

**Efecto de la quema en las poblaciones de
macro invertebrados del suelo del cultivo de
caña de azúcar en Sonsonate, El Salvador**

Carmen Susana Pérez Rodríguez

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Efecto de la quema en las poblaciones de macro invertebrados del suelo del cultivo de caña de azúcar en Sonsonate, El Salvador

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Carmen Susana Pérez Rodríguez

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

**Efecto de la quema en las poblaciones de macro invertebrados del suelo del cultivo
de caña de azúcar en Sonsonate, El Salvador**
Carmen Susana Pérez Rodríguez

Resumen. Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es un cultivo de gran importancia económica en El Salvador, siendo el segundo país mayor exportador de azúcar de Centro América. Se han realizado estudios que demuestran que realizar quemas para facilitar la cosecha de la caña de azúcar causa daños al medio ambiente, pero no existe información en El Salvador que describa el daño ocasionado por estas prácticas a los macro invertebrados del suelo quienes cumplen roles importantes dentro del mismo. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de las quemas de caña de azúcar en las poblaciones de macro invertebrados, qué especies son las más afectadas por la quema y la biodiversidad de las fincas muestreadas. Se muestrearon 15 parcelas antes y después de la quema y 15 en verde con quema posterior, se extrajeron los macro invertebrados visibles en las muestras y se hizo un recuento de ellos. La quema en los suelos estudiados, generó un efecto sobre las poblaciones de macro invertebrados, especialmente en la abundancia de Temitidae (termitas) y Formicidae (hormigas). Las hormigas consideradas ingenieros del suelo disminuyeron mientras que las terminas aumentaron en proporción. En la mayoría de taxas, no hubo diferencia significativa en el sistema de cosecha con quema o en verde y quema posterior, sin embargo, las quemas afectan taxas como Blattidae (cucarachas), Shymphylos (simphilidos) y Diplopodos (milpiés). Todas las fincas presentan una biodiversidad pobre según el índice de Shannon, y la dominancia varía en cada sistema de cosecha.

Palabras clave: Biodiversidad, grupos funcionales, *Saccharum officinarum*, taxas.

Abstract: Sugar cane (*Saccharum officinarum*) is a very important crop in El Salvador because it is the second largest sugar exporter country in Central America. There have been studies showing that pre harvest burning damage the environment, but there is not information in El Salvador about damage to the soil macroinvertebrates (who play important roles in the soil) caused by these practices. The objective of this study was to determinate the effect of pre harvest burning in macroinvertebrates populations, which species are most affected by burning and biodiversity. 15 pots were sampled before and after burning and 15 green harvest plots with post-harvest burning; visible macroinvertebrates were extracted and counted. Damage in studied soils generate an effect on the macroinvertebrates populations, especially in Termitidae (termites) and Formicidae (ants) abundance. Ants (considered soil engineers) decreased while the termites increase in proportion. In most taxa, there was no significant difference between pre harvest burning and green harvest with post burning, however, burning affects taxa as Blattidae (cockroaches), Shymphylos (Simphilidos) and Diplopoda (millipedes). All plots present poor biodiversity according to Shannon index, and the dominance varies with harvesting system.

Key words: Biodiversity, functionally groups, *Saccharum officinarum*, taxas.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4. CONCLUSIONES.....	17
5. RECOMENDACIONES	18
6. LITERATURA CITADA.....	19

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Fincas muestreadas con diferentes modalidades de cosecha de caña de azúcar en verde y quema posterior y cosecha bajo quema, en el departamento de Sonsonate, El Salvador.	4
2. Tasas de macro invertebrados encontrados en cañales antes de cosecha y con diferentes modalidades de cosecha en el departamento de Sonsonate, El Salvador.	9
3. Variabilidad de los tasas de macro invertebrados en diferentes modalidades de cosecha: antes y después de quema, en verde con quema posterior y climas en el departamento de Sonsonate, El Salvador.	12
4. Efecto de la quema de caña de azúcar en la biodiversidad de los macro invertebrados de los suelos, según el índice de Shannon Winer en las fincas muestreadas en las modalidades de cosecha antes y después de quema en el departamento de Sonsonate, El Salvador.	14
5. Efecto de la quema de caña de azúcar en la dominancia de los macro invertebrados de los suelos, según el índice de Simpson en las fincas muestreadas en las modalidades de cosecha, antes y después de quema en el departamento de Sonsonate, El Salvador.	15
6. Efecto de la quema de caña de azúcar en la biodiversidad y dominancia de los macro invertebrados de los suelos, según el índice de Shannon Winer y Simpson respectivamente en las fincas muestreadas en la modalidad de cosecha en verde con quema posterior en el departamento de Sonsonate, El Salvador.	16
Figuras	Página
1. Ubicación del departamento de Sonsonate en el mapa de El Salvador.	3
2. Ubicación de la toma de muestra en cada finca de caña de azúcar del departamento de Sonsonate, El Salvador.	3
3. Ubicación de la toma de muestra en cada finca, de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.) en el departamento de Sonsonate, El Salvador.	5
4. Procedimiento de obtención de macro invertebrados de la muestra de suelo.	6
5. Total de macro invertebrados en cañales antes de cosecha y con diferentes modalidades de cosecha en el departamento de Sonsonate, El Salvador.	7
6. Dominancia de macro invertebrados en cañales antes de cosecha y con diferentes modalidades de cosecha en el departamento de Sonsonate, El Salvador.	10

1. INTRODUCCIÓN

La industria azucarera de El Salvador es una de las industrias más sostenibles en Centro América, ya que El Salvador es el segundo más grande exportador de azúcar de Centro América siguiendo a Guatemala y representa el 4 % de las exportaciones totales anuales de El Salvador es por eso que el sector azucarero es uno de los más importantes, tanto al interior del sector agropecuario, como dentro de la economía nacional (Pérez, Lawrence 1997).

Antes de implementar las quemadas, la caña de azúcar solía cosecharse cortándola a mano, limpiando cuidadosamente las cañas, puntas o cogollos, se ataban en manojos para utilizarlos como forraje y los tallos se cargaban a mano para transportarlos a la fábrica; a medida que el cultivo se fue expandiendo y la tecnología fue avanzando, se cambió el tipo de corte a cosecha con uso de maquinaria con cosechadoras combinadas de caña de azúcar, lo que causó aumento de materias extrañas en las fábricas, ocasionando problemas al extraer la sacarosa, por lo que se optó por utilizar la práctica de la quema a los campos antes de la cosecha. La cosecha de la caña se puede realizar de distintas maneras, ya sea a mano o con maquinaria. La cosecha manual es realizada netamente con trabajadores, quienes con el uso de machetes cortan los tallos de la caña y los organizan en tallos para su transporte, al realizar este tipo de corte, se realiza una quema antes que la cosecha, para facilitar el trabajo de los jornaleros y hacer que el trabajo sea más eficiente. Un jornalero puede cortar de 5 a 7 toneladas diarias cuando la caña ha sido quemada previamente, y cuando ésta no ha sido quemada el jornalero rinde un 40% menos (Morales Trujillo 2011).

La cosecha mecanizada en verde es una práctica muy bien aceptada por los ecologistas, ya que no necesita quemar la plantación, una cosechadora puede cortar hasta 50 toneladas por hora, aunque generalmente cosecha de 35 a 40 toneladas por hora (Portocarrero Rivera y Díaz Montejo 2002). La quema es una práctica que se utiliza para facilitar la visibilidad al cortar la caña de azúcar, ya que con la quema, se eliminan hojas secas, evitando el deshoje manual, lo que reduce la mano de obra y ayuda a que ésta sea más eficiente; pero este tipo de prácticas están teniendo graves problemas tanto ambientales, de salud, así como a la economía de las personas, por el lado ambiental, se provoca pérdida de nitrógeno en la tierra, lo que disminuye poblaciones de microorganismos y material orgánico del suelo y por otro lado las quemadas provocan que los pájaros huyan y dejen de ayudar a controlar los insectos en la plantación (Morales Trujillo 2011).

Una de las principales problemáticas es que con la quema los suelos pierden muchos macro invertebrados y microorganismos como hongos, algas, bacterias, protozoarios y también invertebrados del suelo como ácaros, caracoles, centípedos, arañas, nematodos, gusanos y hormigas, los cuales llevan a cabo procesos importantes para mantener un ecosistema saludable, como el reciclaje de nutrientes, remoción de desperdicios, estructura del suelo

y retención de humedad. Los fuegos en pastos y bosques causan daños severos, además del desbalance en el ecosistema, el cual, puede tomarse muchos años para recuperarse cuando no hay intervención humana (Gonzalez Toro 2009). Los suelos con un contenido alto de materia orgánica y biológicamente activos suelen exhibir una buena fertilidad (Nicholls y Altien 2006).

Los macro invertebrados del suelo intervienen en los procesos de infiltración, aireación e incorporación de materia orgánica en el suelo, y las condiciones biológicas del suelo se ven alteradas cuando existe un uso continuo de agroquímicos o el suelo es arado (Huerta Lwanga *et al.* 2008). Los macro invertebrados cumplen diferentes funciones de vital importancia para mantener los suelos, entre ellas la descomposición de materia orgánica, el ciclo de nutrientes que se asocia estrechamente con la descomposición orgánica, la bioturbación en la cual participan termitas, lombrices, hormigas entre otros, control de enfermedades y plagas (Moreira *et al.* 2012).

Los invertebrados-plagas reciben mucha atención y representan enormes gastos de millones de dólares anualmente por parte de los agricultores e investigadores, mientras que los invertebrados benéficos reciben relativamente poca atención (Brown *et al.* 2001).

El grupo funcional de detritívoros vive en la hojarasca, en la superficie e interior del suelo. Interviene en la descomposición de la materia orgánica y los invertebrados que habitan en la superficie, se encargan de la trituración de los restos vegetales y animales que componen la hojarasca (Cabrera Dávila 2014).

Los insectos depredadores son uno de los grupos más importantes de enemigos naturales que cumplen con un papel fundamental regulando las poblaciones de plagas de muchos cultivos (DeBach y Rosen 1991).

Los ingenieros del suelo mezclan y remueven las partículas del suelo creando hábitats para especies más pequeñas y para facilitar la entrada de aire y agua en la tierra, ejemplo de los ingenieros del suelo son las lombrices, hormigas y termitas (Potocnik 2010).

Las quemas tienen como víctima principal el suelo, la degradación de los suelos entraña una regresión desde un estado más elevado a uno inferior, lo que supone una disminución en su capacidad productiva. El proceso de disminución en la productividad del suelo no es continuo, es decir puede darse en diferentes períodos de estabilidad o equilibrio ecológico, esto puede llevar a disminuciones en la producción vegetal, pérdida de recursos (incluyendo el suelo), incrementa la necesidad del uso de insumos agrícolas, pérdida del suelo y valor del mismo y la reducción de las poblaciones vegetales y animales (Mataix Solera 1999).

Considerando la importancia que tienen las poblaciones de macro invertebrados sobre la salud del suelo y dado que no se tiene información sobre el impacto que ocasionan las quemas en cañales en El Salvador, el presente trabajo pretendió evaluar el efecto que causan las quemas a los suelos en los cañales sobre la presencia de macro invertebrados del suelo, identificar los taxas de macro invertebrados dominantes encontrados, describir el rol ecológico que tienen las taxas que resulten más impactadas por la quema y dar a conocer la modalidad de cosecha que más afecta a los macro invertebrados del suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio.

Los muestreos en campos se realizaron entre los meses de diciembre de 2015 y enero de 2016 en 30 fincas en el departamento de Sonsonate, El Salvador. Latitud 13° Norte y longitud 89° Oeste, con temperaturas entre 27°C a 30°C, las alturas oscilaron entre 5 y 600 msnm y los tipos de suelo en las fincas muestreadas fueron franco, franco arcilloso y franco limoso (Figuras 1 y 2).

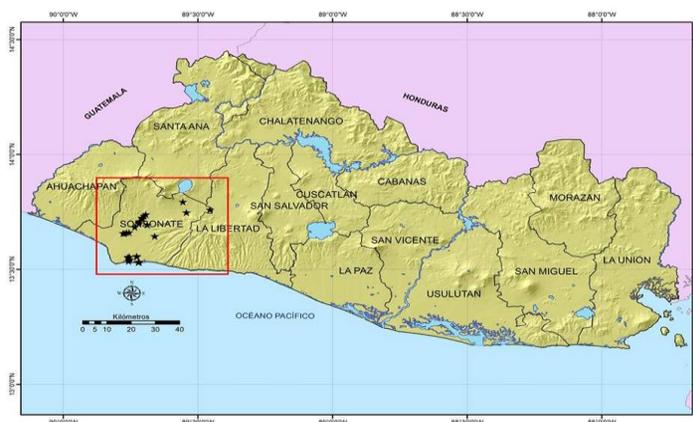


Figura 1. Ubicación del departamento de Sonsonate en el mapa de El Salvador.

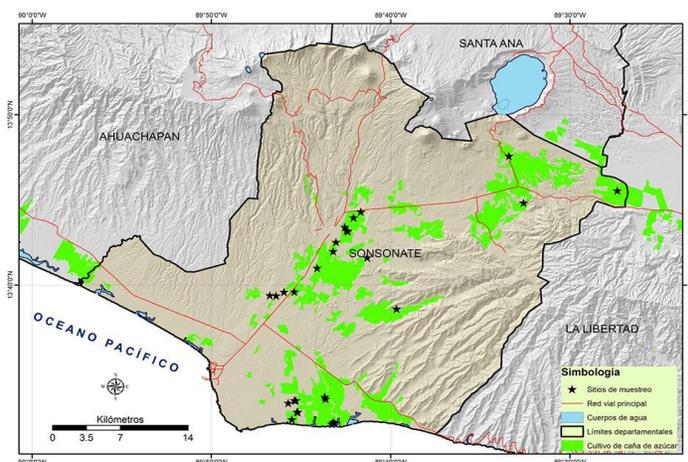


Figura 2. Ubicación de la toma de muestra en cada finca de caña de azúcar del departamento de Sonsonate, El Salvador.

Sistemas de cosecha de caña de azúcar.

Los tipos de cosecha estudiados fueron la cosecha en verde la cual fue realizada con máquina de oruga con quema posterior del residuo sobre el suelo y la cosecha manual aplicando quema antes del corte de la caña, la cual fue muestreada antes y después de la quema.

Selección de las fincas.

Se consideró que las fincas a muestrear estuvieran distribuidas estratégicamente en todo el departamento de Sonsonate donde había mayor facilidad para el muestreo. Se muestrearon 30 fincas, cada una de una hectárea, de las cuales 15 correspondieron a cosecha en verde con quema posterior y 15 bajo la modalidad de quema previo a la cosecha (Cuadro1).

Cuadro 1. Fincas muestreadas con diferentes modalidades de cosecha de caña de azúcar en verde y quema posterior y cosecha bajo quema, en el departamento de Sonsonate, El Salvador.

Fincas con cosecha en verde con quema posterior	msnm[£]	Fincas con cosecha bajo quema	msnm[£]
Lourdes	5	Providencia	5
Providencia L7	5	La Casona Barra Ciega	12
Barra Ciega	15	Barra Ciega L2	12
San José L4	25	San Luis L2	25
San Antonio	200	San Luis L3	25
San Vicente	200	Tonalá plana 1 L3	30
La fincona	200	Tonalá Plana 1 L1	30
Cerritos	210	El milagro	30
Tazulá L11	210	Santa Clara	115
Eufemia	230	Tazulá	150
Buena Vista L4	230	Tres puertas	200
Buena Vista L3	230	Santa Emilia L8	211
Paraisal L1	230	Santa Emilia L16	211
Paraiso L2	230	El Sunza	550
San Clemente L4	600	Ataisi	600

[£]msnm: Altura de las fincas en metros sobre el nivel del mar.

Muestreo.

El muestreo consistió en obtener muestras en un volumen de suelo de 15×15×15 cm del horizonte superficial, obteniendo un total de cuatro muestras por cada finca seleccionada, a partir de cada esquina de la finca se avanzó hacia uno de los lados entre 20 a 30 m, y luego se ingresó a la finca 20 m siendo este el lugar indicado para la recolección de la muestra de suelo (Figura 3). Una vez en el sitio, se marcó el cuadro a muestrear con una cinta métrica y se procedió a sacar la muestra con una pala pequeña. Cada muestra fue colocada en bolsa plástica limpia.

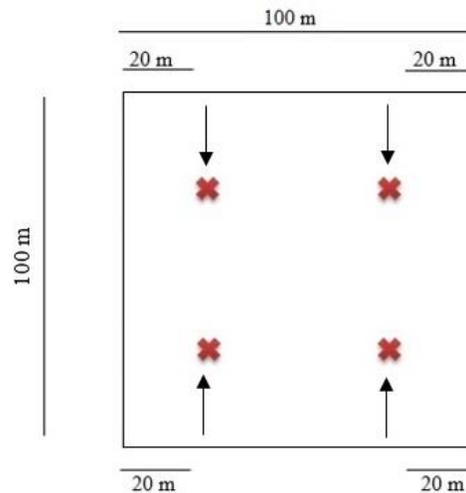


Figura 3. Ubicación de la toma de muestra en cada finca, de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en el departamento de Sonsonate, El Salvador.

Obtención de macro invertebrados.

La muestra se colocó en una bandeja en la cual se procedió a hacer una búsqueda minuciosa a simple vista de cada uno de los macro invertebrados que se encontraron. Se sacaron los macro invertebrados presentes para su recuento, los cuales se colocaron en botes de vidrio con alcohol al 90%, mezclando las cuatro muestras por finca (Figura 4). Luego se procedió a colocar cada grupo de macro invertebrados en viales plásticos con alcohol al 90% para su posterior identificación en el laboratorio, cada uno de los viales fue identificado con el nombre de la finca y todos los viales de la misma finca fueron colocados en botes de vidrio identificados. Los resultados se extrapolaron a un área de $1 \text{ m}^2 \times 0.15 \text{ m}$ de profundidad.



Figura 4. Procedimiento de obtención de macro invertebrados de la muestra de suelo.

Identificación de especies.

Las claves utilizadas para la identificación de los macro invertebrados fueron las siguientes: (Borror y Delong 1971; Borror *et al.* 1989; Borror y White 1970; Castner 2000; Chu 1949; Coronado y Delgado 1986 y Costa *et al.* 2006).

Riqueza y diversidad de especies.

Se usaron los índices de Shannon Wiener y Simpson para el análisis de diversidad y dominancia de los macro invertebrados.

El índice de dominancia de Simpson considera la probabilidad de dos individuos de la población seleccionados al azar sean de la misma especie. Indica la relación existente entre riqueza o número de especies y la abundancia o número de individuos por especie (Campo y Duval 2014).

El índice de Shannon-Wiener tiene en cuenta la riqueza de especies y su abundancia. Este índice relaciona el número de especies con la proporción de individuos pertenecientes a cada una de ellas presente en la muestra. Además mide la uniformidad de la distribución de los individuos entre las especies (Campo y Duval 2014).

Análisis estadístico.

Para el análisis de los datos se aplicó la prueba estadística no paramétrica de χ^2 , específicamente tablas de contingencia, por no demostrar una distribución normal o una homogeneidad en los datos, con una probabilidad menor o igual a 0.05. Debido a la distribución de los datos se escogió el modelo que más se ajustó. Las tablas de contingencia que se basaron en el estadístico Exacto de Fisher, el cual permite analizar si dos variables están asociadas cuando la muestra a estudiar no cumple con las condiciones necesarias para aplicar la prueba de χ^2 o cuando las muestras son muy pequeñas. (Pértega y Pita 2004). Los análisis se realizaron en el software Microsoft Office Excel, Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) y el programa InfoStat.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cantidad de macro invertebrados.

Se obtuvo un total de 15,523 macro invertebrados/m² a 15 cm de profundidad, de los cuales 7,667 fueron encontrados antes de la quema, 4,067 después de la quema y 3,789 en la cosecha en verde con quema posterior. Al comparar Los macro invertebrados encontrados en fincas muestreadas antes de quema y en fincas muestreadas en verde se observa un cambio en el número de total de macro invertebrados, lo cual indica que las fincas cuentan con menor abundancia de especies (Figura 5).

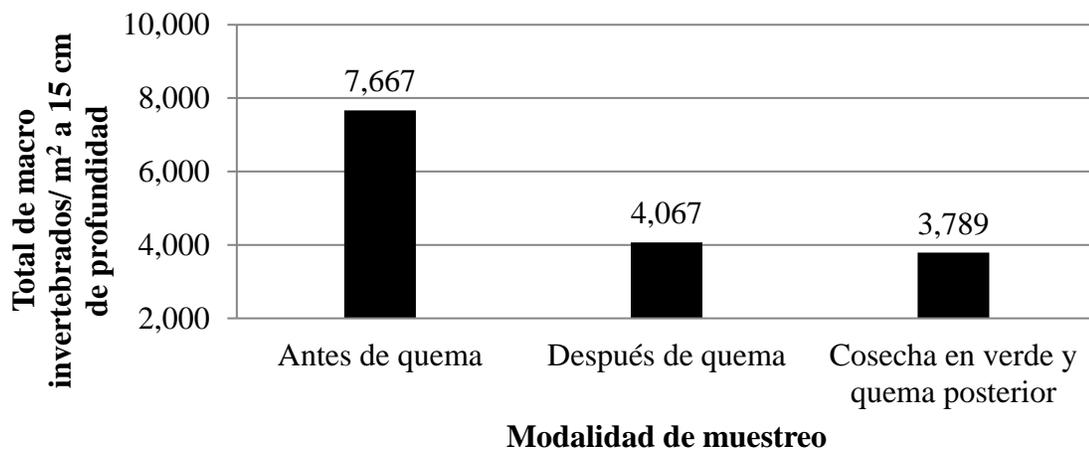


Figura 5. Total de macro invertebrados en cañales antes de cosecha y con diferentes modalidades de cosecha en el departamento de Sonsonate, El Salvador.

Las prácticas de quema y cosecha en verde con posterior quema causan una reducción de casi el 50% del número de macro invertebrados en el suelo. A pesar que el número de macro invertebrados es menor en la cosecha en verde, no se puede aseverar que haya una diferencia por este proceso con la práctica de quema, ya que la cosecha en verde siempre va acompañada de quema posterior.

El total de macro invertebrados encontrados en la cosecha en verde fue menor que en la cosecha bajo quema, esto se puede atribuir a lo que los cañicultores de El Salvador llaman “cosecha en verde” causa más daño al suelo ya que se corta la caña con máquinas cosechadoras que pueden compactarlo y posteriormente se quema el material vegetativo que queda en la superficie.

Morales Trujillo (2011) indica que la mayor ventaja de la cosecha en verde es la hojarasca u otros residuos vegetales que quedan sobre el suelo, lo que ayuda a transferir materiales y energía para el sostenimiento de los procesos que se desarrollan en el suelo dando esta energía a los organismos responsables de la composición de estos compuestos. Se puede decir que en estas fincas “cosechadas en verde” se está acabando con la hojarasca al quemarla que es el aporte más importante de este tipo de cosecha.

Taxas encontrados en las fincas.

Se encontró un total de 25 taxas en las diferentes modalidades de cosecha los cuales se encuentran divididos en los grupos funcionales de depredadores, detritívoros, fitófagos, omnívoros e ingenieros del suelo. La mayoría de las taxas pertenecen al grupo funcional de los detritívoros, los cuales se alimentan de materia orgánica en descomposición. Los depredadores ayudan a regular las poblaciones de otros macro invertebrados plaga en los cultivos, los fitófagos se alimentan de material vegetativo y los ingenieros del suelo cumplen con roles importantes dentro del suelo como construcción de túneles, aireación y creación de hábitats para especies más pequeñas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Taxas de macro invertebrados encontrados en cañales antes de cosecha y con diferentes modalidades de cosecha en el departamento de Sonsonate, El Salvador.

Orden	Familia	Nombre Común	Grupo funcional
Araneae		Araña	Depredadores
Haplotaxida		Lombriz	Detritívoros e ingenieros del suelo
Polyxenida		Diplópodo	Detritívoros
Diplura	Japygidae	Diplura	Detritívoros y depredadores
Pulmonata		Caracol	Detritívoros, depredadores
Blattodea	Termitidae	Termita	Detritívoros e ingenieros del suelo
	Blattidae	Cucaracha	Detritívoros, fitófagos y omnívoros
Chilopoda		Ciempiés	Detritívoros
Coleoptera	Carabidae	Escarabajo	Detritívoros
	Chrysomelidae	Diabrotica	Fitófago
	Curculionidae	Gorgojos	Fitófago
	Elateridae	Gusano alambre	Detritívoros
	Scarabaeidae	Escarabajo	Detritívoros
	Staphylinidae	Staphylinidae	Depredadores
	Tenebrionidae	Tenebrionidae	Detritívoros
Dermaptera		Tijereta	Detritívoros y depredadores
Hemiptera	Aphididae	Áfidos	Fitófago
	Cydnidae	Chinche	Fitófago
Hymenoptera	Cicadellidae	Chicharra	Detritívoros
	Formicidae	Hormiga	Omnívoros, depredadores e ingenieros del suelo
Orthoptera	Gryllidae	Grillo	Fitófagos
Pseudoescorpionida		Seudoescorpión	Depredadores
Scorpiones		Escorpión	Depredadores
Symphyla		Sinfilo	Detritívoros
Isopoda		Bolilla	Detritívoros

Dominancia de macro invertebrados.

Las hormigas dominaron con 527 individuos/m² a 0.15 m de profundidad, lo que significa el 60% de la población antes de la quema, 79 individuos que representan el 9% después de la quema y 386 individuos que representan el 44% después de cosecha en verde. Las termitas dominaron con 37 individuos que representan el 34% de la población en los cañales muestreados después de la quema. Estos grupos presentan gran importancia en el suelo, debido a que son considerados como ingenieros del sistema, es decir que contribuyen a la elaboración de galerías y túneles dentro del suelo para mejorar la aireación y circulación del agua, además son importantes detritívoros y depredadores, en el caso de hormigas. Las hormigas y termitas fueron las más dominantes para las tres modalidades de cosecha, pero bajaron en proporción al comparar antes y después de las quemas, las termitas en cambio aumentaron en proporción al hacer la misma comparación (Figura 6).

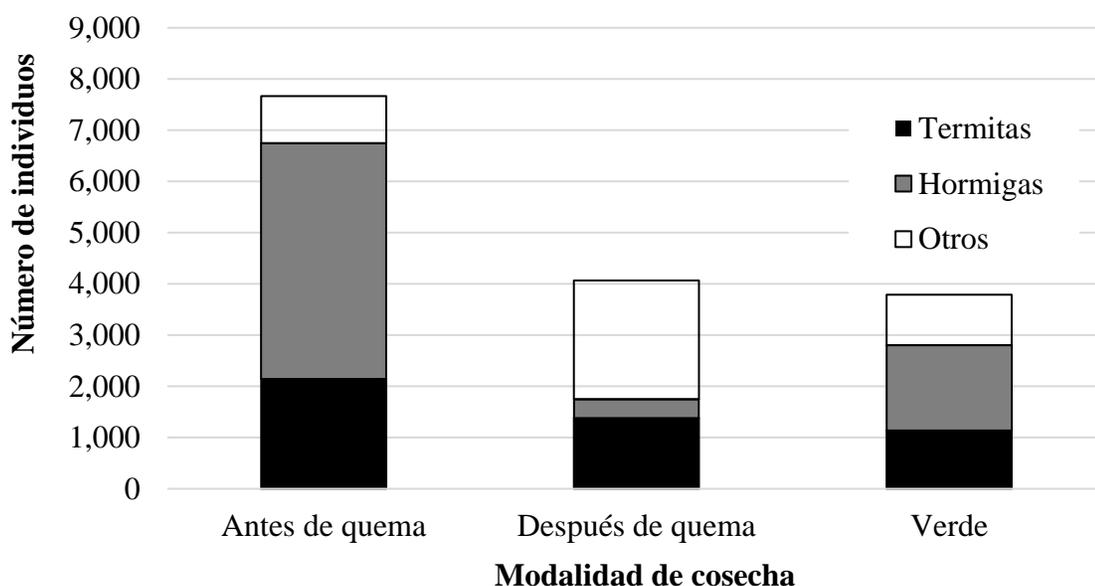


Figura 6. Dominancia de macro invertebrados en cañales antes de cosecha y con diferentes modalidades de cosecha en el departamento de Sonsonate, El Salvador.

La severa disminución de las hormigas por la quema, afecta la dinámica del suelo ya que son organismos omnívoros, poco selectivos, que consumen todo tipo de material vegetal o animal. También pueden ser efectivos depredadores de otros invertebrados, controlando sobre todo la población de herbívoros y afectar la producción vegetal (Cabrera Dávila 2014). En el suelo, son una de las familias más importantes por su función como depredador de insectos y otros animales y son los primeros que afectan en la descomposición del material vegetal que queda sobre el suelo. Las hormigas son componente muy importante de los ecosistemas, no solo porque constituyen una gran parte de la biomasa animal sino también porque actúan como ingenieros del ecosistema (Folgarait 1998).

En el caso de las termitas, constituyen uno de los principales problemas en la madera y también afectan como plaga a la caña, tienen un papel muy importante como descomponedores de materia orgánica (Ramirez y Lanfranco 2001). Las termitas son conocidas por el rol que desempeñan de descomponer, pero hay poca información de su importancia como recicladoras, siendo consumidoras primarias, especialmente herbívoras (Freymann *et al.* 2008). El fuego y la práctica mecanizada poco afectan a este grupo lo que pone en manifiesto su capacidad de sobrevivencia y explica la razón de por qué pueden constituirse como plagas del cultivo.

Es importante conocer sus funciones en el medio ambiente tanto como sus daños, sobre todo en este cultivo ya que los daños de termitas en la caña pueden llegar a ser críticos en la plantación. Los daños ocurren inicialmente en las estacas o semillas, después de la siembra de las yemas por la reducción de los tejidos de reserva de las cañas y un corte de las raíces primarias emitidas, lo que ocasiona fallas en la germinación con la necesidad de resembrar. Después del corte o cosecha se observa el daño en los troncos o entrenudos basales de la zafra anterior, causando mortandad en los brotes y despoblación de cepas en los cortes sucesivos (Rivera 2008).

Taxas afectados por las prácticas de cosecha.

Al realizar comparaciones con el programa SPSS se obtuvieron diferentes resultados en las comparaciones realizadas, Antes de quema, después de quema y verde con quema posterior, antes de quema y después de quema y finalmente antes de quema, después de quema, verde con quema posterior y pisos altitudinales.

Al realizar los análisis estadísticos comparando la cantidad de macro invertebrados antes de quema, después de quema y verde se obtuvo que no hay diferencia estadística representativa en ninguno de los taxas con excepción en el grupo de los sínfilos, el cual tiene una diferencia estadística representativa de 0.019. La mayoría de las especies parecen ser omnívoras, alimentándose principalmente de hifas de hongos y material animal o vegetal fresco. Algunas especies son depredadoras de pequeños animales como nemátodos y ácaros y otras se alimentan principalmente de raíces, pudiendo ocasionar importantes daños a cultivos agrícolas. Son animales escasos y poblaciones densas son muy poco frecuentes, aunque sí parece que tienen una tendencia a aparecer en pequeños grupos. Sólo unas pocas especies que provocan daños agrícolas (Dominguez Camacho 2015).

Al realizar los análisis comparativos de las modalidades antes de quema y post quema no se presentó diferencia estadística para ninguno de los taxas, sin embargo, cuando se realizaron los análisis comparando antes de quema, post quema, verde y Pisos altitudinales, se encontró diferencia significativa en cucarachas es de 0.004 en los pisos altitudinales de 100-300 msnm y en Diplópoda de 0.010 en los pisos altitudinales de 0-100 msnm (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variabilidad de los tasas de macro invertebrados en diferentes modalidades de cosecha: antes y después de quema, en verde con quema posterior y climas en el departamento de Sonsonate, El Salvador.

Taxas	Estadístico de Fisher				
	AQ ^Ω , PQ [£] , V [€]	AQ ^Ω , PQ [£]	AQ ^Ω , PQ [£] , V [€] , PA ^α		
			0-100 [¥]	100-300 ^{¥¥}	300-600 ^{¥¥¥}
Haplotaxida	0.587	0.682	0.222	0.330	0.600
Arachnida	0.834	1.000	0.86	0.518	1.000
Termitidae	0.793	0.512	0.328	0.498	1.000
Formicidae	0.987	0.874	0.142	0.475	1.000
Blattidae	0.249	0.169	1.000	0.004*	0.249
Aphididae	1.000	0.000	0.000	0.000	0.200
Symphyla	0.019*	0.651	0.186	0.15	1.000
Diplopoda	0.073	1.000	0.001*	0.804	0.200
Chilopoda	0.343	0.224	1.000	0.363	0.000
Gastropoda	0.141	1.000	0.314	0.336	0.000
Elateridae	0.096	0.224	0.000	0.543	0.200
Scarabaeidae	0.269	0.493	0.442	0.561	0.000
Chrysomelidae	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
Carabidae	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000
Tenebrionidae	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000
Curculionidae	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000
Cicadelidae	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000
Staphylinidae	1.000	1.000	0.000	0.805	0.000
Gryllidae	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000
Cydnidae	1.000	1.000	0.405	0.000	0.000
Forficulidae	1.000	1.000	0.000	0.545	0.000
Japygidae	0.318	0.000	0.222	1.000	0.000

^ΩAQ: Antes de quema

[£]PQ: Post quema

[€]V: Verde (No quema)

^αPA: Pisos Altitudinales

[¥]0-100 altura en metros sobre el nivel del mar

^{¥¥}100-300 altura en metros sobre el nivel del mar

^{¥¥¥}300-600 altura en metros sobre el nivel del mar.

Las cucarachas cuales consumen con mayor frecuencia todo tipo de material muerto, ya sea de origen animal o vegetal (omnívoros y detritívoros) (Cabrera Dávila 2014). Las cucarachas que se introducen en la madera o el suelo tienen su cuerpo con la capacidad de aflojar, ingresando al sustrato en el que se encuentren para ingresar al suelo y maniobrar en espacios reducidos (Bell *et al.* 2007), esto ayuda al en la aireación del suelo y material vegetal que se encuentra en el suelo.

Los diplópodos o milpiés son netamente detritívoros, tienen una función importante en la fragmentación y descomposición de la hojarasca, influyendo en la disminución del tamaño de los restos vegetales (Cabrera 2014). La gran mayoría de las especies de diplópodos viven en el suelo y tienen la facilidad de excavar. Por ello, la influencia de estos organismos en el suelo es de tipo física y química, porque al perforar el suelo rompen los niveles superiores y alteran la naturaleza física del mismo, incrementan la porosidad, la capacidad de retención de agua e influyen en los procesos de transporte de nutrientes (Bueno 2012).

Las lombrices son descomponedores muy importantes que contribuyen a la agregación, formación y el proceso de ciclo de nutrientes en el suelo (Lemtiri *et al.* 2014), las lombrices son consideradas los ingenieros del suelo debido a que son uno de los macro invertebrados más importantes en el suelo por su función fundamental que es la transformación de las propiedades físicas del suelo, ayudando a regular la compactación, porosidad, condiciones hídricas y macro agregación (Cabrera 2014), las excavaciones de lombrices mejoran la infiltración, y sus deyecciones mejoran la agregación. Las lombrices también empequeñecen pedazos mayores de residuos, que así pueden ser usados por otros organismos del suelo (USDA 1999).

El grupo de las lombrices presentó diferencia significativa, esto se debe a que al observar los datos cuantitativos son pocas las lombrices que se encontraron en el estudio, lo cual significa que estos suelos ya están dañados, esto puede deberse a que los suelos estudiados, son suelos que han estado sometidos a la práctica de las quemadas durante más de 20 años, las quemadas se llevan a cabo anuales y no hay rotación de cultivo lo que indica que la macro fauna del suelo se ha ido perdiendo y no se da el período de recuperación adecuado, lo anterior puede ser explicado porque según Morales Trujillo (2011) la práctica de quemadas afectan destruyendo la superficie en la que se encuentra la lombriz de tierra, y esto provoca un desequilibrio en los suelos ya que las lombrices ayudan ventilando la tierra, facilitando la penetración del agua con lo que se evitan inundaciones, acabar con las lombrices en el suelo, puede ser perjudicial para los campos ya que estas juegan un papel muy importante para la preservación de la tierra.

Dominancia y biodiversidad de especies según el índice de Shannon Winer y Simpson.

El índice de Shannon Winer muestra la biodiversidad de especies en diferentes sistemas, si los resultados son menores a 2, significa que la finca es pobre en biodiversidad, si está arriba de 3 es una finca diversa. En todas las modalidades de cosecha se cuenta con fincas pobres en biodiversidad ya que todos los resultados están debajo de 2 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la quema de caña de azúcar en la biodiversidad de los macro invertebrados de los suelos, según el índice de Shannon Winer en las fincas muestreadas en las modalidades de cosecha antes y después de quema en el departamento de Sonsonate, El Salvador.

Finca	msnm [£]	Índice de Shannon Winer ^Ω	
		Antes de quema	Después de quema
Providencia	5	1.72	0.30
La Casona Barra Ciega	12	1.24	0.98
Barra Ciega	12	0.27	0.74
San Luis L2	25	0.80	0.00
San Luis L3	25	1.05	1.05
Tonalá P1 L3	30	0.00	0.28
Tonalá P1 L1	30	1.33	1.33
El Milagro	30	1.68	1.72
Santa Clara	115	0.98	0.39
Tazulath L30	150	0.39	1.68
Tres Puertas	200	0.74	0.84
Santa Emilia L16	211	0.28	0.27
Santa Emilia L8	211	0.30	1.24
El Sunza	550	0.56	0.56
Ataisi	600	0.84	0.80

[£]msnm: altura en metros sobre el nivel del mar

^ΩÍndice de Shannon Winer: Valores <2 indican baja biodiversidad.

El índice de Simpson muestra la dominancia de especies, entre más cercano a 1 sea el resultado mayor es la dominancia, las taxas dominantes en las fincas muestreadas antes y después de la quema son Formicidae, Termitidae, Symphyla, y Diplópoda y cuatro no tienen dominancia, es decir que en esas fincas hay diversidad de especies ya que todas las taxas están distribuidas equitativamente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de la quema de caña de azúcar en la dominancia de los macro invertebrados de los suelos, según el índice de Simpson en las fincas muestreadas en las modalidades de cosecha, antes y después de quema en el departamento de Sonsonate, El Salvador.

msnm ^Ω	Fincas	Antes de quema		Después de quema	
		Dominancia	Taxa dominante	Dominancia	Taxa dominante
0-100	La Casona Barra				
	Ciega	0.00	ND [£]	0.44	Scarabidae
	Barra Ciega	0.00	ND [£]	0.54	Termitidae
	Providencia	0.24	Formicidae	0.88	Termitidae
	El Milagro	0.30	Symphyla	0.21	Diplopoda
	San Luis L3	0.54	Formicidae	0.20	Formicidae
	Tonalá P1 L3	1.00	Termitidae	0.90	Termitidae
100-300	Santa Clara	0.61	Termitidae	0.81	Formicidae
	Tres Puertas	0.64	Formicidae	0.55	Formicidae
	Santa Emilia L8	0.71	Formicidae	0.20	Termitidae
	Tazulath L30	0.78	Formicidae	0.11	Termitidae
	Santa Emilia L16	0.95	Formicidae	0.88	Formicidae
300-600	Ataisi	0.72	Formicidae	0.49	Formicidae
	El Sunza	0.77	Termitidae	0.50	Symphyla

^Ωmsnm: altura en metros sobre el nivel del mar

[£]ND: No hay dominancia

Índice de Simpson: 1 que indica que no hay diversidad, es más diverso cuando menos dominancia de especies hay es decir la distribución es más equitativa.

El índice de Simpson en las fincas muestreadas bajo la modalidad de cosecha en verde con quema posterior muestra que las taxas dominantes son Termitidae, Formicidae, Diplopoda, Cydnidae y Arachnidae y solamente una finca no tiene dominancia es decir que sus taxas se encuentran distribuidas equitativamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la quema de caña de azúcar en la biodiversidad y dominancia de los macro invertebrados de los suelos, según el índice de Shannon Winer y Simpson respectivamente en las fincas muestreadas en la modalidad de cosecha en verde con quema posterior en el departamento de Sonsonate, El Salvador.

Finca	msnm [‡]	Índice de		
		Shannon	Índice de Simpson	
		Biodiversidad	Dominancia	Taxas dominantes
Lourdes	5	0.59	0.83	Termitidae
Providencia L7	5	1.49	0.75	Formicidae
Barra Ciega	15	1.24	0.78	Formicidae
San José L4	25	0.68	0.71	Formicidae
San Antonio	200	0.29	0.67	Termitidae
San Vicente	200	0.53	0.00	ND ^Ω
La Fincona	200	1.33	0.64	Diplopoda
Cerritos	210	0.38	0.53	Termitidae
Tazulá L11	210	0.71	0.2	Cydnidae
Eufemia	230	0.69	0.1	Arachnidae
Buena Vista L4	230	1.33	0.1	Diplopoda
Buena Vista L3	230	1.41	0.27	Termitidae y Formicidae
Paraisal L1	230	1.48	0.14	Formicidae
Paraiso L2	230	1.97	0.19	Arachnidae
San Clemente L4	600	0.86	0.10	Formicidae

[‡]msnm: altura sobre el nivel del mar

^ΩND: No hay dominancia

Índice de Simpson: 1 que indica que no hay diversidad, es más diverso cuando menos dominancia de especies hay es decir la distribución es más equitativa.

4. CONCLUSIONES

- Las quemas tienen un efecto en algunos de los taxas como las hormigas, las cuales se reducen severamente en número después de las quemas, las termitas por el contrario incrementaron su número lo que pone en manifiesto su capacidad de sobrevivencia y podría explicar la razón por la que son plaga en el cultivo.
- Los grupos más dominantes en las diferentes modalidades de cosecha fueron las hormigas y las termitas, de vital importancia al ser considerados ingenieros del suelo, realizan funciones de reguladoras de compactación, ayudan a mejorar la porosidad del suelo.
- No existe evidencia de la existencia de variación entre el número de macro invertebrados en las diferentes modalidades de cosecha para la mayoría de taxas, sin embargo, se encontró variación en el número de macro invertebrados en las taxas blattidae (cucarachas), symphylos (sinfílidos) y diplópodos (milpiés).
- La modalidad de quema que más afecta los macro invertebrados en el suelo es la cosecha de caña en verde con quema posterior.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar cambios en cuanto a la corta en verde en el cultivo de caña de azúcar en las fincas estudiadas, ya que la practica actual ocasiona compactación del suelo por el uso de la maquinaria y daños al quemar los residuos vegetales que quedan sobre la superficie del suelo luego de la cosecha.
- Promover entre los productores la importancia de cuidar el suelo, así como el entendimiento del rol que juegan los macro invertebrados en la salud edáfica.
- Identificar y promover la siembra de variedades en cada región que produzca buenos rendimiento, que desbajere y que presenten la menor cantidad posible de pelos urticantes.
- Realizar otros estudios que incluyan análisis de suelo para comparar las propiedades del suelo que son afectadas al disminuir las poblaciones de las taxas afectadas por las quemas.

6. LITERATURA CITADA

Bell, William J.; Roth, Louis M.; Nalepa, Christine A. (2007): *Cockroaches: // Cockroaches. Ecology, Behavior, and Natural History // Ecology, behavior, and natural history / William J. Bell, Louis M. Roth, Christine A. Nalepa ; foreword by Edward O. Wilson.* Baltimore, Md., London: Johns Hopkins University Press.

Borror, Donald Joyce; DELONG, Dwight Moore (1971): *An introduction to the study of insects.* Third edition. New York, etc.: Holt.

Borror, Donald Joyce; Triplehorn, Charles A.; Johnson, Norman F. (1989): *An introduction to the study of insects.* 6th ed / Donald J. Borror, Charles A. Triplehorn, Norman F. Johnson. Philadelphia, Pa.: Saunders College Publishing.

Borror, Donald Joyce; White, Richard E. (1970): *A field guide to the insects of America north of Mexico.* Boston Mass.: Houghton Mifflin (Peterson field guide series, 19).

Brown, George G.; Fragoso, Carlos; Barois, Isabelle; Rojas, Patricia; Patrón, José C.; Bueno, Julián et al. (2001): *Diversidad y rol funcional de la macro fauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos.*

Bueno Villegas, Julian (2012): *Diplópodos.*

Cabrera Dávila, Grisel de la C. (2014): *Manual práctico sobre la macro fauna edáfica como indicador manual práctico sobre la macro fauna edáfica como indicador biológico de la calidad de lsuelo, según resultados en Cuba.*

Campo, Alicia María; Duval, Valeria Soledad (2014): *Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina).* In *An. Geogr. Univ. Complut.* 34 (2).

Castner, James L. (2000): *Photographic atlas of entomology and guide to insect identification.* Gainesville, FL, USA: Feline Press.

Chu, H. F. (1949): *How to know the immature insects. An illustrated key for identifying the orders and families of many of the immature insects with suggestions for collecting, rearing, and studying them / H.F. Chu.* Dubuque Iowa: Wm. C. Brown Company (The pictured-key nature series).

Coronado Padilla, Ricardo; Marquez Delgado, Antonio (1986): *Introducción a la entomología. Morfología y taxonomía de los insectos.* Mexico, D.F.: Editorial Limusa.

Costa, Cleide; Ide, Sergio; Simonka, Carlos Estevão (2006): Insetos imaturos. Metamorfose e identificação. Ribeirão Preto: Holos Editora.

DeBach, Paul; Rosen, David (1991): Biological control by natural enemies. 2nd ed.

Dominguez Camacho, Miguel (2015): Symphyla (2386-7183).

Folgarait, Patricia J. (1998): Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review.

Freyman, Bernd P.; Buitenwerf, Robert; Desouza, Og; Olf, Han (2008): The importance of termites (Isoptera) for the recycling of herbivore dung in tropical ecosystems. A review. In *Eur. J. Entomol.* 105 (2), pp. 165–173. DOI: 10.14411/eje.2008.025.

Gonzalez Toro, Carmen (2009): El fuego, la quema de pastos y sus consecuencias. Available online at <http://academic.uprm.edu/gonzalezc>.

Huerta Lwanga, Esperanza; Rodríguez Olán, Jannet; Evia Castillo, Isabel; Montejó Meneses, Efraín; Cruz Mondragón, Marcela de la; García Hernández, Roberto (2008): Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macro invertebrados (2395-8030).

Lemtiri, Aboukacem; Colinet, Gilles; Alabi, Taofic; Cluzeau, Daniel; Zirbes, Lara; Haubruge, Éric; Francis, Frédéric (2014): Impacts of earthworms on soil components and dynamics. A review.

Mataix Solera, Jorge (1999): Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Doctoral. Universidad, España. Universidad de Alicante.

Morales Trujillo, Javier (2011): Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación. Ingeniería. Universidad, México. Universidad Veracruzana.

Moreira, Fatima M.S.; Huising, Jeroen E.; DaviBignell, David E. (2012): Manual de biología de suelos tropicales.

Nicholls, Clara; Altien, Miguel (2006): Manejo de la fertilidad del suelo e insectos plaga: armonizando la salud del suelo y la salud de las plantas en los agroecosistemas.

Pérez, José Manuel; Lawrence, Pratt (1997): Industria Azucarera en El Salvador: Análisis de Sostenibilidad.

Pértega Díaz, S.; Pita Fernández, S. (2004): Asociación de variables cualitativas: El test exacto de Fisher y el test de McNemar.

Portocarrero Rivera, Eduardo Tomás; Díaz Montejó, Lucas Lizandro (2002): Manual de producción de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Ingeniería. Universidad, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Potocnik, Janez (2010): La biodiversidad del suelo. la fábrica de la vida.

Ramirez, Juan Carlos; Lanfranco, Dolly (2001): Descripción de la biología, daño y control de las termitas: especies existentes en Chile.

Rivera Rosado, Francisco Javier (2008): El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) en la región de Cardel, centro de Veracruz. Ingeniería. Universidad, Mexico. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

USDA (1999): Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.