

ARTÍCULO CORTO DE INVESTIGACIÓN

DOI: 10.47864/SE(51)2021p1-12_135

Sociedad Colombiana
de la Ciencia del Suelo

CAPACIDAD DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICA DEL CULTIVO DE AGUACATE EN URUAPAN, MICHOACÁN, MÉXICO

Alma Guadalupe Barajas Alcalá¹✉

¹ Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores de México, Doctorado en Conservación y Restauración del Medio Natural.

e-mail:

alma.barajas@umich.mx

Orcid: 0002-7150-4009

Palabras claves:

Perspectiva local, manejo, fertilidad natural del suelo, capital social, capital financiero y capital ambiental.

RESUMEN

Las problemáticas de los campos agrícolas en el mundo parecieran tener los mismos orígenes: revolución verde, instalación de monocultivos, pérdida de recursos hídricos y degradación de suelos. Las prácticas que se deberían de promover y supervisar, convendrían estar relacionadas con la salud del suelo, porque de esta depende su capacidad multifuncional. Por ello esta investigación se centra en la descripción detallada del estado actual del suelo y se vincula con la perspectiva local para abordar los capitales de la sostenibilidad. El área de estudio se encuentra en Michoacán, México. Es el municipio de Uruapan, tiene una altitud entre los 500 y 3,300 m. Para diagnosticar los suelos, se seleccionó una huerta experimental con base en: representatividad en el paisaje, manejo convencional y 40 años o más de edad de los árboles. Se describieron tres perfiles edáficos. Con los datos de campo y de laboratorio, se clasificó el perfil y se diseñaron gráficas para comprender sus propiedades. Para abordar la perspectiva local de la sostenibilidad se aplicaron encuestas estructuradas cerradas y se seleccionaron 33 informantes clave. Los datos obtenidos de las entrevistas se analizaron con la gráfica de tipo araña para observar la correlación entre principales ideas y percepciones. Se identificaron tres grupos de suelo: Andosol, Luvisol y Leptosol. Las propiedades biológicas tienen mayor diversidad en el suelo de bosque. En el caso de los macronutrientes los tres suelos tienen una distribución con el mismo comportamiento, lo que varía son los micronutrientes Zn, B y Cu, están en exceso en las huertas. De acuerdo con el tipo de clima se identificaron dos grupos de entrevistados, Las variables de los capitales de la sostenibilidad más relevantes para transitar a ella son las condiciones climáticas y la aptitud de los suelos. Sin embargo, al menos el 50% de entrevistados consideran que la principal barrera es la falta de recursos económicos.

ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY CAPACITY OF AVOCADO CROPPING IN URUAPAN, MICHOACAN, MEXICO

Keywords:

Local perspective, management, soil's natural fertility, social capital, economic capital, environmental capital.

ABSTRACT

The problems of agricultural fields in the world seem to have the same origins: green revolution, crop monocultures, loss of water resources and soil degradation. The multifunctional capacity of the soil depends on its health, thus, there should be methods related to promoting and supervising soil health. This research focuses in a detailed description of the current state of the soil and is linked to the local perspective, addressing the capitals of sustainability. The study area is located in Michoacán, Mexico, in the municipality of Uruapan. It has an altitude between 500 and 3,300 m. To diagnose the soils, an experimental farmland was selected based on: landscape representation, conventional management and 40 years or more of age of the trees. Three edaphic profiles were described. With the field and laboratory data, each profile was classified and graphs were designed to understand its properties. Closed structured surveys were applied and 33 key informants were selected in order to address the local perspective of sustainability. The data obtained from the interviews was analyzed with spider graphs in order to observe the informers' main ideas and perceptions. Three groups of soil were identified: Andosol, Luvisol and Leptosol. Biological properties were more diverse in Leptosol. In respect to macronutrients, the three types of soil had the same behavioral distribution. Micronutrients showed an excess of Zn, B and Cu in the farmland. According to the type of climate, two types of interviewees were identified. The most relevant variables of the capitals of sustainability and its way to get there are climatic conditions and suitability of the soils. However, at list 50% of the interviewees considered that the main setback was the lack of economic resources.

Rec : 07/08/2021

Acep : 20/10/2021



INTRODUCCIÓN

El estilo de vida actual de la humanidad tiende a alterar los ecosistemas. En particular, el uso agrícola ha generado la degradación de los suelos (IEMA, 2005), resultando de un círculo vicioso entre la necesidad de aumentar rendimientos, y el uso excesivo de agroquímicos y maquinaria (IPNI, 2013). Sin embargo, no todos los tipos de manejo agrícola provocan la degradación del ambiente (Hassan, 2005).

Para diseñar el manejo sostenible de las huertas es necesario tener una descripción detallada de las propiedades de los suelos (Blum, 2014). Estos datos se requieren en todas las etapas de desarrollo del cultivo para incidir en la productividad (IPNI, 2013). Si se comprende la fertilidad natural del suelo sus procesos y conectividades, se pueden disminuir o revertir los problemas que aquejan a los agro-ecosistemas (De Wrachien, 2003; Laker, 2005; Ratke *et al.*, 2020).

Las problemáticas de los campos agrícolas en el mundo parecieran tener los mismos orígenes: revolución verde, instalación de monocultivos, pérdida de recursos hídricos y degradación de suelos (TEEB, 2018; FAO-INRAE, 2021). En el caso del cultivo de aguacate en Michoacán, los problemas que lo aquejan se delimitan por tres etapas clave y los procesos históricos que las entrelazan.

Etapas 1. La introducción del árbol mejorado (*Persea americana Mill*) proveniente de California, Estados Unidos de América (Popenoe y Williams, 1948), se llevó a las fincas sobrevivientes a la Revolución Mexicana alrededor de 1940, y, a la par se dio el estallido de la Revolución Verde, con ello se originaron las primeras investigaciones en *California Avocado Society* (Sociedad del aguacate de California), creada en el año de 1915, aunque sus primeras investigaciones en torno a la variedad *Hass* fueron hasta 1935 (Smoyer, 1948).

La comparación entre frutos de California y Michoacán mostraba una diferencia significativa en cuanto tamaño, calidad visual del fruto y contenido de aceites. Sin embargo, el mercado estadounidense no sabía de la cualidad del aguacate michoacano hasta la constitución del Tratado de Libre Comercio (TLC) (DOF, 2000; Arellanes-Jiménez, 2014).

Etapas 2. Una pieza fundamental fue la creación de certificadoras internacionales encargadas de regular las buenas prácticas para la producción, embalaje y exportación. Desde 1972 y hasta 1995, el aguacate michoacano no lograba ubicarse en el mercado estadounidense hasta que se trazó el protocolo de las buenas prácticas (Roberts y Orden, 1997).

Fue así que en 1999 la creciente demanda del producto repercutió sobre el precio del aguacate, dado que la oferta era menor en relación con la demanda, la rentabilidad del cultivo permitió que las familias de Michoacán tuvieran ganancias de millones de pesos por hectárea (SEDGIB, 2012). Situación que propició la expansión acelerada del cultivo de aguacate (Morales-Manilla *et al.*, 2010; Barajas, 2015).

Con el desarrollo de los sistemas de información geográfica, la adquisición de datos a través de imágenes satelitales permitió conocer la expansión porcentual de las huertas, situación que alarmó a políticos, empresarios, académicos, productores y ciudadanos interesados en el tema, dado que de 1980 al 2010 se extendió 75%, primero hacia tierras agrícolas de temporal, luego hacia matorral-pastizal inducido y posteriormente hacia bosques de pino-encino y pino (INIFAP, 2009; Morales-Manilla *et al.*, 2010; Chávez-León *et al.*, 2012; Barajas, 2015).

Entre los años 1974 y 2011, se trazó la franja aguacatera, la cual coincide con la distribución de los volcanes del Eje Neovolcánico Transversal Mexicano, con una altitud de 1,600 a 2,200 m, donde las condiciones climáticas son las idóneas

para la producción (Morales-Manilla *et al.*, 2010; Barajas, 2015).

Las tierras idóneas para el cultivo de aguacate se agotaron, pero la necesidad de extender las huertas de aguacate no. La dependencia del beneficio económico relacionado con la rentabilidad del cultivo permitió el establecimiento de huertas en un intervalo altitudinal más amplio, en la actualidad ocupa entre 1,100 y 2,700 msnm, además sobre suelos con baja aptitud (SAGARPA, 2017).

Etapas 3. Nace alrededor del 2015 con el bombardeo de los medios de comunicación al producto aguacate (ej. capítulo El Aguacate del Diablo de la serie Rotten de Netflix®), es entonces donde de nuevo las certificadoras internacionales hacen una pauta ante el impacto ambiental del cultivo. Un caso es a través de la certificación GlobalG.A.P.

En diciembre de 2018 se publicó la Evaluación de la Sostenibilidad Agrícola, donde GlobalG.A.P. enlista una serie de acciones, las líneas más importantes relacionadas con el medio ambiente son: protección de áreas naturales dentro o en la periferia de las huertas, y, tomar en cuenta las áreas con alto valor natural (relacionadas con las funciones ecosistémicas, como recarga de acuíferos).

Por su parte el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos creó en 2017 el Programa de Fomento a la Agricultura como Componente de Mejoramiento Productivo de Suelo y Agua; y, el Programa de Apoyo a Pequeños Productores como Componente de Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable del Suelo y Agua. Sin embargo, tanto las directrices de las certificadoras como la de los programas de gobierno son aún un marco fragmentado poco vinculado con el estado actual del suelo.

El manejo y las prácticas que se deberían de promover y supervisar, convendrían estar relacionadas con la salud del suelo, porque de

esta depende su capacidad multifuncional (Lehmann y Stahr, 2010). Los problemas ambientales que aquejan al cultivo del aguacate están relacionados con la pérdida de la capacidad del suelo para: filtrar y recargar el agua en los mantos acuíferos; disponer de macro y micro nutrientes de forma natural; y, capturar y almacenar carbono (Blum, 2014; Gutiérrez *et al.*, 2010). Por ello esta investigación se centra en la descripción detallada del estado actual del suelo y se vincula con la perspectiva local para abordar los capitales de la sostenibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La población de interés son las huertas con árboles de edad mayor a 40 años y una densidad de 50 ind ha⁻¹, éstas han vivido las tres etapas del cultivo de aguacate de forma acumulada. Los principales componentes de análisis fueron: 1) Descripción detallada de las propiedades de los suelos, y 2) Perspectiva local de la sostenibilidad del cultivo del aguacate.

El área de estudio se encuentra en Michoacán, México, es el municipio de Uruapan, uno de los tres que tienen la mayor productividad de aguacate junto con Tancítaro y Peribán (SIAP, 2020). Se ubica entre los paralelos 19°11' y 19°38' de latitud norte; los meridianos 101°56' y 102°24' de longitud oeste; con una altitud entre los 500 y 3,300 m (Figura 1) (INEGI, 2009).

Por su gradiente altitudinal tiene tres tipos de clima predominantes, en la parte alta es templado subhúmedo de mayor humedad, en la parte media es semicálido húmedo con abundante lluvia en verano y en la parte baja cálido subhúmedo con lluvia en verano (INEGI a, 1985).

El ambiente geológico es el Eje Neovolcánico Transversal Mexicano, principalmente tiene rocas basálticas con parches de brecha volcánica intermedia y brecha volcánica básica (INEGI b, 1985). Las brechas se asocian con las laderas

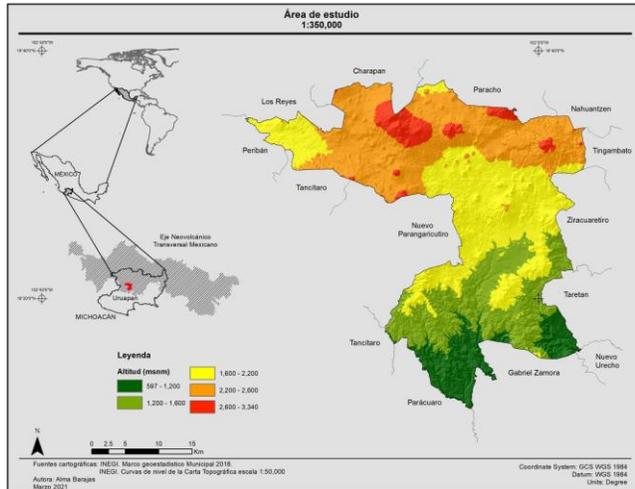


Figura 1. Ubicación Uruapan, Michoacán. México.

bajas de las montañas y los pies de monte, sitios donde brota el agua en abundancia, la cual debería desembocar en los afluentes de los ríos Cupatitzio, Parotillas y Cofradía (Morales, 2019).

De acuerdo con el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2007) tiene siete tipos de suelo: Andosol (51.98%), Leptosol (15.99%), Luvisol (13.98%), Cambisol (6.59%), Phaeozem (3.76%), Regosol (1.71%) y Vertisol (0.19%).

Aunque los ciudadanos de Uruapan ya no hablan p'urhépecha ni resguardan un conocimiento ancestral de las tierras, identifican tres tipos de suelo: 1) Topure, suelo de ceniza volcánica intemperizada, muy apto para la producción de aguacate; 2) Charanda, suelo con alto contenido de arcillas rojas con baja aptitud para la producción; y, 3) Revuelta, suelo mezclado entre Topure y Charanda, con mediana aptitud para la producción de aguacate (Barajas, 2015; Barrera-Bassols, 1988).

Diagnóstico de los suelos aguacateros

Se seleccionó una huerta experimental, con base en los siguientes criterios: representatividad en el paisaje, manejo convencional, 40 años o más de edad de los árboles y facilidad ofertada por el productor para analizar su predio. La huerta seleccionada tiene una superficie de ≈ 38

hectáreas, con Topure y Charanda, así como una zona con cubierta forestal nativa con bosque de pino-encino.

Se describieron tres perfiles edáficos, uno en Topure, uno en Charanda y otro en bosque, este último fungió el papel de muestra blanco. Se colectaron 12 muestras, las cuales corresponden a los horizontes. Con los datos de campo y de laboratorio, se realizó la clasificación del perfil (IUSS Working Group WRB, 2015) y se diseñaron gráficas para comprender las propiedades del suelo en el software OriginPro (versión 2021b).

Perspectiva local de la sostenibilidad

Se aplicaron encuestas estructuradas cerradas, se seleccionaron 33 informantes clave de acuerdo con el recorrido de campo de los técnicos de la Junta Local de Sanidad de Uruapan. Se entrevistó a los productores dueños de las huertas, es decir, a la persona con capacidad de tomar decisiones sobre el manejo. Se hizo énfasis en conocer: el perfil socioeconómico; la percepción de cambios y amenazas; y la percepción de la sostenibilidad (TEEB, 2018). Los datos obtenidos de las encuestas se analizaron con el software Quantrix modeler (21.1.0), el principal procesamiento fue la gráfica de tipo araña, para observar la correlación entre principales ideas y percepciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos aguacateros

Se identificaron tres grupos de suelo: 1) Andosol nombrado por los productores Topure; 2) Luvisol identificado como Charanda; y, 3) Leptosol mencionado por suelo de bosque. De acuerdo con Castellanos (2000) la clasificación brinda una idea muy general de la fertilidad del suelo, lo que si brinda detalladamente es la génesis la cual nos permite entender su desarrollo a través del tiempo (Targulian y Bronnikova, 2019).

Con base en Harrington y Tripp (1984) no hay una fórmula única para identificar las propiedades clave en el desarrollo y la funcionalidad del suelo, se requiere analizar las circunstancias y las prácticas potenciales a implementar. En concordancia con Karlen *et al.*, (1996) se describen los indicadores 1) biológicos: comunidades microbianas y tipo de mantillo (Tabla 1); 2) químicos: macronutrientes, capacidad de intercambio de cationes, micronutrientes, materia orgánica y nitratos (Tabla 2); y, 3) físicos: densidad aparente, porosidad, profundidad efectiva, profundidad de enraizamiento, textura, contenido de arcillas y fragmentos gruesos (Tabla 3).

En el caso de los macronutrientes los tres suelos tienen una distribución con el mismo comportamiento (Figura 2 Ai, Bi y Ci), lo que varía es el número de horizontes, la relación Mg/K es alta y Ca/Mg mediana. Los micronutrientes se comportan de forma distinta (Figura 2 Aii, Bii y Cii), en suelos con cultivo de aguacate (Figura 2 A y C) observamos un contenido de Zn y B que decrece abruptamente entre el horizonte superficial y el subsecuente (Figura 2: Aii, Zn: línea azul, y, Cii, B: línea roja). Mientras que Cu y N-NO₃, tienen una distribución lineal (Figura 2, ii: Cu línea negra y N-NO₃ línea verde). Nitrógeno tiene contenidos similares (AN 29.7, LP 27.8 y LV 12.7 (ppm)), por lo contrario el cobre en bosque tiene 0.23 ppm y, en aguacate el Andosol 13.5 ppm y el Luvisol 36.5 ppm.

De acuerdo con Aguirre-Calderón (2015) los responsables del manejo de los agroquímicos y en general de los sistemas productivos deberán de mejorar sus capacidades técnicas para estructurar la sostenibilidad considerando no solo el capital ambiental sino además incluir el capital social y capital económico.

Perspectiva local de la sostenibilidad

El manejo sustentable se concibe como un procedimiento que constantemente se renueva

con la toma de decisiones que resulta en acciones que consideran los factores: ecológico, económico y social (Kates *et al.*, 2001).

Algunos gobiernos consideran un pilar clave integrar a los productores en el diagnóstico, el diseño y la toma de decisiones (UK Royal Town Planning Institute en: McCall y Dunn, 2012). Ya que el éxito de estos programas se define por quien decide o no realizar cambios en las prácticas de manejo, por ello esta investigación describe la percepción de los productores.

De acuerdo con el tipo de clima se identificaron dos grupos de entrevistados: 1) templado subhúmedo con altitud entre los 1,200 y 1,600 m; y, 2) semicálido húmedo con altura entre los 1,600 y 2,200 msnm (Figura 3). Se normalizaron las poblaciones, con naranja se observan los productores de clima semicálido y con verde los productores de clima templado (Figura 4).

Las huertas de clima semicálido son identificadas como más vulnerables porque reportan mayor incidencia de plagas y enfermedades, además creen que el cambio climático podría afectar su huerta, porque han observado disminución en la disponibilidad de agua (Figura 4). Las variables de los capitales de la sostenibilidad más relevantes para transitar a ella son las condiciones climáticas y la aptitud de los suelos (Figura 5).

El capital financiero enuncia que con lo que ganan les alcanza para cubrir sus necesidades y se dedican a producir aguacate por el beneficio económico que reciben, sin embargo, consideran -al menos 15 productores- que la principal barrera para transitar hacia el manejo sostenible es la falta de recursos económicos (Figura 6).

La tendencia es diseñar el manejo agrícola en el marco de una visión ecosistémica, paisajista, integral, participativa y de uso múltiple. Orientado al productor a la obtención del rendimiento deseado no solo del producto agrícola sino de bienes y servicios que ofrecen las huertas (De Wrachien, 2003; Laker, 2005).

Tabla 1. Microorganismos en suelos aguacateros y de bosque.

Suelo	Microorganismos (nombre)	Mantillo (tipo)	Prof. efectiva (cm)	Prof. de enraizamiento (cm)
Luvisol Charanda con aguacate	<i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Cylindrocarpon sp.</i> , <i>Fusarium solani</i> , <i>Cephalosporium sp.</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Trichoderma sp.</i>	Moder	86	99
Leptosol suelo de bosque	<i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Bacillus sp.</i> , <i>Cylindrocarpon sp.</i> , <i>Cephalosporium sp.</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Cephalosporium sp.</i> , <i>Verticillium sp.</i> , <i>Gliocladium sp.</i> , <i>Aphelenchoides sp.</i> , <i>Criconemella sp.</i> , <i>Acrobeles sp.</i> , <i>Aphelenchus sp.</i> , <i>Tylenchorhynchus sp.</i> , y <i>Tylenchulus sp.</i>	Mor	7	60
Andosol Topure con aguacate	<i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Cylindrocarpon sp.</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Trichoderma sp.</i> y <i>Acrobeles sp.</i>	Mull	64	120

Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos aguacateros.

Suelo	Prof. (cm)	Hte.	Ca	Mg	Na	K	CIC	MO (%)	Zn	Cu	B	N-NO3
			(meq 100g ⁻¹)						(ppm)			
Luvisol Charanda con aguacate	0-14	Ah	11.60	3.40	0.18	1.26	16.40	4.38	9.50	13.50	0.27	29.7
	14-40	BA	7.01	2.75	0.28	1.81	11.90	1.91	0.10	3.07	0.66	33.3
	40-75	B	5.24	1.88	0.42	2.08	9.62	0.44	0.10	1.41	1.11	8.44
	75-99	Bt	4.27	1.88	0.63	1.55	8.33	0.32	0.10	1.01	0.10	3.40
	99-120	Bt2	4.02	1.89	0.63	1.51	8.05	0.19	0.10	0.57	0.11	6.67
Leptosol suelo de bosque	0-7	Ah	9.53	2.55	0.20	0.54	12.8	7.84	0.22	0.23	0.09	27.8
	7-18	Ah2	5.56	2.76	0.07	1.03	9.42	3.90	0.10	1.01	0.10	6.67
	18-60	Bw	4.66	2.35	0.12	1.01	8.14	1.32	0.12	0.29	0.11	1.50
Andosol Topure con aguacate	0-27	Ah	11.7	4.37	0.26	1.30	17.6	2.83	13.2	36.5	0.12	12.7
	27-64	Bw	8.12	3.25	0.23	0.73	12.3	0.51	0.11	0.96	0.10	8.98
	64-77	CR	8.84	4.94	0.45	0.28	14.5	0.20	0.13	0.63	0.10	2.59
	77-120	2Bw	7.98	4.46	0.32	0.64	13.4	0.23	0.12	0.65	0.10	1.22

Tabla 3. Propiedades físicas de los suelos aguacateros

Suelo	Prof. (cm)	Hte.	DA (g cm ⁻³)	Porosidad	Textura			Clase	Fragmentos gruesos (%)
					Arena	Limo	Arcilla		
					(%)				
Luvisol Charanda con aguacate	0-14	Ah	0.98	M t-v	54.6	26	19.4	Franco arcilloso	15
	14-40	BA	0.99	M t-v	34.1	32	33.9	Franco arcilloso	15
	40-75	B	1.14	M t-v	22.6	30	47.4	Arcilloso	15
	75-99	Bt	1.13	C t-v	24.6	26	49.4	Arcilloso	85
	99-120	Bt2	1.11	P t-v	24.6	28	47.4	Arcilloso	40
Leptosol suelo de bosque	0-7	Ah	0.64	M t	72.1	18	9.9	Franco arenoso	20
	7-18	Ah2	0.87	M t	78.6	12	9.4	Areno franco	60
	18-60	Bw	0.88	M t	72.6	18	9.4	Franco arenoso	85
Andosol Topure con aguacate	0-27	Ah	0.88	M t-v	72.6	16	11.4	Franco arenoso	1
	27-64	Bw	0.80	M t-v	74.6	16	9.4	Franco arenoso	1
	64-77	CR	0.70	M t-v	80.6	12	7.4	Areno franco	95
	77-120	2Bw	0.73	C t-v	76.6	12	11.4	Franco arenoso	1

Porosidad con base en FAO (2007): M, muchos; C, comunes; P, pocos; t, tubulares; t-v, tubulares y vesiculares.

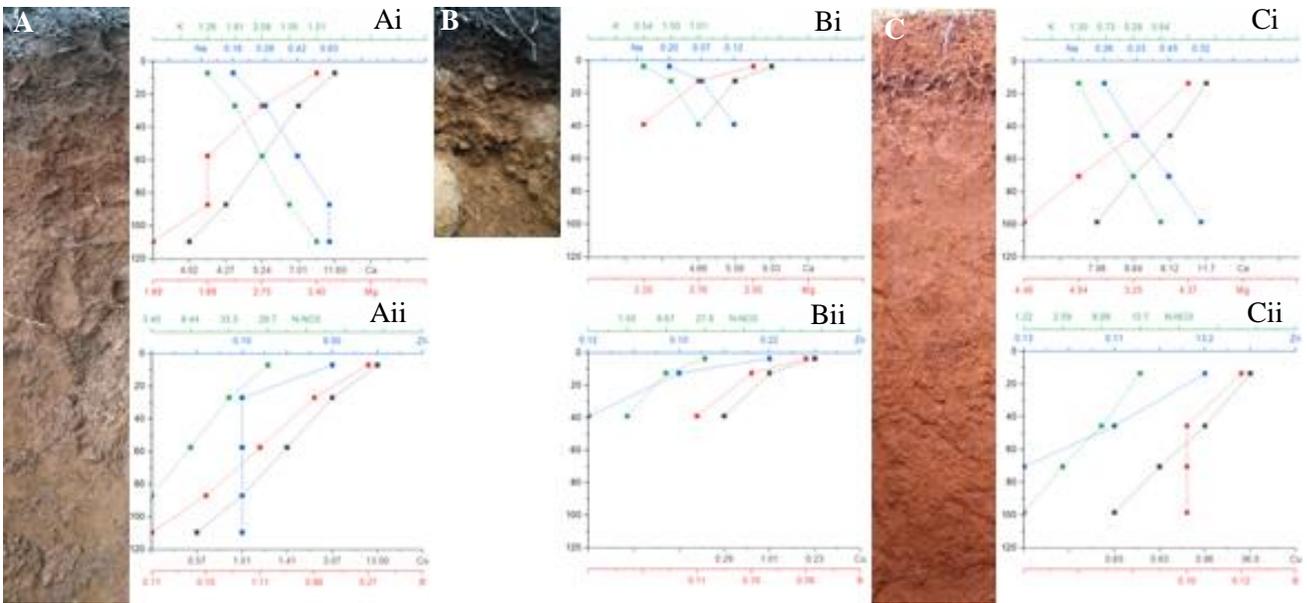


Figura 2. A Andosol. B Leptosol. C Luvisol. En cultivo de aguacate (A y C) y bosque (B).

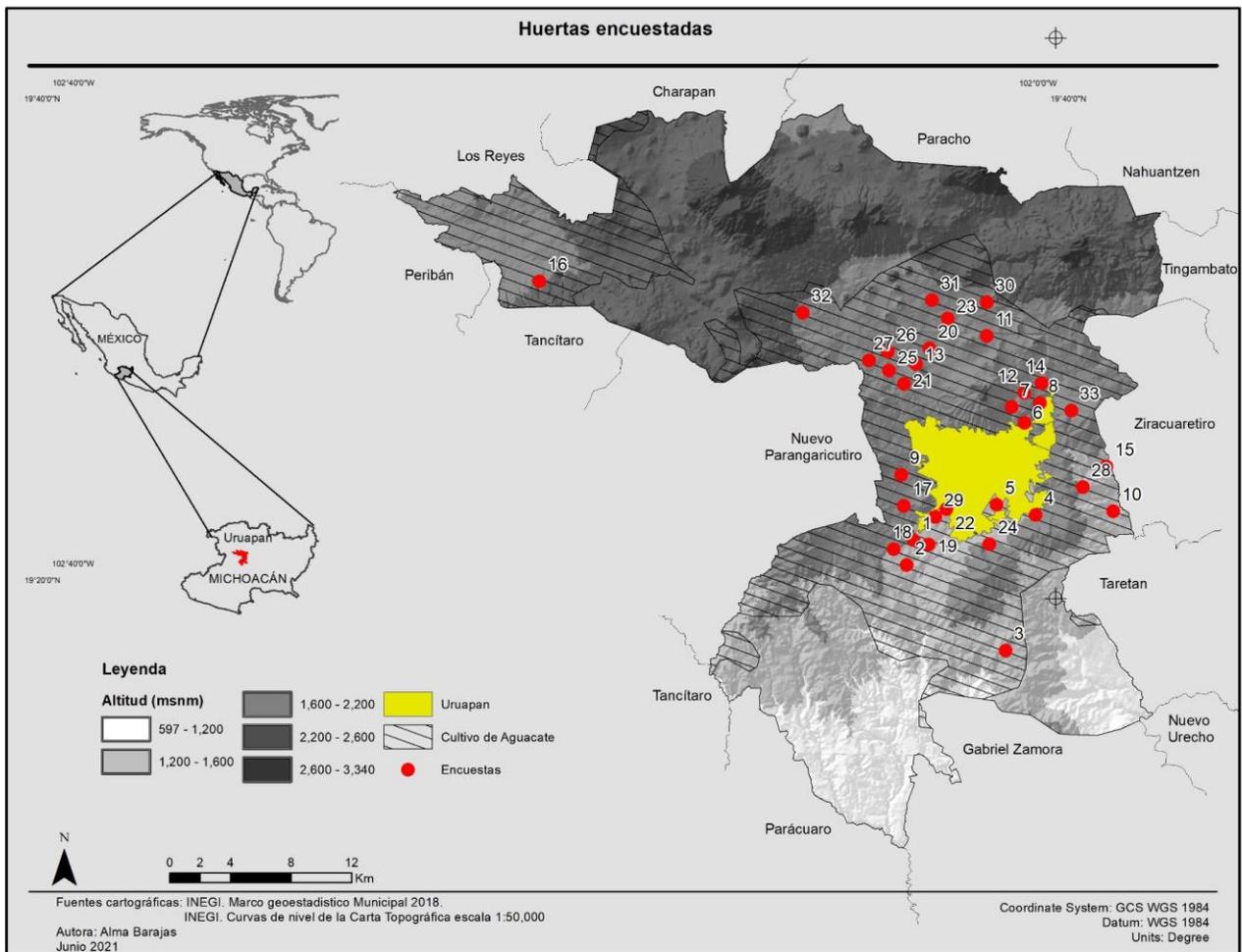


Figura 3. Ubicación de las 33 huertas entrevistadas.

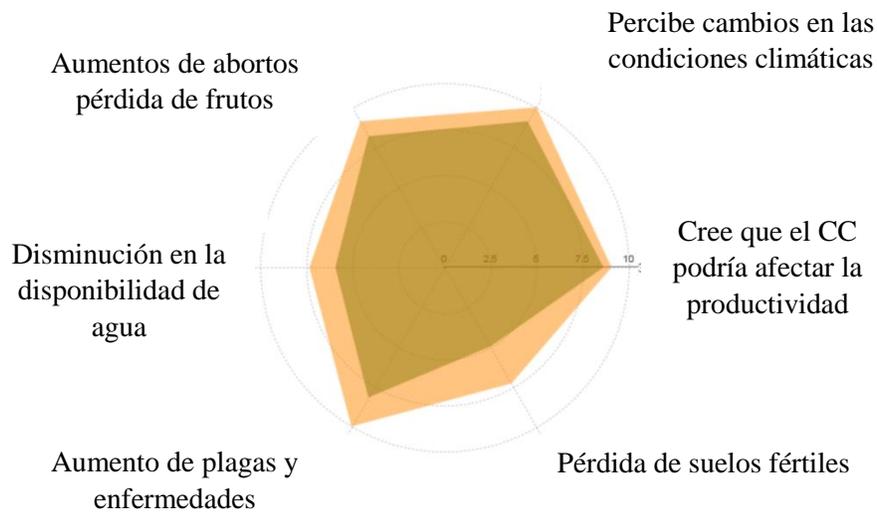


Figura 4. Percepción de amenazas a la productividad. En verde huertas de clima templado y en naranja huertas de clima semicálido.

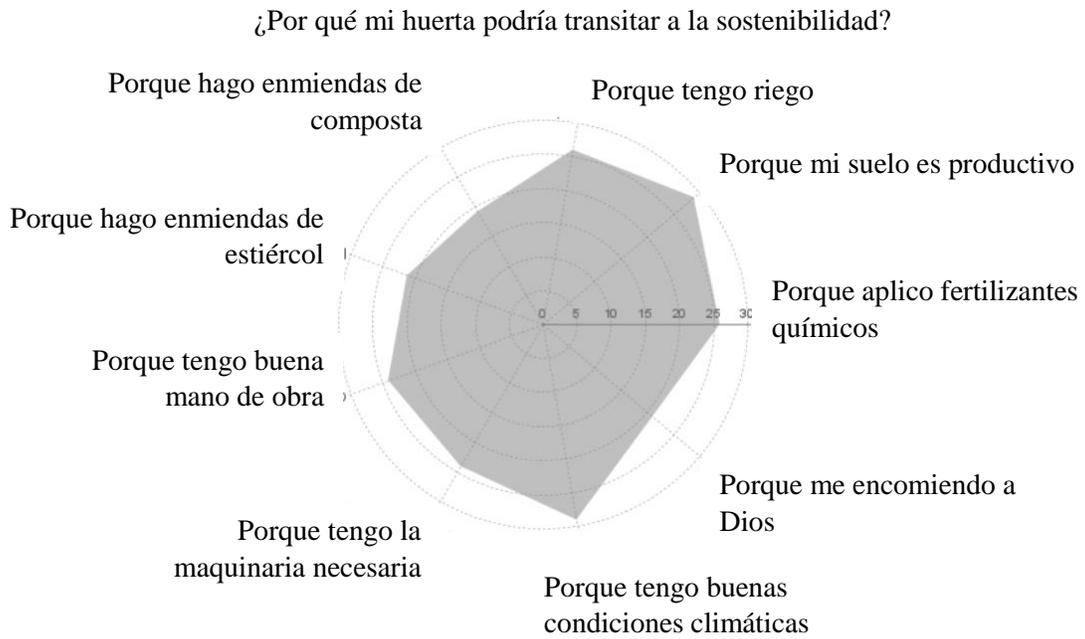


Figura 5. Variables que influyen en la transición a la sostenibilidad del cultivo de aguacate.

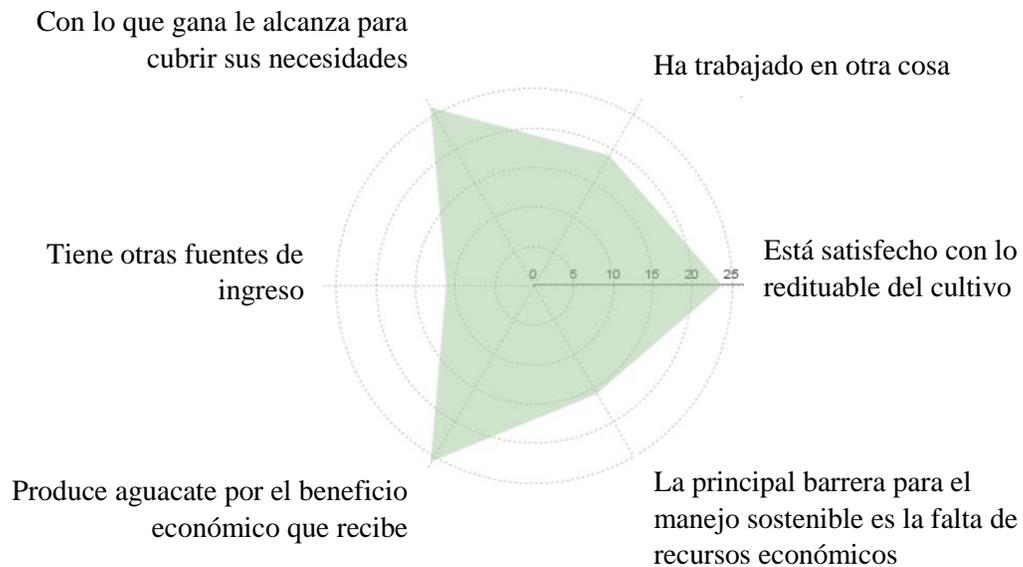


Figura 6. Perspectiva local de los productores de aguacate sobre el capital financiero.

CONCLUSIONES

La descripción detallada del suelo permitió conocer que las comunidades microbianas en Leptosol con cubierta de bosque son más diversas, posiblemente relacionadas con el contenido de materia orgánica y el tipo de humus. Sin embargo, en las huertas de aguacate se observó *Trichoderma sp.* presencia relacionada con el manejo, es decir en las huertas se aplica *Trichoderma sp.* Lo referente a las propiedades químicas, el Andosol tiene menor función amortiguadora comparando con el Luvisol. El contenido de Zn, Cu y B, es alto, se debería de regular su aplicación porque posiblemente repercuten en otras funciones ecosistémicas.

La profundidad efectiva podría restringir la productividad de los árboles. El contenido de fragmentos gruesos aumenta drásticamente en los tres suelos característica relacionada posiblemente con un evento geológico. Sin embargo, la densidad aparente tiene valores favorables para el desarrollo del cultivo de aguacate.

En el caso de la perspectiva local el capital social considera que se podría transitar a la sostenibilidad porque tienen buenas condiciones climáticas y suelos productivos. Es decir, el capital social considera relevante y a favor de la sostenibilidad el capital ambiental. Por su parte el capital financiero es confuso, porque aunque la mayoría de los productores enuncian que con lo que ganan les alcanza para sus necesidades consideran que la principal barrera para transitar hacia el manejo sostenible es la falta de recursos económicos.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Eulalia Alcalá López por financiar el análisis de las muestras de suelo, a mi padre J. Jesús Barajas Méndez por su apoyo para

pagar mi colegiatura, a mi coordinador Dr. Alberto Gómez-Tagle Chávez por su apoyo para terminar mis estudios doctorales trabajando, a Alina Naranjo y Zaira Reséndiz por su apoyo en el trabajo de campo, a los ingenieros de la Junta Local de Sanidad de Uruapan por su apoyo en la aplicación de las entrevistas, a Ana Karmina por su revisión final y al productor por las facilidades ofertadas para estudiar su huerta.

REFERENCIAS

- Aguirre-Calderón, O. A. 2015. Manejo Forestal en el Siglo XXI. Bosque y Madera 21: 17-28.
- Arellanes-Jiménez, P.E. 2014. El Tratado de Libre Comercio de América del Norte: antes, durante y después, afectaciones jurídicas en México. Revista IUS 8(33): 1870-2147.
- Barajas, A. (2015). Evaluación de tierras en el cultivo de aguacate Tacámbaro, Michoacán, México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Barrera-Bassols, N. 1988. Etnoedafología Purhépecha: conocimiento y uso de los suelos en la cuenca de Pátzcuaro. México Indígena 24: 47-52.
- Bills, N. y Gross, D. 2005. Sustaining multifunctional agricultural landscapes: comparing stakeholder perspectives in New York (US) and England (UK). Land Use Policy, 22: 313-321.
- Bishnoi, U. 2015. PGPR Interaction: An Ecofriendly Approach Promoting the Sustainable Agriculture System. Plant microbe interactions, 75: 81-113.
- Blum, W. (2014). Strategy of Land Utilization for Environmentally Sustainable Agriculture. Paper presented at the Developing and sharing Agriculture Technology for Global Food Security and Welfare. Jeju, Korea.

- Castellanos, J. Z. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª edición. México: Intagri.
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1976). A framework for land evaluation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Céspedes, C. (2007). Dinámica de la materia orgánica y de algunos parámetros fisicoquímicos en Molisoles, en la conversión de una pradera a cultivo forestal en la región de Piedras Coloradas – Algorta (Uruguay) (Tesis de doctorado). Instituto Nacional Politécnico de Toulouse, Toulouse, Francia.
- Chávez-León G., Tapia, L. M., Bravo, M., Sáenz, J.T., Muñoz, H.J., Vidales, I. y Mendoza-Cantú M.E. (2012). Impacto del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.
- De La Horra, A.M., Effron, D., Palma, R.M. y Prause, J. 2000. Liberación y dinámica de calcio, potasio, magnesio y sodio proveniente de la descomposición de hojarasca en un bosque subtropical argentino. *Agroquímica*. VXLIV (3-4):107-114.
- De Wrachien, D. 2003. Land use planning: A key to sustainable agriculture. *Conservation Agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy* 1: 471-483.
- DOF: Diario Oficial de la Federación de México. (2000). Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2057353&fecha=31/12/1969
- FAO-INRAE: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Instituto Nacional Francés para la Agricultura, la Alimentación y el Medio Ambiente. (2021). Facilitando sistemas alimentarios sostenibles. Manual de innovadores. FAO-INRAE, Roma.
- Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, M.B.N., Guillén-Andrade, H., y Chávez-Bárceñas, A.T. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia* 35(9): 647-653. Recuperado de: <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/647-GUILLEN-7color.pdf>
- Giardina, C.P., Ryan, M.G., Hubbard, R.M., Binkley, D. 2001. Tree species and soil textural controls on carbon and nitrogen mineralization rates. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1272-1279.
- Harrington, L.W. y Tripp K. (1984). Dominios de recomendación: un marco de referencia para la investigación en finca. México: CIMMYT.
- Hassan R., Scholes R., y Ash, N. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends* (Vol. 1). Lodon, Island Press.
- IEMA: The Institute of Environmental Management and Assessment. (2005). *The Institute of Environmental Management and Assessment. Environmental management in organizations: the IEMA handbook*. USA, IEMA.
- INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, a. (Cartographer). (1985). Conjunto de Datos Geográficos de las Cartas de Climas, Precipitación Total Anual y Temperaturas Medias Anuales. Serie I. 1:1,000,000. Continuo Nacional. México.
- INEGI, b. (Cartographer). (1985). Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Geológica. Serie I. 1:250,000. Continuo Nacional. México.
- INEGI. (2007). Conjunto de Datos Vectoriales Edafológico. Serie II. 1:250,000. Continuo Nacional. México.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos*

- Mexicanos Uruapan, Michoacán de Ocampo. México.
- INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. (2009). Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán (Vol. 2). INIFAP, México.
- IPNI: International Plant Nutrition Institute. (2013). Un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. En: Manual de Nutrición de Plantas 4R (eds. Bruulsema, T. W., Fixen, G. D. y Sulewski, G. D.). IPNI. EE.UU.
- IUSS Working Group WRB: International Union of Soil Sciences Working Group World Reference Base for Soil Resources. (2015). World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, (No. de serie 106). ISBN: 978-925-10-8369-7.
- Karlen, D.L., Parkin, T.P. y Eash N.S. 1996. Use of soil quality indicators to evaluate conservation reserve program sites in Iowa. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America (SSSA) Special Publication, vol. 49. 345-355.
- Kates, R.W., Clark, W.C., Corell, R., Hall, J.M., Jaeger, C.C., Lowe, I., McCarthy, J.J., Schellnhuber, H.J., Bolin, B., Dickson, N.M., Faucheux, S., Gallopin, G.C., Grubler, A., Huntley, B., Jager, J., Jodha, N.S., Kasperson, R.E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B., O'Riordan, T. y Svedin, U. 2001. Sustainability Science. American Association for the Advancement of Science, 5517(292): 641-642.
- Laker, M.C. (2005). Appropriate plant nutrient management for sustainable agriculture in Southern Africa. *Communications in soil science and plant analysis* 36(1-3): 89-106.
- Lehmann, A. y K. Stahr. 2010. The potential of soil functions and planner-oriented soil evaluation to achieve sustainable land use. *Global Change*, (10): 1092-1102.
- McCall, M.K. y Dunn, C.E. 2012. Geo-information tools for participatory spatial planning: Fulfilling the criteria for 'good' governance? *Geoforum*, 43(1):81-94.
- Morales-Manilla, L.M., Cuevas-García, G., González-Gutiérrez, I., Terrazas-González, D.I., Mendoza-Cantú, M.E., y Valenzuela, C. (2010). 2o Informe Trimestral del Proyecto: Inventario 2008-2010 e impacto ambiental regional del cultivo del aguacate (Etapa I). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Fundación Produce Michoacán, Michoacán, México.
- OriginLab Software. 2021. OriginPro (versión 2021b). Ver más: <https://www.originlab.com/2021>
- Popenoe, W. y Williams, L. 1948. Mexican Explorations of 1948. *California Avocado Society* 33: 54-58.
- Prause, J. 1997. Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes en un monte nativo del Parque Chaqueño húmedo. M.Sc. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 205 p.
- Quantrix Software. June 2021. Quantrix modeler (versión 21.1.0). Ver más: <https://quantrix.com/quantrix-press-release/version-21-1-0-product-release/>
- Ratke, R.F., Campos, AR., Inda, A.V., Barbosa, R.S., da Silva, Y.J.A.B., Nobrega, J.C.A. y da Silva, J.B.L. 2020. Agricultural potential and soil use based on the pedogenetic properties of

soils from the cerrado-caatinga transition. *Semina-ciencias agrarias* 41(4): 1119-1134.

Roberts, D. y D. Orden. 1997. Determinants of Technical Barriers to Trade: The Case of US Phytosanitary Restrictions on Mexican Avocados, 1972-1995. *Understanding Technical Barriers to Agricultural Trade*. University of Minnesota, Department of Applied Economics, International Agricultural Trade Research Consortium, 117-60.

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Aguacate mexicano*. SAGARPA, México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). *Avance de Siembras y Cosechas. Resumen por cultivo, perennes Aguacate 2020 riego+temporal*. México.

SEDGIB: Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas. (2012). *Monografía del sector aguacate en México: situación actual y oportunidades de mercado*. México.

Smoyer, K. 1948. Can We Afford to Grow Avocados?. *California Avocado Society* 33: 124-130.

Targulian, V. y Bronnikova, M. 2019. Soil memory: Theoretical basics of the concept, its current state, and prospects for development. *Eurasian Soil Science*, 52(3): 229–243. ISSN 1064-2293. DOI: 10.1134/S1064229319030116

TEEB: *La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad*. (2018). *Midiendo lo que importa en la agricultura y los sistemas alimentarios: síntesis de los resultados y recomendaciones del Informe sobre los Fundamentos Científicos y Económicos de la iniciativa TEEB para la*

Agricultura y la Alimentación. ONU Medio Ambiente, Ginebra.

Wesemael, B. 1993. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forests in southern Tuscany. *Forest Ecology and Management*. 57: 99-114.