



## Una evaluación agroecológica de indicadores a nivel predial en agroecosistemas vitícolas de la zona centro sur de Chile

### An evaluation of agroecological indicators at the farm level in vineyards of Central-South Chile

Salazar, A.<sup>a,b,c,d,e\*</sup>, Castro-Huerta, R.<sup>b,c</sup>, Barbosa, O.<sup>d,e</sup>, Pino, C.<sup>f</sup>, Altieri, M.<sup>g,h</sup>

<sup>a</sup> Universidad Internacional de Andalucía, España.

<sup>b</sup> Instituto Agroecosistemas, Curicó, Chile.

<sup>c</sup> Escuela de Agronomía, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Chile.

<sup>d</sup> Instituto de Ecología y Biodiversidad, IEB, Santiago 7800003, Chile (en inglés: Institute of Ecology and Biodiversity (IEB), Chile).

<sup>e</sup> Instituto de Ciencias Ambientales y Evolutivas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia 5090000, Chile.

<sup>f</sup> Centro I+D Agroecología, Curicó, Chile.

<sup>g</sup> University of California, Berkeley, CA, USA.

<sup>h</sup> Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (CELIA), Medellín, Colombia.

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 01.10.2021

Accepted 05.03.2022

##### Keywords:

Agroecology

Earthworms

Grape yield

Agroecological transition

*Original Research Article,*  
Special Issue: Biodiversity and crop management: key players for a productive and sustainable agriculture in temperate climatic conditions

##### \*Corresponding author:

Angel Salazar

E-mail address:

[angel@agroecosistemas.cl](mailto:angel@agroecosistemas.cl)

#### ABSTRACT

In Chile, more than 80% of the organic winegrowing systems are concentrated in south-central zone of the country, a distribution that coincides with an area of high ecological value and priority for the conservation of agricultural biodiversity. In this study, a practical methodology was used to evaluate earthworm abundance and grape yield indicators for viticultural systems inserted in an agroecological transition process. These evaluations were applied in a participatory way to a group of 28 grape growers between the 2012-13 and 2013-14 agricultural seasons. A mixed linear statistical model was used and a positive change in the earthworm abundance indicator and grape productivity was found. The indicators used could be good parameters of the ecological functions to be evaluated and they would also allow and encourage the dialogue between all the actors involved in the agroecological transition process. However, further and prolonged investigations are needed to elucidate and understand the cross effects that each management practice may be causing at the ecological level on earthworm populations and their role in soil fertility and consequently on grape yields.

#### RESUMEN

En el Centro Sur de Chile se concentra más del 80% de sistemas vitivinícolas orgánicos del país, distribución que coincide con un área de alto valor ecológico y prioridad para la conservación de la biodiversidad agrícola. En este estudio, se utilizó una metodología práctica de evaluación para sistemas vitícolas insertos en un proceso de transición agroecológica, de los indicadores abundancia de lombrices y rendimiento de uvas. Estas evaluaciones se aplicaron en forma participativa con un grupo de 28 viticultores entre las temporadas agrícolas 2012-13 y 2013-14. Mediante un modelo estadístico lineal mixto se pudo verificar un cambio positivo en el indicador abundancia de lombrices y productividad de uvas. Los indicadores utilizados podrían ser buenos parámetros de las funciones ecológicas que se quiere evaluar, además de permitir y estimular el dialogo entre todos los actores que participan del proceso de transición agroecológica. Sin embargo, para futuras pesquisas, se precisa de una investigación temporal más prolongada que permita dilucidar y comprender los efectos cruzados que cada práctica de manejo puede estar provocando con su empleo a nivel ecológico sobre las poblaciones de lombrices y que roles cumplen en la fertilidad del suelo y consecuentemente en el rendimiento de uvas por hectáreas a nivel predial.

*Palabras clave:* Agroecología, lombrices, rendimiento de uva, transición agroecológica.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas agrarios dependen de los beneficios gratuitos otorgados por la naturaleza gracias a sus funciones ecológicas también llamadas servicios ecosistémicos [SEs] (Harrison *et al.*, 2014; Pascual *et al.*, 2017). Los agroecosistemas productores de vid [*Vitis vinífera* L.] o viñedos dependen de servicios como la fertilidad y el ciclaje de nutrientes en el suelo (Pérès *et al.*, 1998; Adhikari y Hartemink, 2016; Winter *et al.*, 2018), o la regulación natural de plagas y enfermedades (Martin *et al.*, 2013; Garibaldi *et al.*, 2017) cuando se basan en estrategias de manejo agroecológico (Altieri y Nicholls, 2004; Altieri *et al.*, 2005). Sin embargo, hoy la mayoría de los sistemas vitícolas se basan en monocultivos manejados con prácticas convencionales, lo que permite altos niveles de susceptibilidad a la erosión (García-Ruiz, 2010; Mora, 2019) poniendo en riesgo a la biota del suelo (Veresoglou *et al.*, 2015) y la resiliencia del agroecosistema frente a plagas y al cambio climático (Nicholls *et al.*, 2008; Lambin y Meyfroidt, 2011). Alrededor del mundo hay ejemplos de agroecosistemas vitivinícolas diseñados y gestionados para aprovechar los beneficios gratuitos de la naturaleza, donde diversas prácticas han sido señaladas y evaluadas para mejorar el desempeño de los sistemas vitícolas, en una variedad de suelos y climas (Salomé *et al.*, 2016; Winter *et al.*, 2018). Prácticas como los cultivos de cobertura entre hileras (Fourie *et al.*, 2007; Ovalle *et al.*, 2007; Fourie, 2012; Pérez-Álvarez *et al.*, 2015), el uso de acolchados (Goulet *et al.*, 2004) y la aplicación de enmiendas biológicas al suelo (Calleja-Cervantes *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2018; Aytenew y Bore, 2020), son ampliamente reconocidas por mantener o mejorar la provisión de los servicios de fertilidad de suelo, el control de plagas y la productividad de uvas (Lazcano *et al.*, 2020).

Para conocer integralmente el desempeño de los sistemas vitícolas, se ha usado una gran variedad de indicadores agro-ambientales (Borsato *et al.*, 2020), los cuales intentan evaluar en el tiempo y comparar prácticas utilizadas en el manejo de un agroecosistema (Andreoli y Tellarini, 2000; Nicholls *et al.*, 2004; Abbona *et al.*, 2007). Sin embargo, existen pocas metodologías que permitan, específicamente a viticultores, utilizar indicadores simples para evaluar rápidamente el estado de sus agroecosistemas (Nicholls *et al.*, 2004; 2020) y que además, presenten un respaldo científico teórico y práctico que tenga validez y pertinencia local. Los sistemas productivos diseñados con enfoque agroecológico permiten hacer de un agroecosistema una potencial fuente importante de servicios ecosistémicos, pero el conocimiento de qué o cuáles elementos críticos podrían ser identificados como propuesta para evaluar y transitar hacia modelos de producción más sostenibles, sigue siendo hoy un importante desafío para la investigación y el desarrollo de la actividad vi-

tícola en el mundo (Lampridi *et al.*, 2019; Mottet *et al.*, 2020; Nicholls *et al.*, 2020).

Hoy existe suficiente evidencia sobre la importancia de los organismos del suelo en el desempeño de funciones críticas que promueven servicios ecosistémicos (Bardgett y van der Putten, 2014; Adhikari y Hartemink, 2016) como la descomposición de la materia orgánica y su relación con el ciclaje de nutrientes (Doan, 2013; Veresoglou *et al.*, 2015). Además, el efecto es retroalimentativo, ya que las prácticas agrícolas modulan también a las poblaciones de organismos del suelo (Ponge *et al.*, 2013; Castro-Huerta *et al.*, 2015). Las lombrices son consideradas como uno de los ingenieros más importantes del ecosistema (Jones *et al.*, 1994; Lavelle *et al.*, 2014; Bender *et al.*, 2016), ya que su presencia afecta de manera positiva los aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo (Brown *et al.*, 2000; Blouin *et al.*, 2013; Cunha *et al.*, 2016; Lavelle *et al.*, 2016; Le Bayon *et al.*, 2017), y la productividad de los ecosistemas (Edwards, 2004; Wu *et al.*, 2015).

La región mediterránea chilena representa una importante área productora de vino a nivel mundial, durante el periodo 2011-2015 exportó la suma de 3,95 millones de litros de vino, ubicándose cuarto entre los países exportadores en términos de volumen de exportación (OIV, 2016; Mora, 2019). Sin embargo, la mayor parte de esta área se encuentra bajo manejo agronómico convencional, con serias evidencias de que ha contribuido negativamente a la transformación de los ecosistemas, favoreciendo la desertificación de los territorios (Boisier *et al.*, 2019), disminuyendo sostenidamente la biota del suelo en todos sus niveles y afectando a la productividad de los sistemas vitícolas (Mora, 2019).

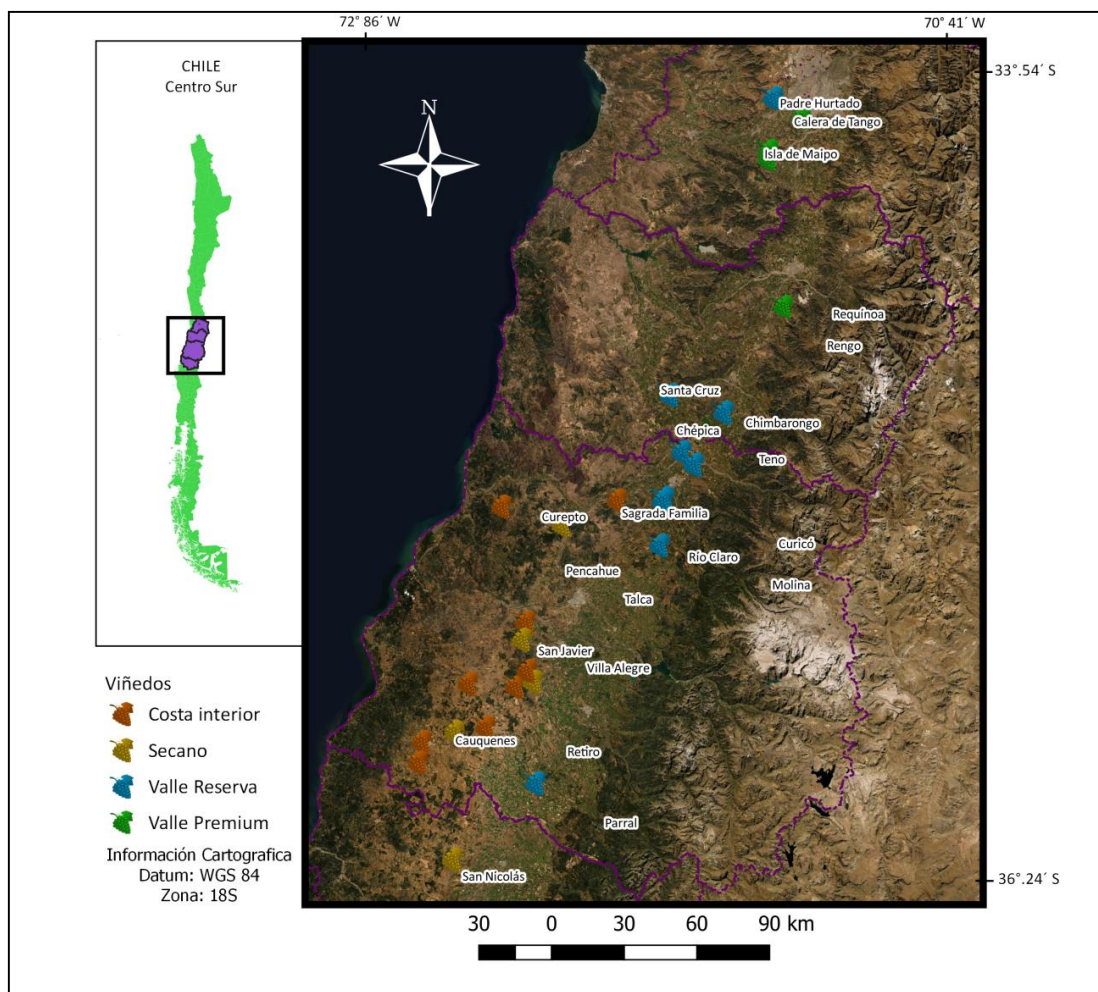
Ante la necesidad de conservar la biodiversidad nativa en los territorios y los beneficios de la naturaleza de los cuales dependen los agroecosistemas, considerando además que los mercados son cada vez más exigentes en temáticas ambientales, se hace necesario incorporar manejos agroecológicos donde la integración de la biodiversidad intra y extra predial promueven la emergencia de funciones ecológicas necesarias para el control de plagas, la fertilidad del suelo y la regulación hídrica, sin comprometer el rendimiento de los cultivos productivos (Tamburini *et al.*, 2020) y que estén complementados con indicadores de sostenibilidad de fácil interpretación para la agricultura chilena (Wratten *et al.*, 2019). En este sentido, las lombrices se presentan como un poderoso indicador de la actividad biológica del suelo (Paoletti *et al.*, 1998), que permite evaluar indirectamente de manera práctica y sencilla, aquellos aspectos ecológicos esenciales para la producción vitivinícola, como lo son la fertilidad del suelo, la formación de agregados y la protección de la materia orgánica del suelo relacionados a la presencia y actividad de lombrices (Lavelle *et al.*, 1997).

El planteamiento y desarrollo de este trabajo se alberga en el contexto de un programa de difusión y transferencia tecnológica para la gestión de sistemas agroecológicos sustentables vitícolas chilenos, auspiciado por la Corporación de Fomento de la Producción y el Gremio de Productores Orgánicos del Centro Sur (Pino, 2013). El cual incluía entre sus objetivos fomentar la transición agroecológica de los sistemas vitícolas participantes del programa. Para monitorear esta dinámica, se construyó un set de indicadores para sistemas vitícolas, lo que permitió comparaciones individuales y grupales, al inicio y al término del programa. Por lo que en este trabajo el objetivo es evaluar el efecto de este programa de transferencia agroecológica en dos de los indicadores, abundancia de lombrices y rendimiento de uvas, a nivel predial para un grupo de sistemas vitícolas orgánicos, que han comenzado una transición agroecológica en la zona centro sur de Chile.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

El presente estudio se realizó en la zona Centro Sur de Chile, donde se evaluaron 28 viñedos adheridos al gremio Orgánicos del centro Sur A.G., que de manera voluntaria participaron del programa de difusión y transferencia técnica para la transición agroecológica en vitivinicultura orgánica (OPIA, 2021). Los predios se localizaron en las regiones Metropolitana, O'Higgins, Maule, Ñuble y Biobío, abarcando una zona geográfica desde el paralelo  $33^{\circ} 50'$  hasta el  $36^{\circ} 50'$  de Latitud Sur (Figura 1). Los agroecosistemas vitícolas se agruparon en Valle Reserva, Valle Premium, Costa Interior y Secano. Considerando como un grupo según Pino *et al.* (2013), a aquel conjunto de características ambientales capaces de imprimir a las uvas producidas una calidad, originalidad y carácter propio, brin-



**Figura 1.** Ubicación geográfica de los sistemas vitícolas participantes, en color distintos según Grupo. (n=28).

**Figure 1.** Geographical location of the participating winegrowing systems with different colour depending on the Group. (n=28).

dando cierta tipicidad que varía en función de la posición geográfica, condiciones edafoclimáticas, disponibilidad y accesibilidad al riego y de la propia cultura vitícola. La calidad de la uva obtenida tiene objetivos de vinificación distintos, obteniéndose vinos de distintas calidades.

### Contexto para el proceso de transición agroecológica

El programa de transferencia agroecológica tuvo como objetivo la difusión y transferencia tecnológica de un sistema agroecológico de gestión para empresas, medianos y pequeños viñateros/as. Este fue estructurado en cinco cursos teórico-prácticos, que consistieron en explicar las funciones ecológicas implicadas en la producción agropecuaria y cuatro talleres prácticos denominados "Auto elaboración de compost, humus de lombriz y biopreparados", "Reconocimiento, monitoreo y manejo ecológico de plantas arvenses", "Reconocimiento, monitoreo y manejo ecológico de plagas" y "Reconocimiento, monitoreo y manejo ecológico de enfermedades" todos con énfasis en la producción de uvas viníferas en Chile. Estos cursos y talleres fueron realizados mensualmente desde enero a diciembre de 2012, con la asistencia de más 50 personas en representación de las 28 entidades participantes. En los talleres se utilizó un enfoque de Socio-Praxis, en el cual se utilizan herramientas metodológicas de carácter horizontal, participativas y demostrativas, que son inherentes al enfoque agroecológico (Guzmán *et al.*, 2013), y que permite articular e integrar distintas dimensiones de la Agroecología (Morales *et al.*, 2017; Wezel *et al.*, 2020).

### Metodología de muestreo

Los indicadores utilizados fueron la abundancia de lombrices medida en g/m<sup>3</sup> y el rendimiento de uvas medida en t/ha. Las muestras fueron obtenidas al inicio del programa de transferencia y luego de un año para observar la dinámica de los indicadores y comparar estas evaluaciones. La captura y determinación

de lombrices se realizó mediante volúmenes de suelo estandarizados al ser la forma de colección tradicional más utilizada (Jiménez *et al.*, 2006), esta técnica consiste en extraer un volumen de suelo con una laya o aireador de suelo en forma de cubo con 25 cm de lado según método TSBF (Swift y Bignell, 2001), para ampliar profundidad de muestreo se procedió a extraer dos cubos alcanzando 50 cm de profundidad por cada una de las dos submuestras consideradas en la muestra compuesta (Céspedes, 2012). Luego los cubos se desgregan y se realiza una inspección manual y visual del volumen de suelo sobre un tamiz de 500 mesh para coleccionar cada lombriz (Modificado de Bouché, 1972; Lee, 1985). Los muestreos se realizaron durante el otoño, de las temporadas 2012/13 y 2013/14 con niveles de humedad del suelo y temperaturas moderadas. El nivel de productividad, corresponde a los registros de campo de cada entidad participante, para el sector evaluado, el cual fue obtenido mediante las autoevaluaciones realizadas, en el contexto del programa, en los predios de los viticultores responsables de cada uno de los 28 viñedos o agroecosistemas en transición agroecológica estudiados (Salazar, 2013). Esta información fue procesada, transcrita y complementaria a la información correspondiente a la abundancia de lombrices.

### Análisis estadístico

Para evaluar el efecto del programa de transferencia en los indicadores agroecológicos a nivel predial se utilizó un Modelo lineal generalizado mixto [GLMM] (Zuur *et al.*, 2009) para una distribución de Poisson, el factor fijo del modelo era el tiempo y el factor aleatorio estaba compuesto por los predios anidados según los Grupos categorizados Costa interior, Premium, Reserva, Secano ver Tabla 1. Se utilizaron pruebas de máxima de verosimilitud y prueba de Chi<sup>2</sup> para evaluar las diferencias entre los modelos antes y después de la transferencia (Crawley, 2012). Se realizó, además, una comprobación de los supuestos de sobredispersión, aleatoriedad y normalidad de los residuales para cada modelo, utilizando gráficas q-qplot y una prueba

**Tabla 1.** Coeficientes (Intervalo de confianza 95%) estimados para el grupo mediante Modelo Lineal Mixto (GLMM).

**Table 1.** Estimated coefficients (95% confidence interval) for the group according to the Linear Mixed Model (GLMM).

Evaluación	Modelo		Coefficiente (IC)	P value <sup>a</sup>
Lombrices ~ Transición	T0 Inicial		38,09 (26,3-54,7)	0,004968 **
Random=(1   Predio: Grupo)	T1 Final		16,47 (14,2-19,1)	0,000415 ***
Rendimiento ~ Transición	T0 Inicial		6,17 (3,7-8,4)	0,001256 **
Random=(1   Predio: Grupo)	T1 Final		1,90 (1,0-2,8)	0,000178 ***

<sup>a</sup> = P < 0,05\*; P < 0,01\*\*; P < 0,001\*\*\*

de Shapiro-wilk (Harrison *et al.*, 2018). Para todos los análisis se utilizó el software R con los paquetes lme4, car y Lattice (Becker *et al.*, 1988; Bates *et al.*, 2014; R Development Core Team, 2016).

## RESULTADOS

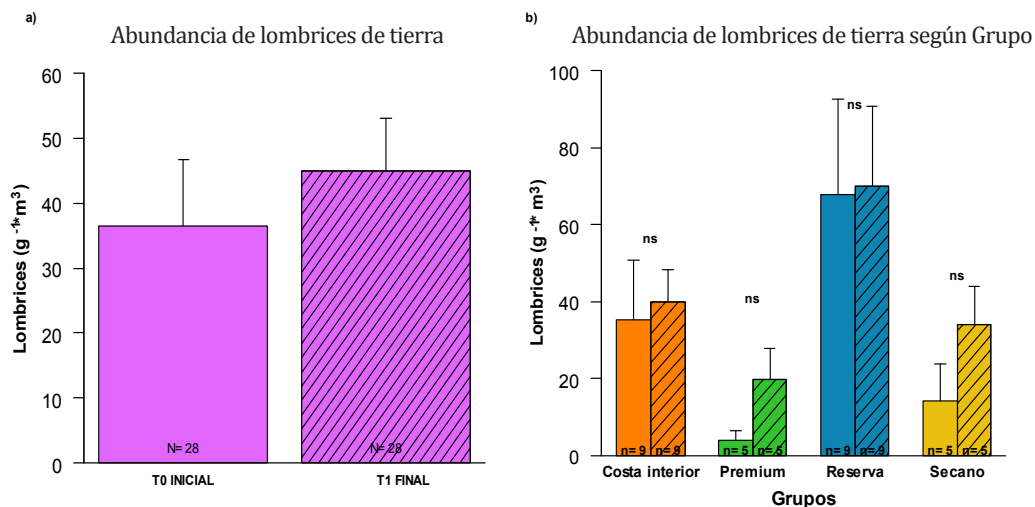
Los resultados obtenidos señalan un aumento de la abundancia media de lombrices de tierra para todo el grupo de sistemas vitícolas sometidos al programa de transferencia agroecológica, observando un incremento positivo en la cantidad de lombrices respecto del estado inicial ( $\chi^2(1) = 23,41$ ;  $P < 0,001$ ). En el estado inicial, la cantidad media o promedio de lombrices de tierra para los agroecosistemas fue de  $36,4 \text{ g/m}^3$ , luego del programa de transferencia la abundancia media de lombrices de tierra se incrementó a  $45,1 \text{ g/m}^3$ . En la Figura 2 se observan las medias y el error estándar para evaluación inicial [T0] y evaluación final [T1].

Se pueden observar algunas diferencias en la distribución de las evaluaciones en T0 y T1, según los grupos (Figura 2b). Para el grupo Costa interior la abundancia media<sup>1</sup> en T0 fue de  $35,2 \pm 15,6 \text{ g/m}^3$ , posterior al programa la abundancia fue de  $40,0 \pm 8,3 \text{ g/m}^3$ . Para los sistemas vitícolas pertenecientes al grupo Valle Premium la abundancia media en T0 fue de  $4,0 \pm 2,4 \text{ g/m}^3$ , luego del programa la abundancia media fue de  $19,8 \pm$

$8,1 \text{ g/m}^3$ . Para el grupo Valle Reserva la abundancia media en T0 fue de  $67,9 \pm 24,6 \text{ g/m}^3$  luego del programa la abundancia media fue de  $70,0 \pm 20,7 \text{ g/m}^3$ , para el grupo Secano la abundancia media en T0 fue de  $14,2 \pm 9,5 \text{ g/m}^3$ , posterior al programa la abundancia media de lombrices de tierra fue de  $34,0 \pm 9,9 \text{ g/m}^3$ . No encontrándose diferencias estadísticamente significativas inter-grupos, según prueba de Mann-Whitney ( $\alpha = 0,05$ ) ver Tabla 2.

En el indicador rendimiento de uvas (t/ha), los resultados obtenidos posterior al proceso de transferencia agroecológica indican un incremento positivo significativo ( $\chi^2(1) = 14,295$ ;  $P < 0,001$ ), equivalente a un aumento del rendimiento medio de uvas para todo el grupo de sistemas vitícolas participantes. En el estado inicial la producción media de uvas de todos los sistemas vitícolas era alrededor de las  $6,2 \text{ t/ha}$ , al término de las evaluaciones del proceso de transición la producción media de uvas fue de  $8,1 \text{ t/ha}$ , percibiendo un aumento significativo de  $1,9 \text{ t/ha}$ . En la Figura 3a se observan medias y error estándar para evaluación inicial y evaluación final.

Se pueden observar algunas diferencias en la distribución de las evaluaciones realizadas en T0 y T1, según grupo asociado (Figura 3b), solo para los sistemas vitícolas pertenecientes a los grupos Costa interior y Reserva, se reportan diferencias estadística-



**Figura 2.** a) Media y error estándar para el indicador lombrices ( $\text{g/m}^3$ ) en evaluación inicial y final para todos los agroecosistemas participantes. b) Media y error estándar para el indicador lombrices ( $\text{g/m}^3$ ) según grupos. Barras limpias equivalen a evaluación inicial (T0); Barras achuradas equivalen a evaluación final (T1). ns: Diferencias en la media no significativas según Mann-Whitney test.

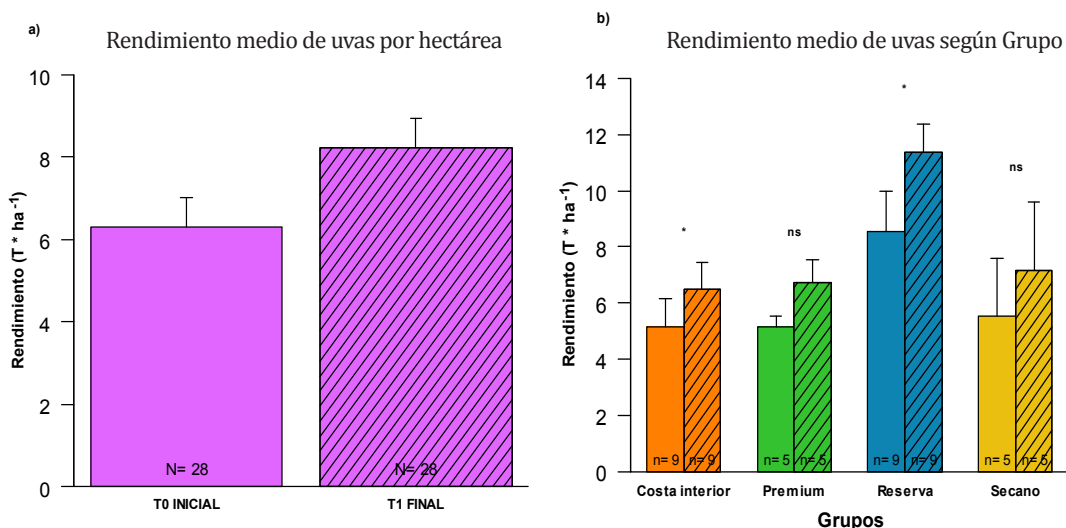
**Figure 2.** a) Mean and standard error for earthworm indicator ( $\text{g/m}^3$ ) at initial and final evaluation for all participating agroecosystems. b) Mean and standard error for the earthworm indicator ( $\text{g/m}^3$ ) according to groups. Clean bars equal initial evaluation (T0); flattened bars equal final evaluation (T1). ns: non-significant differences in the mean according to Mann-Whitney test.

<sup>1</sup> Media aritmética o promedio  $\pm$  desviación estándar

**Tabla 2.** Media y error estándar para las evaluaciones por grupo, de los indicadores utilizados en la evaluación. \*En negrita diferencias estadísticas significativa según Mann-Whitney test.

**Table 2.** Mean and standard error for the evaluations by group of the indicators used in the evaluation. \*Numbers in bold indicate significant statistical differences according to Mann-Whitney test.

Grupo	Indicadores	
	Abundancia de lombrices de tierra (g/m <sup>3</sup> )	Rendimiento de uvas (t/ha)
Valle Reserva	T0	67,9 ± 24,6
	T1	<b>70,0 ± 20,7</b>
Valle Premium	T0	4,0 ± 2,4
	T1	19,8 ± 8,1
Costa Interior	T0	35,2 ± 15,6
	T1	<b>40 ± 8,3</b>
Secano	T0	14,2 ± 9,5
	T1	34,0 ± 9,9



**Figura 3.** a) Media y error estándar para el indicador Rendimiento (t/ha) en evaluación inicial y final para todos los agroecosistemas participantes. b) Media y error estándar para el indicador Rendimiento (t/ha) según grupos. Barras limpias equivalen a evaluación inicial (T0); Barras achuradas equivalen a evaluación final (T1). \*= Diferencias significativas; ns: Diferencias en la media no significativas según Mann-Whitney test.

**Figure 3.** a) Mean and standard error for the indicator Yield (t/ha) at initial and final evaluation for all participating agroecosystems. b) Mean and standard error for the indicator Yield (t/ha) according to groups. Clean bars equal initial evaluation (T0); flattened bars equal final evaluation (T1). \*= Significant differences; ns: non-significant differences in the mean according to Mann-Whitney test.

mente significativas según prueba Mann-Whitney. En el grupo Costa interior el rendimiento medio en T0 fue de 5,15 ± 0,99 t/ha, posterior al programa el rendimiento fue significativamente mayor con 6,50 ± 0,95 t/ha [U= 45, p = 0,003]. Para el grupo Valle Reserva la productividad media en T0 fue de 8,53 ± 1,45 t/ha, luego del programa la productividad media fue significativamente mayor con 11,35 ± 1,02 t/ha [U= 28, p = 0,015].

### DISCUSIÓN

El presente trabajo evidencia un efecto positivo de las estrategias utilizadas en el proceso de transición agroecológica sobre la biomasa de lombrices del grupo de viñedos evaluados, esto es interesante, puesto que también se evidenció un cambio significativo en la productividad de uvas de dos de los cuatro grupos caracterizados, coincidiendo con los resultados de la

investigación realizada en viñedos comerciales de Austria en el 2017, por Buchholz *et al.*, donde se evaluó el efecto de la labranza periódica y el uso de cobertura vegetal entre hilera sobre la abundancia de lombrices, identificando un efecto importante en la abundancia de lombrices, ante la presencia de especies vegetales que cubran el suelo entre hilera, permitiendo la recolonización de estos macro invertebrados del suelo y además mejorar la productividad de los sistemas vitícolas en cuestión (Altieri *et al.*, 2012; Faber *et al.*, 2017).

Los cambios en la abundancia de lombrices se podrían atribuir a manejos agrícolas como el arado del suelo y la aplicación de fungicidas cúpricos foliares (Eijsackers *et al.*, 2005), los cuales fueron realizado en la mayoría de los agroecosistemas participantes. Sin embargo, para próximas investigaciones que consideren a las lombrices como un indicador de procesos ecológicos clave para el funcionamiento de un agroecosistema (Fusaro *et al.*, 2018) es necesario considerar factores clave para la recolección, como la estacionalidad de la evaluación, la representatividad de la muestra y el tipo de manejo del suelo, que pueden afectar significativamente la presencia de lombrices. En este mismo ámbito Lavelle *et al.*, (2006), expresan claramente las relaciones directas e indirectas que unen a los invertebrados del suelo, y especialmente las lombrices, con servicios ecosistémicos de soporte y funciones ecológicas imprescindibles para la productividad del agroecosistema. Además, cada vez hay más evidencia respecto de la activación microbiológica de los suelos debido a la actividad de las lombrices (de Menezes *et al.*, 2018; Medina-Sauza *et al.*, 2019), considerando que es justamente esa actividad microbiológica la principal responsable de los procesos tendientes al ciclo de elementos y secuestro de carbono en los suelos (Castellano *et al.*, 2015; Bender *et al.*, 2016). Especialmente en los sistemas vitícolas, en los cuales la microbiota ejerce diferentes efectos en la calidad del vino (Bokulic *et al.*, 2016; Belda *et al.*, 2017a), en el control de plagas y enfermedades (Pineda *et al.*, 2017; Neher y Barbercheck, 2019) y en la diferenciación de origen o Terroir (Capozzi *et al.*, 2015; Jara *et al.*, 2016; Belda *et al.*, 2017b; Gutiérrez-Gamboa y Moreno -Simunovic, 2019). Es evidente la relación de las variables utilizadas en este estudio, con los procesos o funciones ecológicas de interés para la viticultura, sin embargo, se precisa del continuo desarrollo y mejoramiento de herramientas prácticas de evaluación en el campo, que cuenten con la rigurosidad y coherencia científica.

La agricultura convencional, a través del manejo del suelo y el uso de insumos de síntesis química, son un componente trascendental dentro del cambio global, ya que disminuye la biodiversidad y la consecuente provisión de servicios ecosistémicos (Vitousek 1997; Harrison *et al.*, 2014; Vanbergen *et al.*, 2020). Por lo tanto, es necesario tomar decisiones políticas que apo-

yen a los programas de conservación y cuidado del medio ambiente, especialmente los relacionados al incremento de la diversidad y actividad biológica del suelo tendientes al secuestro de carbono (Bardgett y van der Putten, 2014; Wall *et al.*, 2015; Lal, 2016). Por lo tanto, es importante subrayar que la implementación de prácticas agroecológicas como las señaladas en este estudio, son herramientas importantes para incrementar la productividad de los sistemas agrícolas, disminuyendo los costos ambientales asociados (Tilman, 1999; Wezel *et al.*, 2009; Valenzuela, 2016; Tamburini *et al.*, 2020; Ricciardi *et al.*, 2021) y que además pueden promover el microbioma del suelo relacionado a la calidad del vino (Grangeteau *et al.*, 2017).

Hoy en la evaluación de sistemas agropecuarios y su desempeño, se utilizan herramientas y técnicas que pueden ser considerados indicadores robustos y a la vez prácticos de algunas funciones ecosistémicas claves, pero es necesario unir este conocimiento técnico-profesional agrícola a otras disciplinas y saberes, logrando generar estudios que apoyen esta integración de conocimiento, para mejorar las futuras tomas de decisiones en cuanto al desarrollo agrícola y la conservación de la biodiversidad (Vandermeer y Perfecto, 2015; Franzluebbbers *et al.*, 2020). En este sentido, el objetivo del trabajo se cumple, evidenciando un claro efecto del programa de intervención rural en los indicadores utilizados, por lo tanto, es importante promover estas prácticas y herramientas en los programas de desarrollo rural enfocados en pequeños agricultores y actores relevantes a la extensión agrícola.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió evaluar el efecto de un proceso de intervención agroecológica con un grupo de viticultores en la zona centro sur de Chile. Se evidencia un efecto positivo en ciertos grupos de viñateros en la abundancia de las lombrices, lo cual está fuertemente relacionado a la calidad del suelo. Además, este aumento en la abundancia de lombrices se encuentra directamente relacionado a la productividad de uvas, lo que implica una mejora económica para los agroecosistemas en general. Este tipo de aproximaciones metodológicas ofrecen herramientas prácticas a los agricultores a la hora de evaluar la sostenibilidad de su agroecosistema o eventualmente utilizarlos como herramienta de desarrollo de un plan de diseño o manejo que permita mejorar la sostenibilidad.

## REFERENCIAS

- Abbona, E., Sarandón, S., Marasas, M., Astier, M., 2007. Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, ecosystems & environment* 119 (3-4), 335-345.

- Adhikari, K., Hartemink, A., 2016. Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma* 262, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- Altieri, M., Funes-Monzote, F., Petersen, P., 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development* 32 (1), 1–13.
- Altieri, M., Nicholls, C., 2004. An agroecological basis for designing diversified cropping systems in the tropics. *Journal of Crop Improvement* 11(1-2), 81–103.
- Altieri, M., Ponti, L., Nicholls, C., 2005. Manipulating vineyard biodiversity for improved insect pest management: case studies from northern California. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystems Services & Management* 1, 191–203.
- Andreoli, M., Tellarini, V., 2000. Farm sustainability evaluation: methodology and practice. *Agriculture, ecosystems & environment* 77(1-2), 43–52.
- Aytenew, M., Bore, G., 2020. Effects of Organic Amendments on Soil Fertility and Environmental Quality: A Review. *Journal of Plant Sciences* 8, 112–119. <https://doi.org/10.11648/j.jps.20200805.12>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., Walker, S., 2014. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *arXiv preprint arXiv:1406.5823*.
- Bardgett, R., van der Putten, W., 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature* 515, 505–511. <https://doi.org/10.1038/nature13855>
- Becker, B., 1988. Synthesizing standardized mean-change measures. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology* 41(2), 257–278.
- Belda, I., Ruiz, J., Esteban-Fernández, A., Navascués, E., Marquina, D., Santos, A., Moreno-Arribas, M., 2017a. Microbial contribution to wine aroma and its intended use for wine quality improvement. *Molecules* 22(2), 189. <https://doi.org/10.3390/molecules22020189>
- Belda, I., Zarraonaindia, I., Perisin, M., Palacios, A., Acedo, A., 2017b. From vineyard soil to wine fermentation: Microbiome approximations to explain the “terroir” Concept. *Frontiers in Microbiology* 8, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00821>
- Bender, F., Wagg, C., van der Heijden, M., 2016. An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution* 31, 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
- Blouin, M., Hodson, M., Delgado, E., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K., Dai, J., Dendooven, L., Pres, G., Tondoh, J., Cluzeau, D., Brun, J., 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science* 64(2), 161–182.
- Boisier, J.P., Alvarez-Garreton, C., Cordero, R., Damian, A., Gallardo, L., Garreaud, R., Lambert, F., Ramallo, C., Rojas, M., Rondanelli, R., 2019. Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long term observations and climate model simulations. *Elementa Science of the Anthropocene* 6, 74. <https://doi.org/10.1525/elementa.328>
- Bokulich, N., Collins, T., Masarweh, C., Allen, G., Heymann, H., Ebeler, S., Mills, D., 2016. Associations among wine grape microbiome, metabolome, and fermentation behavior suggest microbial contribution to regional wine characteristics. *mBio* 7(3), e00631-16. <https://doi.org/10.1128/mBio.00631-16>
- Borsato, E., Zucchinielli, M., D’Ammaro, D., Giubilato, E., Zabeo, A., Criscione, P., Pizzol, L., Cohen, Y., Tarolli, P., Lamas-tra, L., Marinello, F., 2020. Use of multiple indicators to compare sustainability performance of organic vs conventional vineyard management. *Science of the Total Environment* 711, 135081.
- Bouché, M.B., 1972. *Lombriciens de France Ecologie et Systématique*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.
- 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. *European Journal of Soil Biology* 36, 177–198.
- Buchholz, J., Querner, P., Paredes, D., Bauer, T., Strauss, P., Guernion, M., Scimia, J., Cluzeau, D., Burel, F., Kratschmer, S., Winter, S., Potthoff, M., Zaller, J., 2017. Soil biota in vineyards are more influenced by plants and soil quality than by tillage intensity or the surrounding landscape. *Scientific Reports* 7(1), 1–12.
- Calleja-Cervantes, M.E., Fernández-González, A.J., Irigoyen, I., Fernández-López, M., Aparicio-Tejo, P.M., Menéndez, S., 2015. Thirteen years of continued application of composted organic wastes in a vineyard modify soil quality characteristics. *Soil Biology and Biochemistry* 90, 241–254.
- Capozzi, V., Garofalo, C., Chiriatti, M.A., Grieco, F., Spano, G., 2015. Microbial terroir and food innovation: The case of yeast biodiversity in wine. *Microbiological research* 181, 75–83.
- Castellano, M., Mueller, K., Olk, D., Sawyer, J., Six, J., 2015. Integrating plant litter quality, soil organic matter stabilization, and the carbon saturation concept. *Global Change Biology* 21, 3200–3209. <https://doi.org/10.1111/gcb.12982>
- Castro-Huerta, R., Falco, L., Sandler, R., Coviella, C., 2015. Differential contribution of soil biota groups to plant litter decomposition as mediated by soil use. *PeerJ* 3, e826. <https://doi.org/10.7717/peerj.826>
- Céspedes, M., 2012. Producción hortofrutícola orgánica. *Boletín INIA* N° 232. p 192. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán.
- Crawley, M.J., 2012. *The R book*. John Wiley & Sons.
- Cunha, L., Brown, G.G., Stanton, D.W.G., Da Silva, E., Hansel, F.A., Jorge, G., McKey, D., Vidal-Torrado, P., Macedo, R.S., Velasquez, E., James, S.W., Lavelle, P., Kille, P., 2016. Soil animals and pedogenesis: the role of earthworms in anthropogenic soils. *Soil Science* 181 (3-4), 110–125.
- Doan, T.T., Jusselme, D.M., Lata, J.C., Van Nguyen, B., Jouquet, P., 2013. The earthworm species *Metaphire posthuma* modulates the effect of organic amendments (compost vs. vermicompost from buffalo manure) on soil microbial properties. A laboratory experiment. *European Journal of Soil Biology* 59, 15–21.
- Edwards, C.A., 2004. The importance of earthworms as key representatives of the soil fauna, in: Edwards, C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology*. CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 3–11.



- 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(1), 99–111.
- Faber, F., Wachter, E., Zaller, J.G., 2017. Earthworms are little affected by reduced soil tillage methods in vineyards. *Plant, Soil and Environment* 63(6), 257–263.
- Fourie J., Agenbag, G., Louw, P., 2007. Cover crop management in a Sauvignon Blanc / Ramsey vineyard in the semi-arid Olifants River Valley, South Africa. 3. Effect of different cover crops and cover crop management practices on the organic matter and macro-nutrient contents of a sandy soil. *South African Journal for Enology and Viticulture* 28, 92–101.
- Fourie, J.C., 2012. Soil management in the Breede River Valley wine grape region, South Africa. 4. Organic matter and macro-nutrient content of a medium-textured soil. *South African Journal of Enology and Viticulture* 33(1), 105–114.
- Franzluubbers, A.J., Wendroth, O., Creamer, N.G., Feng, G.G., 2020. Focusing the future of farming on agroecology. *Agricultural Environmental Letters* 5, 1–6. <https://doi.org/10.1002/ael2.20034>
- Fusaro, S., Gavinelli, F., Lazzarini, F., Paoletti, M.G., 2018. Soil Biological Quality Index based on earthworms (QBS-e). A new way to use earthworms as bioindicators in agroecosystems. *Ecological Indicators* 93, 1276–1292.
- García-Ruiz, J., 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. *Catena* 81(1), 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.001>.
- Grangeteau, C., Roullier-Gall, C., Rousseaux, S., Gougeon, R.D., Schmitt-Kopplin, P., Alexandre, H., Guilloux-Benatier, M., 2017. Wine microbiology is driven by vineyard and winery anthropogenic factors. *Microbial Biotechnology* 10, 354–370. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12428>
- Garibaldi, L.A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B.E., Cunningham, S.A., Breeze, T.D., 2017. Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends in ecology & evolution* 32(1), 68–80.
- Goulet, E., Dousset, S., Chaussod, R., Bartoli, F., Doledec, A.F., Andreux, F., 2004. Water-stable aggregates and organic matter pools in a calcareous vineyard soil under four soil-surface management systems. *Soil Use and Management* 20, 318–324.
- Gutiérrez-Gamboa, G., Moreno-Simunovic, Y., 2019. Terroir and typicity of Carignan from Maule Valley (Chile): The resurgence of a minority variety. *OENO One* 53, 75–93. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.1.2348>
- Guzmán, G.I., López, D., Román, L., Alonso, A.M., 2013. Participatory action research in agroecology: building local organic food networks in Spain. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37(1), 127–146.
- Harrison, P., Berry, P., Simpson, G., Haslett, J., Blicharska, M., Bucur, M., Dunford, R., Egoh, B., Garcia-Llorente, M., Geamana, N., Geertsema, W., Lommelen, E., Meiresonne, L., Turkelboom, F., 2014. Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services* 9, 191–203.
- Harrison, X., Donaldson, L., Correa-Cano, M., Evans, J., Fisher, D., Goodwin, C., Robinson, B., Hodgson, D., Inger, R., 2018. A brief introduction to mixed effects modelling and multi-model inference in ecology. *PeerJ* 6, e4794.
- Jara, C., Laurie, V., Mas, A., Romero, J., 2016. Microbial Terroir in Chilean Valleys: Diversity of Non-conventional Yeast. *Frontiers in Microbiology* 7, 663. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00663>
- Jiménez, J.J., Lavelle, P., Decaens, T., 2006. The efficiency of soil hand-sorting in assessing the abundance and biomass of earthworm communities. Its usefulness in population dynamics and cohort analysis studies. *European Journal of Soil Biology* 42, 225–230.
- Jones, C., Lawton, J., Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69, 373–386. <https://doi.org/10.2307/3545850>
- Lal, R., 2016. Beyond COP21: Potential and challenges of the “4 per Thousand” initiative. *Journal of Soil and Water Conservation* 71, 20A–25A. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.1.20A>
- Lambin, E.F., Meyfroidt, P., 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(9), 3465–3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>
- Lampridi, M.G., Sørensen, C.G., Bochtis, D., 2019. Agricultural sustainability: A review of concepts and methods. *Sustainability* 11(18), 5120. <https://doi.org/10.3390/su11185120>
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O.W., Dhillon, S., 1997. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology* 33, 159–193.
- Lavelle, P., Decaens, T., Aubert, M., Barota, S., Blouina, M., Bureau, F., Margerieb, P., Mora, P., Rossic, J., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42, S3–S15.
- Lavelle, P., de Souza Moreira, F.M., Spain, A.V., 2014. Biodiversity: conserving biodiversity in agroecosystems, in: Van Alfen, N. (Ed.), *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Chapter: 19, Elsevier, pp. 41–60.
- Lavelle, P., Spain, A., Blouin, M., Brown, G., Decaens, T., Grimaldi, M., Jimenez, J.J., McKey, D., Mathieu, J., Velasquez, E., Zangerle, A., 2016. Ecosystem engineers in a self-organized soil: a review of concept and future research questions. *Soil Science* 181(3–4), 91–109
- Lazcano, C., Decock, C., Wilson, S.G., 2020. Defining and Managing for Healthy Vineyard Soils, Intersections With the Concept of Terroir. *Frontiers in Environmental Science* 8(68), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00068>
- Le Bayon, R.-C., Bullinger-Weber, G., Schomburg, A., Turberg, P., Schlaepfer, R., Guenat, C., 2017. Earthworms as ecosystem engineers: a review, in: Horton, C.G. (Ed.), *Earthworms- Types, Roles and Research*. Nova Science Publishers Inc., pp. 129–178.
- Lee, K., 1985. *Earthworms – Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*. Academic Press, Australia.
- Martin, E.A., Reineking, B., Seo, B., Steffan-Dewenter, I., 2013. Natural enemy interactions constrain pest control in complex agricultural landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(14), 5534–5539.
- Martínez, M.M., Ortega, R., Janssens, M., Fincheira, P., 2018. Use of organic amendments in table grape: Effect on

- plant root system and soil quality indicators. *Journal of soil science and plant nutrition* 18(1), 100–112. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005000501>
- Medina-Sauza, R.M., Álvarez-Jiménez, M., Delhal, A., Reverchon, F., Blouin, M., Guerrero-Analco, J.A., Cerdán, C.R., Guevara, R., Villain, L., Barois, I., 2019. Earthworms building up soil microbiota, a review. *Frontiers in Environmental Science* 7, 81 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00081>
- de Menezes, A.B., Prendergast-Miller, M.T., Macdonald, L.M., Toscas, P., Baker, G., Farrell, M., Wark, T., Richardson, A.E., Thrall, P., 2018. Earthworm-induced shifts in microbial diversity in soils with rare versus established invasive earthworm populations. *FEMS Microbiology Ecology* 94(5), 1–14. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy051>
- Mora, G.M., 2019. The Chilean Wine Industry, in: Ugaglia, A., Sevilla, L. (Eds.), *The Palgrave Handbook of Wine Industry Economics*. Palgrave Macmillan, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98633-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98633-3_8)
- Morales Hernández, J., Alvarado Castro, E., Vélez Lucero, L., 2017. Los saberes campesinos y la construcción de conocimientos hacia agriculturas más sustentables: Una experiencia desde Jalisco México, in: Macías, A., Sevilla, L. (Eds.), *Voces rurales: los saberes de los pequeños productores de México y Latinoamérica*. Universidad de Guadalajara, México.
- Mottet, A., Bicksler, A., Lucantoni, D., De Rosa, F., Scherf, B., Scopel, E., López-Ridaura, S., Gemmil-Herren, B., Bezner Kerr, R., Sourisseau, J.M., Petersen, P., Chotte, J.L., Loconto, A., Tittonell, P., 2020. Assessing Transitions to Sustainable Agricultural and Food Systems: A Tool for Agroecology Performance Evaluation (TAPE). *Frontiers in Sustainable Food Systems* 252, 1–21. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.579154>
- Neher, D.A., Barbercheck, M., 2019. Soil microarthropods and soil health: Intersection of decomposition and pest suppression in agroecosystems. *Insects* 10, 1–13. <https://doi.org/10.3390/insects10120414>
- Nicholls, C., Altieri, M., Dezanet, A., Lana, M., Feistauer, D., Ouiriques, M., 2004. A rapid, farmer-friendly agroecological method to estimate soil quality and crop health in vineyard systems. *Biodynamics* 33–39.
- Nicholls, C., Altieri, M., Ponti, L., 2008. Enhancing plant diversity for improved insect pest management in northern California organic vineyards. *Acta Horticulturae* 785, 263–278. <https://doi.org/10.17660/ActaHort.2008.785.32>
- Nicholls, C., Altieri, M., Kobayashi, M., Tamura, N., McGreevy, S., Hitaka, K., 2020. Estimando el nivel agroecológico de una finca: una herramienta de evaluación para agricultores. *Agro Sur* 48(2), 29–41.
- Observatorio para la Innovación Agraria, Agroalimentaria y Forestal (OPIA), 2021. Fundación para la Innovación Agraria (FIA). <https://www.opia.cl/601/w3-articulo-4418.html>
- Organización Internacional del Vino (OIV), 2016. Statistical report on world vitiviculture. <http://www.oiv.int/public/medias/5029/world-vitiviculture-situation-2016.pdf>
- Ovalle, C., del Pozo, A., Lavín, A., Hirzel, J., 2007. Cover crops in vineyards: performance of annual forage legume mixtures and effects on soil fertility. *Agricultura Técnica* 67(4), 384–392.
- Paoletti, M., Sommaggio, D., Favretto, M., Petruzzelli, G., Pezzarossa, B., Barbaferi, M., 1998. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology* 10(1-2), 137–150.
- Pérès, G., Cluzeau, D., Curmi, P., Hallaire, V., 1998. Earthworm activity and soil structure changes due to organic enrichments in vineyard systems. *Biology and Fertility of Soils* 27(4), 417–424.
- Pérez-Álvarez, E., Garde-Cerdán, T., Santamaría, P., García-Escudero, E., Peregrina, F., 2015. Influence of two different cover crops on soil N availability, N nutritional status, and grape yeast-assimilable N (YAN) in a cv. Tempranillo vineyard. *Plant and Soil* 390, 143–156.
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R.T., Dessane, E.B., Islar, M., Kelemen, E., Maris, V., 2017. Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26, 7–16.
- Pino, C., 2013. *Manual de vitivicultura orgánica*. Ediciones Céspedes. Curicó. Chile.
- Pineda, A., Kaplan, I., Bezemer, T., 2017. Steering Soil Microbiomes to Suppress Aboveground Insect Pests. *Trends in Plant Science* 22, 770–778. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.07.002>
- Ponge, J., Peres, G., Guernion, M., Ruiz-Camacho, N., Cortet, J., Pernin, C., Villenave, C., Chaussod, R., Martin-Laurent, F., Bispo, A., Cluzeau, D., 2013. The impact of agricultural practices on soil biota: A regional study. *Soil Biology & Biochemistry* 67, 271–284. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.026>
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ricciardi, V., Mehrabi, Z., Wittman, H., James, D., Ramankutty, N., 2021. Higher yields and more biodiversity on smaller farms. *Nature Sustainability* 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00699-2>
- Salazar, A., 2013. Autoevaluación de indicadores agroecológicos en sistemas vitícolas orgánicos de la zona centro sur de Chile. [Tesis de grado]. Universidad Católica del Maule, Chile.
- Salomé, C., Coll, P., Lardo, E., Metay, A., Villenave, C., Marsden, C., Blanchart, E., Hinsinger, P., Le, C., 2016. The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. *Ecological Indicators* 61(2), 456–465
- Swift, M., Bignell, D., 2001. Standard methods for assessment of soil biodiversity and land use practice. International Centre for Research in Agroforestry.
- Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T.C., Kremen, C., van der Heijden, M., Liebman, M., Hallin, S., 2020. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science advances* 6(45). <https://doi.org/10.1126/SCIADV.ABA1715>
- Tilman, D., 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96, 5995–6000.

- Valenzuela, H., 2016. Agroecology: A Global Paradigm to Challenge Mainstream Industrial Agriculture. *Horticulturae* 2(1), 2. <https://doi.org/10.3390/horticulturae2010002>
- Vanbergen, A., Aizen, M., Cordeau, S., Garibaldi, L., Garratt, M., Kovács-Hostyánszki, A., Lecuyer, L., Ngo, H., Potts, S., Settele, J., Skrimizea, E., Young, J., 2020. Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature's contributions to people, agriculture and food security, 1st ed, *Advances in Ecological Research*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.08.002>
- Vandermeer, J., Perfecto, I., 2005. The future of farming and conservation. *Science* 308, 1257–1257.
- Veresoglou, S., Halley, J., Rillig, M., 2015. Extinction risk of soil biota. *Nature communications* 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/ncomms9862>
- Vitousek, P., Mooney, H., Lubchenco, J., Melillo, J.M., 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277, 494–499.
- Wall, D., Nielsen, U., Six, J., 2015. Soil biodiversity and human health. *Nature* 528(7580), 69–76. <https://doi.org/10.1038/nature15744>
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., David, C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for sustainable development* 29(4), 503–515.
- Wezel, A., Herren, B.G., Kerr, R., Barrios, E., Gonçalves, A., Sinclair, F., 2020. Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 40(6), 1–13.
- Winter, S., Bauer, T., Strauss, P., Kratschmer, S., Paredes, D., Popescu, D., Landa, B., Guzmán, G., Gómez, J.A., Guernion, M., Zaller, J.G., 2018. Effects of vegetation management intensity on biodiversity and ecosystem services in vineyards: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 55(5), 2484–2495.
- Wratten, S., Shields, M., Gonzalez-Chang, M., 2019. Prospects for regenerative agriculture in Chile. *Agro Sur* 47(2), 1–6. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2019.v47n2-01>
- Wu, D., Liu, M., Song, X., Jiao, J., Li, H., Hu, F., 2015. Earthworm ecosystem service and dis-service in an N-enriched agroecosystem: Increase of plant production leads to no effects on yield-scaled N<sub>2</sub>O emissions. *Soil Biology and Biochemistry* 82, 1–8.
- Zuur, A., Ieno, E., Walker, N., Saveliev, A., Smith, G., 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R* (Vol. 574). New York: Springer.

