management practices: A case study in semiarid region of India. *Ecology Indicator*, 9: 588-594.
- Taboada, M. A.; Álvarez, C. R. 2008. *Fertilidad Física de los Suelos*. 2da. Edición. Editorial. Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires, 272 pp.
- Terhivuo, J. 1988. The finnish Lumbricidae (Oligochaeta) fauna and its formation. *Annales Zoolgici Fennici* 25:229-247.
- Terhivuo, J. 1991. *Dichogaster bolau* (Michaelson) (Octochaetidae) – an allochthonous oligochaet invading urban sewer system. *Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica*, 67: 61-65.
- Tiroesele, B.; Moreki, J.C. 2012. Termites and earthworms as potential alternative sources of protein for poultry. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences*, 6: 368–376.
- Tokeshi, M. 1999. *Species coexistence: ecological and evolutionary perspectives*. Blackwell Sciences, Oxford. 454 pp.
- Tondoh, J. E.; Guéi, A. M.; Csuzdi, C.; Okoth, P. 2011. Effect of land-use on the earthworm assemblages in semi-deciduous forests of Central-West Ivory Coast. *Biodiversity and Conservation*, 20:169-184.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Tsukamoto J. 1986. Soil macro-animals on a slope in a deciduous broad-leaved forest, 3: Indirect evaluation of the effect of earthworms on the differential development of the A (zero)-layer observed between the ridge and bottom parts. *Japanese Journal of Ecology* 35(5):601-608.
- Ullé, J.; Andriulo, A.; Faggioli, V.; Scianca, C.; Castro, A.; Rimatorio, F.; Colombini, D.; Villalba, F.; Dalpiaz, J.; García, L.; Darde, M. L. 2012. Análisis e interpretación de indicadores de calidad de suelos en sistemas orgánicos agrícolas ganaderos. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. ISBN: 978-987-1829-11-8 Abril 2012. Mar del Plata, Buenos Aires.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2014. Keys to Soil Taxonomy. Twelfth Edition. Natural Resources Conservation Service. USA, 372 pp.
- van der Werf H. M. G., Petit, J. 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93: 131-145.
- van Eekeren, N.; Bommele, L.; Bloem, J.; Schouten, T.; Rutgers, M.; de Goede, R.; Reheul, D.; Brussaard, L. 2008. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology*, 40(3): 432-446.
- van Vliet, P. C. J.; Beare, M. H.; Coleman, D. C.; Hendrix, P. F. 2004. Effects of enchytraeids (Annelida: Oligochaeta) on soil carbon and nitrogen dynamics in laboratory incubations. *Applied Soil Ecology*, 25:147-160.
- Velásquez Ibañez, E. 2004. Bioindicadores de calidad de suelo basados en las poblaciones de macrofauna y su relación con características funcionales del suelo. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Valle. Colombia, 186 pp.
- Viglizzo, E. F. 2007. El Sector Rural Argentino frente al Cambio Climático Global: Amenazas, Oportunidades y Estrategias. Área Estratégica de Gestión Ambiental, INTA, 15 pp.
- Viglizzo, E. F.; Jobbágy, E. 2010. Expansión de la forentera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental. Viglizzo, E. F.; Jobbágy, E. (Eds.) ISBN: 978-987-1623-83-9. Ediciones INTA. Buenos Aires. 102pp.
- Walkley, A.; Black, I. A. 1934. An examination of the different method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, Vol. 37(1) 29-38.
- Weyembergh, D. H. 1879. Descripciones de nuevos gusanos. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, 3:213-218.
- Wickings K.; Grandy, A. S. 2013. Management intensity interacts with litter chemistry and climate to drive temporal patterns in arthropod communities during decomposition. *Pedobiologia*, 56:105-112.

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

- Wyss, E.; Glasstetter, M. 1992. Tillage treatments and earthworm distribution in a swiss experimental corn field. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:1635-1639.
- Zaller, G. J.; Kopke, U. 2004. Effects of traditional and biodynamic farmyard manure amendments on yields, soil chemical and biochemical and biological properties in a long term field experiment. *Biology and Fertility Soils*, 40:222-229.
- Zerbino, M. S.; Rodríguez, C.; Altier, N. 2006. Oligochaeta communities in Uruguayan agroecosystems. *Caribbean Journal of Science*, Vol 42, N° 3, 315-324.
- Zerbino, M. S. 2007. Evaluación de la biomasa de lombrices de tierra en diferentes sistemas de producción del Uruguay. *In*: Brown, G. G.; Fragoso, C. (Eds.). *Minhocas: biodiversidade e ecología na América Latina*. Londrina: Embrapa Soja, 281-290.
- Zerbino, M. S. 2010. Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivo-pasturas con laboreo convencional. *Acta Zoológica Mexicana*, 26:189-202.
- Zerbino, M. S. 2011. La macrofauna del suelo y su relación con la heterogeneidad florística. *En*: Altesor, A.; Ayala, W.; Paruelo, J. M. (Eds.). *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales*. INIA Serie FPTA, 24:97-111.
- Zerbino, M. S. 2012. Efecto de rotaciones cultivo-pasturas en siembra directa, con pastoreo, sobre comunidades de Oligochaeta. *Agrociencia Uruguay*, 16(1):15-23.

Anexo I

Tabla 1. A. Lista actualizada de especies de lombrices de tierra de Argentina y su distribución por provincias (Tomado de Mischis, 2007).

Familias, géneros y especies	Distribución geográfica (provincias)
Glossoscolecidae (Michaelsen, 1900).....	
<i>Anteoides rosea</i> Cognetti de Martiis, 1902	Jujuy
<i>Diachaeta</i> (<i>Opisthocrodis</i>) <i>exul</i> Stephenson, 1931	Corrientes
<i>Enantiodrilus borelli</i> Cognetti de Martiis, 1902	Jujuy, Tucumán
<i>Glossodrilus parecis</i> Righi & Ayres, 1975	Córdoba
<i>Glossoscolex bergi</i> (Rosa, 1900)	Misiones
<i>Glossoscolex bonaeriensis</i> Cordero, 1942	Buenos Aires, Entre Ríos
<i>Glossoscolex corrientus</i> Righi, 1984	Corrientes, Misiones
<i>Glossoscolex forguesi</i> (Perrier, 1881)	Solamente citada como proveniente de la “República de la Plata”
<i>Glossoscolex uruguayensis uruguayensis</i> ¹ Cordero, 1943	Córdoba, Entre Ríos, Misiones, Santa Fe
<i>Glossoscolex uruguayensis ljungstromi</i> Righi, 1978	Santa Fe, Misiones
<i>Opistodrilus borelli</i> Rosa, 1895	Chaco, Misiones
<i>Pontoscolex corethrurus</i> (Müller, 1857)	Córdoba, Corrientes, Jujuy, Tucumán
<i>Rhinodrilus parvus</i> (Rosa, 1895)	Chaco
<i>Righiodrilus tinga</i> (Righi, 1971)	Tucumán
Almide Duboscq, 1902.....	
<i>Drilocrius buergeri</i> (Michaelsen, 1900)	Entre Ríos, Misiones
Ocnerodrilidae Beddard, 1891.....	

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

<i>Belladrilus auka</i> Righi & Mischis, 1999	Córdoba
<i>Belladrilus emiliani</i> Righi, 1984	Córdoba, Santa Fe
<i>Belladrilus jimi</i> Righi, 1984	Córdoba, Corrientes
<i>Eukerria asuncionis</i> (Rosa, 1895)	Corrientes, Jujuy, Santa Fe
<i>Eukerria eiseniana</i> (Rosa, 1895)	Corrientes, Jujuy, Santa Fe
<i>Eukerria garmani argentinae</i> Jamieson, 1970	Misiones
<i>Eukerria halophila</i> (Beddard, 1892)	Santa Fe
<i>Eukerria mcdonaldi</i> (Eisen, 1893)	Córdoba
<i>Eukerria rosae</i> (Beddard, 1895)	Buenos Aires
<i>Eukerria saltensis</i> (Beddard, 1895)	Catamarca, Córdoba, Entre Ríos, La Rioja, San Luis, Santa Fe, Tucumán
<i>Eukerria santafesina</i> Ljungström, 1971	Santa Fe
<i>Eukerria stagnalis</i> (Kinberg, 1867)	Buenos Aires, Corrientes, Santa Fe
<i>Eukerria subandina</i> (Rosa, 1895)	Salta, Santa Fe, Tucumán
<i>Eukerria tucumana</i> Cordero, 1942	Tucumán
<i>Eukerria weywnberghi</i> Cordero, 1942	Buenos Aires
<i>Eukerria</i> sp. nov.	Jujuy
<i>Haplodrilus</i> (Gatesia) <i>unica</i> Jamieson, 1962	Misiones
<i>Ilyogenia comondui</i> Eisen, 1900	Santa Fe
<i>Ilyogenia paraguayensis</i> (Rosa, 1895)	Jujuy
<i>Ocnerodrilus occidentalis</i> Eisen, 1878	Córdoba, Santa Fe
<i>Quechuona michaelsoni</i> Jamieson, 1962	Misiones

Acanthodrilidae Claus, 1880.....

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

<i>Chilota bicincta</i> (Beddard, 1895)	Tierra del Fuego
<i>Chilota dalei</i> (Beddard, 1890)	Tierra del Fuego, Isla Picton
<i>Chilota patagonica</i> (Kinberg, 1867)	Isla de los Estados, Islas Picton y Lennox
<i>Dichogaster bolau</i> (Michaelson, 1891)	Chaco, Santa Fe
<i>Dichogaster saliens</i> (Beddard, 1892)	Santa Fe
<i>Eodrilus magellanicus</i> (Beddard, 1895)	Tierra del Fuego
<i>Eodrilus silvestrii</i> (Rosa, 1901)	Santa Cruz
<i>Microscolex anderssoni</i> Michaelson, 1905	Islas Georgias del Sur
<i>Microscolex beddardi</i> (Rosa, 1895)	Tucumán
<i>Microscolex bovei</i> (Rosa, 1889)	Buenos Aires, Tierra del Fuego, Antártica e Islas del Atlántico Sur
<i>Microscolex collislupi</i> Michaelson, 1910	Mendoza
<i>Microscolex dubius</i> (Fletcher, 1889)	Buenos Aires, Chubut, Córdoba, La Pampa, Río Negro, Santa Cruz, Santa Fe, San
<i>Microscolex falclandicus</i> (Beddard, 1893)	Luis, Tierra del Fuego, Tucumán
<i>Microscolex georgianus</i> (Michaelson, 1888)	Islas Malvinas
<i>Microscolex michaelsoni</i> (Beddard, 1895)	Santa Cruz, Islas Georgias del Sur
<i>Microscolex phosphoreus</i> (Dugés, 1837)	Tierra del Fuego
<i>Yagansia gracilis</i> (Beddard, 1895)	Buenos Aires, Jujuy, Salta, Santa Fe, Tierra del Fuego, Tucumán
<i>Yagansia longiseta</i> (Beddard, 1895)	La Pampa, Tierra del Fuego Tierra del Fuego
<hr/>	
Megascolecidae Rosa, 1891	
<i>Amyntas corticis</i> (Kinberg, 1867)	Buenos Aires, Catamarca, Córdoba, Misiones, Santa Fe, Tucumán
<i>Amyntas gracilis</i> (Kinberg, 1867)	Buenos Aires, Catamarca, Chubut, Córdoba, Neuquén, San Luis, Tucumán

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

<i>Amyntas morrisoni</i> (Beddard, 1892)	Buenos Aires, Catamarca, Córdoba, Santa Fe
<i>Metaphire californica</i> (Kinberg, 1867)	Córdoba, Santa Fe, Tucumán
<i>Metaphire posthuma</i> (Vaillant, 1868)	Buenos Aires
<i>Pithemera bicincta</i> (Perrier, 1875)	Jujuy
<i>Polypheretima taprobanae</i> (Beddard, 1892)	Tucumán
<hr/>	
Lumbricidae Rafinesque-Schmaltz, 1815.....	
<i>Aporrectodea caliginosa</i> (Savigny, 1826)	Buenos Aires, Córdoba, La Pampa, Río Negro, San Luis, Santa Cruz, Santa Fe, Tucumán
<i>Aporrectodea georgii</i> (Michaelsen, 1890)	Tucumán
<i>Aporrectodea rosea</i> (Savigny, 1826)	Córdoba, Tierra del Fuego
<i>Aporrectodea trapezoides</i> (Dugés, 1828)	Córdoba, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Salta, San Luis, Santa Cruz, Santa Fe, Tierra del Fuego, Tucumán
<i>Bimastos beddardi sophiae</i> (Mercadal de Barrio & Barrio, 1988)	Buenos Aires, Catamarca, Córdoba, Chubut, Entre Ríos, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Río Negro, Salta, San Luis, Santa Cruz, Santa Fe, Tierra del Fuego, Tucumán
<i>Bimastos parvus</i> (Eisen, 1874)	Córdoba
<i>Dendrobaena hortensis</i> Michaelsen, 1890	Entre Ríos, Jujuy, Santa Fe, Tucumán
<i>Dendrobaena octaedra</i> (Savigny, 1826)	? (Michaelsen, 1900: 477)
<i>Dendrobaena rubidus rubidus</i> (Savigny, 1826)	Tierra del Fuego
<i>Dendrobaena rubidus subrubicundus</i> (Eisen, 1874)	Córdoba, Chubut, La Rioja, Santa Cruz, Tierra del Fuego e Islas Malvinas
<i>Eisenia andrei</i> Bouché, 1972	Patagonia, Tierra del Fuego
<i>Eisenia fetida</i> (Savigny, 1826)	Buenos Aires, Córdoba
<i>Eiseniella tetraedra tetraedra</i> (Savigny, 1826)	Buenos Aires, Chubut, Córdoba, Entre Ríos, Río Negro, Santa Fe, Tucumán
<i>Lumbricus rubellus</i> Hoffmeister, 1843	Córdoba, Río Negro, San Luis, Santa Fe

**Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta)
de la provincia de Santa Fe**

<i>Octodrilus complanatus</i> (Dugés, 1828)	Santa Cruz, Tierra del Fuego
<i>Octodrilus transpadanus</i> (Rosa, 1884)	Buenos Aires, Río Negro
<i>Octolasion cyaneum</i> (Savigny, 1826)	Córdoba, Río Negro, San Luis
<i>Octolasion tyrtaeum</i> (Savigny, 1826)	Buenos Aires, Chubut, Córdoba, Río Negro, Santa Cruz, Tierra del Fuego Buenos Aires, Córdoba, La Rioja, Río Negro, San Luis, Santa Fe, Tucumán

¹ Se han determinado tres subespecies de *Glossoscolex uruguayensis*: *Glossoscolex uruguayensis uruguayensis*, *Glossoscolex uruguayensis corderoi*, *Glossoscolex uruguayensis ljunstromi*. Mayores detalles en Righi (1979).

Anexo II

Tabla 2 A. Valores calculados de los indicadores individuales y del Indicador Global (IG) del nivel de perturbación para cada sitio estudiado en la provincia de Santa Fe durante 2012-2015.

Sitio (Uso)	Indicadores (Valores)					IG Nip	Nivel
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5		
1 GMN 1	B= 1	C= 2	A= 0	A= 0	B= 0,5	0,7	Bajo
2 H 1	D= 3	E= 2,5	E= 4	B= 1	B= 1	2,3	Bajo
3 A 1	E= 4	H= 4,5	E= 4	D= 2	H= 4,5	3,8	Alto
4 A/G 1	D= 3	F= 3	D= 3	E= 3	G= 3	3	Medio
5 A/G 2	C= 1,5	F= 3	C= 2	E= 3	E= 2	2,3	Bajo
6 GMN 2	B= 1	D= 2	A= 0	A= 0	B= 0,5	0,7	Bajo
7 JdC	C= 1,5	C= 1,5	A= 0	A= 0	A= 0	0,6	Bajo
8 A/G 3	E= 4	H= 4,5	E= 4	E= 3	G= 3	3,7	Alto
9 GMN 3	B= 1	D= 2	A= 0	A= 0	B= 0,5	0,7	Bajo
10 A 2	E= 4	H= 4,5	E= 4	E= 3	H= 4,5	4	Alto
11 GMN 4	B= 1	D= 2	A= 0	A= 0	B= 0,5	0,7	Bajo
12 A/G 4	D= 3	F= 3	D= 3	E= 3	G= 3	3	Medio
13 GPN	B= 1	D (2*5)= 10	A= 0	A= 0	E= 2	2,6	Medio
14 A/G 5	D= 3	F= 3	E= 4	E= 3	H= 4,5	3,5	Alto
15 A/G 6	D= 3	F= 3	D= 3	D= 2	F= 2,5	2,7	Medio
16 BR	B= 1	B= 1	A= 0	A= 0	A= 0	0,4	Bajo
17 BR	B= 1	B= 1	A= 0	A= 0	A= 0	0,4	Bajo
18 H 2	D= 3	G= 3,5	E= 4	B= 1	F= 2,5	2,8	Medio
19 VF	C= 1,5	C= 1,5	A= 0	A= 0	A= 0	0,6	Bajo
20 H 3	E= 4	G= 3,5	E= 4	D= 2	H= 4,5	3,6	Alto
21 A 3	E= 4	H= 4,5	E= 4	D= 2	H= 4,5	3,8	Alto
22 A 4	E= 4	H= 4,5	E= 4	E= 3	G= 3	3,7	Alto
23 A 5	E= 4	H= 4,5	C= 2	D= 2	G= 3	3,1	Medio