



# **EI COLEGIO DE LA FRONTERA SUR**

## **EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE SÁBILA Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE MACROINVERTEBRADOS DEL SUELO, EN EL CENTRO-NORTE DE CAMPECHE**

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de  
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

por

**Jarintzi Hernández Castro**

2015

## DEDICATORIA

*Para ti abuelita que desde el cielo me cuidas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo es el producto del esfuerzo de varias personas, una de ellas, la Dra. Esperanza Huerta Lwanga, a quien agradezco profundamente su apoyo en el asesoramiento de este, así como el haber confiado en mí, pero sobretodo su paciencia durante mi estancia en El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Agradezco al Dr. Jorge Mendoza Vega, su apoyo conocimientos, sugerencias y acertadas opiniones.

Al Dr. Juan Manuel Pat Fernández, por su apoyo, conocimientos, opiniones y lecturas críticas.

Al Dr. Bernardus Hendricus Jozeph De Jong, M.C. Víctor Manuel Kú Quej y al Dr. Rafael Ángel Reyna Hurtado, por sus comentarios y recomendaciones que fueron de gran ayuda para mejorar el presente trabajo.

A mi familia Hernández Castro por el apoyo durante este difícil camino. A mis abuelitos Conchita (q.e.p.d.) y Beto, a todos ustedes gracias por ser las personas que más admiro y respeto, por estar siempre cuando más los necesito, ser mi más grande orgullo y mi ejemplo a seguir.

A ti Rosa María Hernández Castro por apoyarme en este eterno viaje, gracias por tu comprensión, dedicación de tu vida, atención y cuidados.

A ti Julián por apoyarme y estar conmigo en las buenas, pero sobre todo en las malas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme y ser parte fundamental durante la realización de esta tesis, ya que sin ellos esto no hubiera sido posible.

A Websters Chiquini-Heredia por la elaboración del mapa de localización de los sitios de estudio. A la Dra. Viky y a Rubí por su comprensión, paciencia y ayuda durante este proceso.

Al personal de las plantaciones de sábila Shara y Blanca Flor en el estado de Campeche. Especialmente al contador Lorenzo y a don Octavio por las facilidades otorgadas durante la realización de este trabajo.

A todos mis amigos y compañeros de la maestría en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, generación 2013-2014, Unidad Campeche. Gracias por acompañarme, apoyarme y brindarme su amistad sincera.

A todas aquellas personas que me ofrecieron su apoyo y que por falta de espacio no me es posible mencionar, agradezco su amistad, ayuda incondicional y confianza en mí.

*Por algo pasan las cosas (Jorge Oyhanarte)*

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>14</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>16</b>
1. La sábila .....	16
2. Cultivo de sábila .....	17
3. El cultivo de sábila en Campeche.....	18
4. Análisis económico del cultivo de sábila en México.....	19
5. Evaluación de tierras.....	21
6. Fertilidad del suelo .....	22
a) Diversidad y abundancia de macroinvertebrados del suelo .....	24
b) Macroinvertebrados del suelo y propiedades fisico-químicas del suelo.....	25
c) Macroinvertebrados del suelo y su relación con la vegetación: lombrices.....	26
7. Distribución espacial como herramienta en los estudios de fertilidad del suelo ....	27
a) Distribución espacial de macroinvertebrados del suelo .....	28
<b>III. OBJETIVOS</b> .....	<b>29</b>
1. Objetivo general.....	29
2. Objetivos específicos .....	29
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
1. Ubicación y descripción del sitio de estudio.....	31
a) Plantación de sábila ubicada en Shara.....	31
b) Plantación de sábila ubicada en Blanca Flor .....	33
2. Análisis económico .....	35
a) Proceso y costos de producción en las plantaciones de sábila.....	35
3. Descripción de las plantas de sábila en las plantaciones: tamaño de las plantas y análisis foliar.....	39
a) Tamaño de las plantas.....	39
b) Análisis de N y P en las hojas de sábila .....	39
4. Evaluación de tierras .....	40
5. Fertilidad del suelo .....	43
6.- Colecta de macroinvertebrados del suelo .....	45
a) Diversidad y abundancia de macroinvertebrados del suelo .....	46
7. Análisis de datos .....	47

<b>V. RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
<b>1. Descripción de las labores agronómicas en las plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor en Campeche, México.....</b>	<b>51</b>
a) Preparación del terreno .....	52
b) Siembra.....	52
c) Control de malezas .....	53
d) Fertilización .....	54
e) Riego.....	54
f) Cosecha .....	55
<b>2. Análisis económico de la producción de sábila ubicada en Shara.....</b>	<b>56</b>
a) Costos y beneficios económicos.....	56
b) Preparación del terreno .....	56
c) Riego.....	57
d) Siembra.....	58
e) Cosecha .....	59
f) Costos variables de producción .....	60
<b>3. Análisis económico de la producción de sábila en Blanca Flor.....</b>	<b>64</b>
a) Costos y beneficios económicos de la producción de sábila en Blanca Flor .....	64
b) Preparación del terreno.....	65
c) Cuidado de la sábila.....	65
d) Cosecha .....	66
e) Costos variables de producción .....	67
<b>4. Descripción del tipo de clima en las plantaciones de sábila.....</b>	<b>71</b>
<b>5. Evaluación de tierras.....</b>	<b>73</b>
<b>6. Fertilidad de suelos.....</b>	<b>74</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>76</b>
<b>ARTÍCULO SOMETIDO EN LA REVISTA EUROPEAN JOURNAL OF SOIL BIOLOGY:     SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL MACROINVERTEBRATES IN <i>Aloe vera</i> CROPS IN     CAMPECHE, MÉXICO. ....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>108</b>
<b>VI. DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>108</b>
<b>VII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>122</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>138</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Manufactura y ventas de productos derivados de sábila (Modificado de Aloecorp, 2012). .....	18
Figura 2. Ubicación de los sitios estudiados.....	34
Figura 3. Malla de muestreo de 100 m ancho x 100 m de largo para cada cultivo de sábila. ....	44
Figura 4. Metodología utilizada para la evaluación del cultivo de sábila en Campeche, México. ....	46
Figura 5. Parámetros utilizados en el ajuste de variogramas a funciones matemáticas (de acuerdo a García, 2006).....	48
Figura 6. Modelos de ajuste más comunes en la variografía (García, 2006, p.26).....	49
Figura 7. Plantaciones de sábila ubicadas en el estado de Campeche, México. ....	56
Figura 8. Distribución de la precipitación, evapotranspiración potencial (ETP) y temperatura media mensual, para un periodo de tiempo de 20 años en la plantación de sábila ubicada en Shara. ....	72
Figura 9. Distribución de la precipitación, evapotranspiración potencial (ETP) y temperatura media mensual, para un periodo de tiempo de 20 años en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>Aloe vera</i> . ....	16
Tabla 2. Incremento en la producción de sábila ubicada en Shara para un ciclo productivo de 7 años. ....	61
Tabla 3. Beneficios y costos obtenidos en la producción de sábila durante un ciclo productivo de 7 años en Shara.....	62
Tabla 4. Valor Actual Neto para el proceso de producción de la plantación de sábila ubicada en Shara. ....	64
Tabla 5. Incremento en la producción de sábila ubicada en Blanca Flor para un ciclo productivo de 7 años .....	68
Tabla 6. Beneficios y costos obtenidos en la producción de sábila durante un ciclo productivo de 7 años en Blanca Flor. ....	69
Tabla 7. Valor Actual Neto para el proceso de producción de la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.....	70
Tabla 8. Características de los terrenos en la evaluación de las plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor.....	74
Tabla 9. Principales características de la fertilidad de los suelos en los cultivos de sábila ubicados en Shara y Blanca Flor, Campeche.....	75



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Encuesta económica para el sistema de producción de sábila. ....	138
Anexo 2. Cédula para registrar tamaño de plantas de sábila. ....	142
Anexo 3. Factores y Parámetros para valorar la capacidad de uso de las tierras (COLPOS, 1977). ....	143
Anexo 4. Cédula para caracterizar ambientes naturales en el cultivo de sábila (modificado de Mendoza <i>et al.</i> , 2013). ....	144
Anexo 5. Interpretación de resultados según la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-RECNAT-2000. NA: No aplica ....	145
Anexo 6 Claves para identificación de lombrices a) <i>Pontoscolex corethrurus</i> y b) <i>Polypheretima elongata</i> ....	146
Anexo 7. Costos y presupuestos durante el primer año en la plantación de sábila ubicada en Shara. ....	147
Anexo 8. Costos y presupuestos durante el segundo año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara ....	148
Anexo 9. Costos y presupuestos durante el tercer año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara ....	149
Anexo 10. Costos y presupuestos durante el cuarto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara. ....	150
Anexo 11. Costos y presupuestos durante el quinto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara. ....	151
Anexo 12. Costos y presupuestos durante el sexto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara. ....	152
Anexo 13. Costos y presupuestos durante el séptimo año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara. ....	153
Anexo 14. Costos y presupuestos durante el primer año en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor. ....	154
Anexo 15. Costos y presupuestos durante el segundo año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor. ....	155
Anexo 16. Costos y presupuestos durante el tercer año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor. ....	156
Anexo 17. Costos y presupuestos durante el cuarto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor. ....	157
Anexo 18. Costos y presupuestos durante el quinto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor. ....	158
Anexo 19. Costos y presupuestos durante el sexto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor. ....	159
Anexo 20. Costos y presupuestos durante el séptimo año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor. ....	160
Anexo 21. Temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) mensual en la región del cultivo de Shara para el periodo 1993 a 2013. ....	161
Anexo 22. Temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) mensual en la región del cultivo de Blanca Flor para el periodo de 1993 a 2013. ....	161

Anexo 23. Características químicas de los suelos muestreados en las plantaciones de sábila de Shara (19° 43'33.81'' N, 90° 22'18.36''O) y Blanca Flor (20° 12'37.57'' N, 90° 06'38.91'' O), Campeche. .... 162

## RESUMEN

La sábila es una planta importante a nivel comercial debido a sus propiedades curativas, sin embargo, pocos son los estudios relacionados con respecto a su cultivo. Se evaluaron dos plantaciones de sábila en la porción Centro-Norte de Campeche (Shara y Blanca Flor) a través de indicadores económicos, características físicas del cultivo y distribución espacial de macroinvertebrados del suelo. Se trabajó bajo un diseño geoespacial, colocando una malla de 100x100 m, con puntos de muestreo cada 20 m (n=36 por sitio). En cada punto se obtuvo información sobre las plantas de sábila (tamaño y calidad de las hojas), el suelo (fósforo, materia orgánica, pH y nitrógeno) y macroinvertebrados del suelo (abundancia, diversidad). Para la distribución espacial de las variables se elaboraron mapas de contorno y variogramas. La correlación entre variables se realizó por medio de análisis canónicos, de Pearson y Path análisis. Resultado: el cultivo de sábila es una actividad rentable en las dos plantaciones; las ganancias son superiores a los costos. En Shara, las plantas presentaron características agronómicas importantes (largo y ancho de la hoja) y las características del suelo (profundidad y pedregosidad) no fueron una limitante para el establecimiento del cultivo. La distribución espacial de las propiedades químicas del suelo fue heterogénea y en forma de parches  $\geq 50$  m en Shara y  $> 100$  m en Blanca Flor. En Shara, el análisis causal indicó que el número de hojas de sábila se encuentra directamente relacionado con la materia orgánica del suelo (T:0.65,  $p < 0.05$ ), el orden Chilópoda (T: 2.48,  $p < 0.05$ ) y la densidad total de macroinvertebrados del suelo (T: 2.75,  $p < 0.05$ ), el pH tuvo un efecto directo sobre el número de hijuelos (T: 0.38,  $p < 0.05$ ). En Blanca Flor, el nitrógeno en el suelo y *Polypheretima elongata* promovieron

el crecimiento del número de hijuelos (T: 2.13,  $p < 0.05$  y T: 0.95,  $p < 0.05$ , respectivamente).

**Palabras Clave.** *Aloe vera*, análisis espacial, fertilidad del suelo, macrofauna del suelo.

## **CAPÍTULO 1**

### **I. INTRODUCCIÓN**

México es el principal país productor y exportador de materias primas de sábila en el mundo, la producción de hoja de sábila se concentra principalmente en: Tamaulipas, Yucatán, Morelos y Campeche (SAGARPA, 2010; SIAP, 2014). La producción de sábila cuenta con un índice de rentabilidad financiero exponencialmente mayor que otros cultivos (SAGARPA, 2012), el cultivo puede explotarse hasta por siete años sin necesidad de realizar grandes inversiones, la planta tiene este periodo de vida productiva y una gran capacidad de auto reproducción (SAGARPA, 2012).

En el país, existen pocos estudios desarrollados para el cultivo de la sábila; es una de las plantas con mayor valor comercial en la industria cosmética y farmacéutica debido a sus propiedades medicinales. Sin embargo, la información existente en materia agronómica, económica y de fertilidad de suelos, es escasa o nula en algunos estados como el de Campeche (Moreno, 2007), específicamente con los macroinvertebrados del suelo en donde no existe información acerca de su interacción con las plantas de sábila, no solo en Campeche sino a nivel mundial.

En la presente investigación, se tuvo como objetivo evaluar dos plantaciones de sábila en la porción Centro-Norte del estado de Campeche (Shara y Blanca Flor) a través de indicadores económicos, características físicas del cultivo y ecológicos del suelo.

Se emplearon diversas metodologías que incluyeron: indicadores económicos, condiciones ambientales, características del terreno, así como de fertilidad del suelo. Dentro de las condiciones ambientales que se utilizaron fueron la temperatura, precipitación y evapotranspiración.

Se consideraron las características físicas del terreno; pedregosidad, profundidad media del suelo, características del terreno, pendiente y erosión, que permitieron tener un análisis completo de las condiciones naturales favorables para el desarrollo de las plantas y los indicadores económicos como la relación beneficio/costo (B/C), el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), que dieron certidumbre sobre el costo de la inversión, la rentabilidad y el rendimiento del cultivo en un periodo de tiempo de siete años.

Otra parte importante dentro de este trabajo fue el empleo de técnicas geoestadísticas que se recomiendan para investigaciones a nivel del suelo, y que permitieron tener una visión más amplia de la heterogeneidad espacial que existe a pequeña escala ie: una hectárea de terreno (Paz-González *et al.*, 2001; Arrouays *et al.*, 2008). Además, de conocerse las posibles correlaciones entre las variables del suelo y la vegetación (Aweto, 1981; Sherry y Henson, 2005).

## II. ANTECEDENTES

### 1. La sábila

La sábila (*Aloe vera*), es una planta perenne, perteneciente a la familia Xanthorrhoeaceae (Tabla 1). Su nombre procede de la voz árabe "sabaira" que significa "amargo" y del género científico *Aloe*. Siendo *Aloe vera barbadensis* la variedad más cultivada (Ávila y Díaz, 2002). Sus hojas son carnosas, de margen espinoso, color verde pálido, dispuestas en forma de rosetas alrededor del tronco (Ávila y Díaz, 2002; Carpano *et al.*, 2009).

Tabla 1 Clasificación taxonómica de *Aloe vera*.

Reino	Plantae
Subreino	Viridaeplantae
Infrareino	Streptophyta
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Infradivisión	Angiospermae
Clase	Equisetopsida
Superorden	Lilianae
Orden	Asparagales
Familia	Xanthorrhoeaceae
Genero	<i>Aloe</i>
Especie	<i>Aloe vera</i>

Fuente: [www.tropicos.org](http://www.tropicos.org). 2014.

La sábila, según Raven y Spicer (1996) es una planta con Metabolismo Ácido de Crasuláceas (CAM), debido a su tipo de metabolismo necesita grandes cantidades de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el suelo para crecer (Raven y Spicer, 1996; García-Hernández *et al.*, 2006). Con la presencia de estos elementos en el suelo la sábila puede producir componentes importantes para la industria cosmética y farmacéutica entre ellos: polisacáridos, vitaminas, aminoácidos, proteínas y minerales constituidos principalmente de N y P (Brown y Salle, 1967; Guzmán, 2012).

La disponibilidad de agua es otro factor importante durante el crecimiento vegetativo de la sábila. El riego recomendado para un mejor desarrollo vegetativo en plantas de sábila es quincenal y de 20% con respecto a la evapotranspiración total en el área (Silva *et al.*, 2010). Cuando las plantas tienen un riego adecuado aumentan su productividad y biomasa (Van Schaik *et al.*, 1997; Rodríguez-García *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2010; Franco-Salazar *et al.*, 2012).

## **2. Cultivo de sábila**

Para usos comerciales el cultivo de sábila comenzó a nivel invernadero en Oklahoma, Estados Unidos (Bermejo y Viana, 1990). Los cultivos más importantes se encuentran en países del sur de Europa y América, destacando Estados Unidos y México (Ávila y Díaz, 2002), siendo este último, el primer productor a nivel Latinoamérica con 14,000 hectáreas (ha) cultivadas (Moreno, 2007).

De acuerdo con Aloecorp (2012) una de las más importantes industrias a nivel Internacional relacionada con la producción de sábila, México es el principal productor de sábila y productos derivados con 148,178.40 toneladas anuales, que se comercializan en E.U.A., Europa y Asia (Figura 1). Las plantaciones más importantes se encuentran en los estados de: Tamaulipas, San Luis Potosí, Puebla y Yucatán (Rodríguez, 2012).





Figura 1. Manufactura y ventas de productos derivados de sábila (Modificado de Aloecorp, 2012).

### 3. El cultivo de sábila en Campeche

Con el fin de apoyar al sector rural en Campeche, el cultivo de sábila se estableció con un aproximado de 59 ha en la década de los 80', principalmente en el municipio de Calkiní en las localidades de: Concepción, Pucnachén, San Antonio Sahcabchén, Chunhuás, Tankuché y Xcacocho y en el municipio de Hecelchakán en los ejidos de Chunkanán y Dzodzil, además de 33 ha en la Hacienda Blanca Flor para un total de 92 ha. Estos cultivos proveían de material a una planta industrializadora en Tankuché (Contreras, 2001). Posteriormente, en los años 90' se sembraron 15 ha de sábila en Shara, ubicada en la localidad de Chiná, municipio de Campeche, en forma de asociación civil (L. Leyva, entrevista personal, 15 de enero de 2014).

Al paso del tiempo muchas de las hectáreas cultivadas quedaron en completo abandono ocasionado por la falta de interés y apoyos para cultivar sábila (Contreras, 2001). En esa misma década para aprovechar las plantaciones de sábila abandonadas, las mujeres del ejido de Chunhuás en Calkiní, organizaron el “Grupo de Solidaridad”, obtenían el gel de las plantas y lo combinaban con colorantes y conservadores para obtener una bebida que se comercializaba en municipios aledaños, sin embargo en poco tiempo este proyecto finalizó (C. Contreras, 2001; L. Leyva, entrevista personal, 15 de enero de 2015).

#### **4. Análisis económico del cultivo de sábila en México**

El cultivo de sábila, en los últimos años ha tomado importancia como un producto comercial, que tiene una exportación de más de US \$4,000,000.00 anuales en productos derivados de sábila (Medel y Ortiz, 2006; Trademap 2014). Para el año 2013, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) mencionó a Campeche como uno de los estados con mayor rendimiento por hectárea a nivel nacional con 60 ton ha<sup>-1</sup>, superando a los estados de Tamaulipas (52.66 ton ha<sup>-1</sup>) y Yucatán (22.37 ton ha<sup>-1</sup>, SIAP, 2014).

En una evaluación es necesario incluir un análisis económico para conocer la rentabilidad del cultivo de sábila, para tal efecto es necesario definir algunos conceptos económicos utilizados durante el proceso de producción (Mendicuti, 2003):

- Costo: Es el gasto que se hace para producir una mercancía y está relacionado con la cantidad de trabajo incorporado en la misma. Incluye: costos variables, costos fijos y costos totales (González y Miranda, 1984):

- Costo variable: Se deriva de la utilización de insumos variables en el proceso productivo y está en función del nivel de producción. (Mendicuti, 2003).
- Costo fijo: Son los costos que no varían con los cambios en el nivel de producción (Mendicuti, 2003).
- Costo total: Se define como la suma de los costos variables totales más los costos fijos totales (Mendicuti, 2003).

En un análisis económico se emplean indicadores de rentabilidad que permitan evaluar y comparar entre sí los costos y beneficios asociados con un proyecto de inversión (Ortega, 1993), entre los principales indicadores económicos de evaluación se encuentran:

1. Beneficio Costo (B/C); es la relación que expresa los beneficios monetarios obtenidos por unidad monetaria total (Mendicuti ,2003).
2. Valor Actual Neto (VAN); se puede interpretar como el valor actual de la corriente de ingresos generada por una inversión. (Ortega, 1993).
3. Tasa Interna de Retorno (TIR); se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión o la tasa de interés que se recupera por la inversión (Brealey *et al.*, 2006).

En el cultivo de sábila, Rodríguez (2012) distingue dos fases con relación a su costo:

a) Establecimiento del cultivo (incluye inversión)

b) Etapas posteriores conocidas como costos de producción y/u operación

Los costos de producción en el cultivo de sábila son 2.7 veces más grandes en México que en el resto del mundo debido al alto costo en la mano de obra (Moreno, 2007). En

países como El Salvador y Trinidad y Tobago se usa maquinaria que reduce el costo por pago a jornaleros. Para México, los costos por mano de obra y cosecha en cultivos se estiman en 138 jornales ha<sup>-1</sup> por año. Aun así, se sabe que México es uno de los países con mayor utilidad bruta (Álvarez, 2007), debido a que las plantas tienen un rendimiento promedio mayor a 50 ton ha<sup>-1</sup> (Sánchez, 2007).

## 5. Evaluación de tierras

La evaluación de tierras es: “el proceso de determinación y predicción del comportamiento de una porción de tierra, usada para fines específicos, tomando en cuenta aspectos físicos, económicos y sociales”. La evaluación de tierras es una herramienta útil en el establecimiento de cultivos, ya que cada porción de tierra tiene diferente vocación de uso, diferentes requerimientos biológicos y de manejo (FAO, 1976). En la actualidad el proceso de evaluación se realiza mediante dos actividades principales (Van-Diepen *et al.*, 1991):

- 1) La recopilación de datos directamente en el terreno (trabajo de campo).
- 2) La representación en documentos cartográficos como: plano base topográfico y fotografías aérea ( FAO, 2003).

La recopilación de datos en la evaluación de tierras, incluye información acerca de las características del suelo. En México, los primeros registros de clasificación de suelos pertenecen a la civilización azteca y maya, que clasificaban a los suelos de acuerdo a sus características físicas (color), fines de uso y manejo (Ortiz Solorio *et al.*, 1990). Sin embargo, no fue hasta 1920 que se realizaron oficialmente los primeros levantamientos de suelos (Ortiz Solorio *et al.*, 1990). De acuerdo al diccionario maya se encuentran los

suelos; tsek'el (Barrera, 1980) que es un suelo pedregoso y poco productivo para fines agrícolas (Bautista y Palacio, 2005) y k'áankab (Barrera, 1980) que significa tierra roja o amarillenta, bueno para uso agrícola y se caracteriza por tener una gran cantidad de tierra fina y ser más profundo que el tsek'el (Bautista y Palacio, 2005).

Para la evaluación de tierras, otro parámetro es el clima. La sábila es una planta adaptable a diferentes condiciones ambientales (Saks e Ish-Shalom-Gordon, 1995), sin embargo, estudios recientes indican que a pesar de ser plantas tolerantes a altas temperaturas (>40°C), periodos largos de sequía pueden afectar su desarrollo (Taiz y Zeiger, 2002; Larcher, 2003; Pérez *et al.*, 2010). Se establece mejor en lugares con una precipitación anual de entre 400 y 800 mm al año, cuando es menor (400 mm) se ha observado que las plantas tienen un desarrollo lento (Fuentes-Carvajal *et al.*, 2006).

## **6. Fertilidad del suelo**

La fertilidad del suelo se define como: la capacidad que tiene el suelo para proveer a las plantas de los nutrientes necesarios para su desarrollo (Foth, 1987). Las plantas de sábila se establecen mejor en suelos planos o ligeramente inclinados (Epstein y Bloom, 2006; Franco-Salazar *et al.*, 2012). La sábila es una planta que necesita grandes cantidades de N y P en suelo, suelos arcillosos y con pH alcalino. Una baja disponibilidad de P y N , puede afectar considerablemente el tamaño y crecimiento de las hojas de sábila (Fuentes-Carvajal *et al.*, 2006), además de provocar coloraciones rojizas en el ápice y coloraciones verde brillante en las hojas más jóvenes que no son deseables para la comercialización (Fuentes-Carvajal *et al.*, 2006; Varón *et al.*, 2007).

## 7. Macroinvertebrados del suelo

Los macroinvertebrados del suelo son organismos >2 mm (Brussaard, 1998), cuya actividad es importante para el estudio de los suelos, ya que intervienen en diferentes procesos como: agregación, estructura del suelo, textura, movimiento y retención del agua, intercambio gaseoso y ciclo de nutrientes (Lal, 1989; Brussaard, 1998; 2007; Neher, 1999; Lavelle y Spain, 2001; Huerta *et al.*, 2008). Su clasificación se hace con base en su distribución en el perfil del suelo o de acuerdo a su hábitat alimenticio. Dentro de las categorías ecológicas se nombran: 1.- epígeos, 2.- endógeos y 3.- anécicos (Brussaard, 1998; Lavelle y Spain, 2001; Ruiz *et al.*, 2008).

1. Epígeos: Son aquellos organismos que habitan en la superficie del suelo (hojarasca), a este grupo pertenecen pequeñas lombrices, arañas, hormigas, ciempiés y algunos escarabajos depredadores. Se alimentan de Materia Orgánica (MO) y su principal función es fragmentar la hojarasca y promover la descomposición (Lavelle y Spain 2001; Huerta *et al.*, 2011).

2. Endógeos: Son aquellos organismos que viven en el interior del suelo, principalmente lombrices de tierra y termitas. Se alimentan de MO o de raíces, además de que ingieren grandes cantidades de suelo, producen galerías y gran cantidad de excretas que pueden afectar la estructura del suelo (Lavelle y Spain, 2001; Huerta *et al.*, 2011).

3.- Anécicos: Son organismos que habitan en el suelo y se pueden alimentar de hojas y/o del suelo. Dentro de este grupo se encuentran algunas lombrices, termitas y hormigas que pueden crear galerías y nidos en el interior del suelo. Estos organismos

ingieren y transportan gran cantidad de suelo que altera la agregación y promueve la oxigenación e infiltración de agua. Su principal función es la de transporte y mezcla de la hojarasca, cambiando la dinámica de su descomposición y la distribución espacial de la hojarasca (Lavelle y Spain, 2001; Huerta *et al.*, 2011).

#### **a) Diversidad y abundancia de macroinvertebrados del suelo**

Estudios de macroinvertebrados del suelo en cultivos de sábila no se reportan con anterioridad. Investigaciones en cultivos sin labranza mencionan que los organismos más abundantes son los órdenes: Aranae, Coleóptera, Lepidóptera y Oligochaeta y en cultivos mecanizados; los gasterópodos, orthopteros, dípteros, myriapodos e isópteros siendo estos los que más fácilmente se adaptan a las condiciones áridas de un agroecosistema (Pashanasi, 2001; Ruiz-Cobo *et al.*, 2010).

Dentro de los macroinvertebrados del suelo, existe otro grupo importante para la fertilidad del suelo que son los ingenieros del ecosistema (Jones *et al.*, 1994). La acepción ingenieros del ecosistema, es un término ecológico que se usa para definir a los organismos que de forma directa o indirecta regulan la disponibilidad de recursos para otras especies, generan cambios en el estado de la materia biótica y abiótica y modifican o crean nuevos hábitats (Jones *et al.*, 1994).

Los macroinvertebrados del suelo que se consideran dentro de este grupo son: himenópteros, isópteros y oligoquetos (Brussard, 1998). Con respecto a los oligoquetos (lombrices), en México se tienen los trabajos de especies exóticas como: *Polypheretima*

*elongata* originaria de Asia y *Pontoscolex corethrurus* originaria de Sudamérica (Fragoso, 2001; Fragoso y Rojas, 2014), siendo esta última la especie con mayor número de registros en México (Pashanasi, 2001; Huerta *et al.*, 2005; Huerta *et al.*, 2008; Feijoo *et al.*, 2011; Fragoso y Rojas, 2014). *Pontoscolex corethrurus* es una especie cosmopolita que suele adaptarse a suelos compactados con algún grado de perturbación (Marín y Feijoo, 2007) mientras que *Polypheretima elongata* prefiere lugares con un menor grado de perturbación (Feijoo *et al.*, 2005; Marín y Feijoo, 2007).

La densidad y biomasa de macroinvertebrados presente en un agro ecosistema varía en función del tipo de cultivo y condiciones de manejo, ie: huertos familiares y monocultivos de México (mango, plátano y piña) en donde se han encontrado densidades totales de hasta 100 ind.m<sup>2</sup> y biomاسas totales de macroinvertebrados que van de los 61 g.m<sup>2</sup> hasta los 100 g.m<sup>2</sup> teniendo el mayor aporte de biomasa de las lombrices (Huerta *et al.*, 2008). A diferencia de cultivos de soja, algodón y cacao en Colombia en donde el mayor aporte de biomasa proviene de coleópteros y algunos himenópteros (Marín y Feijoo, 2007).

## **b) Macroinvertebrados del suelo y propiedades físico-químicas del suelo**

Las lombrices son un grupo importante de macroinvertebrados del suelo que participan en la dinámica de descomposición de la MO, cuando las lombrices se alimentan de MO excretan elementos importantes para el crecimiento de las plantas (Lavelle, 1996; Peck *et al.*, 1998; Wolters *et al.*, 2000; Huerta, 2010; Huerta y Van der Wal, 2012; Palacios-Vargas y García-Gómez, 2014). Algunos estudios mencionan a las lombrices como



*Glossoscolocidae* sp. y *Dichogaster saliens* junto con leguminosas (*Mucuna pruriens* variedad *utilis*) promueven la disponibilidad de P y N en el suelo (Huerta *et al.*, 2007).

En huertos familiares de Tabasco, se ha observado la densidad de oligoquetos, himenópteros y coleópteros relacionada con el pH, P, arcillas, limos y arenas (Huerta y Van der Wal, 2012). En el estado de Campeche se ha observado que los himenópteros están relacionadas con contenidos altos de MO en el suelo, debido a que sus nidos presentan una estructura porosa y se encuentran expuestos a cambios climáticos, bajo estas condiciones se favorece la mineralización de la MO (Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011).

### **c) Macroinvertebrados del suelo y su relación con la vegetación: lombrices**

El efecto de las lombrices sobre las plantas de sábila, depende del tipo de suelo, planta y especie de lombriz (Laossi *et al.*, 2010). En la actualidad no existen investigaciones que reporten los efectos de las lombrices sobre plantas de sábila ya que la mayoría de los estudios con lombrices se enfocan principalmente a cultivos de cereales y pastos (Scheu, 2003).

En México, existen estudios de lombrices en cultivos de *Zea mays* en Tabasco, que relacionan a *Pontoscolex corethrurus* con bajas biomásas de raíces y a *Lavello-drillus bonampakensis* y *Balantheodrilus persei* que fomentan la biomasa foliar y radicular en plantas de maíz debido a que promueven la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Huerta *et al.*, 2010).

## **7. Distribución espacial como herramienta en los estudios de fertilidad del suelo**

Para tener una descripción completa de un sitio es importante incorporar técnicas geoestadísticas y/o análisis espacial (Galicia y Zarco, 2002; Gallardo, 2006). Con el empleo de estas técnicas se conoce la distribución horizontal o espacial de las variables que se incluyen en la fertilidad del suelo, ie: realizar investigaciones a pequeña escala que muestren una visión más amplia de la heterogeneidad espacial del suelo en una hectárea de terreno (Paz-González *et al.*, 2001; Arrouays *et al.*, 2008). El análisis espacial también permite formular estrategias de manejo de cultivos a nivel local y regional, para identificar áreas en las cuales el rendimiento de un cultivo es bajo y con ello, aplicar dosis exactas de fertilizantes que promuevan el desarrollo de las plantas, sin contaminar el suelo (Berril *et al.*, 1996; Hernández *et al.*, 2011).

La geo estadística es una forma de describir la continuidad espacial de cualquier fenómeno natural y usa la interpolación o kriging. Esta técnica utiliza el grado de auto correlación espacial entre sitios de muestreo, obteniendo estimaciones en sitios no medidos (Hernández *et al.*, 2011). El resultado final del kriging es un mapa con los valores interpolados de la variable (Gallardo, 2006). La representación gráfica de varianza es el semivariograma o variograma (Robertson, 1987) que describe cómo la varianza de las observaciones cambia con la distancia (Gallardo, 2006) y se calcula con la varianza entre pares de puntos separados por intervalos de distancia (Hernández *et al.*, 2011).

### **a) Distribución espacial de macroinvertebrados del suelo**

En macroinvertebrados del suelo, es importante identificar la escala en donde se distribuye un grupo en particular, para conocer las correlaciones existentes con las propiedades químicas del suelo; identificar a pequeña escala los efectos que tiene un disturbio e implementar prácticas de manejo adecuadas para cada sitio (Cambardella y Karlen, 1999; Rueda *et al.*, 2011).

Uno de los organismos que influye de manera importante en la dinámica y estructura del suelo son los oligoquetos que suelen distribuirse en forma de agregados y/o parches (Fragoso y Lavelle, 1992; Rossi y Lavelle, 1998 y Jiménez *et al.*, 2001). Su distribución se encuentra relacionada con el contenido de carbono, MO y diferentes texturas del suelo (Lee, 1985; Phillipson *et al.*, 1976; Rossi *et al.*, 2006), ie., las familias Megascolocidae y Ocnerodrilidae que en ecosistemas tropicales tienen una distribución en parches y dada por altos contenidos de limo y arcilla (Rossi *et al.*, 2006).

Con respecto a los fragmentadores de la hojarasca, los órdenes coleóptera y aranae tienen una distribución espacial relacionada con una abundante vegetación (Heemsbergen *et al.*, 2001). En otros grupos como los isópteros, la distribución espacial está dada por la topografía y la vegetación (Crist, 1998). Con el orden diplura y opilionidae su distribución espacial se encuentra relacionada con un alto porcentaje de humedad en selvas tropicales y subtropicales. (Francke-Ballvé, 2012; Palacios-Vargas y García-Gómez, 2014).

### **III. OBJETIVOS**

#### **1. Objetivo general**

Evaluar dos plantaciones de sábila en la porción Centro-Norte del estado de Campeche (Shara y Blanca Flor) a través de indicadores económicos, características físicas del cultivo y ecológicos del suelo.

#### **2. Objetivos específicos**

- a) Describir y evaluar el proceso de producción del cultivo de sábila mediante los indicadores económicos B/C, VAN y TIR.
- b) Describir las plantas de sábila a través del número de hijuelos, número de hojas, largo (cm) y ancho (cm) de las hojas y contenidos de P y N en las hojas.
- c) Determinar las características físicas y climáticas donde se cultiva sábila en Campeche, utilizando como parámetros; a) pedregosidad, b) profundidad media del suelo, c) geoforma del terreno, d) pendiente, e) temperatura, f) precipitación, g) evapotranspiración.
- d) Describir la distribución espacial del P total, pH, MO, N total en el suelo, la abundancia y diversidad de macroinvertebrados del suelo y el tamaño de las plantas de sábila.
- e) Analizar las correlaciones lineales y causales entre las plantas de sábila y los contenidos de P total, pH, MO, N total en el suelo y abundancia y diversidad de macroinvertebrados del suelo.

#### **IV. HIPÓTESIS**

1. El cultivo de sábila es una actividad económica rentable en el estado de Campeche.
2. El tamaño de las plantas ubicadas en las plantaciones de sábila de Shara y Blanca Flor está correlacionado espacialmente con las concentraciones de P total, pH, MO, N total, y abundancia y diversidad de macroinvertebrados del suelo.

#### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **1. Ubicación y descripción del sitio de estudio**

El trabajo se llevó a cabo en dos plantaciones de sábila ubicadas en el estado de Campeche: Shara y Blanca Flor (Figura 2). Se trabajó en una hectárea por plantación de sábila, la cual fue asignada por los propietarios y con ello se evitó interferir en las labores que se realizan dentro del cultivo; la recopilación de datos en las plantaciones se realizó entre los meses de abril de 2013 y junio de 2014. Los datos de los productores fueron proporcionados por el gobierno del estado de Campeche.

La colecta de macroinvertebrados del suelo en la plantación de sábila ubicada en Shara, no se realizó en función de la época de lluvias, debido a que la plantación de sábila cuenta con riego por goteo durante todo el año. En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, la colecta se hizo al final de la época de lluvias.

##### **a) Plantación de sábila ubicada en Shara.**

Se encuentra a un costado de la carretera Campeche Chiná-Hool, perteneciente a la localidad de Chiná en el municipio Campeche a 25 km de la capital del estado, en las coordenadas (19°43'33.81'' N, 90°22'18.36''O), a una elevación de 12 m sobre el nivel del mar. El sistema de producción de la sábila es mecanizado y las plantas están en etapa adulta (5 años), se ubica en una planicie no inundable, con una pendiente del 1% y erosión laminar <25%.

Clasificación climática. El tipo de clima presente en la zona de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García (1998) es Cálido subhúmedo (Awo).

Suelos. El grupo de suelo presente en el sitio estudio de acuerdo al diccionario maya es k'áankab (Barrera, 1980) que significa tierra roja o amarillenta, bueno para uso agrícola (Bautista y Palacio, 2005) que en la clasificación internacional corresponde a Luvisol (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Los Luvisoles en la plantación de sábila ubicada en Shara son suelos que tienen una profundidad de entre 50 y 100 cm y una pedregosidad de 0 a 5%. Tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial, arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico y alta saturación de bases a ciertas profundidades (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Hidrología. Por la naturaleza cárstica de la zona no existen corrientes de agua superficiales. La mayor fuente de agua en la región es subterránea, donde el nivel freático se encuentra a una profundidad de entre 15 y 20 m (CONAGUA, 2006; H. Balam-Kú entrevista personal, 10 de octubre de 2015).

Vegetación y usos de suelo. La vegetación cercana al cultivo es a) selva mediana caducifolia y subcaducifolia y b) selva baja perennifolia (INEGI, 2007). Tiene diferentes usos de suelo entre ellos: plantaciones de limón, plátano, mango y principalmente sábila (INEGI, 2007).

## **b) Plantación de sábila ubicada en Blanca Flor**

La plantación de sábila en Blanca Flor, se encuentra ubicada a un costado de la carretera Hecelchakán -Poc Boc, perteneciente a la localidad de Hecelchakán al Norte del estado de Campeche en las coordenadas (20° 12'37.57'' N, 90° 06'38.91''O) a una elevación de 10 m sobre el nivel del mar. El sistema de producción de la sábila es manual y las plantas son adultas (más de 7 años). La plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, se encuentra en una planicie no inundable, con una pendiente de 2% y una erosión <25%.

Clasificación climática. El tipo de clima presente en la zona de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (1998) es cálido subhúmedo (Awo).

Suelos. El principal grupo de suelo presente en Blanca Flor de acuerdo al diccionario maya es tsek'el (Barrera, 1980): suelo pedregoso, poco profundo y poco productivo para fines agrícolas (Bautista y Palacio, 2005) y en la clasificación internacional es Leptosol Rendzico (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Los Leptosoles Rendzicos en la plantación de sábila ubicada en Shara son suelos poco profundos (10-25cm), someros sobre roca continua y suelos extremadamente pedregosos (70-90%) y/o gravillosos (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Este tipo de suelo presenta un horizonte A mólico sobre una capa calcárea dado por el contenido de MO, en términos generales son suelos fértiles pero con deficiencias en P y manganeso debido a su alcalinidad (Driessen y Dudal, 1991).





## **2. Análisis económico**

### **a) Proceso y costos de producción en las plantaciones de sábila**

Para describir el proceso productivo del cultivo de sábila, se elaboró una encuesta por productor, modificada a lo propuesto por Mendicuti, 2003 (Anexo 1) en las cuales se consideraron las siguientes actividades: 1.- preparación del terreno (incluye instalación de riego y compra de abono), 2.- siembra, 3.-cuidado de la sábila, 4.- cosecha (Medel y Ortiz, 2006; Bach y Lopes, 2007). Cada encuesta se aplicó, en el área de trabajo y en horas no laborales para no interferir en el trabajo.

Todos los datos fueron basados en la producción de una hectárea ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) para un ciclo productivo de 7 años. Para el presente estudio, se entenderá al año de inversión en términos productivos como primer año y el tercer año como el de mayor producción (L. Leyva, entrevista personal, 15 de enero de 2015). Los datos obtenidos se colocaron en una base de datos en el programa Excel<sup>®</sup> 2010.

Cuando no fue posible obtener los precios por parte del productor los datos fueron tomados de fuentes secundarias como tiendas, almacenes y habitantes que viven cerca a las plantaciones de sábila (Salkind, 1999; Mendicuti, 2003). El precio por la renta del terreno, fue tomado del valor de renta de una hectárea de terreno con sistema de riego a la comunidad más próxima a las plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor. El costo por concepto de pago a jornalero se determinó con base en el pago efectuado por el productor en el 2013 para cada cultivo y fue calculado con base en los días al año que son empleados por actividad.

Para la depreciación de la maquinaria y herramientas, se calculó la amortización de los instrumentos mediante el método lineal, el cual resulta de dividir el precio de instrumento entre el tiempo utilizado (Easter, 1985; Ortega, 1993). Debido a que en la plantación de sábila ubicada en Shara, la mayoría de la maquinaria se comparte con los otros cultivos del rancho, la amortización anual por producto fue dividida entre 365 días y multiplicada por la cantidad de días que en un año se utilizan en el cultivo de sábila, esto con el fin de obtener los costos ocasionados solamente en el cultivo de sábila, como se observa en la siguiente formula (Ortega, 1993; Masera *et al.*, 1999; Mendicuti, 2003):

- Amortización anual= Valor real/ tiempo de vida
- Amortización diaria= Amortización anual/ 365 días
- Amortización de herramientas y equipo (unidad) = Amortización diaria (unidad) x cantidad de veces que se utiliza en un año en el cultivo de sábila.

Para analizar los costos de producción se utilizaron los indicadores económicos B/C, VAN y TIR. El indicador B/C expresa los beneficios que se obtienen por unidad monetaria; si el valor es menor que la unidad, indicará que los costos son mayores que los ingresos (Ortega, 1993; Masera *et al.*, 1999; Mendicuti, 2003). El indicador B/C resulta de dividir el valor del ingreso entre el valor de los costos (Ortega, 1993; Mendicuti, 2003).

$$B/C = \frac{\sum B_t}{\sum C_t}$$

Dónde:

B/C= Beneficio- costo

Bt= Beneficio total

Ct= Costo total

Para obtener la relación B/C de la producción de sábila se obtuvo el promedio B/C para todo el ciclo productivo, el cual resulta de:

- $\sum B/C$  (desde primer año hasta el séptimo año)/ periodo de tiempo (7 años).

Para determinar el beneficio total, se multiplicaron las toneladas de sábila que se cortaron en una hectárea, por el número de cortes en ese año y por el precio de compra, como se muestra en la siguiente formula:

- Ingreso total= ton ha<sup>-1</sup>\*número de cortes\*precio de compra

Para determinar el costo total se realizó la sumatoria del costo total variable más el costo total fijo:

- Costo total= Costo total variable+ Costo total fijo

El VAN se calculó por la diferencia entre el valor actualizado de la corriente de costos, a una tasa de actualización determinada, que en nuestro caso la tasa de actualización se calculó de un 10% para el ciclo productivo de la sábila. Para analizar el resultado del VAN se interpretó un valor negativo como una pérdida, valor positivo significa que hubo ganancias y si el valor fue igual a 0 significó que no hubo pérdidas ni ganancias (Ortega, 1993). El VAN se calculó por medio de la siguiente formula:

$$\text{VAN} = (-\text{FNE}) \frac{(\text{FNE1}) + (\text{FNE2}) + \dots}{(1+r)^1 + (1+r)^2 + \dots}$$

En dónde;

VAN= Valor Actual Neto

FNE= Flujo Neto efectivo\*

r = Tasa de actualización (10% para la sábila)

n= Número de años de duración del proyecto

\*Para el presente trabajo se entenderá el FNE como la diferencia entre los beneficios y costos para cada año de producción.

El último indicador económico analizado fue la TIR, que consiste en encontrar un tipo de interés, para igualar el valor actual neto previsto expresando la rentabilidad del cultivo en términos porcentuales (Ortega, 1993).

$$\text{TIR} = \frac{\sum B_t}{(1+r)^n} - \frac{\sum C_t}{(1+r)^n}$$

Dónde;

TIR= Tasa Interna de Retorno

Bt= Beneficio total

Ct= Costo total

r=Tasa de actualización (10%)

### **3. Descripción de las plantas de sábila en las plantaciones: tamaño de las plantas y análisis foliar**

#### **a) Tamaño de las plantas**

Para conocer el tamaño de las plantas se midieron aleatoriamente 400 plantas por  $\text{ha}^{-1}$ . El tamaño de la muestra ( $400 \text{ plantas ha}^{-1}$ ) se determinó con el programa en línea Statistical Calculators for Acceptance Sampling and Quality Control (SQC online). La información obtenida se registró en cédulas de campo (Anexo 2). La hoja considerada para la información fue la tercera de la parte media, es decir la de mayor valor comercial (L. Leyva, entrevista personal, 14 de abril de 2013). Las variables evaluadas fueron: número de hijuelos, número de hojas por planta madre, largo y ancho (cm) de las hojas de sábila medidas con un flexómetro de 6 m.

#### **b) Análisis de N y P en las hojas de sábila**

Para determinar los contenidos de N y P en las hojas de sábila se analizaron un total de 35 para la plantación de sábila ubicada en Shara y 29 en Blanca Flor, debido a que durante el almacenamiento las hojas sufrieron algunos daños. Las hojas que se seleccionaron fueron de la parte intermedia de la planta y el corte se hizo cercano al tallo. Para el transporte de las plantas se adaptó la técnica propuesta por Pulgarin (2010) en donde las hojas se colocaron en bolsas de plástico negras, se etiquetaron y congelaron en una nevera para posteriormente transportarlas en hieleras para su

análisis en el laboratorio de química de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal.

Para determinar el N total en las hojas se utilizó el método semi-micro Kjeldahl (NMX-AA-026-SCFI, 2010) y para P total el método espectrofotométrico (NMX-AA-029/1-SCFI, 2008). En el laboratorio, los análisis foliares requirieron de muestra seca y molida, se cortaron pequeñas secciones (10-12 cm de largo) de la parte media de las hojas de sábila con un cuchillo de acero inoxidable. Las secciones cortadas se colocaron en cápsulas de porcelana para secarse en estufa de convección a 40°C durante 24 hrs. Posteriormente, en un mortero se molieron las muestras hasta obtener un polvo homogéneo y se colocaron en un recipiente limpio y etiquetado (IT-QU13 2014).

#### **4. Evaluación de tierras**

En las plantaciones de sábila, se utilizó el modelo de evaluación de tierras (Klingebeil y Montgomery, 1961 citado por Mendoza *et al.*, 2008) que clasifica cualquier porción de territorio en ocho clases de capacidad de uso y que requieren de prácticas de manejo y conservación diferentes, dependiendo del factor o factores limitantes (Mendoza *et al.*, 2008; Mendoza *et al.* 2009).

Los criterios que se consideraron fueron: de fertilidad del suelo (profundidad, erosión, P total, MO, pH y N total) y aspectos climáticos, determinantes para el crecimiento de las plantas de sábila. Para llevar un registro de los aspectos topográficos del terreno y de

fertilidad del suelo, se utilizaron fichas de campo (Anexo 2), adaptadas a lo propuesto por Mendoza *et al.*, (2013).

La definición de prácticas de manejo para las clases de tierra se realizó con base en lo propuesto por COLPOS (1977, Anexo 3) en donde se describen ocho clases de tierras numeradas del 1 al 8 (COLPOS, 1977).

Las clases 1, 2, 3 y 4 presentan grados progresivos de dificultades para el desarrollo de cultivos, las clases 5, 6 y 7, muestran valores iguales en relación al desarrollo de pastos o bosques, la clase 8 son terrenos inadecuados a la ganadería, agricultura y actividad forestal (COLPOS, 1977), se muestran a continuación:

- Clase 1.-Terrenos que presentan muy pocas limitaciones para su uso agrícola y cuando existen limitaciones son fáciles de corregir (COLPOS, 1977; Mendoza *et al.*, 2008).
- Clase 2.- Terrenos que no presentan limitaciones acentuadas para el desarrollo de los cultivos, únicamente es necesario elegir las plantas para sembrar o cultivar que requieran de prácticas sencillas de manejo (COLPOS, 1977; Mendoza *et al.*, 2008).
- Clase 3.-Suelos que presentan severas limitaciones que restringen el desarrollo de varios cultivos o requieren prácticas especiales de conservación (COLPOS, 1977; Mendoza *et al.*, 2008).



- Clase 4.-Terrenos que presentan limitaciones muy severas para el desarrollo de los cultivos agrícolas (COLPOS, 1977; Mendoza *et al.*, 2008).
- Clase 5.-Terrenos que no son factibles para el desarrollo de cultivos agrícolas, sin embargo, los pastos y especies forestales existentes pueden mejorarse mediante prácticas de manejo adecuadas (COLPOS, 1977; Mendoza *et al.*, 2008).
- Clase 6.- Suelos que presentan severas limitaciones y no se consideran aptos para cultivos, su uso queda limitado al pastoreo, aprovechamiento forestal y manejo de vida silvestre (COLPOS, 1977; Mendoza *et al.*, 2008).
- Clase 7.- Terrenos que presentan limitaciones severas para pastos y especies forestales, la explotación adecuada de estos recursos solo es posible bajo estrictas prácticas de manejo (COLPOS, 1977; Mendoza *et al.*, 2008).
- Clase 8.- Comprende aquellas áreas que presentan limitaciones severas para el desarrollo de pastos o especies forestales por lo que la utilización debe orientarse a fines recreativos, vida silvestre, abastecimiento de agua o con fines estéticos. (COLPOS, 1977; Mendoza *et al.*, 2008).

Para la descripción de los aspectos climáticos del cultivo; temperatura, precipitación y evapotranspiración presentes en las áreas de estudio, se utilizaron datos de las estaciones climatológicas de Pocyaxum, Campeche y Hecelchakán (CONAGUA, 2014) para un periodo de tiempo de 20 años. Para determinar la evapotranspiración se utilizó el programa CROPWAT versión 8.0 para Windows. La clasificación de los meses más húmedos se hizo con base en el método Bagnouls y Gausson (1957, Citado por

Mendoza *et al.*, 2008) que clasifica a un mes como húmedo si la precipitación es mayor al doble de la temperatura mensual (Mendoza *et al.*, 2008).

## 5. Fertilidad del suelo

Para determinar la fertilidad del suelo y conocer la correlación de las plantas de sábila con los macroinvertebrados del suelo, se trabajó bajo un diseño geoespacial, que consiste en observar la distribución espacial en el suelo de las diferentes variables analizadas (Webster y Oliver, 2001). Se estableció una malla de 100 m x 100 m por plantación, adaptado a lo propuesto por Huerta (2005), dentro se establecieron puntos de muestreo cada 20 m (monolitos georeferenciados), para un total de 36 muestras por hectárea (Figura 3).

La información obtenida en cada punto de cruce de la malla de muestreo fue:

- Tamaño de las plantas: se utilizó la información de cada planta que estuviera en el punto de cruce de la malla correspondiente: a) Número de hijuelos por planta madre, b) Número de hojas por plantas madre, c) Largo (cm) y d) Ancho (cm) de las hojas.
- Propiedades químicas del suelo: P total ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), pH, MO (%) y N total (%).
- Diversidad y abundancia de macroinvertebrados del suelo: morfoespecies de macroinvertebrados del suelo, densidad ( $\text{ind.m}^2$ ) y biomasa ( $\text{g.m}^2$ ) de macroinvertebrados del suelo.

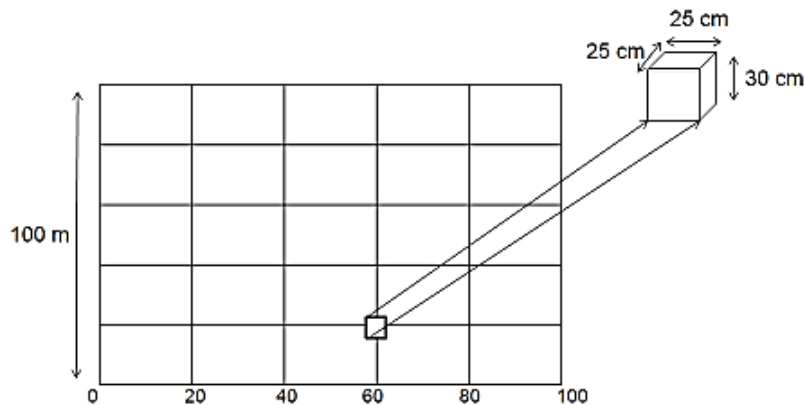


Figura 3. Malla de muestreo de 100 m ancho x 100 m de largo para cada cultivo de sábila.

Los monolitos de colecta se realizaron de acuerdo al método internacional Tropical Soil Biology Fertility TSBF; (Anderson e Ingram, 1993) con un tamaño de 25 cm x 25 cm x 30 cm (Figura 4). En cada uno de los monolitos se extrajeron macroinvertebrados del suelo y 500 g de suelo (Bautista *et al.*, 2011).

Las muestras de suelo fueron etiquetadas y colocadas en bolsas de plástico (Figura 4) para su transportación. Posteriormente se secaron y tamizaron antes de ser enviadas al laboratorio de suelos del Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal para su análisis. Las propiedades fisicoquímicas que se determinaron fueron: P total (método Olsen), MO (método de Walkley y Black), pH (relación 1:2 con H<sub>2</sub>O), N total (método semi-microkjeldhal). La interpretación de resultados se hizo con base en la Norma Oficial Mexicana 021-RECNAT-2000 para muestreo y análisis de suelos (Anexo 5).

## **6.- Colecta de macroinvertebrados del suelo**

Las propiedades biológicas del suelo fueron caracterizadas por la abundancia y diversidad de macroinvertebrados. En la plantación de sábila ubicada en Shara los meses para colectar macroinvertebrados del suelo no estuvieron en función de la época de lluvias (estacionalidad), debido a que tiene un sistema de riego por goteo. En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor la colecta se hizo a finales de la época de lluvias (época idónea para la colecta de macroinvertebrados).

Con la malla de muestreo establecida (Figura 3), se extrajeron los macroinvertebrados de acuerdo al método internacional TSBF (Anderson e Ingram, 1993). Los macroinvertebrados del suelo colectados se etiquetaron y colocaron en recipientes de plástico con alcohol al 70% para fragmentadores de la hojarasca y al 96% para las lombrices. Posteriormente fueron transportados para su conteo, pesaje y clasificación en el laboratorio de suelos de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Campeche. En el laboratorio, los macroinvertebrados del suelo se cuantificaron con ayuda del microscopio estereoscópico, se pesaron con una balanza analítica e identificaron. La identificación de los fragmentadores de hojarasca se hizo hasta morfoespecie con ayuda de las claves de Borrer y White (1970) y para lombrices (Anexo 6) las claves de James (1994).



Figura 4. Metodología utilizada para la evaluación del cultivo de sábila en Campeche, México.

#### a) Diversidad y abundancia de macroinvertebrados del suelo

Para los macroinvertebrados del suelo se calculó la diversidad con el estimador Chao 2 con el programa Estimates<sup>®</sup> versión 7, que está basado en la incidencia (presencia-ausencia) de las especies. (Moreno, 2001).

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

Dónde;

S<sub>est</sub>= Especies estimadas

S<sub>obs</sub>= Especies observadas

L= Número de especies que se presentan en una muestra (singletons)

M=Número de especies que se presentan en dos muestras (doubletons)

## 7. Análisis de datos

Todos los datos fueron colocados en una base de datos en el programa Excel® versión 2010, como los datos no siguieron una distribución normal se normalizaron con la fórmula  $x=\log_{10}(x)+1$ . Para los macroinvertebrados del suelo, la abundancia se extrapoló a individuos por metro cuadrado ( $\text{ind.m}^2$ ) y la biomasa en gramos por metro cuadrado ( $\text{g.m}^2$ ).

La estructura espacial de las variables se analizó mediante la técnica geoestadística de variografía (Webster y Oliver, 2001) con ayuda del programa GS+ Gamma Design versión 9.1, utilizando los datos los correspondientes a cada punto de cruce de la malla de muestreo ( $n=36$ ). En la variografía se realizaron variogramas o semivariogramas que son una representación gráfica del comportamiento de la semivarianza de las variables.

(García, 2006). Constan de los siguientes parámetros:

- Sill ( $C_0+C$ ).- La máxima varianza encontrada entre pares de puntos (Hernández *et al.*, 2011).
- Nugget ( $C_0$ ).- Refleja la variación espacial a distancias cortas y la varianza no explicada por el modelo (Gallardo, 2006).
- Rango ( $A_0$ ).- Es la distancia a la que la semivarianza deja de aumentar o la distancia a partir de la cual los datos son espacialmente independientes unos de otros (Parama, 2006).
- $R^2(C/C_0+C)$ .- Proporción de la varianza explicada por el espacio la cual puede expresarse en porcentaje (Gallardo, 2006).

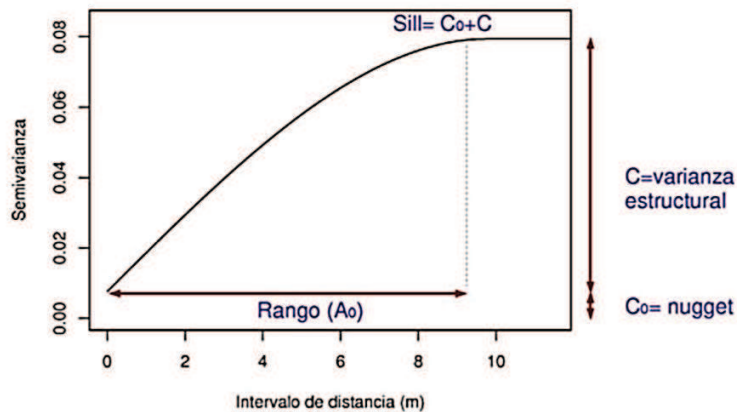


Figura 5. Parámetros utilizados en el ajuste de variogramas a funciones matemáticas (de acuerdo a García, 2006).

Los parámetros de los variogramas son obtenidos por medio del ajuste de diferentes modelos estadísticos (García, 2006; Hernández *et al.*, 2011), entre los que se encuentran: esférico, exponencial, gaussiano y lineal ( Figura 6).

- Modelo esférico: Muestra un crecimiento lineal hasta cierta distancia en donde se estabiliza (Hernández *et al.*, 2011).
- Modelo exponencial: este modelo tiende a alcanzar el sill asintóticamente (García, 2006).
- Modelo gaussiano: proporciona un buen ajuste cuando la varianza nugget es pequeña comparada con la variación estructural (Hernández *et al.*, 2011).
- Modelo lineal: es el más apropiado cuando no existe una varianza total en el área de estudio (Hernández *et al.*, 2011).

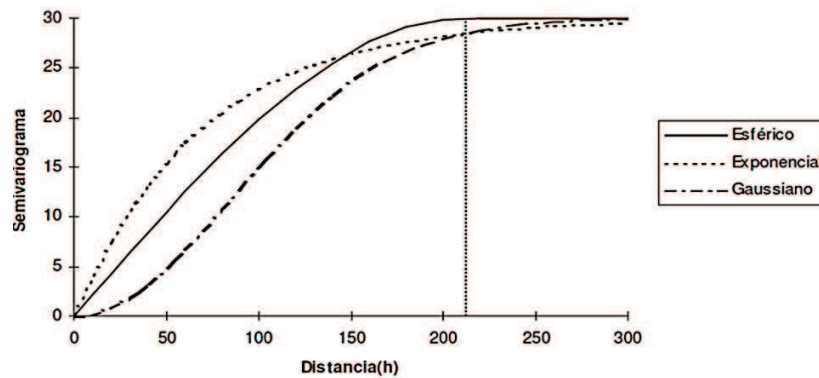


Figura 6. Modelos de ajuste más comunes en la variografía (García, 2006, p.26).

Cuando ninguno de los modelos ajustó a una  $R^2$  de al menos 0.20 se aceptó el modelo puro (nugget), el cual indicó que no existió una independencia espacial en la escala estudiada (Cambardella *et al.*, 1994; Cambardella y Karlen, 1999; De la Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012).

Para complementar los variogramas se realizaron mapas de contorno con el programa SURFER® versión 7.0 mediante el método de Kriging que es un procedimiento matemático utilizado para estimar el valor de un atributo, a partir de valores obtenidos en puntos de medición y cuya representación final es una superficie continua de valores (Burrough y McDonnell, 1998; Cambardella y Karlen, 1999). Para los mapas de contorno de los contenidos de N y P en las hojas de sábila de la plantación ubicada en Blanca Flor no se realizaron variogramas, debido a que no se contó con el mínimo estadístico ( $n \geq 35$ ) para utilizar estas técnicas (Webster y Oliver, 2001).

La geoestadística es una técnica que nos permite cuantificar la escala y grado de variación espacial de los recursos para las plantas así como su relación con la



distribución con los organismos (Webster y Oliver, 2001). Debido a lo anterior, es necesario que al analizar la distribución espacial se determine las posibles correlaciones existentes entre la fertilidad del suelo y las plantas de sábila (Webster y Oliver, 2001). Para ello, se realizaron análisis de correlación canónica (CCA), de correlación lineal (Pearson) y causales (Path análisis) que complementaron la información obtenida. Los datos empleados en estos análisis fueron los correspondientes a cada punto de cruce de la malla de muestreo (n=36) en cada plantación de sábila.

El CCA es una de las técnicas más generales de análisis multivariante (Aweto, 1981; Webster y Oliver, 2001, Sherry y Henson, 2005) se recomienda para cuantificar la validez de la relación entre dos conjuntos de variables, que en este caso fueron las variables del suelo y las plantas de sábila (Badii *et al.*, 2007). Para conocer el valor de la varianza en el CCA se utilizó el test de valores propios (Eigenvalues) y para determinar la significancia de los análisis se realizó la prueba de Monte Carlo (Hammer *et al.*, 2001).

El CCA se realizó con el programa Past<sup>®</sup> versión 2.17 (Legendre y Legendre, 1998; Hammer *et al.*, 2001) empleando las siguientes variables:

- Tamaño de las plantas: a) Número de hijuelos por planta madre, b) Número de hojas por plantas madre, c) largo (cm) y d) ancho (cm) de las hojas.
- Propiedades químicas del suelo: P total (mg kg<sup>-1</sup>), pH, MO (%) y N total (%).

- Diversidad y abundancia de macroinvertebrados del suelo: Morfoespecies de macroinvertebrados del suelo, densidad (ind.m<sup>2</sup>) y biomasa (g.m<sup>2</sup>) de macroinvertebrados.

Para determinar las posibles correlaciones lineales entre las variables de cada sitio de estudio (Hammer *et al.*, 2001), se realizó un análisis de correlación lineal (Pearson) con el programa IBM® SPSS® Statistics versión 2.0 (IS, 2004).

Se realizó un análisis causal (Path análisis) de relación entre variables, con el fin de determinar los efectos directos de las propiedades químicas y los macroinvertebrados del suelo, sobre las plantas de sábila en cada una de las plantaciones. (Kang *et al.*, 2009).

## **V. RESULTADOS**

### **1. Descripción de las labores agronómicas en las plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor en Campeche, México**

La plantación de sábila ubicada en Shara (Figura 7), es de tipo mecanizada y tiene actividades de preparación del terreno que incluye actividades de instalación de sistema de riego por goteo, siembra, fertilización, control de malezas y cosecha. La plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, es de tipo manual y tiene actividades de preparación del terreno, siembra, cuidado de la sábila eliminación de inflorescencia, riego y cosecha.

### **a) Preparación del terreno**

La preparación del terreno en la plantación de sábila ubicada en Shara se realiza cada 5 o 7 años debido a que es el tiempo promedio de vida de una planta madre de *Aloe vera* (Hernández y Villanueva, 1993). La preparación del terreno inicia con el corte y la quema de malezas y residuos. Posteriormente con tractor, se realizan dos pases de rastra, dejando entre 50 cm a 1 m de distancia entre planta y planta, surcos de 1 m de ancho y hasta 10,000 plantas por hectárea.

En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor (Figura 7), se prepara el terreno quitando manualmente las malezas y quemando los residuos. La siembra es manual debido a que el suelo es pedregoso y poco profundo (<15 cm). Para hacer los surcos se quitan piedras y se dejan andadores libres cada 20 m. Posteriormente se coloca el sistema de riego por goteo.

### **b) Siembra**

En la plantación de sábila ubicada en Shara, la siembra se realiza cada 5 o 7 años con distancias de plantación de 1 m entre cada planta y la densidad es de hasta 10,000 plantas por hectárea. La variedad que se cultiva es *Aloe vera barbadensis* debido a su alto valor comercial (L. Leyva, entrevista personal, 15 de enero de 2015). La siembra se realiza con hijuelos de otras plantas madre de sábila que se encuentran en el cultivo, sin embargo, lo más recomendable es que los hijuelos provengan de otros cultivos para tener variabilidad genética en las plantaciones (Hernández, 1995). Los hijuelos deben cumplir con ciertas características como:

a) Tener menos de 50 cm de largo

b) Tener entre 5 y 8 cm de ancho en su base (Hernández y Villanueva 1993; Hernández, 1995; Sánchez, 2007).

Los hijuelos extraídos se dejan a la intemperie durante dos días sin soluciones desinfectantes ni fungicidas y posteriormente se hace la siembra. Una vez sembradas las plantas pasan por un periodo de aclimatación, siendo éste, el más crítico durante el desarrollo vegetativo (L. Leyva, entrevista personal, 15 de enero de 2015).

En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, la única siembra se realizó en los años 80' con hijuelos de sábila provenientes de cultivos del estado de Yucatán, México. En la actualidad, la cosecha de la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, son los hijuelos de las mismas plantas madres que se sembraron en esa época. La renovación de las plantas no se hizo durante los últimos años debido al desinterés de los dueños.

### **c) Control de malezas**

Las malezas son un problema constante en los cultivos de sábila a causa de que compiten con las plantas por humedad y luz solar (Lugo *et al.*, 2010). En la plantación de sábila ubicada en Shara, abunda principalmente el pasto Johnson (*Sorghum halepense*) generando dos o tres deshierbes al año. Lo más recomendable es quitar las malezas continuamente, que ocasionaría el aumento de los costos de producción debido al pago de jornaleros y a la utilización de maquinaria (Moreno, 2007). Con respecto a la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, los deshierbes que realizan son manuales y continuos por parte de los jornaleros que no representan un gasto extra para el productor.

#### **d) Fertilización**

En la plantación de sábila ubicada en Shara se aplica abono orgánico de humus de lombriz, que se fabrica en el rancho. En Blanca Flor, no se aplican abonos orgánicos ni fertilizantes químicos.

El humus se aplica directamente en el sistema de riego por goteo y la aplicación consta de dos tambos de 200 litros por ha<sup>-1</sup> cada mes y medio durante todo el año. El humus es de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), se alimenta con cáscara de plátano y estiércol de borrego. El uso de abonos orgánicos es bien aceptado en la industria cosmética y farmacéutica en donde se requiere de productos derivados de *Aloe vera*; además, las hojas cortadas tienen un promedio de vida más alto que las plantas provenientes de cultivos en donde no aplican abonos orgánicos (Ávila y Díaz, 2002).

#### **e) Riego**

En la plantación de sábila ubicada en Shara, el sistema de riego por goteo permite que las plantas de sábila tengan agua constante durante todo el año. En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, el tipo de riego se hace con cañones y agua de pozo en la época seca del año y cuando hay demanda del producto. Durante la época seca del año las plantas se riegan todos los días por la mañana durante 3 o 4 hrs, cuando hay demanda del producto, la cantidad de riego aumenta a más de 4 hrs.

## **f) Cosecha**

En la plantación de sábila ubicada en Shara, el primer corte se realiza a los 12 meses, edad en que las plantas alcanzan un desarrollo vegetativo mínimo para poder comercializarse; el largo de las hojas es de 40 a 50 cm aproximadamente y de 6 a 8 cm de ancho en la base (Hernández y Villanueva, 1993). De acuerdo con el encargado de la plantación de sábila el corte de las hojas se realiza por la base y de preferencia manualmente, las hojas que se cortan son las de la parte central de la planta ya que son las de mayor tamaño y valor comercial (H. Balam-Kú entrevista personal, 01 de septiembre de 2013).

El rendimiento es de hasta un 10% del total ( $9 \text{ ton ha}^{-1}$ ) y se obtiene en el tercer año alcanzando una producción anual de  $90 \text{ ton ha}^{-1}$ . La cosecha se realiza tres veces al año; dependiendo de la demanda del producto se pueden hacer hasta 5 cortes anuales. Posterior al corte de las hojas, el producto se transporta inmediatamente en camión hasta la planta tratadora su valor aumenta cuando está fresco.

En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, el primer corte se realiza a los 12 meses, el rendimiento que se obtiene es de  $5 \text{ ton ha}^{-1}$ . En el tercer año se alcanza una producción anual de  $40 \text{ ton ha}^{-1}$ . La cosecha se realiza tres a cinco veces al año, dependiendo de la demanda, se pueden hacer hasta 5 cortes anuales.



Plantación de sábila ubicada en Shara.



Plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

Figura 7. Plantaciones de sábila ubicadas en el estado de Campeche, México.

## 2. Análisis económico de la producción de sábila ubicada en Shara

### a) Costos y beneficios económicos

Se presenta una caracterización a manera de descripción, de la información obtenida en campo, del desarrollo de cuatro importantes actividades (preparaciones del terreno, riego, siembra y cosecha) realizadas en la plantación de sábila, de tipo mecanizado, en Shara. En el Anexo 7, Anexo 8, Anexo 9, Anexo 10, Anexo 11, Anexo 12, Anexo 13, se detallan las actividades y los costos en el proceso de producción, para un periodo de 7 años.

### b) Preparación del terreno

El proceso de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara, se realiza cada 5 o 7 años; comienza con la preparación del terreno, no tiene un costo adicional para el

productor al formar parte de las actividades de los jornaleros. Durante el primer año se selecciona el terreno y se quema para quitar malezas. Posteriormente, para voltear la tierra se hacen dos pases cruzados de tractor con rastra en 2 días. El costo original del tractor fue de \$700,000.00, tiene una duración de 10 años y su amortización anual es de \$958.90. Cuando se utiliza el tractor se emplean dos tractoristas a quienes se les paga \$150.00 por día de trabajo y se utilizan 130 litros de gasolina con un precio de \$13.00 por litro. Además, se emplean 36 jornaleros, se les paga \$120.00 c/u por 8 hrs de trabajo haciendo un total de \$4,320.00, se utilizan 6 machetes con un costo total de \$420.00. Para hacer los surcos se usa el tractor y se paga a un chofer \$150.00 por día de trabajo (Anexo 7).

### **c) Riego**

En Shara, el sistema de riego es por goteo y se utiliza agua de pozo; se utilizan 3.33 rollos de cinta para riego del número 8,000 (\$4,000.00), un rollo de coples (\$500.00 c/u), 100 tubos T's de plástico (\$7.00 c/u), 100 bloomers (\$9.00 c/u) y 30 jornaleros a \$120.00c/u. El tiempo promedio de vida de los materiales utilizados durante la instalación de riego es de un año por lo que se considera como un gasto variable. El agua para regar se obtuvo de un pozo y se utiliza para regar otros cultivos; esta información no se consideró en los gastos. Los gastos de luz, no se tomaron en cuenta al tener otros cultivos dentro del terreno de la plantación. En el caso de Blanca Flor, tampoco se considera el gasto de la energía eléctrica, su erogación la absorbe el hotel ubicado en la ex hacienda Blanca Flor.

En los años subsecuentes al primero (Anexo 8, Anexo 9, Anexo 10, Anexo 11, Anexo 12, Anexo 13), los costos generados disminuyen al sustituir solamente las piezas



dañadas del sistema de riego, generando los siguientes gastos: 2 rollos de cinta para riego (\$4,000.00), 50 tubos T's (\$7.00 c/u) y 50 bloomers (\$9.00c/u).

#### **d) Siembra**

En la plantación ubicada en Shara, el costo de los hijuelos se calculó en \$2.00 c/u. Se utilizó un tractor con 65 litros de gasolina (\$13.00 por litro), se contrató un tractorista por 2 días con un costo diario de \$150.00; se emplearon 30 jornaleros con un costo de \$120.00 c/u. Después de la siembra las plantas tuvieron un periodo de aclimatación de aproximadamente 15 días, en este periodo se emplearon 45 jornaleros (\$120.00 c/u). Como el periodo de aclimatación solo se efectúa después de la siembra, en los años subsecuentes del análisis económico ya no se consideró como un gasto.

Otra actividad dentro del periodo de siembra, es la fertilización en la plantación de sábila ubicada en Shara, se aplicó humus de lombriz cada mes y medio. La aplicación se hizo directamente en el sistema de riego, con ayuda de dos tambos de 200 litros c/u (\$700.00 c/u), con un periodo útil calculado de 10 años y una amortización anual de \$2.30. Inicialmente, para elaborar el humus de lombriz se compraron 5 kg de lombriz con un costo de \$3,000.00 por kg; en los años subsecuentes no se consideró este gasto para el cálculo del costo de producción, debido a que no se compraron más lombrices, las existentes se alimentaron con desechos orgánicos producidos en los otros cultivos ubicados en Shara.

## e) Cosecha

En la plantación de sábila ubicada en Shara, el primer corte se realizó a los 12 meses. El rendimiento que se obtuvo en el primer año, fue de  $9 \text{ ton ha}^{-1}$ ; la producción que se alcanzó en el tercer año  $90 \text{ ton ha}^{-1}$ , año de máximo desarrollo vegetativo (H. Balam-Kú entrevista personal, 01 de septiembre de 2013). El precio por tonelada de sábila a partir de diciembre de 2012, se ha mantenido constante en \$ 850.00 por tonelada. (H. Balam-Kú entrevista personal, 01 de septiembre de 2013).

La cosecha tiene una duración de 5 días por corte, se colectaron 150 cajas de sábila, pagadas a destajo a \$2.50 c/u. Se utilizaron 200 cajas de plástico con un precio de \$350.00 c/u, y un periodo útil de 10 años. Como las cajas se comparten con otros cultivos del rancho, se consideró un costo fijo y una amortización anual de \$0.48, calculada a través de la siguiente formula:

- Amortización anual= Valor real/ tiempo de vida  
Amortización anual= $\$350.00/10=\$35$
- Amortización diaria= Amortización anual/ 365 días  
Amortización diaria=  $\$35/ 365 \text{ días} =\$0.096$
- Amortización de herramientas y equipo (unidad) = Amortización diaria x cantidad de veces que se utiliza en un año en el cultivo de sábila.  
Amortización de herramientas y equipo (unidad) =  $\$0.096 \times 5= \$0.48$ .

Además, en cada cosecha se utilizaron 40 limas (\$25.00 c/u), 7 pares de guantes (\$20.00 c/par) y se realizó un pase con bordero para evitar el crecimiento de malezas, con un costo de \$150.00 por pago a tractorista y 65 litros de diésel a \$13.00 por litro. Se incluyeron los gastos de transportación a la planta procesadora de sábila ubicada en la localidad de Chiná, en el municipio de Campeche por concepto de 75 litros de diésel (\$13.00 por litro).

#### **f) Costos variables de producción**

Como la sábila es una planta multianual, los gastos generados en la cosecha se consideraron gastos variables desde el primer hasta el sexto año. El cálculo se realizó en función del porcentaje de la producción del año inmediato anterior, mediante una regla de tres, ie:

$$X = \text{Producción del primer año} * 100 / \text{Producción segundo año}$$

$$X = 9 \text{ ton ha}^{-1} * 100 / 60 \text{ ton ha}^{-1} = 150\%$$

En dónde:

X = Porcentaje de incremento en la producción

Con base en el cálculo anterior, se obtuvo que los costos variables durante la cosecha en el segundo año aumentan un 666.67% con respecto al primer año. En el tercer año los costos aumentan un 150% con respecto al segundo, en el cuarto y quinto año la producción de sábila permanece en 90 ton ha<sup>-1</sup> por lo que los gastos variables se mantienen constantes. En el sexto año la producción decrece un 77.78% con respecto

al quinto año (90 ton ha<sup>-1</sup>) y al final del ciclo productivo (séptimo año) la producción decrece un 57.14% con respecto al quinto año (Tabla 2).

Tabla 2. Incremento en la producción de sábila ubicada en Shara para un ciclo productivo de 7 años.

Ciclo de producción	Producción (ton ha <sup>-1</sup> )	Aumento (%)
Primer año	9	
Segundo año	60	666.67
Tercer año	90	150
Cuarto año	90	0*
Quinto año	90	0*
Sexto año	70	77.78
Séptimo año	40	57.14

\* Se entiende como 0 una producción constante de ton ha<sup>-1</sup> con respecto al año anterior

Con base en los costos y beneficios anteriores, en el primer año, los costos totales (\$80,038.26) superaron los beneficios (\$7,650.00). En los años posteriores, los beneficios superaron los costos totales, así el cultivo de sábila se consideró como rentable en Shara.

La máxima producción de sábila (90 ton ha<sup>-1</sup>) se alcanzó durante el tercer año y permaneció constante hasta el quinto año, durante este periodo las ganancias obtenidas fueron de \$31,361.74 que se calcularon de la siguiente forma:

- Ganancias tercer año = Ingreso total tercer año - Costo total tercer año

En dónde;

- Ingreso total tercer año = Producción de sábila tercer año \* Precio unitario

- Costo total tercer año=Costos total variable tercer año+ Costo fijo total tercer año

Sustituyendo;

- Ganancias tercer año=\$76,500.00-\$45,138.00=\$31,361.74

A partir del sexto año la producción disminuyó, no obstante, se siguen obteniendo ingresos de \$22,106.18 y \$8,222.85 para el quinto y sexto año respectivamente, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Beneficios y costos obtenidos en la producción de sábila durante un ciclo productivo de 7 años en Shara.

CONCEPTO	A. Ingreso total (beneficio total)	B. Costo total variable	C. Costo fijo total	D. Costo total	Ganancia=A-D	Relación BENEFICIO/COSTO=A/D
Primer año	\$ 7,650.00	\$ 78,830.00	\$ 1,208.26	\$ 80,038.26	-\$ 72,388.26	\$ 0.10
Segundo año	\$ 51,000.00	\$ 32,313.33	\$ 1,208.26	\$ 33,521.59	\$ 17,478.41	\$ 1.52
Tercer año	\$ 76,500.00	\$ 43,930.00	\$ 1,208.26	\$ 45,138.26	\$ 31,361.74	\$ 1.69
Cuarto año	\$ 76,500.00	\$ 43,930.00	\$ 1,208.26	\$ 45,138.26	\$ 31,361.74	\$ 1.69
Quinto año	\$ 76,500.00	\$ 43,930.00	\$ 1,208.26	\$ 45,138.26	\$ 31,361.74	\$ 1.69
Sexto año	\$ 59,500.00	\$ 36,185.56	\$ 1,208.26	\$ 37,393.82	\$ 22,106.18	\$ 1.59
Septimo año	\$ 34,000.00	\$ 24,568.89	\$ 1,208.26	\$ 25,777.15	\$ 8,222.85	\$ 1.32

Fuente: Trabajo de campo, 2014

Tomando como referencia la Tabla 3, se determinó la rentabilidad del cultivo de acuerdo a las consideraciones planteadas en la metodología. Todos los indicadores utilizados para calcular la rentabilidad muestran que el cultivo de sábila es rentable en el área de estudio. La relación B/C obtenida fue:

- B/C (primer año)= \$7,650.00/ \$80,038.26= \$0,10 (Anexo 7)
- B/C (segundo año)= \$51,000.00/ \$33,521.59= \$1,52 (Anexo 8)
- B/C (tercer año)= \$76,500.00/ \$45,138.26= \$1,69 (Anexo 9)

- B/C (cuarto año)= \$76,500.00/ \$45,138.26= \$1,69 (Anexo 10)
- B/C (quinto año)= \$76,500.00/ \$45,138.26= \$1,69 (Anexo 11)
- B/C (sexto año)= \$59,500.00/ \$37,393.82= \$1,59 (Anexo 12)
- B/C (séptimo año)= \$34,000.00/ \$25,777.15= \$1,32 (Anexo 13)

El promedio B/C del ciclo productivo de la sábila fue de \$9.61/7=\$1.37. Esto indica que por cada peso invertido durante la producción de sábila se obtiene \$0.37 adicional. El Valor Actual Neto se calculó por medio de la siguiente formula:

$$VAN = (-FNE) \frac{(FNE1) + (FNE2) + \dots}{(1+r)^1 + (1+r)^2 + \dots}$$

En dónde:

VAN= Valor Actual Neto

FNE= Flujo Neto efectivo (diferencia entre los ingresos y costos para cada año de producción).

r = Tasa de actualización (10%)

n= Número de años de duración del proyecto (7)

Sustituyendo la fórmula para cada uno de los años se obtuvo la Tabla 4:

Tabla 4. Valor Actual Neto para el proceso de producción de la plantación de sábila ubicada en Shara.

Años	Flujo Neto de efectivo	Valor Actual Neto
1	-\$ 72,388.26	-\$ 72,388.26
2	\$ 17,478.41	\$ 15,889.46
3	\$ 31,361.74	\$ 25,918.79
4	\$ 31,361.74	\$ 23,562.54
5	\$ 31,361.74	\$ 21,420.49
6	\$ 22,106.18	\$ 13,726.20
7	\$ 8,222.85	\$ 4,641.58
Valor Actual Neto		\$ 32,770.81
Tasa de actualización		10%
Tasa Interna de Retorno		24.98%

El VAN indicó que el proyecto tiene una ganancia total actualizada de \$32,770.81, con una tasa interna de retorno (TIR) de 24.98%, esto significa que el cultivo de sábila soporta una tasa de interés superior al 24.98%, considerando los precios y rendimientos del ciclo analizado.

### 3. Análisis económico de la producción de sábila en Blanca Flor

#### a) Costos y beneficios económicos de la producción de sábila en Blanca Flor

La plantación de sábila ubicada en Blanca Flor es de tipo manual y tiene las siguientes actividades: a) Preparación del terreno que incluye las actividades de siembra y aclimatación, b) Cuidado de la sábila, incluye eliminación de inflorescencia y riego y c) Cosecha.

En el Anexo 14, Anexo 15, Anexo 16, Anexo 17, Anexo 18, Anexo 19, Anexo 20 se detalle todas las actividades y los costos en el proceso de producción para un periodo de tiempo de 7 años.

### **b) Preparación del terreno**

En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, se hizo una siembra inicial en los años 80, en donde se compró un aproximado de 10,000 hijuelos con un costo de \$1.00 c/u (Anexo 14). Después de la siembra las plantas pasaron por periodo de aclimatación que no representó un gasto adicional para el productor, esta tarea fue parte de las actividades de los jornaleros. En la preparación del terreno se emplearon 10 jornaleros con un costo para el productor de \$70.00 c/u.

### **c) Cuidado de la sábila**

El riego de las plantas se hizo por temporal (época de secas y cuando la demanda del producto existe). Para regar las plantas se utilizó la tubería que era parte de la ex hacienda Blanca Flor, los gastos generados durante el primer año se consideraron con un costo aproximado de \$1,000.00 por concepto de mantenimiento.

Recientemente los productores para facilitar el trabajo a los jornaleros adquirieron material para riego, considerados como costos fijos. Se tuvieron dos cañones para riego con un precio de \$3,000.00 c/u, y una amortización anual de \$1.64. El riego con



cañones implicó el uso de 10 mangueras con un precio de \$500.00 c/u, cuya amortización anual de \$1.37 (Anexo 15, Anexo 16, Anexo 17, Anexo 18, Anexo 19, Anexo 20). No existe una estimación precisa del consumo de agua por riego, por tanto esta cantidad no fue incluida al igual que la luz.

El control de malezas, no se consideró como un gasto, al formar parte de las actividades de los jornaleros.

#### **d) Cosecha**

En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, la cosecha depende de la demanda que se tenga del producto, variando entre 5 y 7 cortes al año de diferentes secciones del cultivo. En la cosecha se utilizaron 200 cajas de plástico con un costo de \$280.00 c/u y una amortización anual de \$15.34. Los materiales utilizados para el corte (cuchillos y machetes) fueron proporcionados por los jornaleros del cultivo, no considerándose como gastos. La cosecha se pagó por destajo y se hizo en función de la producción de sábila, en el primer año se obtuvieron 150 cajas a \$10.00 c/u.

Después del corte, la sábila se transporta hasta la planta tratadora, gastando en ello 50 litros por viaje (\$13.00 por litro). Para transportar la sábila cortada se utilizó un camión de carga, que para los fines del presente estudio, se calculó un promedio de vida de 10 años. Su costo por mantenimiento fue de \$1,000.00 anual.

### e) Costos variables de producción

Como la sábila es una planta multianual, los gastos generados en la cosecha se consideraron gastos variables desde el primer año hasta el séptimo. El cálculo se realizó en función del porcentaje de la producción del año inmediato anterior, mediante una regla de tres ie:

- $X = \text{Producción primer año} * 100 / \text{producción segundo año}$
- $X = 5 \text{ ton ha}^{-1} * 100 / 20 \text{ ton ha}^{-1} = 400\%$

En donde:

X = Porcentaje de incremento en la producción

Con base en el cálculo anterior, se obtuvo que los costos variables durante la cosecha en el primer año aumentan un 400% con respecto al primer año. En el tercer año los costos aumentan un 200% con respecto al segundo año y en el cuarto y quinto la producción de sábila permaneció en 40 ton ha<sup>-1</sup> por lo que los gastos variables se mantuvieron constantes. En el sexto año la producción decrece un 75% con respecto al quinto año (40 ton ha<sup>-1</sup>) y al final del ciclo productivo (séptimo año) la producción decrece un 83.33% con respecto al sexto año (Tabla 5).

Tabla 5. Incremento en la producción de sábila ubicada en Blanca Flor para un ciclo productivo de 7 años

Ciclo de producción	Producción (ton ha <sup>-1</sup> )	Aumento (%)
Primer año	5	
Segundo año	20	400
Tercer año	40	200
Cuarto año	40	0*
Quinto año	40	0*
Sexto año	30	75
Séptimo año	25	83.33

\* Se entiende como 0 una producción constante de ton ha<sup>-1</sup>

Con base en los costos y beneficios obtenidos durante el ciclo de producción de sábila se obtuvo que en el primer año los costos totales (\$22,118.36) superaron los beneficios obtenidos (\$4,250.00), en el segundo año se tuvieron pérdidas de \$1,036.70. En los años posteriores los beneficios superaron los costos totales, así el cultivo de sábila se consideró como rentable en Blanca Flor.

La máxima producción de sábila (40 ton ha<sup>-1</sup>) se alcanzó durante el tercer año y permaneció constante hasta el quinto año, durante este periodo las ganancias obtenidas fueron de \$7,9763.29. A partir del sexto año la producción disminuyó, no obstante, se obtuvieron ingresos de \$3,463.29 y \$1,713.29 para el quinto y sexto año respectivamente (Tabla 6).

Tabla 6. Beneficios y costos obtenidos en la producción de sábila durante un ciclo productivo de 7 años en Blanca Flor.

CONCEPTO	A. Ingreso total (beneficio total)	B. Costo total variable	C. Costo fijo total	D. Costo total	Ganancia=A-D	Relación BENEFICIO/ COSTO=A/D
Primer año	\$ 4,250.00	\$ 15,900.00	\$ 6,218.36	\$ 22,118.36	-\$ 17,868.36	\$ 0.19
Segundo año	\$ 17,000.00	\$ 9,650.00	\$ 8,386.71	\$ 18,036.71	-\$ 1,036.71	\$ 0.94
Tercer año	\$ 34,000.00	\$ 17,650.00	\$ 8,386.71	\$ 26,036.71	\$ 7,963.29	\$ 1.31
Cuarto año	\$ 34,000.00	\$ 17,650.00	\$ 8,386.71	\$ 26,036.71	\$ 7,963.29	\$ 1.31
Quinto año	\$ 34,000.00	\$ 17,650.00	\$ 8,386.71	\$ 26,036.71	\$ 7,963.29	\$ 1.31
Sexto año	\$ 25,500.00	\$ 13,650.00	\$ 8,386.71	\$ 22,036.71	\$ 3,463.29	\$ 1.16
Septimo año	\$ 21,250.00	\$ 11,650.00	\$ 8,386.71	\$ 20,036.71	\$ 1,213.29	\$ 1.06

Fuente: Trabajo de campo, 2014

Tomando como referencia la Tabla 6, se determinó la rentabilidad del cultivo de acuerdo a las consideraciones planteadas en la metodología. Todos los indicadores utilizados para calcular la rentabilidad muestran que el cultivo de sábila es rentable en el área de estudio. La relación B/C obtenida fue:

- B/C (primer año)= \$4,250.00/ \$22,118.36= \$0,19 (Anexo 14)
- B/C (segundo año)= \$17,000.00/ \$18,036.00= \$0,94 (Anexo 15)
- B/C (tercer año)= \$34,000.00/ \$26,036.71= \$1,31 (Anexo16)
- B/C (cuarto año)= \$34,000.00/ \$26,036.71= \$1,31 (Anexo17)
- B/C (quinto año)= \$34,000.00/ \$26,036.71= \$1,31 (Anexo 18)
- B/C (sexto año)= \$25,500.00/ \$22,036.71= \$1,16 (Anexo 19)
- B/C (séptimo año)= \$21,250.00.00/ \$20,036.71= \$1,06 (Anexo 20)

Después se obtuvo el promedio B/C del ciclo productivo de la sábila el cual resulta de;

- $B/C \text{ promedio} = \sum B/C \text{ (desde el primer año hasta el séptimo año)} / \text{periodo de tiempo (7 años)}$ .

Sustituyendo;

Relación B/C  $\$7,27/7 = \$1.04$

El promedio B/C del ciclo productivo de la sábila fue de \$1.04. Esto indica que por cada peso invertido durante la producción de sábila se obtiene \$0.04 adicional. El Valor Actual Neto se calculó por medio de la metodología antes descrita y se obtuvo la siguiente tabla de valores (Tabla 7):

Tabla 7. Valor Actual Neto para el proceso de producción de la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

Años	Flujo de efectivo	Valor Actual Neto
1	-\$ 17,868.36	-\$ 17,868.36
2	-\$ 1,036.71	-\$ 942.47
3	\$ 7,963.29	\$ 6,581.23
4	\$ 7,963.29	\$ 5,982.94
5	\$ 7,963.29	\$ 5,439.03
6	\$ 3,463.29	\$ 2,150.43
7	\$ 1,713.29	\$ 967.11
Valor Actual Neto		\$ 2,309.91
Tasa de actualización		10%
Tasa Interna de Retorno:		14.04%

El VAN indicó que el proyecto tiene una ganancia total actualizada de \$2,309.91 y una tasa interna de retorno (TIR) 14.04%. Todos los indicadores utilizados para calcular la rentabilidad indican que el cultivo de sábila es rentable en el área de estudio.

#### **4. Descripción del tipo de clima en las plantaciones de sábila**

La temperatura más baja se presenta en el mes de enero con un promedio mensual de 22.4°C y la más alta en el mes de mayo (28.8°C). No se presentan heladas y las temperaturas medias mensuales son superiores a los 20°C, la temperatura media anual es de 26.3°C. Durante el año existen 6 meses con precipitación mayor de 60 mm y la precipitación media anual es de 1329.17 mm (Figura 8). El clima dominante en la plantación de sábila ubicada en Shara es cálido subhúmedo con lluvias en verano y parte del otoño. La época más lluviosa se presenta durante los meses de junio a octubre (Anexo 21).

Los meses más húmedos de acuerdo al método de Bagnauls y Gaussen (1957, citado por Mendoza *et al.*, 2008), son mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre. Los meses más secos son enero, febrero y marzo. Respecto a la evapotranspiración, los niveles más altos se presentan de marzo a junio, condición que podría relacionarse con el aumento en la cantidad de riego durante la época seca en la plantación de sábila ubicada en Shara.

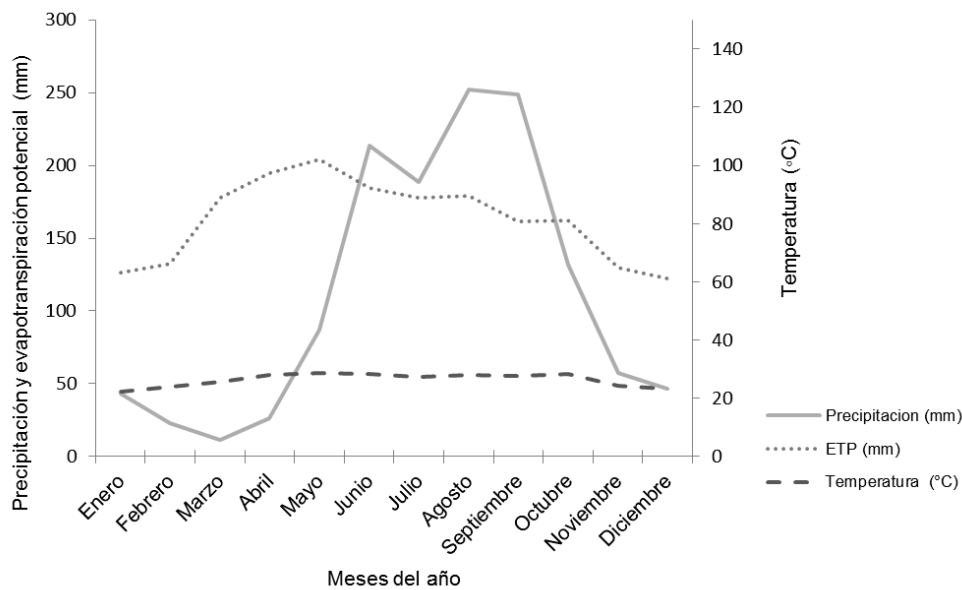


Figura 8. Distribución de la precipitación, evapotranspiración potencial (ETP) y temperatura media mensual, para un periodo de tiempo de 20 años en la plantación de sábila ubicada en Shara.

En Blanca Flor, la temperatura más baja se presenta en el mes de enero (24.1°C) y la más alta en el mes de mayo (29.4°C). No se presentan heladas, la temperatura media anual es de 27°C. Durante el año existen 6 meses con precipitación mayor de 60 mm, la precipitación media anual es de 1292.5 mm (Figura 9). El clima dominante es cálido subhúmedo con lluvias en verano y parte del otoño, la época más lluviosa se presenta de mayo a octubre (Anexo 22).

Los meses más húmedos de acuerdo al método Bagnouls y Gausson (1957, citado por Mendoza *et al.*, 2008) son: mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre y los meses más secos son enero, febrero y marzo.

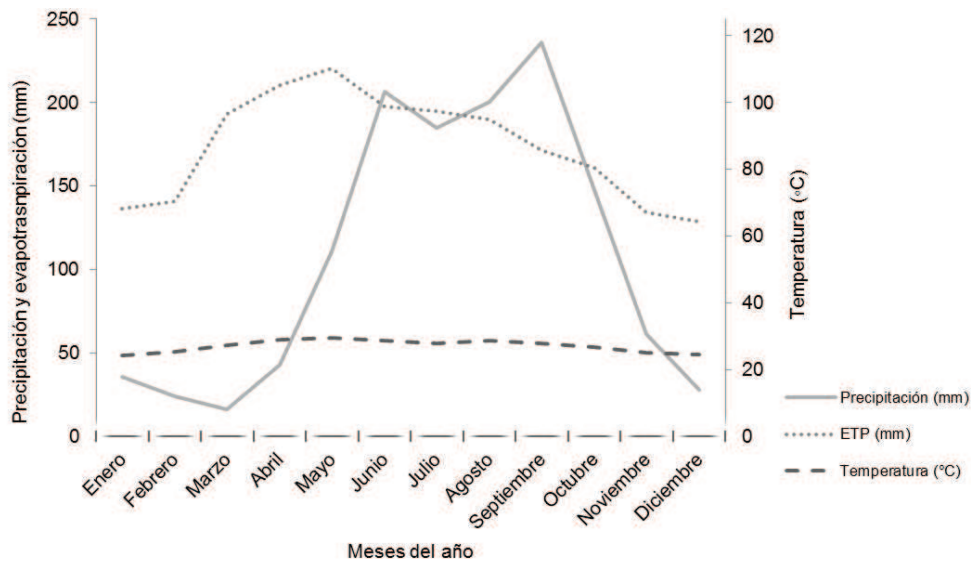


Figura 9. Distribución de la precipitación, evapotranspiración potencial (ETP) y temperatura media mensual, para un periodo de tiempo de 20 años en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

### 5. Evaluación de tierras

En la evaluación de tierras, las dos plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor tienen planicies no inundables y una pendiente del 1 al 2%, ubicándose dentro de la clase 1 (pendiente 0-2%). Por la precipitación (>800 mm) donde se ubicaron las plantaciones se ubicaron en la clase 1.

Con relación a la profundidad efectiva del suelo, la plantación de sábila ubicada en Shara pertenece a la clase 2 (50-100 cm) y la plantación de sábila ubicada en Blanca



Flor a la clase 6 (10-15 cm, Tabla 8) La pedregosidad superficial de los suelos indicó que Shara pertenece a la clase 1 (0-5%) y Blanca Flor a la clase 7 (70-90%).

De acuerdo con el tipo de erosión (erosión laminar), la plantación de sábila ubicada en Shara pertenece a la clase 2 (0-5%) y Blanca Flor a la clase 2 (<25%, Tabla 8). En las dos plantaciones no se presentan inundaciones, ubicándose en clase 1 (inundación nula).

Tabla 8. Características de los terrenos en la evaluación de las plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor.

Características de los terrenos	Shara		Blanca Flor	
	Valor	Clase	Valor	Clase
Pendiente (%)	1	1	2	1
Profundidad efectiva del suelo (cm)	50-100	2	10-15	6
Pedregosidad superficial (%)	0-5	1	70-90	7
Erosión (%)	0-5	2	<25	2
Inundación	Nula	1	Nula	1
Clima (precipitación)	>1,200 mm	1	>1,200 mm	1
Topografía	Planicie		Planicie	
Características más limitantes	_____		Profundidad del suelo y pedregosidad del terreno	

## 6. Fertilidad de suelos.

En la Tabla 9 se observan las características fisicoquímicas de suelo encontradas en Shara y Blanca Flor. En el Anexo 23 se observan los valores encontrados de las propiedades químicas del suelo (n=36) en los dos cultivos de sábila.

El tipo de suelo en la plantación de sábila ubicada en Shara, es de textura arcillosa, denominado Luvisol, suelo apto para la agricultura. La profundidad del suelo fue de 50 a 100 cm. De acuerdo con la NOM-021, el P total presentó valores de bajos a medios (1.9-7.9 mg kg<sup>-1</sup>). El pH del suelo fue neutro a medianamente alcalino (7.03-7.99). El contenido de MO en el suelo fue de medio a alto (1.82-5.06%) y el N total en el suelo fue de alto a muy alto (0.21 -24%).

En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, el suelo no se consideró un suelo apto para la agricultura debido a su poca profundidad 10-15 cm. De acuerdo con la NOM-021, el P total en el suelo fue de bajo a medio (0.16-9.97 mg kg<sup>-1</sup>). El pH del suelo de neutro a medianamente alcalino (6.92-8.55). El contenido de MO en el suelo fue bajo a muy alto (0.78-11.03%) y el contenido de N total en el suelo de bajo a muy alto (0.04-11.68%).

Tabla 9. Principales características de la fertilidad de los suelos en los cultivos de sábila ubicados en Shara y Blanca Flor, Campeche.

Característica	Shara		Blanca Flor	
	Planicie no inundable		Planicie no inundable	
	Rango	Calidad	Rango	Calidad
P (mg kg <sup>-1</sup> )	1.9 a 7.9*	Bajo a medio	0.16 a 9.97*	Bajo a medio
pH	7.03 a 7.99*	Neutro a medianamente alcalino	6.92 a 8.55*	Neutro a medianamente alcalino
MO (%)	1.82 a 5.06*	Medio a alto	0.78 a 11.03*	Bajo a muy alto
N total (%)	0.21 a 24*	Alto a muy alto	0.04 a 11.68*	Muy bajo a muy alto

\* Datos por ha<sup>-1</sup>

## CAPÍTULO 2.

### ARTÍCULO SOMETIDO EN LA REVISTA EUROPEAN JOURNAL OF SOIL BIOLOGY: SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL MACROINVERTEBRATES IN *Aloe vera* CROPS IN CAMPECHE, MÉXICO.

#### Spatial distribution of soil macroinvertebrates in *Aloe vera* crops in Campeche, Mexico

J. Hernández<sup>1\*</sup>, E. Huerta<sup>1\*</sup>, J. Mendoza-Vega<sup>1</sup>, J. M. Pat-Fernández<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche. Avenida Rancho Polígono 2-A, Col. Ciudad Industrial 24500 Lerma, Campeche. México.

\*Corresponding author, +52 4432442915, +31 616650961. E-mail: [jhernandez@ecosur.edu.mx](mailto:jhernandez@ecosur.edu.mx), [ehuertaecosur@gmail.com](mailto:ehuertaecosur@gmail.com).

#### Abstract

Many are the benefits obtained by *Aloe vera*, however there are no studies of its interaction with soil macroinvertebrates. In this study we analyzed the relationship among the spatial distribution of soil macroinvertebrates, soil fertility and size of *A. vera* plants. We worked in two *A. vera* crops in the state of Campeche, Mexico (Shara: under tillage and Blanca Flor: without tillage). In order to characterize the spatial distribution of soil macroinvertebrates a 100x100m grid was established, due to the fact that soil properties within soils are heterogeneously distributed. Every 20m a 25x25x30cm monolith was excavated for soil macroinvertebrates and soil collect, according to the TSBF method. On the same crosspoint, we measured the length, width, number of leaves and number of shoots of *A. vera*, following the geostatistical sampling protocol, 36 samples were taken per site. Variograms, contour maps, regressions, canonic and path analysis were performed per site. We found 34 soil macroinvertebrates morphospecies in Shara and 26 in Blanca Flor. The most abundant group in both sites was the Formicidae family. At both sites *Polypheretima elongata* had a range ( $A_0$ ) >100m. At Shara, total soil macroinvertebrates had  $A_0= 31$ m. *A.vera* plants at Shara were correlated with 3.2% of Soil Organic matter (T:0.65,  $p<0.05$ ), the density of 5 ind.m<sup>2</sup> of chilopods (T: 2.48,  $p<0.05$ ), the total density of 300 ind.m<sup>2</sup> of soil macroinvertebrates (T: 2.75,  $p<0.05$ ) and the pH between 7.75 and 7.85 (T:0.38,  $p<0.05$ ). At Blanca Flor, *A.vera*

1 were correlated with 0.45% of N (T:2.13,  $p < 0.05$ ) and a density of 20 ind.m<sup>2</sup> of *Polypheretima elongata* (T:0.95,  
2  $p < 0.05$ ).

3 **Key words** *Aloe vera*, soil fertility, soil macroinvertebrates, spatial distribution, Campeche

4

## 5 **1. Introduction**

6 *A.vera* is one of the most important medicinal plants around the world. It can be adapted to different environmental  
7 conditions [88]. In 2006, approximately 26,000 hectares of *A.vera* were cultivated worldwide principally in Mexico  
8 [22]. However, the effect of agronomic practices on soil macroinvertebrates had not been studied [20]. Soil  
9 macroinvertebrates provide ecosystem services, ie: they participate in the organic matter decomposition [27] and  
10 they have been used as indicators of soil ecological quality [98, 46]. Given to the fact that they intervene in a variety  
11 of processes, including: soil aggregation, water movement and retention, exchange of gases, soil structure, texture  
12 and chemical properties [57, 72, 12, 13, 62, 47]. The distribution of soil organisms is not by random, it occurs in  
13 aggregate patterns or in patches [31]. The abundance and distribution of these organisms is heterogeneous [43, 25],  
14 and depends on various factors [60] such as land use, climate, and type of vegetation [29, 30].

15 During the last years geostatistical techniques had been used to estimate spatio-temporal data with the development  
16 of mathematical geography techniques as variograms and contour maps [99]. The use of these techniques allow the  
17 formulation of crop management strategies on a regional level by identifying areas with low crop yield [7, 44] and  
18 avoiding ground water pollution [17]. In agriculture, fertilizers are normally applied homogenously on the field,  
19 resulting in high production costs as well as soil pollution. Therefore, farmers should be aware that nutrients are not  
20 homogeneously distributed throughout the soil because its distribution depends on soil texture and/or type of  
21 vegetation [67].

22 The aim of this study was to identify the spatial distribution of soil macroinvertebrates and their relationship with  
23 soil chemical properties and plant characteristics in two crops of *A.vera*. in Mexico, especially in the Yucatan  
24 Peninsula, nutrient retention and elimination of nutrient residues in the soil occur differently from other regions due  
25 to its unique soil characteristics: very shallow soil over calcareous material [4], it exists an important risk of ground  
26 water pollution.

27

## 2. Materials and methods

This study was carried out in two crops of *A. vera* in the state of Campeche, Mexico (Fig. 1): Shara (19° 43' 33.81'' N, 90° 22' 18.36'' W) and Blanca Flor (20° 12' 37.57'' N, 90° 06' 38.91'' W). Shara is located in China, Campeche, 25 km from the state capital. There were 10,000 plants per hectare, and plants of *A. vera* were cultivated under drip irrigation system, mechanized tillage and treated with 200lt of vermicompost every 45 days as fertilizer. The soil type according to the soil mayan classification is k'áancab, which is suitable for agricultural use [4], and corresponds to Luvisol in the FAO classification system. Also in Blanca Flor crop which is located 5 km from the town of Hecelchakan, Campeche. There were 12,000 plants per hectare, and plants of *A. vera* were none irrigated, nor till and not fertilized. According to Mayan soil classification, the soil's name is tzek'el which is not suitable for agriculture [4] and in the FAO classification it corresponds to a Rendzic Leptosol (Table 1)

The study was carried out on one hectare per site in April 2013 and January, 2014. To perform the crop description, and soil biological and chemical properties determination, we characterized: (a) macroinvertebrate abundance and diversity, (b) soil chemical properties (nitrogen, organic matter, available phosphorus), and (c) plant density, abundance and size. The months for collecting soil macroinvertebrates were not in function of the rainy season (seasonality) in Shara, because it had drip irrigation system. Since it lacks of permanent irrigation in Blanca Flor, the collect was performed at the end of the rainy season according to the Tropical Soil Biology Fertility (TSBF) method [2].

### 2.1. Soil fertility characterization

In order to carry out the geospatial sampling, a 100m x 100m grid was established in each site, adapted as proposed by Huerta [45], and establishing sampling points (monolith) every 20m. At every cross-point, a 25cm x 25cm x 30cm monolith was excavated, according to the TSBF method [2]. In each study, site 36 samples were taken which corresponded to soil macroinvertebrates and soil chemical properties. Soil chemical properties were determined at ECOSUR certified laboratory: extractable P, organic matter, pH (1:2 ratio with H<sub>2</sub>O) and total N were done according to the Official Mexican Standard NOM-021 (RECNAT-2000). Soil macroinvertebrates after being collected, were tagged and placed inside plastic jars with 70% alcohol for litter fragmenters (insects, arachnids, gastropods) and 96% alcohol for earthworms. They were then transported to the soil laboratory at ECOSUR, Campeche for counting, weighing and classification. Litter fragmenters were identified up to order and/or morphospecies level using the taxonomic key by Borror and White [8], and earthworms species by James [51].

## 2.2. Characterization of *Aloe vera* plants

In order to characterize *A. vera* plants we randomly measured a total of 400 plants per site. The data collected by each *A. vera* mother plant was: a) number of shoots, b) number of leaves, c) length (cm) and d) width (cm) of the third leaf due to its commercial value according to producers. To identify the third leaf in the plant we counted from the center outwards [78]. Additionally, an extra leaf was collected per mother plant in order to analyze its N and P content. To perform the correlation analysis, we took data from each plant that were at the crosspoint in the grid (n=36 per site).

## 2.3. Leaf sampling (N and P content)

A total of 35 leaves from Shara and 29 from Blanca Flor were cut and transported in black plastic bags, adapting the technique proposed by Pulgarin, 2010. These leaves were analyzed in ECOSUR's certified chemical laboratory to determine total N according to semimicro Kjendahl method [91] and total P using the spectrophotometric method [90].

## 2.4. Spatial distribution of chemical and biological (macroinvertebrate) soil properties, and size of *Aloe vera* plants

In order to describe variation along the distance on the different variables at the spatial level [99] a geostatistical sampling per hectare was used per study site (n=36). In order to determine the spatial distribution, contour maps and variograms were made from: a) soil chemical properties, b) soil macroinvertebrates abundance, diversity, c) plant size, and d) N and P content in the leaves. Macroinvertebrate diversity was calculated using the Chao2 estimator with the Estimates program, version 7 [69]. Database was captured in excel software. Due to the fact that the data did not follow a normal distribution, it was normalized with  $\log_{10}+1$ . For macroinvertebrates, the biomass and abundance were calculated per  $m^2$ .

To describe spatial distribution geostatistics techniques of variography [99] were used with the program GS+ Gamma Design version 9.1. Data used was the corresponding to each point of the grid (n=36). At variography, semi-variograms or variograms are made (Fig. 2) and represent graphical behavior of variable's semi variance. This variograms have the follow parameters [44]:

- Sill ( $C_0+C$ ). - The maximum variance found between pairs of points [44].
- Nugget ( $C_0$ ). - Reflects the spatial variation at short distances and variance not explained by the model [38]

1 • Range ( $A_0$ ). - Is the distance on which semi-variance stops increasing or distance from which data are  
2 spatially independent [38]

3 •  $R^2(C/C_0+C)$ . - Proportion of variance explained by the space which can be expressed as a percentage [38]

4 Parameter of semi variogram are obtained thru the adjust statistics models [44], that principally are spherical,  
5 exponential, gaussian and lineal [38] (Fig. 3)

6 • Spherical model: Shows a linear growing up to a distance where it stabilizes [44].

7 • Exponential model: this model reach the sill asymptotically [38].

8 • Gaussian model: provides a good fit when the nugget variance is small compared to structural variation  
9 [44].

10 • Lineal model: is the most appropriate when there is no total variance on the areas of study [44].

11 When none of the models adjusted to an  $R^2$  of at least 0.20 pure model (nugget) was accepted, which indicates that  
12 there is not spatial independence at the spatial scale analyzed [16, 17, 24]. To complement variograms contour maps  
13 were done with the program SURFER<sup>®</sup> version 7.0 and using ordinary wick interpolates values to be used to  
14 unsampled place. The kriging allows us to know through a continuous surface of values the spatial distribution of  
15 each of the variable [15, 17]. At Blanca Flor crop none contour maps of N and P content in of *A.vera* leaves were  
16 done, because statistical minimum were not reached ( $n \geq 35$ ) to use this techniques [99].

17 At geostatistical analysis it's important to determine the possible correlations between variables. To complete  
18 information multivariate analysis per site were performed: canonical, linear correlation (Pearson) and causal (Path  
19 analysis) were done. Data used on this analysis were corresponding to each crossing point of the grid ( $n =$   
20 36). Canonical correspondence analysis was performed with Past<sup>®</sup> software version 2.17. Using the follow  
21 parameters:

22 a) Characteristic of *A.vera* plants

23 b) Soil chemical properties

24 c) Diversity and abundance of soil macroinvertebrates

25 Canonical correlation analysis (CCA) are one of the more general multivariate analysis techniques that are  
26 recommended for possible correlations between variables of soil and vegetation. Additionally, Path analysis were  
27 made to observe causal relations among soil chemical properties, soil macroinvertebrates' densities and abundances  
28 of *A.vera* plants. Also Pearson regressions were carried out to determine possible linear correlations among variables

1 [50] using the data from each study site (n=36) with the IBM SPSS Statistics software, version 2.0. To estimate the  
2 spatial correlation, the Mantel test was carried out with Past software, version 2.17, using the data for the variables  
3 which were significant correlated with the Pearson analysis: soil P, total soil macroinvertebrates density, and length  
4 of *A.vera* leaves (n=36).

5 To know variance's value on CCA eigenvalues analysis were made (Eigenvalues) and to know the significance of  
6 analysis test of Monte Carlo were done [42].

7 To estimate the spatial correlation, the Mantel test was carried out with Past software, version 2.17, using the data  
8 for the variables which were significant correlated with the Pearson analysis: soil P, total soil macroinvertebrates  
9 density, and length of *A.vera* leaves (n=36).

10

### 11 3. Results

#### 12 3.1. Characterization of *Aloe vera* plants

13 At *A.vera* crop of Shara the number of shoots per mother plant was 11.16 (4.42), number of leaves 9.2 (1.17). Length  
14 leaf was 55.38 (6.46) cm and leaf width 8.92(1.92) cm. In *A.vera* crop of Blanca Flor crop, mean of shoots per  
15 mother plants was 12.60(8.43), number of leaves 10.59 (2.68). Length leaf was 48.62(8.19) cm and leaf width 8.26  
16 (1.69) cm.

#### 17 3.2. Leaf sampling (N and P content)

18 At *A.vera* crop of Shara, N content on leaves was 1.28 (0.30)% and P content was 0.021 (0.005) mg kg<sup>-1</sup>. At *A.vera*  
19 crop of Blanca crop Flor, N content on leaves was 1.20 (0.66)% and P content was 0.015 (0.008) mg kg<sup>-1</sup>.

#### 20 3.3. Soil fertility characterization

21 At *A.vera* crop of Shara soil had from 35 to 50 cm of deep and from 5 to 10 % of stony. Soil Phosphorus content  
22 were 3.23(1.31) mg kg<sup>-1</sup> and total Nitrogen content were 0.27(0.03)%, pH were 7.68(0.22) and soil organic matter  
23 were 3.22(1.31)%. At At Blanca Flor soil had from 10 to 15 cm of deep and from 70 to 90% of stony. Soil  
24 Phosphorus content were 1.68(1.77) mg kg<sup>-1</sup> and total Nitrogen content were 0.32(0.14)%, pH were 8.13(0.29) and  
25 soil organic matter were 5.48(2.59)%.

#### 26 3.4. Macroinvertebrate diversity and abundance

27 At *A.vera* crop of Shara, a total of 6,752 ind.m<sup>2</sup> of soil macroinvertebrates were found (Table 2), belonging to 34  
28 morfoespecies of five classes (Clittelata, Insecta, Myriapoda, Gasteropoda and Chelicerata); 15 orders (Oligochaeta,



1 Blattodea, Coleoptera, Diplura, Hemiptera, Hymenoptera, Isopoda, Isoptera, Orthoptera, Pseudoscorpionida,  
2 Pulmonata, Diplopoda, Chilopoda, Aranae, Opilionidae and Gasteropoda). The Chao 2 index indicated with the  
3 number of samples used, that 58% of all species expected for Shara were identified (Fig. 4).

4 At *A.vera* crop of Blanca Flor, a total of 3,760 ind.m<sup>2</sup> of soil macroinvertebrates were found, belonging to 26  
5 morphospecies (Table 2), four classes (Clittelata, Insecta, Myriapoda, and Chelicerata), 11 orders (Oligochaeta,  
6 Blattodea, Coleoptera, Diplura, Hymenoptera, Isopoda, Isoptera, Pulmonata, Diplopoda, Aranae, and Gasteropoda).  
7 The order with the highest number of individuals recorded was Hymenoptera, with 2240 ind.m<sup>2</sup>. Two species of  
8 annelids were identified: *Polypheretima elongata* with 512 ind.m<sup>2</sup> adults, *Polypheretima elongata* with 64 ind.m<sup>2</sup>  
9 juvenils and *Pontoscolex corethrurus* with 80 ind.m<sup>2</sup>, as well as *Dichogaster* sp1 and *Dichogaster* sp 2 with 16  
10 ind.m<sup>2</sup> each one. The accumulation curve of species with the Chao 2 estimator indicated that the number of species  
11 identified was 49% of the total of species estimated for Blanca Flor (Fig. 4).

### 12 3.5. Macroinvertebrate density and biomass

13 At *A.vera* crop of Shara, earthworm density was 8.88(13.42) ind.m<sup>2</sup>. Litter fragmenters density was 180(239.66)  
14 ind.m<sup>2</sup>. Total soil macroinvertebrates density was 187.55(237.64) ind.m<sup>2</sup>. At *A.vera* crop of Blanca Flor earthworms  
15 density was 23.55(50.23) ind.m<sup>2</sup>. Litter fragmenters density was 84.88(164.98) ind.m<sup>2</sup> and total soil  
16 macroinvertebrate density was 106.22(179.80) ind.m<sup>2</sup>.

17 Total soil macroinvertebrate biomass at *A.vera* crop of Shara was 20.33(24.99) g.m<sup>2</sup>. Earthworm biomasses were  
18 2.69(7.46). Total density of litter fragmenters was 17.64(19.94) g.m<sup>2</sup>. Total soil macroinvertebrate biomass at Blanca  
19 Flor was 5.99(10.60) g.m<sup>2</sup>. Earthworm biomasses at Blanca Flor was 4.32(10.35) g.m<sup>2</sup>. Total density of litter  
20 fragmenters was 1.67(3.20) g.m<sup>2</sup>.

### 21 3.6. Spatial distribution of *A.vera* plants

22 For representative purposes the spatial distribution of variables were adjust to a geostatistic model to explain spatio-  
23 temporal variation through distance. With respect to *A. vera* plant size at Shara, a nugget effect was seen indicated  
24 that there is not a spatial distribution in the range studied of number of shoots per mother plant as well as in leaf  
25 length. Leaf width and number of leaves (Fig. 5) per mother plant were best adjusted to the spherical model At  
26 Blanca Flor, leaf width was adjusted to the gaussian model (Table 3) with a  $A_0 \Rightarrow 100m$  on which semi-variance  
27 tends to increase with distance until reaching the SILL at which both stabilize.

### 28 3.7. Spatial distribution of soil chemical properties

1 At *A.vera* crop of Shara Soil P content spatial distribution adjust to the exponential model (Table 3); in this model  
2 the SILL are reached between a pairs of asymptotic points at a  $A_0=50.4m$  [38]. Spatial distribution of pH at Shara's  
3 soil had a  $A_0= 47.3m$  adjust to spherical model. Spatial distribution of soil organic matter at Shara had a  $A_0= 57.3m$   
4 and for Blanca Flor  $A_0 \Rightarrow 100m$  at the two study sites spatial distribution was adjusted to the spherical model,  
5 characterized by linear growth to a certain point which then tends to stabilize. Soil N content at Shara showed a  
6 nugget effect, in which variance is not explained for short distances, and at (Table 3).

7 At *A.vera* crop of Blanca Flor, a nugget effect was seen in the distribution of soil P content indicated that there is not  
8 a spatial distribution in the range studied. The spatial distribution of Blanca Flor's soil pH and total N had a  $A_0=$   
9  $>100m$  and adjust them to the Gaussian model on which semi-variance increased with distance.

10

### 11 3.8. Spatial distribution of soil macroinvertebrate density and biomass

12 At *A.vera* crop of Shara, total macroinvertebrate density was adjusted to the gaussian model (Fig. 5). Density of  
13 litter fragmenters at Shara was adjusted to the exponential model with a range  $A_0 < 100$  m. With respect to total soil  
14 macroinvertebrate biomass, a nugget effect was observed at Shara

15

16 At *A.vera* crop of Blanca Flor, earthworm density and biomass spatial distributions were adjusted to the spherical  
17 model with  $A_0 = 80.6$  m. Total soil macroinvertebrate biomass best adjustment was with the gaussian model with  
18  $A_0 \Rightarrow 100$  m, in this model semi-variance increase with the distance. A nugget effect was observed on the spatial  
19 distribution of the total biomass of litter fragmenters in both study sites.

20

21 The majority of macroinvertebrate morphospecies showed a nugget effect horizontal distribution. At Shara,  
22 *Polypheretima elongata*, pulmonata, hymenoptera spatial distributions were a  $A_0 \Rightarrow 100$  m, with an exponential  
23 model, the same model for Diplopoda but with  $A_0 = 36.6$  m. With regard to spatial distribution of chilopoda and  
24 diplura better adjustmet was to the spherical model with  $A_0 = 33.4m$  and  $A_0 = 41.3m$  respectively (Table 3).

25

26 At Blanca Flor *Dichogaster* sp 2, Aranae, Blattodea, coleoptera larvae, and Pulmonata followed the exponential  
27 model with  $A_0 > 100$  m. For the order Diplura,  $A_0 = 28.5$  m was found. With the Glossoscolocidae family, the

1 spherical model was best adjusted with  $A_0=36.3$  m. With *Pontoscolex corethrurus* the best adjustment was with the  
2 spherical model, with  $A_0 \Rightarrow 100$  m (Table 3) and with *Polypheretima elongata* spatial distribution had a  $A_0 \Rightarrow 100$  m  
3 adjust to exponential model (Fig. 6).

#### 4 3.9. Canonic analysis, path analysis and Pearson correlation per hectare (n=36 points)

5 Only the Path analysis and some pearson correlations were significant ( $p < 0.05$ ), canonical analysis were not  
6 significant in boht sites (after Montercarlo tests). At Shara, the number of leaves were directly dependent (Fig. 7) of  
7 the content of organic matter (T:0.65,  $p < 0.05$ ), the density of Chilopoda (T:2.48,  $p < 0.05$ ), Blattodea (T:0.58,  
8  $p < 0.05$ ), Isopoda (T:0.51,  $p < 0.05$ ), Blattodea eggs (T:1.01,  $p < 0.05$ ) and total soil macroinvertebrates density (T:2.75,  
9  $p < 0.05$ ,  $r^2=0.3$ ,  $p < 0.05$ ). Number of shoots were dependent of pH (T:0.38,  $p < 0.05$ ). At Blanca Flor, number of  
10 shoots were dependent (Fig. 7) of the density of *Polypheretima elongata* (T:0.95,  $p < 0.05$ ) and total N content  
11 (T:2.13,  $p < 0.05$ ).

12 The found correlations were also observed with the contour maps, ie. at Shara the highest number of leaves of  
13 *A.vera* (20-22) were distributed over 60,40 coordinates where it was found an organic matter amount of 3.2%, a  
14 density of 5 ind.m<sup>2</sup> of chilopods and a total density of 300 ind.m<sup>2</sup> of soil macroinvertebrates (Fig. 8), also the  
15 highest number of shoots (9-10) found at coordinates 80, 20 where a pH of 7.7- 7.8 was also found. At Blanca Flor  
16 (Fig. 9), the highest number of shoots (20 to 22) were distributed at the 60,40 coordinates where a content of 0.45%  
17 total Nitrogen and a density of 20 ind.m<sup>2</sup> of *Polypheretima elongata* were also found.

#### 18 4. Discussion

19  
20 Soil macroinvertebrates are important in the study of soil fertility, these organisms are involved in different soil  
21 processes and they are related with the assimilation of micro and macro elements in plants [60, 86]. Presence of soil  
22 macroinvertebrates in agroecosistemas as *A. vera* crops depends of land-management, physical ground conditions and  
23 type of vegetation [60, 86].

24 Shara is a mechanized *A.vera* crop in which vermicompost is applied. Vermicomposting is the result of biochemical  
25 and microbiological transformations of the organic matter when it passes through the digestive tracts of earthworms.  
26 It contains a large amount of microorganisms and nutrients that favor the structure and biological activity of the soil  
27 [73, 1].

1 To cultivate *A. vera* in an organic system promoted a high density ( $>100 \text{ ind.m}^2$ ) and biomass of soil  
2 macroinvertebrates as we saw in this study. On soil, it had been estimated around 5 to 8 million of soil  
3 macroinvertebrates and bacteria, in which most of 50% are arthropods [39]. Within the arthropods, there exist litter  
4 fragmenters [60] and ecosystem engineers. It's presence are very important for soil fertility they can modify soil  
5 structure and the availability of nutrients that favor plant growth [53, 61]. In both sites of the study the highest  
6 density of soil macroinvertebrates were from litter fragmenters, may be, doe to the fact of a thin soil organic layer.  
7 This density was greater than that found by Huerta et al. [47] on monocultures (*Manguifera indica*, *Zea maize* and  
8 *Musa paradisiaca*) in Tabasco. In *A.vera* crop the most common groups were Hymenoptera>  
9 Isoptera>Gasteropoda>*Polypheretima elongata*> Coleoptera> Blattodea> Isopoda> Myriapoda and Opilionidae.

10  
11 At Shara the application of vermicompost as fertilizer, may serve as buffer of the tillage effect on soil  
12 macroinvertebrates [68]. At non arboreal agroecosystems, the lack of vegetation cover affects the activity of soil  
13 macroinvertebrates and generates dry environments with high temperatures [5]. The presence of soil  
14 macroinvertebrates groups such as Gasteropoda, Isoptera, Chilopoda and Oligochaeta specifically *Pontoscolex*  
15 *corethrurus* in Shara and Blanca Flor may indicate that they can be adapted to more arid environmets [75, 66, 86,  
16 32]. On a mechanized system as Shara the structure and fertility of soil are disturbed with the dredge pass [6]. Soil  
17 removal causes a major soil compaction and contribute to the acceleration of organic matter decomposition process  
18 leave it exposed in the surface layers [5, 68].

19  
20 On a fertile soil, soil macroinvertebrates liberate inorganic nutrients from organic reserves with sufficient speed to  
21 maintain fast plant growth [100]. On natural systems, the turn-over of organic matter is due to plants and natural  
22 wastes [72]. At agroecosistems, there is an input of organic matter for enhancing plant growth, ie. at Blanca Flor,  
23 Under this conditions, some invertebrates groups as earthworms could live on *A. vera* crop.

24  
25 At Blanca Flor crop the biggest biomass was from earthworms  $4.32(10.35) \text{ g.m}^2$  similar to that observed by Marín  
26 and Feijoo [68] on disturbed ecosystems (grasslands and tillage crops). Earthworms biomass  $\geq 30 \text{ g.m}^2$  can have  
27 important consequences on soil and plant productivity [11], on this study we observed a biomass  $< 20 \text{ g.m}^2$ .  
28 Earthworms are one of the most important groups of soil macroinvertebrates, building galleries that modify the

1 structure and composition of soil, ie: *Pontoscolex corethrurus* which is a geophagous earthworm that induced the  
2 formation of dense aggregates through the production of casts [41, 61]. Their spatial distribution are influenced by  
3 the type of vegetation, management conditions and ecological status of the system [61]. A high taxa richness or the  
4 presence of certain groups of earthworms can reveal important information about soil quality [54].

#### 5 *Spatial distribution*

6 In the search of a sustainable agriculture, soil macro invertebrates are required to be included as a soil fertility  
7 indicator. To recognize the spatial distribution of soil macroinvertebrates it is important to understand the ecosystem  
8 functions and the reach that a disturbance could have on the soil [84, 26, 19]. To analyze the spatial distribution of  
9 chemical properties and soil macro invertebrates an optimal sampling distance were established to guarantee spatial  
10 independence [85], using the adjustment of several statistical models [44]. At Shara and Blanca Flor crops the  
11 adjustment models were: exponential, spherical and Gaussian.

12 The spatial variability of chemical properties is also related with the historic use of the soil [17]. At Shara crop, the  
13 mechanized handling, irrigation and the constant use of organic fertilizer produced that the spatial distribution of P,  
14 pH and organic matter had a  $A_0 < 60$ m. At Blanca Flor crop, the spatial distribution of soil chemical properties had  
15  $A_0 > 100$  m. In this crop the spatial distribution of soil chemical properties were related with a non systematic  
16 application of organic fertilizer and the type of soil (10-15 cm of shallow and 70-90% of stony).

17  
18 With the use of geostatistical techniques, we can formulate management strategies for crops at regional and local  
19 levels, identifying areas in which crop yield is low [7, 44]. Using an adequate dose of fertilizers (as a product of a  
20 geostatistical approach) could be more beneficial in the short-medium term, for the environment (reducing the risk  
21 of groundwater pollution) and for the farmer's economy [15]. Our results suggested that the concentration of soil that  
22 promoted from 20-22 number of leaves was from 3.2 % of organic matter and from 7.75 to 7.85 of pH promoted 9 to  
23 10 number of shoots.

24  
25 At Shara and Blanca Flor the models for the spatial distribution of soil macroinvertebrates in both systems were:  
26 exponential, spherical and Gaussian. In these models, the spatial distribution is heterogeneous and dependent of: the  
27 type of vegetation, soil fertility, agricultural practices and weather [61, 30,43, 25]. At Shara, litter fragmenters:  
28 Chilopoda, Diplopoda and Gasteropoda had an  $A_0 < 41.3$ m, similar to that observed by De la Rosa and Negrete-

1 Yankelevish [24] at grasslands in Veracruz. *A. vera* crop is a monoculture and presents few ecological niches for soil  
2 macroinvertebrates [96]. In agroecosystems such as *A. vera* crop, soil macroinvertebrates tend to form small patches  
3 of distribution associated with vegetation and physico-chemical properties of soil [71].

4  
5 According to Pearson analysis at Shara, spatial distribution of chilopods were related with soil N ( $r^2=0.3$ ,  $p<0.05$ ) an  
6 leaf width ( $r^2=0.3$ ,  $p<0.05$ ), these organisms are litter fragmenters who modified the organic matter through digestion,  
7 with the deposition of their excrement on soil, forming small patches of nitrogenous compounds that stimulates  
8 microbial action on soil [14]. With this action, vegetal decomposition stimulate and accelerates formation of  
9 nutrients on soil that plants could use [56].

10 Ants are ecosystem engineers who build their nests on soil and form small islands with soil organic matter, N and P,  
11 important elements for *A. vera* growth [64, 55, 80, 18]. The importance of the nests is that they present favorable  
12 conditions for SOM mineralization since they are more exposed to climate change [76, 18].

13  
14 Earthworms are important to soil formation. The moment the soil enters into contact with an earthworm, biological  
15 and physico chemical changes take place [33, 10]. However most of the researches with these organisms have  
16 focused on cereal crops and pastures [89]. Studies with earthworms on agricultural intensification demonstrate that  
17 on annual crops specific richness and earthworms biomass ( $\text{g.m}^2$ ) tend to decrease [28]. On these environments  
18 native communities are replaced by exotic earthworms [3]. At *A. vera* crop we found *Dichogaster* sp., *Polypheretima*  
19 *elongata* and *Pontoscolex corethrurus*, these last species are introduced in México [34]. *Pontoscolex corethrurus* is  
20 an endogenic, cosmopolitan earthworm, that have a high range of tolerance to different management conditions [68]  
21 as Blanca Flor's and Shara soils.

22  
23 The spatial distribution of *Dichogaster* sp, *Pontoscolex corethrurus* and *Polypheretima elongata* were in patches  
24 related with P, pH and organic matter as Lavelle [59] and Palm et al. [74] said. With *Dichogaster* sp we observed a  
25 greater distribution range ( $A_0>100$  m) per hectare than the one found by Huerta  $A_0\leq 20\text{m}$ , [45] in a grassland of  
26 Veracruz, México.

27

1 With *Polypheretima elongata* and *Pontoscolex corethrurus* we observed distributions in form of patches ( $A_0 \geq 100\text{m}$ )  
2 associated with P on soil ( $r^2=0.3$ ,  $p<0.05$ ), different to Huerta [45] and Lavelle [59] at grasslands on Veracruz  
3 (Mexico) and Amazonic jungle (Brazil,  $A_0 \geq 20\text{m}$ ) respectively. Studies with endogeic earthworms as *Allophora*  
4 *chlorotica* mentioned that earthworms had a strong influence on biomass and resource allocation between roots and  
5 shoots [21] as we observed with Path analysis on Blanca Flor (T:0.95,  $p<0.05$ ).

6 With *Pontoscolex corethrurus* we didn't find a significant correlation among *A. vera* plants and chemical properties  
7 of soil. In this regard Huerta et al. [48] mentioned that *Pontoscolex corethrurus* is an earthworm that in maize  
8 production can greatly increase the concentration of soil organic matter, however, the effects of earthworms depend  
9 of type of culture, environmental conditions and soil type [58].

10  
11 The state of Campeche, presents topographic and climatic characteristics that foster the development of this crop,  
12 however, it is necessary to increase government support and technical advice. In Shara, *A. vera* plants present  
13 important features that elevate its commercial value, unlike Blanca Flor which needs to develop agricultural practices  
14 for shallow and stony soils. With regard to the effects on soil macroinvertebrates on *A. vera* crops it has not been  
15 described previously. In this study, we found that the presence of these organisms combined with appropriate  
16 management practices such as: application of organic matter, irrigation, shady spots and low tillage can increase soil  
17 fertility.

18  
19 **Acknowledgment**  
20 We acknowledge the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) and El Colegio de la Frontera Sur  
21 (ECOSUR) for the financial support provided, the government of the state of Campeche, Mexico, to Webster  
22 Chiquini-Heredia for their assistance in the preparation of the map and Ann Elizabeth Greenberg for their assistance  
23 in the translation and the owners of the crops for facilitating the implementation of this study.

**Table captions**

Table 1. Characteristics of the study sites. NI: Not determined, \* Kopp en classification

	Shara	Blanca Flor
Coordinates		
N	19° 43'33.81''	20° 12'37.57''
W	90° 22'18.36''	90° 06'38.91''
Elevation (m)	12	10
Climate*	Warm subhumid (Awo)	Warm subhumid (Awo)
Temperature (�C)	26.3	27
Precipitation (mm)	1329.17	1292.5
Soil (Mayan classification)	k'áankab	tsek'el
Soil (International classification)	Luvisol	Rendzic Leptosol
Texture	Clay	NI



Table 2. Classification of soil macroinvertebrates found in *Aloe vera* crops of Shara and Blanca Flor. NI: Not identified.

Phylum	Class	Order	Family	Gender	Species	Stage	Individuals per m <sup>2</sup>	Morphospecies per hectare
<b>Shara</b>								
Annelida	Clitellata	Oligochaeta	Megascolocidae	<i>Polypheretima</i>	<i>Polypheretima elongata</i>	adult	80	1
				<i>Polypheretima</i>	<i>Polypheretima elongata</i>	juvenile	96	1
				NI	NI		80	1
			NI	NI	Annelido NI	juvenile	16	1
Arthropoda	Insecta	Blattodea	NI	NI	NI		64	1
				NI	NI	eggs	48	1
		Coleoptera	NI	NI	NI	adult	48	2
				NI	NI	larvae	256	1
				NI	NI		336	1
		Diptera	NI	NI	NI		16	1
		Hemiptera	NI	NI	NI		16	1
		Hymenoptera	Formicidae	NI	NI		2016	5
			Avispidae	NI	NI		128	2
			Isopoda	NI	NI		144	1
			Isoptera	NI	NI		1920	1
			Orthoptera	NI	NI		16	1
			Pulmonata	NI	NI		48	1
	Myriapoda	Diplopoda	NI	NI	NI		64	2
		Chilopoda	NI	NI	NI		144	2
	Chelicerata	Aranae	NI	NI	NI		112	2
		Opiliones	NI	NI	NI		16	1
		Pseudoscorpionidae	NI	NI	NI		16	1
Mollusca	Gasteropoda	NI	NI	NI	NI		1088	4
<b>Total</b>							6752	34
<b>Blanca Flor</b>								
Annelida	Clitellata	Oligochaeta	Megascolocidae	<i>Polypheretima</i>	<i>Polypheretima elongata</i>	adult	512	1
				<i>Polypheretima</i>	<i>Polypheretima elongata</i>	juvenile	64	1
			Glossoscolocidae	NI	NI		112	1
			Pontoscolocidae	<i>Pontoscolex</i>	<i>Pontoscolex corethrurus</i>		80	1
			Acanthodrilidae	<i>Dichogaster</i>	<i>Dichogaster</i> sp1	juvenile	16	1
				<i>Dichogaster</i>	<i>Dichogaster</i> sp2	juvenile	16	1
				NI	Annelido NI	juvenile	48	1
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	NI	NI	NI	adult	64	2
		Hymenoptera	Formicidae	NI	NI		2240	7
			Blattodea	NI	NI		16	1
			Isoptera	NI	NI		240	1
			Isopoda	NI	NI		80	2
			Pulmonata	NI	NI		16	1
			Diptera	NI	NI		80	1
	Myriapoda	Diplopoda	NI	NI	NI		16	1
	Chelicerata	Aranae	NI	NI	NI		32	2
Mollusca	Gasteropoda	NI	NI	NI	NI		128	1
<b>Total</b>							3760	26

Table 3. Spatial distribution of: diversity and abundance of soil macroinvertebrates, chemical properties of the soil and plant size for the *Aloe vera* crop at Shara and Blanca Flor. Sh: Shara, Bf: Blanca Flor. \*NI: Not identified, P: Phosphorus, N: Nitrogen, OM: Organic matter.

Variable	Model	Nugget (C <sub>0</sub> )	SILL (C <sub>0</sub> +C)	Range (m) (A <sub>0</sub> )	R <sup>2</sup> (C/C <sub>0</sub> +C)
<b>Shara</b>					
<b>Soil</b>					
P (mg/kg)	Exponential	0.001	0.013	50.4	0.72
pH	Spherical	0.000001	0.000014	47.3	0.86
OM (%)	Spherical	0.00005	0.0005	57.3	0.74
N (%)	Nugget	0	-----	-----	0.03
<b>Soil macroinvertebrates</b>					
<b>Earthworms</b>					
<i>Polypheretima elongata</i>	Exponential	0.1	0.33	>100	0.73
<i>Polypheretima elongata</i> (juvenile)	Nugget	0.2	-----	-----	0
Megascolocidae	Nugget	0.18	-----	-----	0
Juvenile annelid NI Sh	Nugget	0.04	-----	-----	0
<b>Litter fragmenters</b>					
Aranae	Nugget	0.24	-----	-----	0
Blattodea	Nugget	0.01	-----	-----	0.01
Chilopoda	Spherical	0.003	0.25	33.4	0.61
Coleoptera	Nugget	0.12	-----	-----	0
Diplopoda	Exponential	0.006	0.15	36.6	0.3
Diplura	Nugget	0.47	-----	-----	0
Gasteropoda	Spherical	0.03	0.71	41.3	0.87
Hemiptera	Nugget	0.04	-----	-----	0
Hymenoptera	Exponential	0.008	0.02	>100	0.89
Isopoda	Exponential	0.11	0.74	>100	0.85
Isoptera	Nugget	0.0001	-----	-----	0.12
Coleoptera larvae	Nugget	0.001	-----	-----	0.05
Blattodea eggs	Nugget	0.09	-----	-----	0
Opilionidae	Nugget	0.04	-----	-----	0
Orthoptera	Nugget	0.04	-----	-----	0
Pseudoscorpionida	Nugget	0.0005	-----	-----	0
Pulmonata	Exponential	0.053	0.3	>100	0.41
<b>Density (ind.m<sup>-2</sup>)</b>					
Total density	Gaussian	0.011	0.2	31	0.82
Earthworms density	Nugget	0.04	-----	-----	0.13
Fragmenters density	Exponential	0.055	0.44	63.3	0.85
<b>Biomass (g.m<sup>-2</sup>)</b>					
Total biomass	Nugget	0.0007	-----	-----	0.07
Earthworm biomass	Spherical	0.0135	0.2	39.4	0.71
Litter fragmenters biomass	Nugget	0.0005	-----	-----	0.04
<b>Plant size</b>					
Number of shoots	Nugget	0.005	-----	-----	0.09
Number of leaves	Spherical	0.0001	0.0084	34.9	0.75
Leaf length (cm)	Nugget	0.0004	-----	-----	0.15
Leaf width (cm)	Spherical	0.0007	0.015	44.3	0.84
<b>Foliar analysis</b>					
N	Nugget	0.005	-----	-----	0
P	Nugget	0.0003	-----	-----	0
<b>Blanca Flor</b>					
<b>Soil</b>					
P (mg/kg)	Nugget	0.03	-----	-----	0
pH	Gaussian	0.00009	0.0001	>100	0.85
OM (%)	Spherical	0.01	0.07	>100	0.89
N (%)	Gaussian	0.001	0.003	>100	0.97
<b>Soil macroinvertebrates</b>					
<b>Earthworms</b>					
Megascolocidae	Nugget	0.18	-----	-----	0
<i>Polypheretima elongata</i>	Exponential	0.27	1.31	>100	0.73
<i>Polypheretima elongata</i> (juvenile)	Nugget	0.002	-----	-----	0
Glossoscolocidae	Spherical	0.004	0.18	36.3	0.89
<i>Pontascolex corethrurus</i>	Spherical	0.05	0.24	>100	0.99
Dichogaster sp1	Nugget	0.0005	-----	-----	0
Dichogaster sp2	Exponential	0.02	0.13	>100	0.55
Juvenile annelid NI Bf	Nugget	0.04	-----	-----	0
<b>Litter fragmenters</b>					
Aranae	Exponential	0.06	0.2	>100	0.79
Blattodea	Exponential	0.02	0.13	>100	0.55
Coleoptera	Nugget	0.0008	-----	-----	0
Diplopoda	Nugget	0.04	-----	-----	0
Diplura	Exponential	0.003	0.17	28.5	0.61
Gasteropoda	Nugget	0.02	-----	-----	0
Hymenoptera	Nugget	0.81	-----	-----	0
Isopoda	Exponential	0.09	0.48	>100	0.67
Isoptera	Exponential	0.19	0.45	>100	0.97
Coleoptera larvae	Exponential	0.07	0.43	>100	0.82
Pulmonata	Exponential	0.02	0.13	>100	0.55
<b>Density (ind.m<sup>-2</sup>)</b>					
Total density	Nugget	0.67	-----	-----	0
Earthworms density	Spherical	0.27	0.71	80.6	0.84
Litter fragmenters density	Nugget	0.74	-----	-----	0
<b>Biomass (g.m<sup>-2</sup>)</b>					
Total biomass	Gaussian	0.18	0.37	>100	0.85
Earthworms biomass	Gaussian	0.11	0.36	>100	0.98
Litter fragmenters biomass	Nugget	0.12	-----	-----	0
<b>Plant size</b>					
Number of shoots	Nugget	0.002	-----	-----	0
Number of leaves	Spherical	0.003	0.011	33.3	0.92
Leaf length (cm)	Nugget	0.0001	-----	-----	0.02
Leaf width (cm)	Gaussian	0.003	0.027	324	0.75

Figure captions

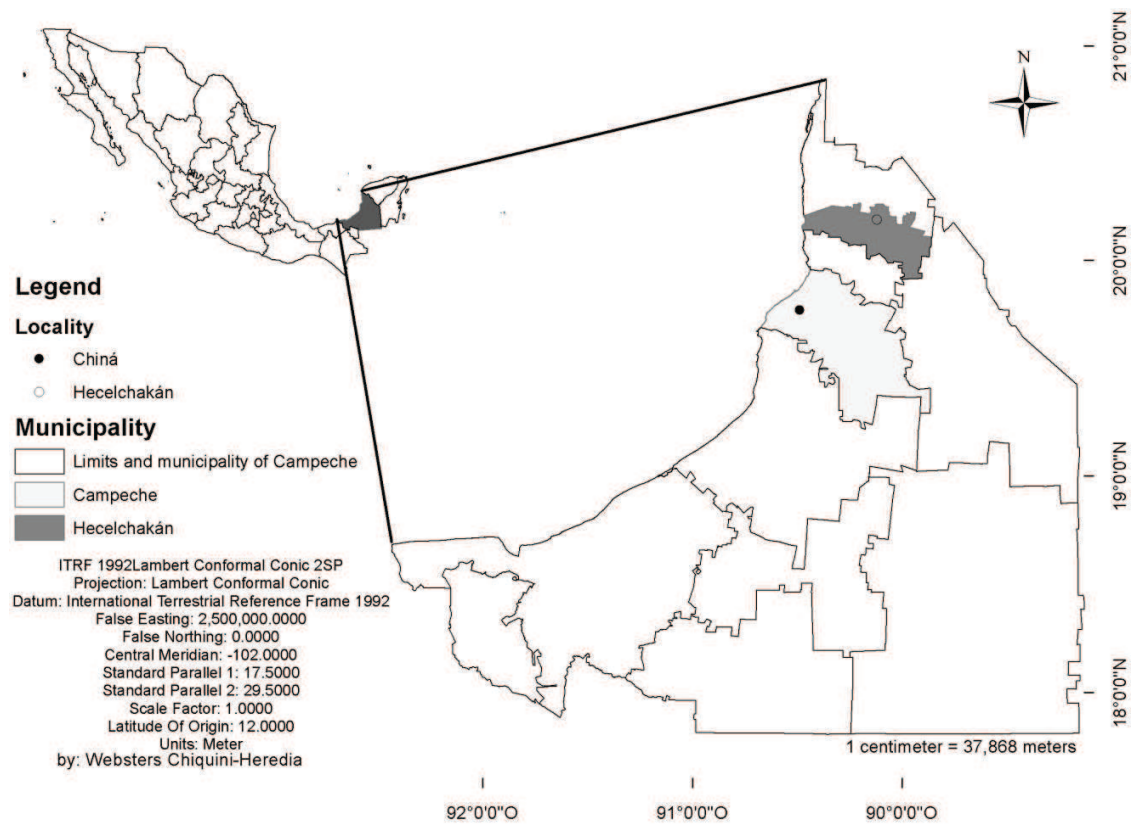


Figure 1. Location of the study sites

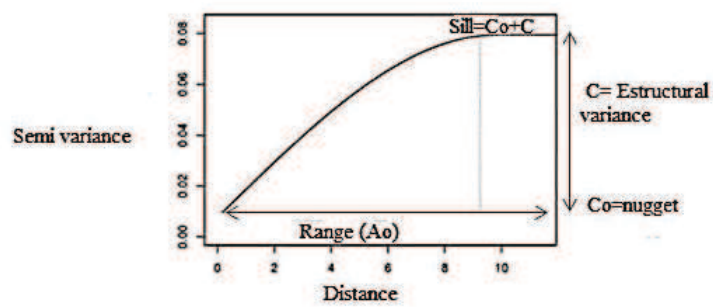


Figure 2. Parameters used in adjusting the semivariogram to mathematical function [38]

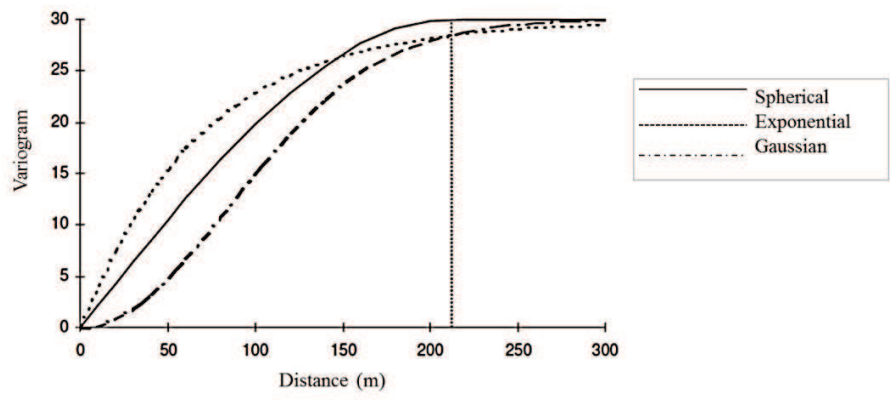


Figure 3. Common models of adjustment on variography [38]

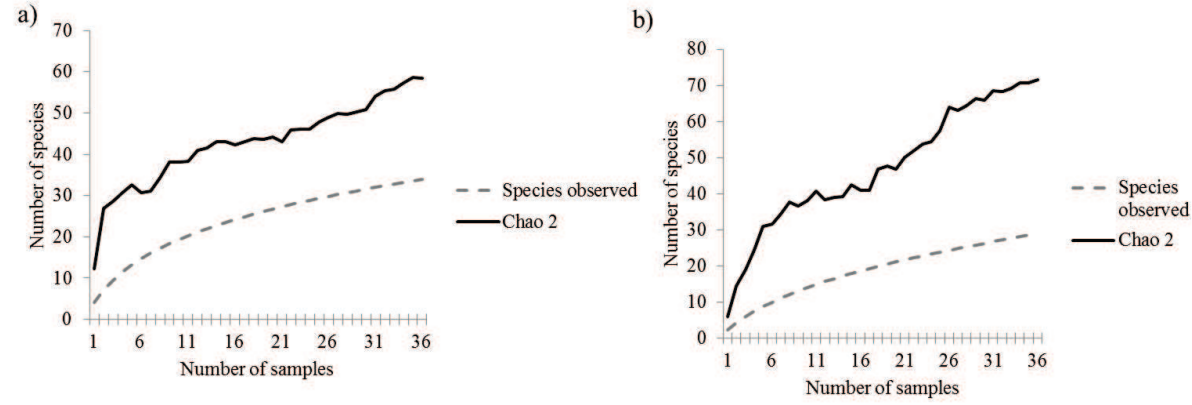


Figure 4. Species accumulation curve with Chao-2 estimator for a) Shara and b) Blanca Flor.

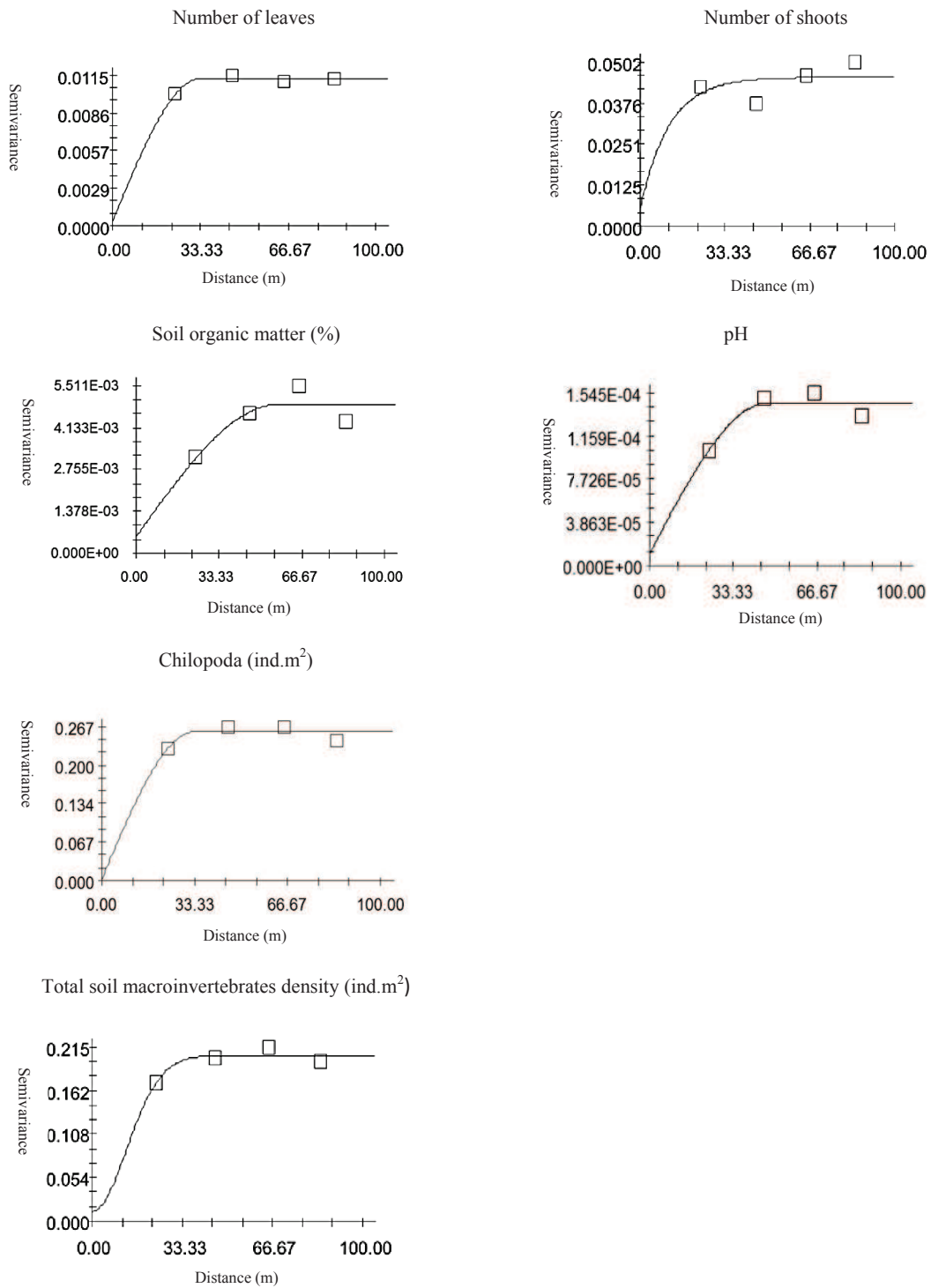


Figure 5. Variograms of variables at *A.vera* crop of Shara

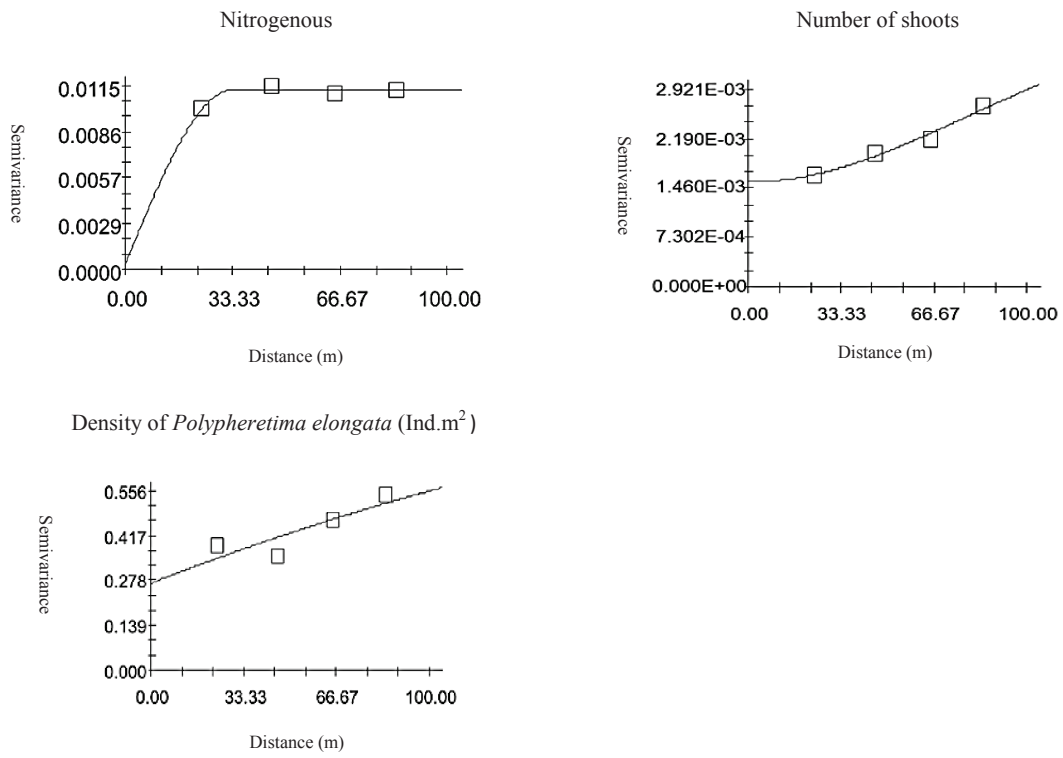


Figure 6. Variograms of variables at *A.vera* crop of Blanca Flor

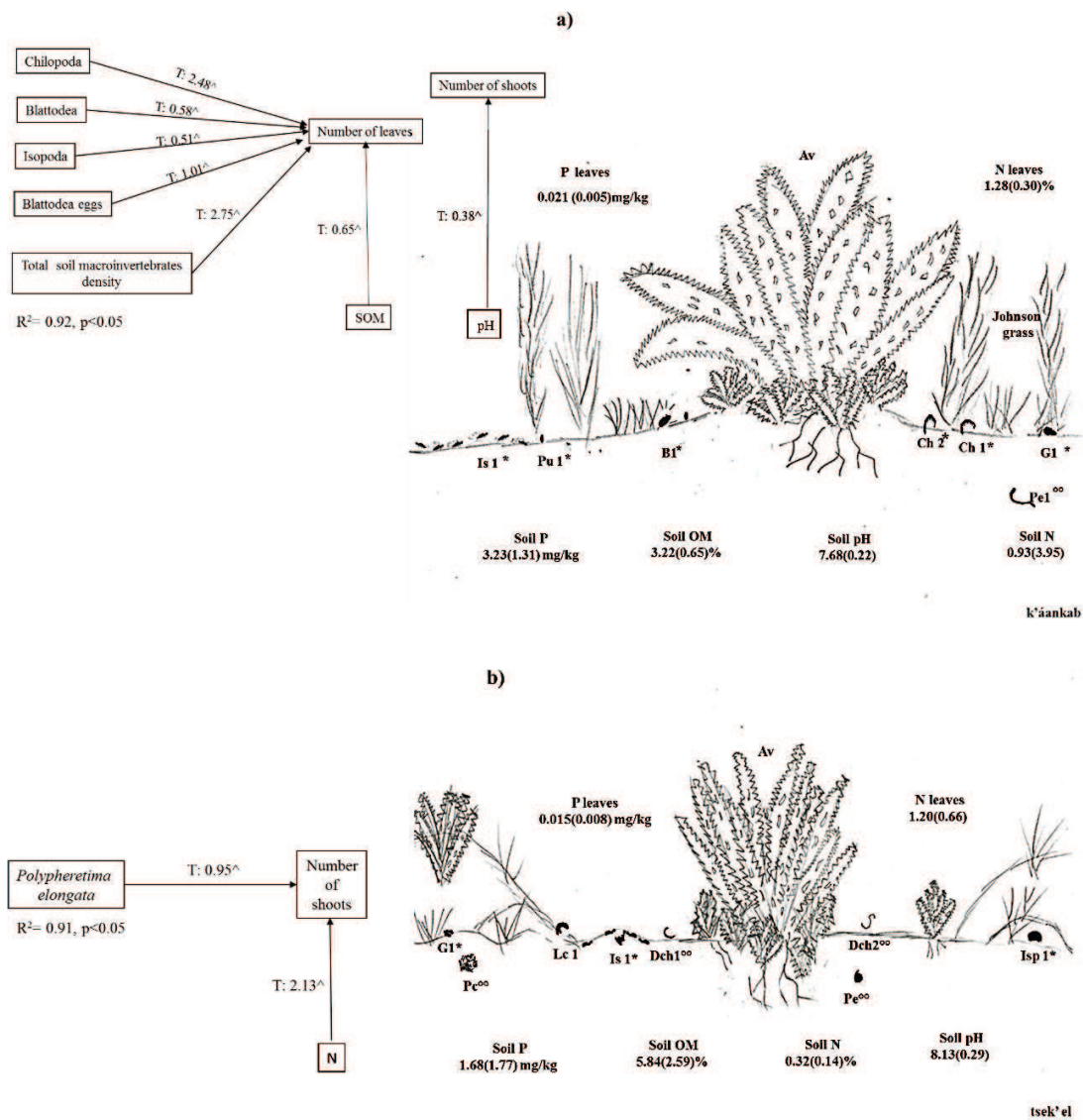


Figure 7. Path analysis among *Aloe vera* plants and biotic and abiotic soil components. Each number represent the morphospecie of particular group. All soil macroinvertebrates are per ind.m<sup>2</sup>, a) Shara, b) Blanca Flor, Av: *Aloe vera*, P: Phosphorus, SOM: Soil organic matter, OM: Organic matter, N: Nitrogen, Pe1:*Polypheretima elongata* 1, Pc: *Pontoscolex corethrurus*, Dh1: *Dichogaster* 1, Dh2: *Dichogaster* 2, B1: Blattodea1, Is 1: Isoptera 1, Ch 1: Chilopoda 1, Ch 2: Chilopoda 2, G1: Gasteropoda 1, Isp1: Isopoda 1, Lc 1: Coleoptera larvae, Pu1: Pulmonata 1, \*Litter fragmenters: <sup>oo</sup>Ecosystem engineers, <sup>^</sup>: Significance p<0.05.

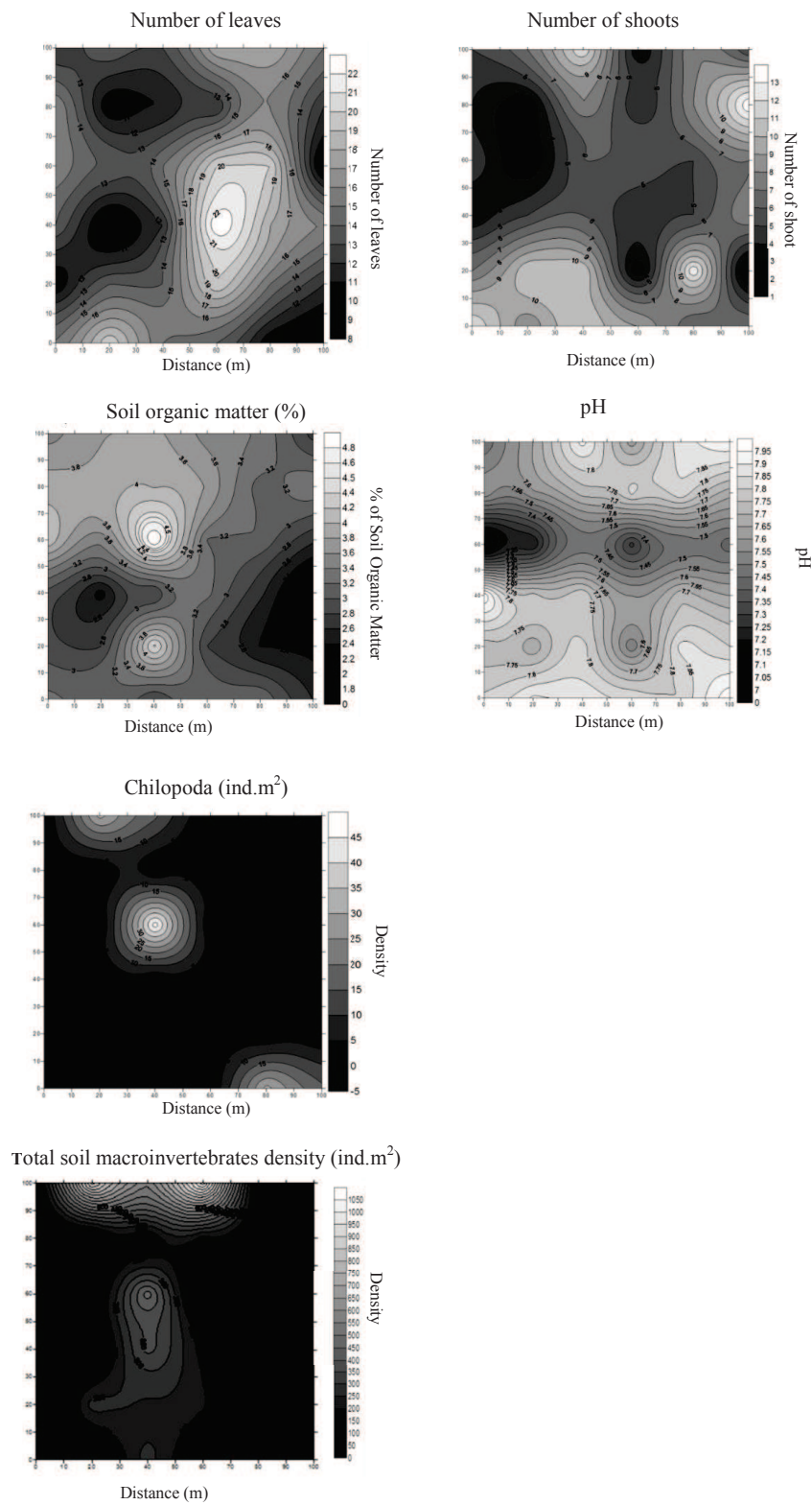


Figure 8. Contour maps of variables at *A.vera* crop of Shara.



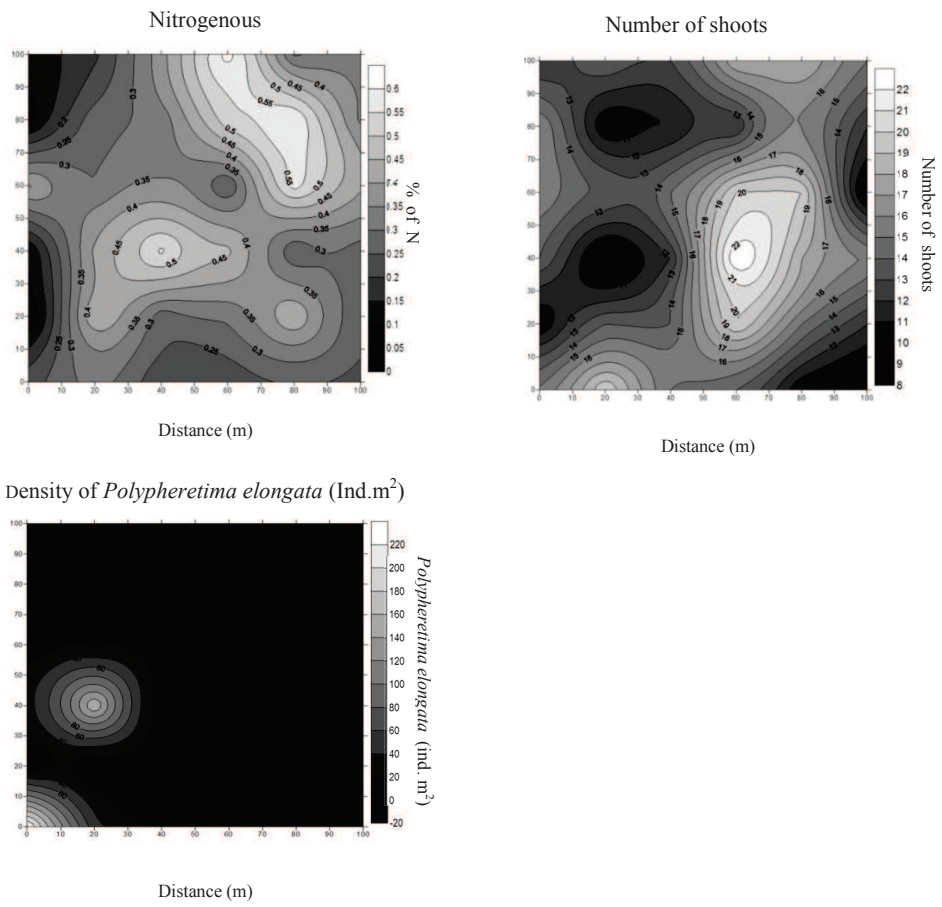


Figure 9. Contour maps of variables at *A. vera* crop of Blanca Flor

## References

- [1] Álvarez-Solís J D, Gómez-Velasco D A, León-Martínez N S, Gutiérrez-Miceli F A, Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz, *Agrociencia* 44, (2010) 575-586.
- [2] Anderson J M, Ingram J S, *Tropical Soil, Biology and Fertility: A handbook of method*. Wallingford: CAB International. Wallingford, 1993.
- [3] Barros A E, *Effet de la Macrofaune sur la Structure et les Processus Physiques du Sol de Pâturages Dégradés d'Amazonie*, PhD Thesis, University of Paris VI, Paris (1999) 129.
- [4] Bautista F, Palacio G, *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología, México, D.F, 2005.
- [5] Benckiser G, *Fauna in soil ecosystem*. Marcel Dekker. New York, NY, USA, 1997.
- [6] Bengtsson J, Disturbance and resilience in soil animal communities. *European Journal of Soil Biology* 38, (2002) 221-227
- [7] Berril S J, Sudduth K A, Borgelt S C, Comparison of sensors and techniques from crop yield mapping. *Computers and Electronics in Agriculture* 14 (1996) 215-223.
- [8] Borror D J, White R E, *A Field Guide to Insects America North of México*. The Peterson Field Guide Series. United States of America, 1970.
- [9] Brown G G, Pashanasi B, Villenave C, Patrón J C, Senapati B K, Giri S, Barois I, Lavelle P, Blanchart E, Blakemore R J, Spain A V, Boyer J, Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: Lavelle, P., Brussaard, L., Hendrix, P.F. (Eds.), *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*. CAB International, Wallingford (1999) 87–147.
- [10] Brown G G, Barois I, Lavelle P, Regularion of organic matter dynamic and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domain. *Eur. J. Soil Biol.* 26 (2000) 177-198.
- [11] Brown W, Applying principles of community ecology to pest management in orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 7 (1999) 103–106.
- [12] Brussaard L, Pulleman M, Oue'draogo Mando, E Six A, Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. *Pedobiologia* 50 (2007) 447-462.

- [13]Brussard L, Soil fauna, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology* 9 (1998) 123-135.
- [14]Bueno-Villegas J, Los diplopodos en la selva alta de los Tuxtlas en *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*. Álvarez S J, y Naranjo G E, Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México (2003) 226-235.
- [15]Cahn, M D, Hummel, J W, Brouer B H, Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. *Soil Sci. Soc. Am. J* 58 (1994) 1240-1248.
- [16]Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, Parkin T B, Karlen Turco R F, Konopka A E, Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J* 58 (1994) 1501-1511.
- [17]Cambardella C, Karlen D, Spatial analysis of soil fertility parameters. *Precision Agriculture* 1 (1999) 5–14.
- [18]Chanatásig-Vaca C, Huerta E, Rojas P, Ponce-Mendoza A, Mendoza J, Morón A, Wal H. Van Der, Dzib-Castillo B, Efecto del uso de suelo en las hormigas (formicidae: Hymenoptera) de Tikimul, Campeche, México. *Acta zoológica mexicana* 2 (2011) 441–461.
- [19]Chust G, Pretus J L, Drucrot D, Bedòs A, Deharveng L, Response of soil fauna to landscape heterogeneity: determining optimal scales for biodiversity modeling. *Conservation Biology* 17 (2003) 1712-1723.
- [20]Contreras C C M, Respuesta de la sábila (*Aloe vera*) a diferentes densidades de siembra en la región centro del estado de Campeche. Licenciatura Thesis. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 5 Chiná, Campeche, 2001.
- [21]Coulis M, Bernard L. Gérard F, Hinsinger P, Plassard C, Villeneuve M, Blanchart E, Endogeic earthworms modify soil phosphorus, plant growth and interactions in a legume- cereal intercrop. *Plant Soil* 379 (2014) 149-160.
- [22]CPS (Cadena Productiva Sábila) (2009) <https://sites.google.com/site/cadenaproductivasabilacolombia/>. (accessed 04.04.13).
- [23]Crist S, The Spatial Distribution of Termites in Shortgrass Steppe: A Geostatistical Approach. *Oecologia*, Vol. 114, No. 3 (1998) pp. 410.
- [24]De la Rosa I, Negrete-Yankelevich S, Distribución espacial de la macrofauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal en la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México. *Rev. Mex. Biodivers* 83 (2012) 201–215.
- [25]Decaëns T, Macroecological patterns in soil communities, *Global Ecology and Biogeography* 19 (2010)

- 287-302.
- [26]Decaëns T y Rossi J P, Spatio temporal structure of earthworm community in a tropical pasture. *Ecography* 24 (2001) 671-682.
- [27]Decaëns T, Jiménez J J, Gioiac C, Measey G J, Lavelle P, The values of soil animals for conservation biology. *Eur J Soil Biol* 42 (2006) 23-38.
- [28]Decaëns T, Jiménez JJ, Earthworms communities under an agricultural intensification gradient in Colombia. *Plant and Soil*. 240 (2002) 133-143.
- [29]Edwards C, *Earthworm Ecology*, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL 2004.
- [30]Edwards C A, Bohlen P J, *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman and Hall, London, 1996.
- [31]Ettema, C.H., Wardle D A, Spatial soil ecology. *Trends Ecol. Evol* 17 (2002) 177–183.
- [32]Feijoo A, Carvajal A f, Zuñiga M C, Quintero H, Fragoso C, Diversity and abundance of earthworms in land use systems in central-western Colombia. *Pedobiologia, International Journal of soil Biology* (2011) 69-75.
- [33]Fragoso C, Lavelle P, The earthworm community of a Mexican tropical rainforest (Chajul, Chiapas). In *On Earthworms* (A. M. Bonvicini and O. Omodeo, Eds.) Mucchi, Modena (1987) 281-297.
- [34]Fragoso C, y Rojas P, Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassicitellata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85 (2014) 197–207.
- [35]Franco-Salazar V A, Véliz J A, Rojas D A L, Eco fisiología de *Aloe Vera* (L.) Burm. F. En Guayacán, Península de Araya, estado Sucre, Venezuela. *Interciencia* 37 (2012) 444-450.
- [36]Fuentes-Carvajal A, Véliz J A, Imery B J, Efecto de la deficiencia de macronutrientes en el desarrollo vegetativo de *Aloe vera*. *Interciencia* 31 (2006) 116-122.
- [37]Galicía L, Zarco A, El concepto de escala y la teoría de las jerarquías en ecología. *Ciencias* 67 (2002) 34–40.
- [38]García D, La escala y su importancia en el análisis espacial. *Ecosistemas* 3 (2006) 7-9.
- [39]Giller K E, Beare M H, Lavelle P, Izac A M, Swift M J, Agricultural intensification, soil biodiversity and agrosystem function. *Appl. Soil Ecol* 6 (1997) 3-16.
- [40]Gomot A, Gomot L, Boukraa S, Bruckert, Influence of soil on the growth of the land snail *Helix aspersa*: an experimental study of the absorption route for the stimulating factors. *Journal of Molluscan Studies* 55 (1989) 1-7.

- [41] Hallaire V, Curmi P, Duboisset A, Lavelle P, Pashanasi B, Soil structure changes induced by the tropical earthworm *Ponstoscolex corethrurus* and organic inputs in a Peruvian ultisol. *Eur.J.Soil Biol.* 36 (2000) 35-44.
- [42] Hammer O, Harper D A T, Ryan P D, PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electrónica* 4(1) (2001) 9.
- [43] Hernández P, Fernández R, Novo M, Trigo D, Díaz-Cosín D J, Geostatistical and multivariate analysis of the horizontal distribution of an earthworm community in El Molar (Madrid, Spain). *Pedobiología* 51(1) (2007) 13–21.
- [44] Hernández S L, Delgado C M C, Espadas M C, Métodos de Interpolación espacial y geo estadística en Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F, 2011.
- [45] Huerta E, La macrofauna del suelo y su potencial de manejo para el mejoramiento de la calidad del suelo., In: Bautista, F., Palacio, G. (Eds.), *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales.* Universidad Autónoma de Campeche. Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. México, D.F (2005) 259-268.
- [46] Huerta E, Kampichler C, Geissen V, Ochoa-Gaona S, de Jong B, Hernández-Daumás S, Towards an ecological index for tropical soil quality based on soil macrofauna. *Pesq. agropec. bras* 44(8) (2009) 1056-1062.
- [47] Huerta E, Rodríguez J, Castillo I, Montejo E, Cruz M de la, García R, Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana* 26 (2008) 171–181.
- [48] Huerta E, Valier O, Romero D, Jarquin A, Efecto de tres especies de lombrices en la fertilidad del suelo y el crecimiento inicial del maíz (*Zea mays*). *Acta zoológica mexicana* (2010) 219–226.
- [49] Huerta E, Van Der Wal H, Soil macroinvertebrates' abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *European Journal of Soil Biology* 50 (2012) 68–75.
- [50] IS, Stat, Statistica. 7, 2004.
- [51] James W S, An illustrated key to the earthworms of the Samoan Archipelago (Oligochaeta: Glossoscolecidae, Megascolecidae, Moniligastridae). *Micronesica* 37(1) (1994) 1-13.

- [52] Jiménez J J, Rossi J P, Lavelle P, Spatial distribution of earthworms in acid-soil savannas of the eastern plains of Colombia. *Appl. Soil Ecol* 17 (2001) 267–278.
- [53] Jones C G, Lawton J H, Shachak M, Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69 (1994) 373-386.
- [54] Klemens E, Stierhof T, Dauber J, Kreimes K, Wolters V, On the quality of soil biodiversity indicators: abiotic and biotic parameters as predictors of soil faunal richness at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98 (2003) 273-283.
- [55] Laakso J, Setälä H, Nest mounds of red wood ants (*Formica quilonia*) Hot spots for litter-dwelling earthworms. *Oecologia* 111 (1997) 565–569.
- [56] Laakso J, Setala H, Palojarvi A, Influence of decomposer food structure and nitrogen availability on plant growth. *Plant and Soil* 225(1-2) (2000) 153-165.
- [57] Lal R, Tropical ecology and physical edaphology. John Wiley. London, UK, 1989.
- [58] Laossi K R, Noguera D C, Barot S, “Earthworm-mediated maternal effects on seed germination and seedling growth in three annual plants,” *Soil Biology and Biochemistry* 42 (2) (2010) 319–323,
- [59] Lavelle P, The soil system in the humid tropics. *Biology International* 9 (1984) 2-17.
- [60] Lavelle P, Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biol. Int* 33 (1996) 3-16.
- [61] Lavelle P, Blanchart Martin A, Spain A V, Martin S, Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. 157-185. In: Lal, R., Sanchez, P.A. (eds.). *Myths and science of soils in the tropics Special Publication 29*. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA, 1992.
- [62] Lavelle P, Spain A, *Soil Ecology*. Kluwer Scientific Publications. Amsterdam, 2001.
- [63] Legendre P, Legendre L, *Numerical Ecology*. Elsevier. Amsterdam, 1998.
- [64] Levan M A, Stone E L, Soil modification by colonies of black meadow ants in a New York old field. *Soil science Society of America Journal* 47 (1983) 1192-1195.
- [65] Mackay A D, Syers J K, Springett J A, Gregg P E H, Plant availability of phosphorus in superphosphate and a phosphate rock as influenced by earthworms. *Soil Biol. Biochem* 14 (1982) 281-287.
- [66] Mando A, Brussard L, Stroosnijder L, Brown G, Managing termites and organic resources to improve soil productivity in the Sahel. *Organized Jointly* (2002) 1–7.
- [67] Marchetti A, Piccini C, Francaviglia R A, Mabit L, Spatial Distribution of Soil Organic Matter Using Geostatistics: A Key Indicator to Assess Soil Degradation Status in Central Italy. *Pedosphere* 22(2) (2012)

230–242.

- [68] Marín E, y Feijoo A, Efecto de la labranza sobre macroinvertebrados del suelo en vertisoles de un área de Colombia. *Terra Latinoamericana* 25(3) (2007) 297–310.
- [69] Moreno C E, Manual para medir la biodiversidad. Manuales y tesis SEA. Zaragoza, España, 1, 2001.
- [70] Naranjo-García E, Malacofauna de la hojarasca en: Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México. Álvarez S J, y Naranjo G E, Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México (2003) 141-161.
- [71] Negrete-Yankelevich S, Fragoso C, Newton A C O, Heal W, Spatial patchiness of litter, nutrients and macroinvertebrates during secondary succession in a tropical montane cloud forest. *Plant and Soil* 286 (2006) 123-139.
- [72] Neher D A, Soil community composition and ecosystem processes. *Agroforestry. System* 45 (1999) 159-185.
- [73] Núñez M A, Manual de técnicas agroecológicas. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México, D.F, 2000.
- [74] Palm J, Van Schaik N L M B, Schröder B, Modelling distribution patterns of anecic, epigeic and endogeic earthworms at catchment-scale in agro-ecosystems. *Pedobiologia* 56 (2013) 23-3.
- [75] Pashanasi B, Estudio comparativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonia peruana. *Folia amazónica* 12 (1-2) (2001) 75.
- [76] Petal J, Kusinka A, Fractional composition of organic matter in the soil of ant hills and of the environment of meadows. *Pedobiologia* 38 (1994) 493-501.
- [77] Peterson H, Luxton M, A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos* 39(3) (1982) 287-388.
- [78] Pulgarin C G, Estudio bromatológico, microbiológico, foliar y de fertilidad de los suelos en los cultivos de *Aloe vera Barbadosensis* Miller en tres fincas del departamento de Risaralda. Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira, 2010.
- [79] Rangel A F, Thomas J J, Jiménez T, Decaens, Nitrogen dynamics associated with earthworm casts of *Martiodrilus carimaguensis* in a Colombian Savanna Oxisol. 195-198. In: Jimenez J., Thomas R. (Eds.), Soil Macroinvertebrates communities in the neotropical savannas of Colombia. CIAT. Colombia, 2001.
- [80] Reznikova Z, Dorosheva H, Impacts of red wood ants *Formica Polyctena* on the spatial distribution and behavioural patterns of ground beetles (Carabidae). *Pedobiologia* 48 (2004) 15-21.

- [81] Rojas F P, El papel de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en la dinámica edáfica. pp. 197-216 en Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México. Álvarez S J, y Naranjo G E, Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México, 2003.
- [82] Rossi J P, Huerta L E, Fragoso C, Lavelle P, Soil properties inside earthworm patches and gaps in a tropical grassland (La Mancha, Veracruz, Mexico). *European Journal of Soil Biology* (2006) 284–288.
- [83] Rossi J-P, Lavelle P, Albrecht A, Relationships between spatial pattern of the endogeic earthworm *Polypheretima elongata* and soil heterogeneity. *Soil Biological Biochemistry* 29 (1997) 485–488.
- [84] Rossi R E, Mulla D J, Journel A G, y Franz E H, Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 62 (1992) 277-314.
- [85] Rueda D, Negrete S, Fragoso C, Escala de independencia espacial de la mesofauna edáfica en un transecto bosque-pastizal del Jardín Botánico “Francisco Javier Clavijero.” *Acta zoológica mexicana* 27 (2011) 191–195.
- [86] Ruiz N, Lavelle P, Jiménez J, Soil macrofauna field manual. Institut de recherche pour le développement. FAO. Roma, Italia, 2008.
- [87] Ruiz-Cobo D, Feijoo A, Rodríguez C, Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso del terreno en la cuenca del Río Otún, Colombia. *Acta zoológica Mexicana* 2 (2010) 165-178.
- [88] Saks Y, Ish-shalom-Gordon N, *Aloe vera* L., a potential crop for cultivation under conditions of low-temperature winter and basalt soils. *Industrial Crops and Products* 4(2) (1995) 85–90.
- [89] Scheu S, Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiologia* 47 (2003) 846-856.
- [90] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Análisis de Agua-Determinación De Fosforo Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas: Método Espectrométrico de Molibdato de Amonio. NMX-AA-029/1-SCFI-2008, 2008.
- [91] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), NMX-AA-026-SCFI-2010. Análisis de Agua-Determinación de Nitrógeno Total Kjeldahl en Aguas Naturales, Residuales y Residuales tratadas. NMX-AA-026-SCFI-2010, 2008.
- [92] Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, 2000.
- [93] Sharpley A N, Syers JK, Potential role of earthworm casts for phosphorus enrichment of run-off waters.



- Soil Biol. Biochem 8 (1976) 341-346.
- [94] Svensson B H, Bostrom U, Klemdtson L, Potential for higher rates of denitrification in earthworm casts than the surrounding soil. Biol. Fertil. Soils 2 (1986) 147-149.
- [95] Syers J K, Sharpley A N, Keeney D R, Cycling of nitrogen by surface-casting earthworms in a pasture ecosystem. Soil Biol. Biochem 11 (1979) 181-185.
- [96] Trueba D P, Cairo V G, Tcherva T, Microartrópodos asociados a la hojarasca de un bosque semideciduo de Bacunayagua, Matanzas, Cuba. Revista Biología 19 (2005) 57-64.
- [97] Varón J, Álvarez K, Torres J, López Y, Guerrero G, Algunos parámetros de referencia del suelo y del mucílago de *Aloe vera* cultivado en el corregimiento de Colombia Risaralda y en el municipio de Montenegro Quindió. Scientia et Technica 13 (2007) 145-149.
- [98] Velásquez E, Lavelle P, Amézquita E, Barrios E, Andrade M, A multifunctional indicator of soil quality. Soil Biology and Biochemistry 39 (2007) 3066-3080.
- [99] Webster R, Oliver M, Geostatistics for environmental science. John Wiley and Sons, Toronto, Canadá, 2001.
- [100] Wild A, Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi-Prensa. Madrid. España, 1992.

## Highlights

1. The highest diversity of soil macroinvertebrates was in a non-tilled *A. vera* crop.
2. *A.vera* leaves were correlated with SOM and soil macroinvertebrates density in non tilled system
3. In tilled crop *A.vera* leaves were correlated with N and *Polypheretima elongata* density

### CAPÍTULO 3.

#### VI. DISCUSIÓN GENERAL

**Evaluación del cultivo de sábila.** La discusión frente a la evaluación del cultivo de sábila se asume con base en los trabajos realizados por Contreras (2001 y 2013), Medel y Ortiz (2006), Álvarez (2007), Moreno (2007), Ávila y Díaz (2010), Pérez *et al.*, (2010), Rodríguez (2012) y SIAP (2013) tomándose como referencia debido a que se realizaron por hectárea en sitios con condiciones topográficas y de suelo en los estados de San Luis Potosí y Baja California en México y Colombia similares a las descritas en esta investigación.

Se realizó una evaluación descriptiva de las características físicas del terreno, económicas del cultivo y ecológicas del suelo en dos plantaciones de sábila en la porción Centro Norte de Campeche México. Concluyendo que en la plantación de sábila ubicada en Shara, las plantas poseen características físicas (largo de las hojas) favorables para su comercialización en la industria farmacéutica y cosmética (hojas con tamaño >50 cm). El cultivo de sábila ubicado en Blanca Flor, presentó características topográficas y climáticas favorables para el desarrollo de las plantas, sin embargo, no se llevaron a cabo las prácticas de manejo adecuadas, que fomentaran el desarrollo de las plantas: no se realizó una renovación de las plantas, no se aplicaron abonos orgánicos y no se observó un riego constante (Rodríguez, 2012).

En el año 2013 Campeche fue uno de los estados con mayor rendimiento por hectárea (60 ton ha<sup>-1</sup>) en la república mexicana, superando a estados como Morelos y Yucatán,

principales productores de sábila en México (Rodríguez, 2012; SIAP, 2013). En las plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor, los costos de inversión fueron más elevados que en otras partes de Latinoamérica (Álvarez, 2007). La plantación de sábila ubicada en Shara, es un cultivo mecanizado y con sistema de riego por goteo, que origina un elevado costo de inversión (\$80,038.26), mayor al estimado en cultivos de sábila de Latinoamérica (\$16,000.00, Medel y Ortiz, 2006). En México los costos durante el establecimiento del cultivo son más altos que en el resto del mundo, debido a que tienen mayor producción y se origina un elevado consumo de mano de obra y mantenimiento de maquinaria. En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, las condiciones del suelo (pedregoso y poco profundo) no permitieron el uso de maquinaria por lo que los costos de producción aumentaron en relación al número de jornaleros empleados, siendo este rubro uno de los más elevados durante el proceso de producción en los cultivos de sábila según Álvarez (2007).

De acuerdo con los indicadores económicos B/C, VAN y TIR se confirmó la hipótesis de que el cultivo de sábila es una actividad económica rentable en el estado de Campeche. Se observó, que los costos de producción durante el primer año fueron superiores a las ganancias y partir del tercer año se obtuvieron ganancias superiores a los costos totales (Medel y Ortiz, 2006). A partir del tercer año la planta alcanzó su mayor desarrollo vegetativo y se le realizaron hasta 5 cortes anuales, con un rendimiento anual de 30 a 40 ton ha<sup>-1</sup> en Blanca Flor y de hasta 90 ton ha<sup>-1</sup> en Shara (Ávila y Díaz, 2010).

En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, los indicadores económicos (B/C, VAN y TIR) indicaron ganancias durante todo el ciclo productivo de la sábila (7 años) de

hasta \$2,027.67 por ha<sup>-1</sup>. Al realizarse la entrevista con los productores un problema planteado fue que no contaron con el apoyo necesario por parte del gobierno, ni con la asesoría técnica que les permita incrementar sus ganancias.

En las plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor, no se aplicaron fertilizantes químicos que representaran un gasto para el productor como en otros países del mundo (Moreno, 2007). La temperatura presente en las plantaciones de sábila ubicadas en Shara (26.3°C) y en Blanca Flor (27°C), aunado a las condiciones del suelo no propiciaron el desarrollo de plagas y/o enfermedades más comunes. (Moreno, 2007). Bajo estas condiciones la sábila aumentó su valor comercial en el mercado internacional (Gómez *et al.*, 2001).

Se observó que durante los meses de febrero y marzo la precipitación disminuyó y la evapotranspiración aumentó en las dos plantaciones. En la plantación de sábila ubicada en Shara el riego fue constante durante todo el año y en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, la cantidad de riego suministrada estuvo relacionada con la época del año y la demanda del producto en el mercado. Este resultado sugiere que en los meses con menor precipitación la cantidad de riego aumenta durante el día, pero, las plantas no pueden aprovechar en su totalidad el agua suministrada. Las plantas de sábila debido a su metabolismo tipo CAM cierran sus estomas durante el día para evitar la pérdida de agua (Pérez *et al.*, 2010), ocasionando que la mayor parte del agua suministrada se pierda (Cahn *et al.*, 1994; Allen *et al.*, 2006). De acuerdo con Silva *et al.*, (2010) el riego a las plantas de sábila debe hacerse de noche y en proporción al

20% del total de la evapotranspiración presente en el cultivo, situación que no pudo observarse en las dos plantaciones.

El porcentaje de pedregosidad presente en la plantación de sábila ubicada en Shara (0-5%) y en Blanca Flor (70-90%), así como la profundidad del suelo en Shara (50-100 cm) y Blanca Flor (10-15 cm) no afectaron el establecimiento de las plantas de sábila, debido a que es una planta que se adapta a diferentes condiciones ambientales (Ávila y Díaz, 2002). La evaluación de tierras indicó que en Blanca Flor, las características más limitantes fueron la pedregosidad y la profundidad de los suelos, sin embargo, si se combinan con prácticas de manejo como: fertilización orgánica y riego proporcional con la evapotranspiración las plantas de sábila pueden tener hojas más largas y de mayor valor comercial (Rodríguez, 2012)

Se observó una alta densidad de hijuelos por planta madre: en Shara 11.16 (4.42) y en Blanca Flor 12.60 (8.43), en el cultivo de sábila se sugiere tener pocos hijuelos, así la planta madre tendrá más espacio para crecer, aumentar el tamaño de sus hojas y la cantidad de gel en su interior (Rodríguez *et al.*, 2002). Con distancias de plantación <40 cm también se reducirían los gastos de producción debido a que se disminuye la cantidad de deshierbes anuales (Contreras, 2001) y se generan interacciones competitivas por espacio y luz entre las plantas que disminuirían el número hijuelos (Pedroza *et al.*, 2004; Añez y Vásquez, 2005).

En este estudio se observó que sobre el número de hijuelos influyó directamente un pH 7.75 (T: 0.38,  $p < 0.05$ ) y 0.45% de N en el suelo (T.2.13,  $p < 0.05$ ), este resultado difiere a

lo encontrado por García-Hernández *et al* (2006) quienes observaron que 0.6% de N en suelo fomentó el crecimiento de las plantas. Al respecto se conoce que el N no asimilado por las plantas de sábila genera una contaminación en el suelo y los mantos freáticos (Dalal *et al.*, 2003), situación que podría suceder en las plantaciones de sábila ubicadas en Shara, en donde existen concentraciones de N en el suelo de hasta 24%.

El mayor número de hojas por planta madre se presentó en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor 10.59 (2.68) similar a lo observado por Hernández y Villanueva (1993) en cultivos de sábila de San Luis Potosí ubicados en suelos calcáreos y lugares con poca pendiente (3-8%) como los de las plantaciones de sábila evaluadas. En la plantación de sábila ubicada en Shara, se observó que el número de hojas por planta madre depende directamente de la MO en el suelo (T: 0.65,  $p < 0.05$ ).

En la plantación de sábila ubicada en Shara, la cantidad de MO (1.82 a 5.06%) en el suelo se relacionó con la aplicación heterogénea de abonos orgánicos por medio del sistema de riego y en Blanca Flor (0.78 a 11.03%) se relacionó con la vegetación circundante a la plantación. Debido a que las plantas de sábila tienen una raíz pequeña no es fácil la obtención de los minerales necesarios para desarrollarse desde otros lugares (Hernández y Villanueva, 1993). En la plantación de sábila ubicada en Shara los resultados (1.82 a 5.06%) sugieren que la aplicación de abonos orgánicos no se hace de acuerdo con las necesidades de las plantas, por consecuencia, no todas las plantas puedan ser comercializadas. Cuando se aplican dosis de abonos orgánicos de acuerdo con las necesidades de cada planta se evita la contaminación de los mantos freáticos (Berril *et al.*, 1996; Cambardella y Karlen, 1999; Hernández *et al.*, 2011). En el

estado de Campeche, la retención de nutrientes y la eliminación de los residuos en el suelo, se producen de manera diferente a la de otras regiones, debido a las características del suelo (suelo muy superficial sobre material calcáreo, Bautista y Palacio, 2005).

De igual importancia fue determinar el largo y ancho, en las hojas de sábila (CPS, 2009). El largo de las hojas en la plantación de sábila ubicada en Shara 55.38 (6.46) cm y en Blanca Flor 48.62 (8.19) cm una característica favorable para la comercialización (Guzmán, 2012). Cuantificar el N y P en las hojas, es una forma indirecta de conocer el contenido proteico y mineral del gel (Guzmán, 2012). La concentración de N en las hojas de sábila de Shara 1.28 (0.30) % y Blanca Flor 0.021(0.005) % indicó un bajo contenido de N en las hojas. Cuando las hojas de sábila no cumplen con una concentración de N >2.4% no es fácil comercializarlas (Guzmán, 2012; Pulgarin, 2010).

En la presente investigación no se observó una correlación directa de la cantidad de N en las hojas con la cantidad de N en el suelo, sin embargo, algunos estudios indican que cuando la sábila no tiene un suministro adecuado de N por parte del suelo, los hidratos de carbono se depositan en las células vegetativas y se forma menos protoplasma hidratado que origina una menor cantidad de N y hojas pequeñas (Calzada y Pedroza, 2003). Situación que podría ser la causa de los problemas de comercialización de las plantas de sábila en Blanca Flor.

La concentración de P en las hojas de las plantas de sábila en Shara 1.20 (0.66) % fue mayor al reportado por la literatura para comercialización (0.12 mg kg<sup>-1</sup>) y en Blanca



Flor las plantas de sábila presentaron concentraciones críticas de P en las hojas  $0.015(0.008) \text{ mg kg}^{-1}$ . Este resultado en Blanca Flor se relacionó con la distribución heterogénea del P ( $0.16- 9.97 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y con su disponibilidad en el suelo (Natr, 1972; Marschner, 1995). La concentración de P en el suelo que fomenta un buen desarrollo vegetativo en sábila es de  $0.26 \text{ mg kg}^{-1}$ , concentraciones menores de P producen plantas grandes pero de poca calidad (Rodríguez *et al.*, 2002; Fuentes-Carvajal *et al.*, 2012). Al respecto se conoce que un pH de 8 a 9 como el observado en suelos calcáreos como los de la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, influyó negativamente en la disponibilidad del P para las plantas, es decir, este factor pudo ser la causa de que se presente deficiencia de P en las hojas (Benton, 2003).

**Distribución espacial de macroinvertebrados del suelo.** La variabilidad espacial de la fertilidad del suelo está relacionada entre otros factores con el uso histórico del suelo (Cambardella y Karlen, 1999). En la plantación de sábila ubicada en Shara, el tipo de manejo mecanizado, riego y aplicación de abonos orgánicos generaron la concentración de pequeños parches ( $<60 \text{ m}$  del P, pH y MO) en el suelo. En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, no se aplicó abono de forma directa y el tipo de suelo no permitió la utilización de maquinaria, bajo tales características las propiedades físico-químicas del suelo presentaron un rango de distribución  $>100 \text{ m}$ . Los resultados expuestos sugieren que la variabilidad espacial es una característica intrínseca de cada plantación, su comportamiento es específico para cada condición ambiental, de uso y manejo de suelo (Jaramillo, 2012).

Los macroinvertebrados del suelo son organismos importantes en el estudio de la fertilidad, al intervenir en diferentes procesos de formación y relacionarse con la asimilación de micro y macroelementos por parte de las plantas (Lavelle, 1996; Ruiz *et al.*, 2008). Los macroinvertebrados del suelo rompen en pequeños trozos la MO para facilitar la descomposición con la ayuda de hongos y bacterias, con esta acción se da paso a la mineralización de los nutrientes orgánicos en nutrientes inorgánicos esenciales, para el crecimiento de las plantas (Barrios, 2007).

La presencia de los macroinvertebrados del suelo en un agroecosistema como la sábila, depende del tipo de manejo y condiciones físicas del terreno (Lavelle *et al.*, 1996; Ruiz *et al.*, 2008). Al cultivarse la sábila de forma orgánica se fomentó la presencia de una alta densidad ( $>100$  ind.m<sup>2</sup>) de macroinvertebrados del suelo. Similar a lo observado en huertos familiares y monocultivos de mango, piña, maíz y plátano en Tabasco (Huerta *et al.*, 2008). En las dos plantaciones de sábila, la mayor densidad de macroinvertebrados del suelo fue de los fragmentadores de la hojarasca: himenópteros e isópteros y en menor cantidad los órdenes Blattodea, Coleóptera, Diplura, Isópoda, Chilópoda, Aranae y Gasterópoda.

En la plantación de sábila ubicada en Shara, la fertilización orgánica amortiguó el efecto del laboreo sobre los macroinvertebrados del suelo. En agroecosistemas como el de la sábila, la falta de cobertura vegetal afectó la actividad de los macroinvertebrados del suelo y generó ambientes secos y de altas temperaturas (McColl, 1975). Los grupos de macroinvertebrados del suelo encontrados en la plantación de sábila ubicada en Shara fueron un indicador de suelos con labranza como lo señala Mando *et al.*, (2002). En un

cultivo con labranza mecanizada como el de la plantación de sábila ubicada en Shara, se alteró la estructura y la fertilidad del suelo al pasar la rastra (Bengtsson, 2002). La remoción del suelo por maquinaria ocasionó una mayor compactación, que contribuyó a acelerar los procesos de descomposición de la MO, al dejarla expuesta en las capas superficiales (Marín y Feijoo, 2007). Las condiciones de MO, altas temperaturas y condiciones semi húmedas combinadas con el tipo de manejo originaron que organismos como los himenópteros e isópteros se establecieran y distribuyeran en lugares en donde existió alimento y refugio para establecerse (Ruiz *et al.*, 2008).

Una alta riqueza de taxas o la presencia de determinados grupos de lombrices, puede revelar información importante acerca de la calidad del suelo (Klemens *et al.*, 2003). En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, el mayor aporte de biomasa fue de las lombrices 4.32 (10.35) g.m<sup>2</sup>, similar a la observada por Marín y Feijoo (2007) en ecosistemas con algún grado de perturbación. Las lombrices de tierra son algunos de los organismos más importantes de la fauna del suelo ya que con la construcción de sus galerías modifican la estructura y composición del suelo (Jones *et al.*, 1994).

En las plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor, los modelos que mejor se ajustaron a la distribución espacial de los macroinvertebrados del suelo fueron: exponencial, esférico y gaussiano. En estos modelos la distribución espacial fue de forma heterogénea y en formas de parches (Hernández *et al.*, 2007; Decaëns, 2010). La presencia de estos modelos de distribución espacial apoya la idea de que existen grupos de macroinvertebrados del suelo cuya distribución espacial se encuentra

asociada a diferentes recursos (De la Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012) entre ellos: plantas, fertilidad del suelo y temperatura (Edwards y Bohlen, 1996; Edwards, 2004).

Una de las hipótesis planteadas durante esta investigación fue que el tamaño de las plantas de sábila en las plantaciones ubicadas en Shara y Blanca Flor, está correlacionado espacialmente con las concentraciones de P total, pH, MO, N total, y abundancia y diversidad de macroinvertebrados del suelo. Con los análisis realizados (Path análisis) se observó que los macroinvertebrados del suelo sí influyeron directamente sobre el largo de las hojas y el número de hijuelos por planta madre.

En esta investigación se reportan por primera vez los efectos de las lombrices sobre las plantas de sábila. Se registró la presencia de *Polypheretima elongata* en las dos plantaciones de sábila, sin embargo, solo en la plantación ubicada en Blanca Flor tuvo en efecto directo sobre el número de hijuelos por planta madre (T: 0.95,  $p < 0.05$ ). En sábila, la distribución espacial de *Polypheretima elongata* se dio en forma de grandes parches (>100 m) asociados con el P en el suelo ( $r^2=0.3$ ,  $p < 0.05$ ). La distribución de *Polypheretima elongata* fue mayor al observado (60 m) por Lavelle (1984), Rossi *et al.*, (1997) y Huerta (2005) en pastizales de Veracruz. Este resultado sugiere que para *Polypheretima elongata* las prácticas de manejo realizadas por el agricultor en la plantación de sábila ubicada en Shara, como aplicación de abonos orgánicos y riego frecuente fueron los que determinaron su distribución.

Además de *Polypheretima elongata* se registraron a *Dichogaster* sp. y a *Pontoscolex corethrurus* que en México se han observado en ambientes perturbados de cultivos de piña, tierras en descanso y policultivos (Huerta *et al.*, 2005). La distribución de

*Dichogaster* sp se dio en parches >100 m, diferente a lo observado por Huerta (2005) que observó un rango de 20 m en lombrices epígeas como *Dichogaster* sp en pastizales del estado de Veracruz, México. Su distribución espacial *Dichogaster* sp., en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, sugiere que en cultivos de sábila esta especie prefiere habitar en lugares con pH básico como lo señala Rossi *et al.*, (1997) en cultivos de maíz.

Al igual que *Polypheretima elongata*, *Pontoscolex corethrurus* es una especie exótica que tiene una amplia tolerancia a diferentes rangos de pH (Fragoso *et al.*, 2001). En México *Pontoscolex corethrurus*, se ha registrado principalmente en ecosistemas manejados como cultivos de maíz, cacao, banana y yuca (Rossi *et al.*, 2006; Huerta *et al.*, 2010; Fragoso y Rojas, 2014). Su distribución en sábila sugiere la preferencia de suelos con pH medianamente alcalino y con alto contenido de MO como lo señala Pashanasi *et al.*, (1996). Al respecto Huerta *et al.*, (2010) han mencionado que *Pontoscolex corethrurus* es una especie que en la producción de maíz puede incrementar considerablemente la concentración de MO en el suelo, sin embargo, los efectos que tienen las lombrices sobre éste, dependen del tipo de cultivo, condiciones ambientales y tipo de suelo (Laossi *et al.*, 2010).

En la plantación de sábila ubicada en Shara, los fragmentadores de la hojarasca: Chilópoda, Diplópoda y Gasterópoda presentaron un rango de distribución pequeño (<50 m). Esta plantación de sábila es un ambiente perturbado que presentó poca diversidad vegetal y pocos nichos ecológicos para la macrofauna del suelo (Trueba *et al.*, 2005). En agroecosistemas, como el de la sábila los macroinvertebrados del suelo,

tienden a formar parches pequeños de distribución, asociados con las plantas y las propiedades físico-químicas del suelo (Negrete-Yankelevich *et al.*, 2006).

En el cultivo de sábila, se observó que el grupo de los fragmentadores de la hojarasca fueron los de mayor influencia sobre el tamaño de las plantas. En la plantación de sábila ubicada en Shara, los chilópodos influyeron de manera directa sobre el número de hojas de sábila ( $T=2.48$ ,  $p<0.05$ ). Estos organismos fragmentan la hojarasca y modifican la MO mediante la digestión. Con sus heces, se forman pequeños parches de componentes nitrogenados que estimulan la acción microbiana en el suelo (Bueno-Villegas, 2003) Con esta acción se estimula la descomposición vegetal, se acelera la formación de nutrientes en el suelo y posteriormente las plantas lo aprovechan (Laakso *et al.*, 2000).

Otro grupo importante de macroinvertebrados del suelo fueron los gasterópodos, que presentaron una correlación con el largo de las hojas ( $r^2=0.3$ ,  $p<0.05$ ). Los gasterópodos, son considerados desfragmentadores de la hojarasca debido a que poseen enzimas que digieren las moléculas complejas de la MO muerta (Peterson y Luxton, 1982). En el cultivo de sábila, su distribución espacial fue heterogénea y se dio en la capa del suelo donde la disponibilidad de alimento, refugio y clima favorecieron su establecimiento (Naranjo-García, 2003). Los gasterópodos, suelen cavar y permanecer en el suelo por periodos largos de tiempo, hasta que el contenido disponible de Calcio y Magnesio intercambiable sea el adecuado para la formación y crecimiento de su concha (Gomot *et al.*, 1989).

La presencia de los gasterópodos al igual que las hormigas puede modificar la distribución espacial de las propiedades químicas del suelo (Rojas, 2003). Las hormigas son ingenieras del ecosistema, con la construcción de sus nidos en el suelo pueden crear islas en forma de parches, con elementos importantes para las plantas de sábila como: MO, N, Ca, P, K, y Zn (Levan y Stone, 1983; Laakso y Setälä, 1997; Reznikova y Dorosheva, 2004; Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011). Los nidos son importantes para la fertilidad del suelo al presentar condiciones favorables para la mineralización de la MO debido a que su estructura es porosa y se encuentran más expuestos a cambios climáticos (Petal y Kusinska, 1994; Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011).

Durante muchos años, la presencia de las larvas de coleóptero o gallinas ciegas en los cultivos había sido estudiada como plaga, sin embargo, en la actualidad existen evidencias de que algunas especies son indicadoras de la fertilidad del suelo (Romero-López *et al.*, 2010). Algunas gallinas ciegas pueden considerarse ingenieros del ecosistema debido a que pasan parte de su vida en suelo (Romero-López *et al.*, 2010). Se ha documentado que algunas larvas de la especie *Phyllophaga* prefieren habitar en suelos arcillo-arenosos, con concentraciones altas de N y MO (Katovich *et al.*, 1998; Romero-López *et al.*, 2010) como los de la plantación de sábila ubicada en Shara. Debido a su alimentación de raíces o MO (Morón, 2001; Romero-López *et al.*, 2010), evacuan nutrientes en forma de heces nitrogenadas que favorecen al ciclo de nutrientes en el suelo (Villalobos, 1994; Morón, 2001; Romero-López *et al.*, 2010), bajo tales condiciones, plantas como la sábila pueden aprovechar los nutrientes para desarrollar hojas largas ( $r^2=0.3$ ,  $p<0.05$ ).

El estado de Campeche, presenta las características topográficas y climáticas que fomentan el establecimiento de cultivos de sábila; sin embargo, es necesario incrementar el apoyo gubernamental y la asesoría técnica. Se encontró que el cultivo de sábila es una actividad económicamente rentable en el estado de Campeche y solo en la plantación de sábila ubicada en Shara las plantas de sábila presentaron características agronómicas importantes, pero, no cumplieron con los requerimientos de N y P en las hojas. En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, el terreno posee las características necesarias para su desarrollo, sin embargo, no contó con las prácticas de manejo adecuadas para un tipo de suelo poco profundo y pedregoso, ni con el apoyo económico necesario por parte de las instituciones de gobierno.

No se habían descrito con anterioridad los efectos de los macroinvertebrados del suelo sobre las plantas de sábila. En este estudio, se observó que las plantas de sábila con mayor número de hijuelos y hojas se relacionan con los macroinvertebrados del suelo. Con la presencia de estos organismos combinado con prácticas de manejo adecuadas (aplicación de MO), se puede incrementar la fertilidad del suelo. Es importante que en futuras investigaciones se incluyan a los macroinvertebrados del suelo, como parte de la fertilidad del suelo y con ello generar una agricultura sustentable.



## VII. CONCLUSIONES

### 1. Evaluación del cultivo de sábila

- De acuerdo con los indicadores económicos B/C, VAN y TIR el cultivo de sábila en las plantaciones de sábila ubicadas en Shara y Blanca Flor se consideró económicamente rentable.
- Las plantas ubicadas en la plantación de sábila en Shara presentaron las características agronómicas deseables para su comercialización en el mercado. Las plantas no cumplieron con los requerimientos de N y P en las hojas.
- En la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor, la pedregosidad y profundidad del suelo son limitantes, al no tener prácticas de manejo apropiadas como: fertilización orgánica.

### 2. Distribución espacial de macroinvertebrados del suelo

- En la plantación de sábila ubicada en Shara, el número de hojas por planta madre estuvo directamente relacionada con la MO en el suelo (T: 0.65,  $p < 0.05$ ), el orden Chilópoda (T: 2.48,  $p < 0.05$ ) y la densidad total de macroinvertebrados en el suelo (T: 2.75,  $p < 0.05$ ).
- En Blanca Flor, el número de hijuelos por planta madre estuvo directamente relacionado con *Polypheretima elongata* (T: 0.95,  $p < 0.05$ ) y con la concentración de N en el suelo (T: 2.13,  $p < 0.05$ ).

## VIII. LITERATURA CITADA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M., 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.
- Aloecorp, 2012. <http://www.aloecorp.com/> consultada 8 de abril de 2015.
- Álvarez, M.G., 2007. *Competitividad de México en la producción de Sábila (Aloe barbadensis Miller)*. Universidad Autónoma Agraria Navarro Antonio Narro. Departamento de Administración Agropecuaria.
- Anderson, J. M. e Ingram, J. S., 1993. *Tropical Soil, Biology and Fertility: A handbook of method*. Wallingford: CAB International. Wallingford.
- Añez, B. y Vásquez, J., 2005. Respuesta de crecimiento y producción de la zábila a diferentes densidades de plantación y niveles de fertilización usados. *Agricultura andina*, 10, pp.52–61.
- Arrouays, D., Martin, S. y Leprete, A., 2008. Short-range spatial variability of metal contents in soil on a one hectare agriculture plot. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, pp. 37-41.
- Ávila, L. y Díaz, J., 2002. *Sondeo del mercado mundial de Sábila (Aloe vera)*. Bogota, Colombia.
- Aweto, A. O., 1981. Secondary Succession and Soil Fertility Restoration in South-Western Nigeria: Soil and Vegetation Interrelationships. *Journal of Ecology*, 69(3), pp 957-963
- Bach, D.B. y Lopes, M.A., 2007. Estudo da viabilidade do cultivo da babosa (*Aloe vera L.*). *Ciencias Agro técnicas.*, Lavras, 31(4), pp.1136-1144.
- Badii, M., Castillo, J., Cortez, K., Wong, A. y Villalpando, P., 2007. Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica (Canonical correlation analysis and scientific research). *Innovaciones de Negocios*, 4(2), pp 405-422.
- Bagnauls y Gausse., 1957 citado por Mendoza, J., Kú, V. y Pool, L., 2008. *Calidad de tierras y sistemas de producción en la Micro Región Constitución, Calakmul, Campeche*.
- Barrera, V. A., 1980. *Diccionario Maya Cordemex Maya-Español-Maya*. Ediciones Cordemex Mérida, Yucatán, México.

- Barrios, E., 2007. *Soil biota, ecosystem services and land productivity*. Ecological Economics, 64, pp. 269-285.
- Bautista, F. y Palacio, G., 2005. *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, San Francisco de Campeche.
- Bautista, F., Delfín, G.H., Palacio, J. y Delgado, M.C., 2011. *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*, segunda edición. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bengtsson, J., 2002. Disturbance and resilience in soil animal communities. *European Journal of Soil Biology*, 38, pp. 221-227.
- Benton, J. J. Jr., 2003. Agronomic handbook. *Management of crops, soils, and their fertility*. CRC PRESS. Boca Raton. London. New York. Washington, D.C. USA.
- Bermejo, B. N. y Viana, G. C., 1990. *Breve estudio de la sábila, Mérida, Yucatán, México*.
- Berrill, S.J., Sudduth, K.A. y Borgelt, S.C., 1996. Comparison of sensors and techniques from crop yield mapping. *Computers and Electronics in Agriculture*, 14, pp. 215-223.
- Borror, D.J., y White, R.E., 1970. *A Field Guide to Insects America North of México*. The Peterson Field Guide Series. United States of America.
- Brealey, A., Meyer, S. C. y Allen, F., 2006. *Principios de Finanzas Corporativas*, 8va Edición, Editorial Mc Graw Hill.
- Brown, G., y Sallee, E., 1967. *Química Cuantitativa*. Editorial Reverte, S.A. Barcelona, España, pp. 572-573.
- Brussaard, L., Pulleman, M., Ouedraogo, E., Mandod, A. y Sixe, J., 2007. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. *Pedobiología*, 50, pp. 447-462.
- Brussaard, L., 1998. Soil fauna, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 9, pp. 123-135.
- Bueno-Villegas, J., 2003. Los diplópodos en la selva alta de los Tuxtlas en *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*. Álvarez, S., J y Naranjo, G., E. 2003. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México, pp. 226-235.
- Burrough, P. A. y McDonnell, R. 1998. *Principles of geographical information systems*. Clarendon Press Oxford. New York.

Cadena Productiva Sábila (CPS), 2009

. <https://sites.google.com/site/cadenaproductivasabilacolombia/>. Consultada 14 de junio 2013.

- Cahn, M.D., Hummel, J.W. y Brouer, B.H., 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. *Soil Science Society of America, Journal*, 58, pp. 1240-1248
- Calzada, A. y Pedroza, A., 2003. Evaluación Físicoquímica del Gel de la hoja de Sábila (*A. barbadensis*) en diferentes prácticas de manejo. Universidad Autónoma de Chapingo. *Reunión Nacional de Investigación en Recursos Bióticos de Zonas áridas*.
- Cambardella, C. y Karlen, D., 1999. Spatial analysis of soil fertility parameters. *Precision Agriculture*, pp.5–14.
- Cambardella, C., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T., Karlen, B., Turco, R. F., Konopka, A. E., 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America, Journal*, 58, pp 1501-1511.
- Carpano, S.M., Castro, M.T. y Spegazzini, E.D., 2009. Caracterización morfo anatómica comparativa entre *Aloe vera* (L.) Burn. F. *Aloe Arborescens* Mill., *Aloe Saponaria* Haw. y *Aloe ciliaris* Haw. (*Aloeaceae*). *Brasileira de Farmacognosia*, 19, pp.269–275.
- Chanatásig-Vaca, C., Huerta, E., Rojas, P., Ponce-Mendoza, A., Mendoza, J., Morón, A., Wal, H. Van Der y Dzib-Castillo, B., 2011. Efecto del uso de suelo en las hormigas (formicidae: Hymenoptera) de Tikimul, Campeche, México. *Acta zoológica mexicana*, 2, pp.441–461.
- Colegio de Posgraduados (COLPOS)., 1977. *Manual de conservación del suelo y del agua*. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Comisión Nacional del Agua, servicio meteorológico nacional (CONAGUA)., 2014. <http://smn.conagua.gob.mx/>.
- Comisión Nacional del Agua, servicio meteorológico nacional (CONAGUA)., 2006. Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Península de Yucatán, Región xii. SEMARNAT-CNA.
- Contreras, C.C.M., 2001. *Respuesta de la sábila (Aloe vera) a diferentes densidades de siembra en la región centro del estado de Campeche*. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 5 Chiná, Campeche. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola.

- Contreras, C.C.M., 2013. *Antecedes de la sábila en el estado de Campeche: historia, estudios e instituciones*. Conversación (Comunicación personal, 4 de Septiembre, 2013)
- Crist. S., 1998. The Spatial Distribution of Termites in Shortgrass Steppe: A Geostatistical Approach. *Oecología*, 114(3), pp. 410.
- Dalal, R. C., Wang, W., Robertson, G. P. y Parton, W. J., 2003. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Soil Research*, 41 (2), pp. 165-195.
- De la Rosa, F. I. y Negrete-Yankelevich, S., 2012. Distribución espacial de la fauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal en la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, pp. 201-215.
- Decaëns, T., 2010. Macroecological patterns in soil communities, *Global Ecology and Biogeography*, 19, pp. 287-302.
- Driessen, P.M. y Dudal, R., 1991. *Lecture notes on the geography, formation, properties and use of the major soils of the world*. Agricultural University Wageningen y Katholieke Universiteit Leuven, Netherlands.
- Easter, K. W., 1985. *Recurring Costs of Irrigation in Asia: Operation and Maintenance*. Ithaca, NY: Cornell University Water Management Synthesis Project. Editor, New York, Springer, pp. 139-204.
- Edwards, C., 2004. *Earthworm Ecology*, 2da edición. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Edwards, C.A. y Bohlen, P. J., 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman and Hall, London, emission from Australian agricultural lands and mitigation options: A review.
- Epstein, E. y Bloom, A.J., 2006. *Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas*. 2da edición. Sinauer. Londrina, Brazil.
- Feijoo, A., Carvajal, A. F., Zuñiga, M. C., Quintero, H. y Fragoso, C., 2011. Diversity and abundance of earthworms in land use systems in central-western Colombia. *Pedobiología*, International Journal of soil Biology, pp. 69-75.
- Feijoo, M. A., Zúñiga, M. C. y Camargo, J. C., 2005. Signs to detect regeneration and degradation of agroecosystems in the coffee growing region of Colombia. *Livestock Research of Rural Development*, 17(3).
- Food and Agriculture Organization (FAO), 1976. A framework for land evaluation. Soils Bulletin 32. FAO, Roma.

- Food and Agriculture Organization (FAO), 2003. Evaluación de tierras con metodologías de FAO. Documento de trabajo. Proyecto regional “Ordenamiento territorial rural sostenible” (Proyecto GCP/RLA/139/JPN). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Foth, H.D., 1987. *Fundamentos de la ciencia del suelo*. 3ra impresión. CECSA, México, D.F.
- Fragoso, C. y Lavelle, P., 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 24 (12), pp. 1397-1408.
- Fragoso, C. y Rojas, P., 2014. Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassicitellata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, pp.197–207.
- Fragoso, C., 2001. Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta): diversidad, ecología y manejo. *Acta Zoológica Mexicana*. Número especial, pp. 131-171.
- Fragoso, C., Reyes-Castillo, P. y Rojas, P., 2001. La importancia de la biota edáfica en México, In: C. Fragoso y P. Reyes Castillo (Eds.) Diversidad, función y manejo de la biota edáfica en México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) Número especial 1, pp1-10.
- Francke-Ballvé, O.F., 2012. Biodiversidad de Arthropoda (Chelicerata: Arachnida ex Acari) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, pp.408–418.
- Franco-Salazar, V. A., Véliz, J.A. y Rojas, D.A.L., 2012 .Eco fisiología de *Aloe Vera* (L.) Burn. F. En Guayacán, Península de Araya, estado Sucre, Venezuela., *Interciencia*, pp. 450.450.
- Fuentes-Carvajal, A., Véliz, J. A., e Imery, B.J., 2006. Efecto de la deficiencia de macronutrientes en el desarrollo vegetativo de *Aloe vera*. *Interciencia*. Venezuela, pp. 116-122.
- Galicia, L. y Zarco, A., 2002. El concepto de escala y la teoría de las jerarquías en ecología. *Ciencias*, 67, pp.34-40.
- Gallardo, A., 2006. Geo estadística. *Ecosistemas* 3, pp.1-11.
- García, D., 2006. La escala y su importancia en el análisis espacial. *Ecosistemas* 3, pp.7-9.
- García, E., 1998. '*Climas*' (*clasificación de Koppen, modificado por García*). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.
- García-Hernández, J.L., Valdez-Cepeda, R.D., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, F.A., Ruiz-Espinoza, F.H., Orona-Castillo, I., Flores-Hernández, A. y Troyo-Diéquez, E., 2006. Preliminary compositional nutrient diagnosis norms in *Aloe vera* L. grown on calcareous

- soil in an arid environment. *Environmental and Experimental Botany*, 58(1-3), pp.244–252.
- Gómez, L.F., Vivas, E.L. y Santamaría, C., 2001. Prácticas de cultivo y algunos factores edafológicos que podrían influir sobre la calidad del gel de sábila. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 2(2), pp. 68-73.
- Gomot, A., Gomot, L., Boukraa, S. y Bruckert, M., 1989. Influence of soil on the growth of the land snail *Helix aspersa*: an experimental study of the absorption route for the stimulating factors. *Journal of Molluscan Studies*, 55, pp 1-7.
- González, F.C. y Miranda, T.R., 1984. *Economía Agropecuaria*. Ed. Pueblo y Educación. Primera Edición. Playa, Ciudad de la Habana.
- Guzmán, G. P.L.C., 2012. *Estudio bromatológico y microbiológico del mucilago de Aloe vera y de fertilidad del suelo de los cultivos ubicados en el corregimiento de la florida, municipio de Pereira, departamento de Risaralba*. Tesis de Licenciatura. Universidad tecnológica de Pereira. Colombia.
- Hammer, O., Harper, D.A.T. y Ryan, P. D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electrónica* 4(1).
- Heemsbergen, D., Dimmers, W., Faber, J., Faber, M., Berg, M. y Verhoef, H., 2001. Soil fauna distribution in heterogeneous soils en *Soil detritivore functioning in heterogeneously contaminated soils*, pp. 27-40
- Hernández, A., 1995. *La sábila una alternativa para la zona media de San Luis Potosí*. San Luis Potosí.
- Hernández, P., Fernández, R., Novo, M., Trigo, D. y Díaz Cosín, D.J., 2007. Geostatistical and multivariate analysis of the horizontal distribution of an earthworm community in El Molar (Madrid, Spain). *Pedobiología*, 51(1), pp.13-21.
- Hernández, R. A. y Villanueva J. D., 1993. *Guía para la selección de material vegetativo para plantaciones de sábila*. Folleto para productores, SARH CIRNE- INIFAP, 20, México.
- Hernández, S. L., Delgado, C.M.C. y Espadas, M. C., 2011. *Métodos de Interpolación espacial y geo estadística en Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. Universidad Nacional Autónoma de México.



- Huerta, E. y Van Der Wal, H., 2012. Soil macroinvertebrates' abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *European Journal of Soil Biology*, 50, pp.68–75.
- Huerta, E., Rodríguez -Olan, J., Evia-Castillo, I., Montejo-Meneses, E., de la Cruz-Mondragón, M., García-Hernández, R. y Uribe, S., 2007. Earthworms and soil properties in Tabasco, Mexico. *European Journal of Soil Biology*, pp.190–195.
- Huerta, E., Rodríguez, J., Castillo, I., Montejo, E., Cruz, M. de la y García, R., 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*, 26, pp.171–181.
- Huerta, L. E., Rodríguez-Olán, J., Evia-Castillo, I., Montejo-Meneses, E., Cruz-Mondragón, M. y García-Hernández, R., 2005. La diversidad de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) en el estado de Tabasco, México. *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*, 42, pp.75–85.
- Huerta, L.E., Valier, O., Romero, D. y Jarquin, A., 2010. Efecto de tres especies de lombrices en la fertilidad del suelo y el crecimiento inicial del maíz (*Zea mays*). *Acta zoológica mexicana*, pp.219-226.
- Huerta, L.E., 2005. La macrofauna del suelo y su potencial de manejo para el mejoramiento de la calidad del suelo, pp.259-268. En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Huerta, L.E., Brow, G. y Bautista, F., 2011. Macroinvertebrados del suelo y lombrices de tierra, pp. 449-475. En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán.
- INEGI, 2007. Carta de Uso de Suelo y Vegetación del Estado de Campeche. Escala 1:250000.
- IS, 2004. Stat, Statistica. 7
- IT-QU13., 2014. Manual de microtécnicas para nutrientes (actualización enero de 2014); documento del SGC de LI's.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB., 2007. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos. 103. FAO, Roma.



- James, W.S., 1994. An illustrated key to the earthworms of the Samoan Archipelago (Oligochaeta: Glossoscolecidae, Megascolecidae, Moniligastridae). *Micronesica* 37(1), pp. 1-13.
- Jaramillo, D. F. 2012. Variabilidad espacial del suelo: Bases para su estudio. *Revista de la Facultad de ciencias*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 1(1), pp. 73-87.
- Jiménez, J.J., Rossi, J.P. y Lavelle, P., 2001. Spatial distribution of earthworms in acid-soil savannas of the eastern plains of Colombia. *Applied Soil Ecology*, 17, pp. 267-278.
- Jones, C. G., Lawton, J.H. y Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69, pp. 373-386.
- Kang, J., Hesterberg, D. y Osmond, D.L., 2009. Soil Organic Matter Effects on Phosphorus Sorption: A Path Analysis. *Soil Chemistry*, 73, pp. 360-366.
- Katovich, K., Levine, S. J. y Young, D. K., 1998. Characterization and usefulness of soil-habitat preferences in identification of Phyllophaga (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. *Annals of the Entomological Society of America*, 91(3), pp. 288-297
- Klemens, E., Stierhof, T., Dauber, J., Kreimes, K. y Wolters, V., 2003. On the quality of soil biodiversity indicators: abiotic and biotic parameters as predictors of soil faunal richness at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 9, pp.273-283.
- Klingebiel, A.A. y Montgomery, P.H., 1961. *Land capability classification*. Agriculture Handbook, 210. Washington, USDA.
- Laakso, J., Setälä H. y Palojarvi, A., 2000. Influence of decomposer food structure and nitrogen availability on plant growth. *Plant and Soil* 225(1-2), pp. 153-165.
- Laakso, J. y Setälä, H., 1997. Nest mounds of red wood ants (*Formica quilonia*) Fhot spots for litter-dwelling earthworms. *Oecología* 111, pp. 565–569.
- Lal, R., 1989. *Tropical ecology and physical edaphology*. John Wiley. London, UK.
- Laossi, K.R., Noguera, D.C. y Barot, S., 2010. “Earthworm-mediated maternal effects on seed germination and seedling growth in three annual plants,” *Soil Biology and Biochemistry*, 42(2), pp. 319–323.
- Larcher W., 2003. *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag, Austria.,
- Lavelle, P. y Spain, A., 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Scientific Publications. Amsterdam.
- Lavelle, P., 1984. The soil system in the humid tropics. *Biology International*, 9, pp. 2-17.

- Lavelle, P., 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*. 33, pp. 3-16.
- Lee, K.E., 1985. Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use. *Academic Press*, Sydney, pp. 137–150.
- Legendre, P. y Legendre, L., 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier. Amsterdam.
- Levan, M.A. y Stone, E. L., 1983. Soil modification by colonies of black meadow ants in a New York old field. *Soil Science Society of America Journal* 47, pp. 1192-1195.
- Lugo, Z., Naveda, M., Fernández, A. y Valles, W., 2010. Malezas de mayor importancia en el cultivo de sábila (*Aloe vera* L) en tres zonas productoras del estado Falcón, Venezuela. *INIA Falcón*, pp. 272-277.
- Mando, A., Brussard, L., Stroosnijder, L. y Brown, G., 2002. Managing termites and organic resources to improve soil productivity in the Sahel. *Organized Jointly*, pp. 1–7.
- Marín, E. y Feijoo, A., 2007. Efecto de la labranza sobre macroinvertebrados del suelo en vertisoles de un área de Colombia. *Terra Latinoamericana*, 25(3), pp.297–310.
- Marschner, H., 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2da edición. Academic Press. Londres, RU.
- Masera, O., Astier M. y López-Ridaura, S., 1999. *Sustentabilidad y manejo de Recursos Naturales. El marco de evaluación MESMIS*. Ed. Mundi-Prensa, GIRA, UNAM, México, D.F.
- McColl, H. P., 1975. The invertebrate Fauna of the litter surface of a *Nothofagus truncata* forest floor, and the effect of micro-climate on activity. *N. Z. J. Zoology*, 2, pp. 15-34.
- Medel, A.E.Z. y Ortiz, V. J.R., 2006. *Estudio de factibilidad para el cultivo de sábila (Aloe vera) en San Luis Potosí*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Economía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Lui Potosí, México.
- Mendicuti, L. V. T., 2003. *Evaluación financiera del cultivo del chile jalapeño (Capsicum annum)*, en el NCPE Ricardo Payro Jene, Municipio de Calakmul, Campeche. Tesis de Licenciatura.
- Mendoza, J., Kú, V.M. y Pool, L., 2008. *Calidad de tierras y sistemas de producción en la Micro Región Constitución, Calakmul, Campeche*.
- Mendoza, J., Pool, L. y Kú, V.M., 2013. Curso de posgrado Evaluación de tierras. El Colegio de la Frontera Sur.

- Mendoza, M.E., López-Granados, E., Morales, L.M., Alcántara, C., Geneletti, D. y Bocco, G., 2009. *Land suitability modelling to support environmental planning. Application of multicriteria analysis techniques in the municipality of Morelia, Michoacán, Mexico* en : Geneletti, D. y Abdullah, A., 2009. *Spatial decision support for urban and environmental planning a collection of case studies*. Scholar Press, Kuala Lumpur.
- Missouri Tropical Garden. [www.tropicos.org](http://www.tropicos.org). Consultada 9 de julio 2014
- Moreno, C. E., 2001. *Manual para medir la biodiversidad*. Manuales y tesis SEA.1.
- Moreno, G.A., 2007. *Competitividad de México en la producción de Sábila (Aloe barbadensis Miller)*.
- Morón, M. A., 2001. Larvas de escarabajos del suelo en México (Coleóptera: Melolonthidae). *Acta Zoológica Mexicana*. No. especial 1, pp. 111-130.
- Naranjo-García, E., 2003. Malacofauna de la hojarasca en: *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*. Álvarez, S., J y Naranjo, G., E. 2003. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México, 141-161.
- Natr, L., 1972 Influence of mineral nutrients on photosynthesis of higher plants. *Photosynthetica*, 6, pp. 80-99.
- Negrete-Yankelevich, S., C. Fragoso, A. C. Newton. y O. W. Heal., 2006. Spatial patchiness of litter, nutrients and macroinvertebrates during secondary succession in a tropical montane cloud forest. *Plant and Soil*, 286, pp. 123-139.
- Neher, D. A., 1999. Soil community composition and ecosystem processes. *Agroforestry System*. 45, pp. 159-185.
- NMX-AA-026-SCFI-2010. Método semi-micro Kjeldahl.
- NMX-AA-029/1-SCFI-2008. Microtécnica para fósforo total. Método espectrofotométrico basado en Moreno 2007.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, Martes 31 de diciembre de 2002.
- Ortega, H. M., 1993. *Costos de producción del Tomate (Lycopersicum esculentum Mill) en el norte del Estado de Campeche*. Campeche, Campeche. Tesis Profesional, pp.15-30.

- Ortiz Solorio C., Pájaro Huerta, D. y Ordaz Chaparro, V.M., 1990. *Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas*. Serie cuadernos de edafología 15. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Palacios-Vargas, J. y García-Gómez, A., 2014. Biodiversidad de Diplura (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 26, pp.236–242.
- Paramá, R., 2006. *Heterogeneidad Espacial de Nutrientes del Suelo en Ecosistemas Terrestres*. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo.
- Pashanasi, B., 2001. Estudio comparativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonia peruana, 12, *Folia amazónica*.
- Pashanasi, B., Lavelle, P., Alegre, J. y Charpentier, F., 1996. Effect of the Endogeic Earthworm *Pontoscolex Corethrurus* on Soil Chemical Characteristics and Plant Growth in a Low-Input Tropical Agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(6), pp.801–810.
- Paz-González, A., Taboada, M.T. y Vieira, S.R., 2001. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. *Canadian Journal of Soil Science*, pp 479-479.
- Peck, S. I., Mcquaid, B. y Campbell, C. L., 1998. Using ant species as a biological indicator of agroecosystem condition. *Environmental Entomology*, 27, pp. 1102-1110.
- Pedroza, A., Cruz, J. y Samaniego, A., 2004. Análisis de crecimiento y desarrollo de la sábila (*Aloe barbadensis* Miller) en diferentes prácticas de manejo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 3, pp.105–110.
- Pérez, J.P., García, R.R., Zavala, F. y Jasso, D., 2010. Conductancia estomática y asimilación neta de CO<sub>2</sub> en sábila (*Aloe vera* Tourn) bajo sequía. *Revista fitotecnia Mexicana* 33(4), pp.305–314.
- Petal, J. y A. Kusinka, 1994. Fractional composition of organic matter in the soil of anthills and of the environment of meadows. *Pedobiología*, 38, pp. 493-501.
- Peterson, H. y Luxton, M., 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos* 39(3), pp. 287-388.
- Phillipson, J., Abel, R., Steel, J. y Woodell, S.R.J., 1976. Earthworms and factors governing their distribution in an English beechwood. *Pedobiología*, 16, pp. 258–285.

- Pulgarin, C. G., 2010. *Estudio bromatológico, microbiológico, foliar y de fertilidad de los suelos en los cultivos de Aloe vera Barbadosensis Miller en tres fincas del departamento de Risaralda*. Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Raven, J.A. y Spicer, R.A., 1996. The evolution of crassulacean acid metabolism. In: Winter, K., Smith, J.A.C. (Eds.), *Crassulacean Acid Metabolism. Biochemistry, Ecophysiology and Evolution. Ecological Studies*, 114. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp.360-385.
- Reznikova, Z. y Dorosheva, H., 2004. Impacts of red wood ants *Formica Polycetena* on the spatial distribution and behavioural patterns of ground beetles (Carabidae). *Pedobiología* 48, pp. 15-21.
- Robertson, G.P., 1987. Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. *Ecology* 68, pp. 744-748.
- Rodríguez, A., 2012. *Plan rector del sistema producto sábila*. Estado de Yucatán, SAGARPA.
- Rodríguez, R., Hernández, L., Jasoo, D. y Angulo, J., 2002. Respuesta de *Aloe vera* al acolchado plástico y a la fertilización nitrogenada. *Trends in crops and new uses*, pp.292–300.
- Rodríguez-García, R., Jasso de Rodríguez, D., Gil-Marín, J.A., Angulo-Sánchez, J.L. y Lira-Saldivar, R.H., 2007. Growth, stomatal resistance, and transpiration of *Aloe vera* under different soil water potential. *Industrial Crops Production*. 25, pp. 123–128.
- Rojas, F.P., 2003. El papel de las hormigas (Hymenóptera: Formicidae) en la dinámica edáfica. pp. 197-216 en *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*. Álvarez, S., J y Naranjo, G., E. 2003. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México
- Romero-López, A.A. y Morón, M.A., 2010. La “Gallina ciega” (Coleóptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) Vista Como un “Ingeniero del suelo”. *Society of Southwestern Entomologists*, 35(3), pp. 330-343.
- Rossi, J. P., Huerta, E., Fragoso, C. y Lavelle, P., 2006. Soil properties inside earthworm patches and gaps in tropical grassland (La Mancha, Veracruz, Mexico). *European Journal of Soil Biology*, 41, pp. 284-288.
- Rossi, J.P., Lavelle, P. y Albrecht, A., 1997. Relationships between spatial pattern of the endogeic earthworm *Polypheretima elongata* and soil heterogeneity. *Soil Biological Biochemistry*, 29, pp. 485–488

- Rossi, J.P. y Lavelle, P., 1998. Earthworm aggregation in the Savannas of Lamto (Cote d'Ivoire). *Applied Soil Ecology* .7, pp. 195–199.
- Rueda, D., Negrete, S. y Fragoso, C., 2011. Escala de independencia espacial de la mesofauna edáfica en un transecto bosque-pastizal del Jardín Botánico “Francisco Javier Clavijero.” *Acta zoológica mexicana* 27, pp.191–195.
- Ruiz, N., Lavelle, P. y Jiménez, J., 2008. *Soil macrofauna field manual*. Institut de recherche pour le développement. FAO.
- Ruiz-Cobo, D., Feijoo, A. y Rodríguez, C., 2010. Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso del terreno en la cuenca del Río Otún, Colombia. *Acta zoológica Mexicana* 2, pp. 165-178.
- Saks, Y. e Ish-Shalom-Gordon, N., 1995. *Aloe vera* L., a potential crop for cultivation under conditions of low-temperature winter and basalt soils. *Industrial Crops and Products*, 4(2), pp.85–90.
- Salkind, Neil J., 1999. *Métodos de Investigación*. Ed. Prentice Hall. Tercera Edición. México, D.F. 5, pp. 207-213.
- Sánchez, R., 2007. *Producción de sábila en la planicie huasteca*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), fundación PRODUCE San Luis Potosí-Tamaulipas.
- Scheu, S., 2003. Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiología* 47, pp. 846-856.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2010. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola en México. México, D. F.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. La sábila, una opción. México, D. F.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Consultada en 2 de Junio 2014.
- Sherry, A. y Henson, R. K. 2005. Conducting and Interpreting Canonical Correlation Analysis in Personality Research: A User-Friendly Primer. *Journal of Personality Assessment*, 84(1), pp. 37–48.



- Silva, H., Sagardia, S., Seguel, O., Torres, C., Tapia, C., Franck, N. y Cardemil, L., 2010. Effect of water availability on growth and water use efficiency for biomass and gel production in *Aloe Vera* (*Aloe barbadensis* M.). *Industrial Crops and Products*, 31(1), pp. 20–27.
- Taiz L. y Zeiger E., 2002. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts.
- Trademap. 2014. Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas. Datos comerciales mensuales, trimestrales y anuales. Valores de importación, volúmenes, tasa de crecimiento y cuotas de mercado. [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS\\_Map.aspx](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS_Map.aspx). Consultada en Junio 2011.
- Trueba, D. P.V. G. y T. Tcherva., 2005. Microartrópodos asociados a la hojarasca de un bosque semidecídulo de Bacunayagua, Matanzas, Cuba. *Revista Biología* 19, pp, 57-64.
- Van Diepen, C.C.A., Van Keulen, H.W. y Berkhout, J.A., 1991. Land Evaluation: From intuition to quantification en: B.A. Stewart (Eds), *Advances In Soil Science*, Springer. New York, pp.139-204.
- Van Schaik, A.H., Struik, P.C. y Damian, T.G., 1997. Effects of irrigation and N on the vegetative growth of *Aloe barbadense* Mill. en *Aruba Tropical Agriculture*, 74, pp. 104-109.
- Varón, J., Álvarez, K., Torres, J., López, Y. y Guerrero, G., 2007. Algunos parámetros de referencia del suelo y del mucílago de *Aloe vera* cultivado en el corregimiento de Colombia Risaralda y en el municipio de Montenegro Quindío. *Scientia et Technica*, 13, pp.145-149.
- Villalobos, F.J., 1994. The contribution of melolonthid larvae to soil fertility. In: Proceedings of the 15th World Congress of Soil Science, 4. ISSS, Acapulco, pp. 129–143.
- Webster, R. y Oliver, M., 2001. *Geostatistics for environmental science*. John Wiley and Sons, Toronto, Canadá.
- Wolters, V. W., Silver, L., Bignell, D., Coleman, C., Lavelle, P., Van der Putten, W., De Ruiter, P., Rusek, J., Wall, D.H., Wardle, D.A., Brussaard, L., Dangerfield, J.M., Brown, B.K. Giller, E., Hooper, D.U., Sala, O., Tiedje, J. y Van Veen, J.A., 2000. Effects of global

changes on above and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: implications for ecosystem functioning. *Bio Science*, 50, pp. 1089-1098.





## VIII. ANEXOS

Anexo 1. Encuesta económica para el sistema de producción de sábila.

Comunidad \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Encuestador \_\_\_\_\_

### DATOS DEL PRODUCTOR

Nombre \_\_\_\_\_ Fecha de nacimiento \_\_\_\_\_ Escolaridad \_\_\_\_\_

Actividad económica más importante \_\_\_\_\_

CONDICIONES AMBIENTALES DEL CULTIVO	
* 1 MECATE TIENE 20X 20	
Superficie del cultivo	2. Edad de la plantación
3. Distancia próxima al poblado de cada una de las parcelas	4. Tipo de suelos (nombres y características)
5. Algún evento importante natural que ha ocurrido en los últimos años (sequía, huracanes, etc.)	
6. ¿Cuántas horas diarias trabaja en el cultivo?	
7. Número de hectáreas en el cultivo	

Actividad	Descripción de la actividad	Fechas o temporada	Número de veces	Jornales requeridos	Jornales contratados	¿Cuánto paga por jornal?	Herramienta y equipos usados	¿Dónde compra las herramientas y el equipo?	¿Cuánto tiempo le duran?	Precio	Precio actual
Preparación del terreno	¿Cómo y cuándo mecaniza el terreno? Barbecho Rastreo agrícola Surcado Siembra										
Riego	¿Cada cuánto riega, cuánto gasta y como lo hace? Preparación del terreno Siembra										

Actividad	Descripción de la actividad	Fechas o temporada	Número de veces	Jornales requeridos	Jornales contratados	¿Cuánto paga por jornal?	Herramienta y equipos usados	¿Dónde compra las herramientas y el equipo?	¿Cuánto tiempo le duran?	Precio	Precio actual
	<p>Acimatación Crecimiento ¿Qué cantidad de agua utiliza?</p>										
SIEMBRA	<p>¿Cuáles son las densidades de población? ¿A qué distancias siembra la sábila? Surcos _____ Plantas _____ Camellón _____ ¿Cuánto cuesta cada planta? ¿Cuánto cuesta sembrar una hectárea? ¿Pago por qué le ayudaran a sembrar la tierra? ¿Cuántas personas? (número de días) ¿Usted ayudo en la siembra a alguno de sus compañeros? ¿A cuántos, cuantos días?</p>										
Acimatación	<p>Cuidados durante la acimatación ¿Qué tipo de cuidados tiene durante la acimatación?</p>										
Eliminación de la inflorescencia	<p>Cada cuanto elimina la inflorescencia</p>										
Problemas con el cultivo	<p>¿Tiene algún tipo de problema con el cultivo? ¿Qué tipo de control tiene?</p>										
Control de maleza	<p>¿Utiliza herbicidas? Si o no indique nombres Litros o kilos/ha ¿Cuánto y cómo realiza las aplicaciones? Primera aplicación Segunda aplicación Tercera aplicación ¿Cuántos tambores o bombas de agua necesita en una ha?</p>										

Actividad	Descripción de la actividad	Fechas o temporada	Número de veces	Jornales requeridos	Jornales contratados	¿Cuánto paga por jornal?	Herramienta y equipos usados	¿Dónde compra las herramientas y el equipo?	¿Cuánto tiempo le duran?	Precio	Precio actual
	<p>¿De dónde toma el agua para el roceo?</p> <p>¿Si el agua la lleva desde el pueblo? ¿cuánto costara el flete?</p> <p>¿Cuántas ha rocea por día?</p>										
Uso de herbicida	<p>¿Cómo realiza el chapeo y la aplicación?</p>										
Control de plagas y enfermedades	<p>¿Hay incidencias en plaga?</p> <p>¿Qué tipo de plagas, enfermedades y daños?</p> <p>¿Utiliza plaguicidas? Si o no (Nombre)</p> <p>Litros o kilos por ha</p> <p>¿Cómo realiza el combate?</p> <p>¿Cuántos tambores o bombas de agua necesita en una ha?</p> <p>¿De dónde toma el agua para el roceo?</p> <p>¿Si el agua la lleva desde el pueblo? ¿cuánto costara el flete?</p> <p>¿Cuántas ha rocea por día?</p>										
Cosecha	<p>¿Cómo realiza esta actividad?</p> <p>¿Cuántas pencas colecta por corte?</p> <p>Primer corte</p> <p>Segundo corte</p> <p>Tercer corte</p> <p>¿Si es buena la cosecha cuantos kilos obtiene?</p> <p>Si es mala ¿Cuántos kilos obtienen?</p> <p>¿Cuánto cuesta cosechar una tonelada o una ha?</p> <p>Hace un año contrato gente para que le ayudaran</p> <p>¿Cuántos, número de días?</p>										

Actividad	Descripción de la actividad	Fechas o temporada	Número de veces	Jornales requeridos	Jornales contratados	¿Cuánto paga por jornal?	Herramienta y equipos usados	¿Dónde compra las herramientas y el equipo?	¿Cuánto tiempo le duran?	Precio	Precio actual
	¿Usted ayudo a sus compañeros en la cosecha? Cuántos ____ núm. de días										
Acomodo	¿Cómo se realiza el acomodo de las pencas? ¿En cuántos días acomoda las pencas?										
Acarreo	¿Cómo y cuándo realiza el acarreo? ¿De dónde a donde acarrea su cosecha? Paga flete si o no NO ¿Cómo lo transporta? SI ¿Cuántos fletes paga? Si utiliza flete cuantas cajas se transportan por flete ¿En cuántos días acarrea?										
Comercialización	¿Cómo y cuándo realiza la comercialización? ¿En dónde? ¿En cuánto vende su cosecha? ¿A quién se lo vende y a qué precio? ¿En cuántos días cosecha una ha. o toda su producción? ¿Cuántas toneladas obtuvo el año pasado y cuanto piensa obtener este año entrante? ¿Hace un año contrato gente para que le ayudaran ¿cuántos, número de días?										



Anexo 2 Cédula para registrar tamaño de plantas de sábila.

Nombre del cultivo \_\_\_\_\_

Localidad \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Hora de inicio \_\_\_\_\_ Hora de terminación \_\_\_\_\_

Registro \_\_\_\_\_

PLANTA	MONOLITO	PLANTA MADRE (Tamaño de la hoja)			NUMERO DE HIJUELOS
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	NUMERO TOTAL DE HOJAS	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

### Anexo 3. Factores y Parámetros para valorar la capacidad de uso de las tierras (COLPOS, 1977).

Factores	Clases							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Deficiencia de agua (precipitación media anual en mm)	>800	600-800	500-600	400-500	300-400*	300-400*	100-300	>100
Exceso de agua inundación	nirguno	Inundaciones ocasionales	Frecuentes inundaciones que afectan moderadamente los cultivos	Frecuentes inundaciones que afectan severamente los cultivos	Las inundaciones permiten el desarrollo de las pastizales con limitaciones leves	Las inundaciones permite el desarrollo moderado de pasto	Las inundaciones permiten el desarrollo de ciertos pastos	Son terrenos que permianecen inundados todo el año
Erosion Topografía (Terrenos con pendiente uniforme)	nula	Laminar leve, con perdida del 0 a 20% del horizonte A y/o canalillos en formación	Laminar moderada con perdida del 25 al 75% del horizonte A y/o canalillos profundos	Laminar fuerte con perdidas del 75 al 100 % del horizonte A y/o canalillos profundos	Laminar severa con perdida del 0 a 30% del horizonte B y/o carcavas en formación	Laminar severa con perdida del 30 al 60 % del horizonte B y/o carcavas continuas a menos de 30 m.	Laminar muy severo con perdida del 100 del horizonte B y/o carcavas continuas a menos de 30 m.	Laminar absoluta con precensia de materia parental y/o carcavas profundas a menos de 30 m.
Topografía (Terrenos con pendiente ondulada)	0-2	2-6	6-10	10-15	15-25	25-40	40-100	>100
Profundidad efectiva del suelo	0-2	2-3	3-6	6-10	10-25	25-40	40-100	>100
Profundidad del manto freatico	>100	50-100	35-50	25-35	15-25	10-15	<10	<10
Predregosidad en el superficie	>100	50-100	35-50	25-35	15-25	10-15	<10	<10
Salinidad	nula	La pedregosidad interfiere con las labores agricolas el 5-10% del area se encuuetra cubierta	La pedregosidad interfiere seriamente las labores agricolas ya que cubre un 10-15% del area total	La pedregosidad no permite el uso de maquinaria agricola ya que cubre del 15 al 35% del area	La pedregosidad cubre del 35 al 50% del area y puede aprovecharse como pastizal o bosque	La pedregosidad cubre del 50 al 70% del area y puede aprovecharse con limitaciones para pastizales o bosques	La pedregosidad cubre del 70 al 90% del area y se pueden desarrollar bosques con fuertes limitaciones	La pedregosidad cubre más del 90% de la superficie
Sodicidad	0-2	2-4	4-9	8-16	>16	>16	>16	>16
	<10	10-15	15-40	40-60	>60	>60	>60	>60



Anexo 4. Cédula para caracterizar ambientes naturales en el cultivo de sábila (modificado de Mendoza *et al.*, 2013).

Fecha:	Transecto No.	Sitio No.	Muestra de suelo:
Ubicación geográfica del sitio:	Resistencia a la penetración:	Pendiente:	Erosión:
Altitud:		Inclinación (%)	Laminar
Latitud:		Longitud (m)	Surcos
Longitud:		Forma: Convexa	Cárcavas
		Concava	Barrancas
		Plana o regular	Área Afectada (%):
		Combinada	Vías de comunicación:
Pedregosidad:	Cuerpos de agua:	Tipo de Asentamiento:	
Sin piedra (<5%)			
Ligeramente pedregoso (5-10%, 10-15%)			
Pedregoso (15-35%)			
Muy pedregoso (35-50, 50-70, 70-90, >90%)			
Prof. Media del Suelo (cm) =	Nombre local del suelo:	Intensidad de uso del suelo:	Geoforma del terreno:
(5 mediciones)		Cultivo ( ) Años: ( )	Lomerío ( )
Esquelético <10		Descanso ( ) Años: ( )	Planicie no inundable ( )
Somero 10-25		previo	Planicie inundable ( )
Delgado 25-50	Color del suelo:	Intensidad ( )	
Moderadamente profundo 50-100	Observaciones:		
Profundos >100	Transecto:		
	Observador:		
Posición en el paisaje:	Informante:		
Cima ( )			
Ladera ( )			
Pie de lomerío ( )			
Valle ( )			

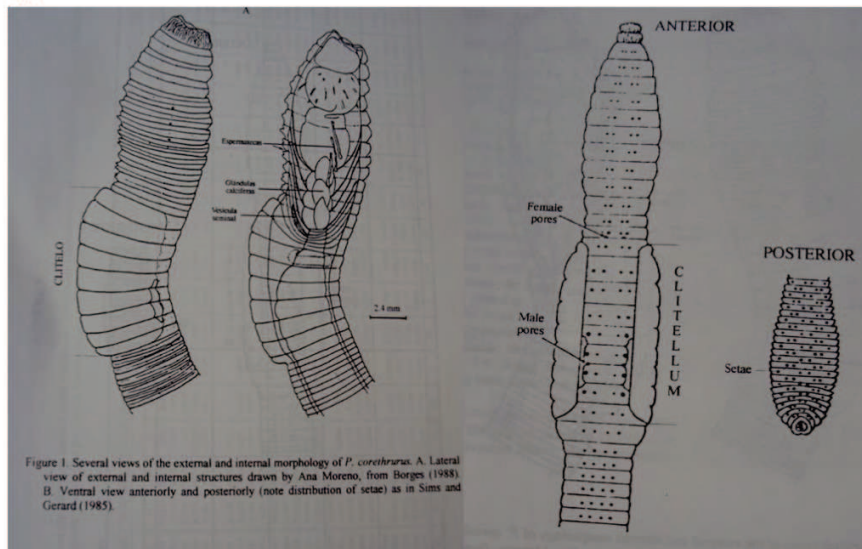
Anexo 5. Interpretación de resultados según la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-RECNAT-2000. NA: No aplica

	<b>Muy bajo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy Alto</b>
<b>Materia Orgánica</b>					
<b>Suelos no volcánicos (%)</b>	<0.5	0.6-1.5	1.6-3.5	3.5-6.0	>6.0
<b>Nitrógeno total suelos no volcánicos (%)</b>	<0.05	0.05-0.10	0.11-0.15	0.16-0.25	>0.26
<b>Fosforo (mg kg<sup>-1</sup>)</b>	<5.5	NA	5-6-11.0	>11.1	NA
	<b>Fuertemente acido</b>	<b>Moderadamente acido</b>	<b>Neutro</b>	<b>Medianamente alcalino</b>	<b>Fuertemente alcalino</b>
<b>pH</b>	<5.0	5.1-6.5	6.6-7.3	7.4-8.5	>8.6

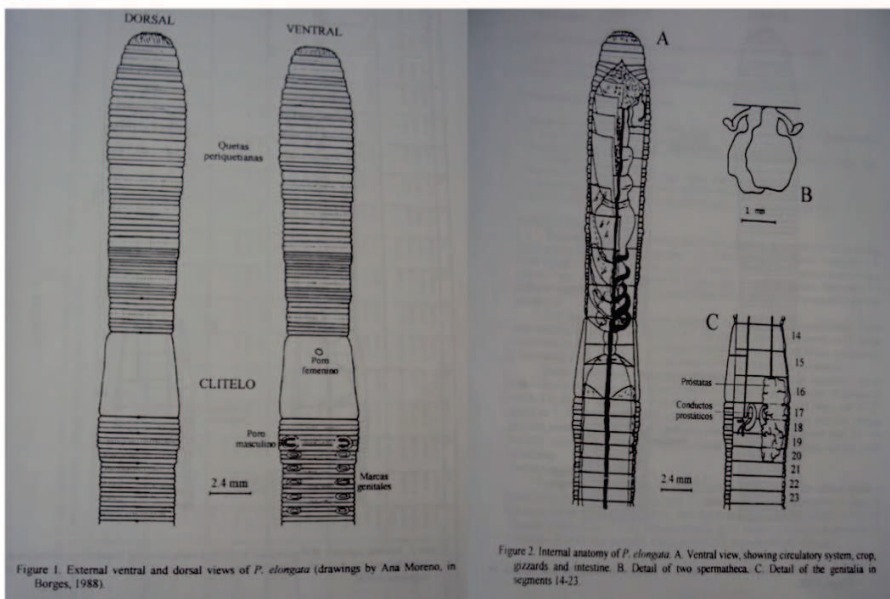


Anexo 6 Claves para identificación de lombrices a) *Pontoscolex corethrurus* y b) *Polypheretima elongata*

a)



b)



Anexo 7. Costos y presupuestos durante el primer año en la plantación de sábila ubicada en Shara.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total				
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>									
Preparación del terreno	Pase de tractor con rastra	Ton ha-1	9 \$	850.00 \$	7,650.00				
	Preparación del terreno	Jornal	2 \$	150.00 \$	300.00				
	Gasolina	Litros	36 \$	120.00 \$	4,320.00				
	Acetle	Litros	130 \$	13.00 \$	1,690.00				
	Machetes	Pieza	1 \$	300.00 \$	300.00				
	Realización de surcos	Pieza	6 \$	70.00 \$	420.00				
	Cinta para riego	Tractorista	1 \$	150.00 \$	150.00				
Instalación de riego	Cables	Rollo	3.33 \$	4,000.00 \$	13,320.00				
	Tubos t	Pieza	100 \$	7.00 \$	700.00				
	Bloomers	Pieza	100 \$	9.00 \$	900.00				
	Instalación de riego	Jornal	30 \$	120.00 \$	3,600.00				
Siembra	Tractor con remolque	Tractorista	2 \$	150.00 \$	300.00				
	Hijuelos	Planta	30 \$	120.00 \$	3,600.00				
	Gasolina	Litros	12000 \$	2.00 \$	24,000.00				
	Cuidado de las plantas	Jornal	65 \$	13.00 \$	845.00				
	Cuidado de las plantas	Jornal	45 \$	120.00 \$	5,400.00				
Fertilización	Lombrices	Kilos	5 \$	3,000.00 \$	15,000.00				
Cosecha	Pago por corte	Destajo(caja)	150 \$	2.50 \$	375.00				
	Lima	Par de guantes	40 \$	25.00 \$	1,000.00				
	Guantes	Tractorista	7 \$	20.00 \$	140.00				
	Pase con bordero	Litros	1 \$	150.00 \$	150.00				
	Diésel	Litros	65 \$	13.00 \$	845.00				
Transportación	Diésel	Litros	75 \$	13.00 \$	975.00				
<b>B. Costo total variable</b>									
<b>Costo fijo</b>									
Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor real (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea							\$ 2,500.00
Mano de obra permanente		Jornal							\$ 4,800.00
Herramientas y equipo									
Tractor con rastra		Días de uso al año	5 \$	700,000.00	10	\$ 70,000.00	191.78 \$	958.90 \$	958.90
Tractor con arado		Días de uso al año	2 \$	450,000.00	10	\$ 45,000.00	123.29 \$	246.58 \$	246.58
Tambos de plástico (2)		Días de uso al año	12 \$	700.00	10	\$ 70.00	0.19 \$	2.30 \$	2.30
Cajas de plástico (200)		Días de uso al año	5 \$	350.00	10	\$ 35.00	0.10 \$	0.48 \$	0.48
<b>C. Costo fijo total</b>									\$ 1,208.26
<b>D. Costo total</b>									\$ 80,038.26
<b>Ganancia=A-D</b>									-\$ 72,388.26
<b>Relación B/C=A/D</b>									\$ 0.10

## Anexo 8. Costos y presupuestos durante el segundo año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o		Costo total				
			Número utilizado	Precio unitario					
A. Ingreso total (beneficio total)		Ton ha-1	60 \$	850.00 \$	51,000.00				
Instalación de riego	Machetes	Pieza	4 \$	70.00 \$	280.00				
	Cinta para riego	Rollo	2 \$	4,000.00 \$	8,000.00				
	Tubos t	Pieza	50 \$	7.00 \$	350.00				
	Bloomers	Pieza	50 \$	9.00 \$	450.00				
	Pago por corte	Destajo (caja)	1000 \$	2.50 \$	2,500.00				
Cosecha	Lima	Lima	266.67 \$	25.00 \$	6,666.67				
	Guañtes	Par de guantes	46.67 \$	20.00 \$	933.33				
	Pase con borde	Tractorista	6.67 \$	150.00 \$	1,000.00				
	Diésel	Litros	433.33 \$	13.00 \$	5,633.33				
	Transportación	Diésel	Litros	500 \$	13.00 \$	6,500.00			
<b>B. Costo total variable</b>					<b>32,313.33</b>				
<b>Costo fijo</b>									
Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor real (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea						\$	2,500.00
Mano de obra permanente	Jornal	Jornal						\$	4,800.00
Herramientas y equipo									
Tractor con raspa	Días de uso al año	Días de uso al año	5 \$	700,000.00	10 \$	70,000.00 \$	191.78 \$	968.90 \$	968.90
Tractor con arado	Días de uso al año	Días de uso al año	2 \$	450,000.00	10 \$	45,000.00 \$	123.29 \$	246.58 \$	246.58
Tambos de plástico (2)	Días de uso al año	Días de uso al año	12 \$	700.00	10 \$	70.00 \$	0.19 \$	2.30 \$	2.30
Cajas de plástico (200)	Días de uso al año	Días de uso al año	5 \$	360.00	10 \$	35.00 \$	0.10 \$	0.48 \$	0.48
<b>C. Costo fijo total</b>									<b>1,208.26</b>
<b>D. Costo total</b>									<b>33,521.59</b>
<b>Ganancia=A-D</b>									<b>17,478.41</b>
<b>Relación B/C=A/D</b>									<b>1.52</b>

## Anexo 9. Costos y presupuestos durante el tercer año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total				
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>									
		Ton ha-1	90	\$ 850.00	\$ 76,500.00				
Instalación de riego	Machetes	Pieza	4	\$ 70.00	\$ 280.00				
	Cinta para riego	Rollo	2	\$ 4,000.00	\$ 8,000.00				
	Tubos t	Pieza	50	\$ 7.00	\$ 350.00				
	Bloomers	Pieza	50	\$ 9.00	\$ 450.00				
	Pago por corte	Destajo(caja)	1500	\$ 2.50	\$ 3,750.00				
Cosecha	Lima	Lima	400	\$ 25.00	\$ 10,000.00				
	Guantes	Par de guantes	70	\$ 20.00	\$ 1,400.00				
	Pase con bordero	Tractorista	10	\$ 150.00	\$ 1,500.00				
	Diésel	Litros	650	\$ 13.00	\$ 8,450.00				
Transportación	Diésel	Litros	750	\$ 13.00	\$ 9,750.00				
<b>B. Costo total variable</b>									
<b>Costo fijo</b>									
Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor real (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea							\$ 2,500.00
Mano de obra permanente		Jornal							\$ 4,800.00
Herramientas y equipo									
Tractor con rastra		Días de uso al año	5	\$ 700,000.00	10	\$ 70,000.00	\$ 191.78	\$ 958.90	\$ 958.90
Tractor con arado		Días de uso al año	2	\$ 450,000.00	10	\$ 45,000.00	\$ 123.29	\$ 246.58	\$ 246.58
Tambos de plástico (2)		Días de uso al año	12	\$ 700.00	10	\$ 70.00	\$ 0.19	\$ 2.30	\$ 2.30
Cajas de plástico (200)		Días de uso al año	5	\$ 350.00	10	\$ 35.00	\$ 0.10	\$ 0.48	\$ 0.48
<b>C. Costo fijo total</b>									\$ 1,208.26
<b>D. Costo total</b>									\$ 45,138.26
<b>Ganancia=A-D</b>									\$ 31,361.74
<b>Relación B/C=A/D</b>									\$ 1.69

Anexo 10. Costos y presupuestos durante el cuarto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total				
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>									
		Ton ha-1	80	\$	76,500.00				
Instalación de riego	Machetes	Pieza	4	\$	280.00				
	Cinta para riego	Rollo	2	\$	8,000.00				
	Tubos t	Pieza	50	\$	350.00				
	Bloomers	Pieza	50	\$	450.00				
	Pago por corte	Destajo(caja)	1500	\$	3,750.00				
Cosecha	Lima	Lima	400	\$	10,000.00				
	Guantes	Par de guantes	70	\$	1,400.00				
	Pase con bordero	Tractorista	10	\$	1,500.00				
	Diésel	Litros	650	\$	8,450.00				
	Transportación	Diésel	Litros	750	\$	9,750.00			
<b>B. Costo total variable</b>									
<b>Costo fijo</b>									
Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor rea l(costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea							\$ 2,500.00
Mano de obra permanente	Jornal	Jornal							\$ 4,800.00
Herramientas y equipo									
Tractor con rastra	Días de uso al año	Días de uso al año	5	\$ 700,000.00	10	70,000.00	\$ 191.78	\$ 958.90	\$ 958.90
Tractor con arado	Días de uso al año	Días de uso al año	2	\$ 450,000.00	10	45,000.00	\$ 123.29	\$ 246.58	\$ 246.58
Tambos de plástico (2)	Días de uso al año	Días de uso al año	12	\$ 700.00	10	70.00	\$ 0.19	\$ 2.30	\$ 2.30
Cajas de plástico (200)	Días de uso al año	Días de uso al año	5	\$ 350.00	10	35.00	\$ 0.10	\$ 0.48	\$ 0.48
<b>C. Costo fijo total</b>									\$ 1,208.26
<b>D. Costo total</b>									\$ 45,138.26
<b>Ganancia=A-D</b>									\$ 31,361.74
<b>Relación B/C=A/D</b>									\$ 1.69

Anexo 11. Costos y presupuestos durante el quinto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total				
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>									
		Ton ha-1	90	\$	850.00 \$ 76,500.00				
Instalación de riego	Machetes	Pieza	4	\$	70.00 \$ 280.00				
	Cinta para riego	Rollo	2	\$	4,000.00 \$ 8,000.00				
	Tubos t	Pieza	50	\$	7.00 \$ 350.00				
	Bloomers	Pieza	50	\$	9.00 \$ 450.00				
	Pago por corte	Destajo(caja)	1500	\$	2.50 \$ 3,750.00				
Cosecha	Lima	Lima	400	\$	25.00 \$ 10,000.00				
	Guantes	Par de guantes	70	\$	20.00 \$ 1,400.00				
	Pase con bordero	Tractorisia	10	\$	150.00 \$ 1,500.00				
	Diésel	Litros	650	\$	13.00 \$ 8,450.00				
	Transportación	Diésel	Litros	750	\$	13.00 \$ 9,750.00			
<b>B. Costo total variable</b>									
<b>Costo fijo</b>									
Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor rea (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea							\$ 2,500.00
Mano de obra permanente	Jornal	Jornal							\$ 4,800.00
Herramientas y equipo									
Tractor con rastra	Días de uso al año		5	\$ 700,000.00	10	\$ 70,000.00	\$ 191.78	\$ 958.90	\$ 958.90
Tractor con arado	Días de uso al año		2	\$ 450,000.00	10	\$ 45,000.00	\$ 123.29	\$ 246.58	\$ 246.58
Tambos de plástico (2)	Días de uso al año		12	\$ 700.00	10	\$ 70.00	\$ 0.19	\$ 2.30	\$ 2.30
Cajas de plástico (200)	Días de uso al año		5	\$ 350.00	10	\$ 35.00	\$ 0.10	\$ 0.48	\$ 0.48
<b>C. Costo fijo total</b>									\$ 1,208.26
<b>D. Costo total</b>									\$ 45,138.26
<b>Ganancia=A-D</b>									\$ 31,361.74
<b>Relación B/C=A/D</b>									\$ 1.69

Anexo 12. Costos y presupuestos durante el sexto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>		Ton ha-1	70	\$ 850.00	\$ 59,500.00
Instalación de riego	Machetes	Pieza	4	\$ 70.00	\$ 280.00
	Cinta para riego	Rollo	2	\$ 4,000.00	\$ 8,000.00
	Tubos t	Pieza	50	\$ 7.00	\$ 350.00
	Bloomers	Pieza	50	\$ 9.00	\$ 450.00
	Pago por corte	Destajo(caja)	1166.7	\$ 2.50	\$ 2,916.67
Cosecha	Lima	Lima	311.1	\$ 25.00	\$ 7,777.78
	Guantes	Par de guantes	54.4	\$ 20.00	\$ 1,088.89
	Pase con bordero	Tractorista	7.8	\$ 150.00	\$ 1,166.67
	Diésel	Litros	505.6	\$ 13.00	\$ 6,572.22
Transportación	Diésel	Litros	583.3	\$ 13.00	\$ 7,583.33
<b>B. Costo total variable</b>					\$ 36,185.56

**Costo fijo**

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor rea (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea							\$ 2,500.00
Mano de obra permanente	Jornal	Jornal							\$ 4,800.00
<b>Herramientas y equipo</b>									
Tractor con rastra	Días de uso al año	Días de uso al año	\$ 5.00	\$ 700,000.00	\$ 10.00	\$ 70,000.00	\$ 191.78	\$ 958.90	\$ 958.90
Tractor con arado	Días de uso al año	Días de uso al año	\$ 2.00	\$ 450,000.00	\$ 10.00	\$ 45,000.00	\$ 123.29	\$ 246.58	\$ 246.58
Tambos de plástico (2)	Días de uso al año	Días de uso al año	\$ 12.00	\$ 700.00	\$ 10.00	\$ 70.00	\$ 0.19	\$ 2.30	\$ 2.30
Cajas de plástico (200)	Días de uso al año	Días de uso al año	\$ 5.00	\$ 350.00	\$ 10.00	\$ 35.00	\$ 0.10	\$ 0.48	\$ 0.48
<b>C. Costo fijo total</b>									\$ 1,208.26
<b>D. Costo total</b>									\$ 37,393.82
<b>Ganancia=A-D</b>									\$ 22,106.18
<b>Relación B/C=A/D</b>									\$ 1.59

Anexo 13. Costos y presupuestos durante el séptimo año de producción en la plantación de sábila ubicada en Shara.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o		Costo total				
			Número utilizado	Precio unitario					
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>									
		Ton ha-1	40	\$	34,000.00				
Instalación de riego	Machetes	Pieza	4	\$	280.00				
	Cinta para riego	Rollo	2	\$	8,000.00				
	Tubos t	Pieza	50	\$	350.00				
	Bloomers	Pieza	50	\$	450.00				
Cosecha	Pago por corte	Destajo(caja)	666.67	\$	1,666.67				
	Lima	Lima	177.78	\$	4,444.44				
	Guantes	Par de guantes	31.11	\$	622.22				
	Pase con bordero	Tractorista	4.44	\$	666.67				
	Diésel	Litros	288.89	\$	3,755.56				
Transportación	Diésel	Litros	333.33	\$	4,333.33				
<b>B. Costo total variable</b>									
<b>Costo fijo</b>									
Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor rea (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea							\$ 2,500.00
Mano de obra permanente	Jornal	Jornal							\$ 4,800.00
<b>Herramientas y equipo</b>									
Tractor con rastra		Días de uso al año	5	\$ 700,000.00	10	\$ 70,000.00	\$ 191.78	\$ 958.90	\$ 958.90
Tractor con arado		Días de uso al año	2	\$ 450,000.00	10	\$ 45,000.00	\$ 123.29	\$ 246.58	\$ 246.58
Tambos de plástico (2)		Días de uso al año	12	\$ 700.00	10	\$ 70.00	\$ 0.19	\$ 2.30	\$ 2.30
Cajas de plástico (200)		Días de uso al año	5	\$ 350.00	10	\$ 35.00	\$ 0.10	\$ 0.48	\$ 0.48
<b>C. Costo fijo total</b>									
<b>D. Costo total</b>									
<b>Ganancia=A-D</b>									
<b>Relación B/C=A/D</b>									
									\$ 1,208.26
									\$ 25,777.15
									\$ 8,222.85
									\$ 1.32



Anexo 14. Costos y presupuestos durante el primer año en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total				
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>									
Preparación del terreno	Jornal	Ton ha-1	5 \$	850.00 \$	4,250.00				
	Siembra de hijuelos	Jornal	10 \$	70.00 \$	700.00				
	Hijuelos	Jornal	15 \$	70.00 \$	1,050.00				
Sistema de riego	Tuberías	Planta	10000 \$	1.00 \$	10,000.00				
	Pago por corte	Mantenimiento			1,000.00				
Cosecha	Mantenimiento camión	Destajo	150 \$	10.00 \$	1,500.00				
	Diésel	Litros	50 \$	13.00 \$	650.00				
Transportación					15,900.00				
<b>B. Costo total variable</b>									
<b>Costo fijo</b>									
Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor rea l(costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea	1	-----					\$ 2,000.00
Mano de obra permanente	Jornal	Jornal	60 \$	70.00					\$ 4,200.00
Herramientas y equipo									
Cajas			200 \$	280.00	10 \$	28.00 \$	0.08 \$	15.34 \$	15.34
cañones para riego			2 \$	3,000.00	10 \$	300.00 \$	0.82 \$	1.64 \$	1.64
Mangueras			10 \$	500.00	10 \$	50.00 \$	0.14 \$	1.37 \$	1.37
<b>C. Costo fijo total</b>									\$ 6,218.36
<b>D. Costo total</b>									\$ 22,118.36
<b>Ganancia=A-D</b>									-\$ 17,868.36
<b>Relación B/C=A/D</b>									\$ 0.19

Anexo 15. Costos y presupuestos durante el segundo año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o		Costo total
			Número utilizado	Precio unitario	
A. Ingreso total (beneficio total)					
Sistema de riego	Mantenimiento		20 \$	850.00 \$	17,000.00
Cosecha	Pago por corte	Destajo	800 \$	10.00 \$	8,000.00
Transportación	Mantenimiento camión	Litros	50 \$	13.00 \$	650.00
B. Costo total variable					9,650.00

**Costo fijo**

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor rea (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea	91	70.00					\$ 2,000.00
Mano de obra permanente		Jornal							\$ 6,370.00
Herramientas y equipo									
Cajas			200	250.00	10	25.00	0.07	13.70	\$ 13.70
cañones para riego			2	3,000.00	10	300.00	0.82	1.64	\$ 1.64
Mangueras			10	500.00	10	50.00	0.14	1.37	\$ 1.37
<b>C. Costo fijo total</b>									<b>\$ 8,386.71</b>
<b>D. Costo total</b>									<b>\$ 18,036.71</b>
<b>Ganancia=A-D</b>									<b>-\$ 1,036.71</b>
<b>Relación B/C=A/D</b>									<b>\$ 0.94</b>

Anexo 16. Costos y presupuestos durante el tercer año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total				
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>									
Sistema de riego	Mantenimiento		40 \$	850.00	\$ 34,000.00				
Cosecha	Pago por corte	Destajo	1600 \$	10.00	\$ 16,000.00				
Transportación	Mantenimiento camión				\$ 500.00				
	Diésel	Litros	50 \$	13.00	\$ 650.00				
<b>B. Costo total variable</b>									
					\$ 17,650.00				
<b>Costo fijo</b>									
Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor rea l(costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea							\$ 2,000.00
Mano de obra permanente									\$ 6,370.00
<b>Herramientas y equipo</b>									
Cajas			91	70.00					
cañones para riego			200	250.00	10	\$ 25.00	\$ 0.07	\$ 13.70	\$ 13.70
Mangueras			2	3,000.00	10	\$ 300.00	\$ 0.82	\$ 1.64	\$ 1.64
			10	500.00	10	\$ 50.00	\$ 0.14	\$ 1.37	\$ 1.37
<b>C. Costo fijo total</b>									\$ 8,386.71
<b>D. Costo total</b>									\$ 26,036.71
<b>Ganancia=A-D</b>									\$ 7,963.29
<b>Relación B/C=A/D</b>									\$ 1.31

Anexo 17. Costos y presupuestos durante el cuarto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total				
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>									
Sistema de riego	Mantenimiento		40	\$ 850.00	\$ 34,000.00				
Cosecha	Pago por corte	Destajo	1600	\$ 10.00	\$ 16,000.00				
Transportación	Mantenimiento camión		50	\$ 13.00	\$ 650.00				
	Diésel	Litros			\$ 17,650.00				
<b>B. Costo total variable</b>									
<b>Costo fijo</b>									
Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor real (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea							\$ 2,000.00
Mano de obra permanente	Jornal		91	70.00					\$ 6,370.00
<b>Herramientas y equipo</b>									
Cajas			200	250.00	10	\$ 25.00	0.07	\$ 13.70	\$ 13.70
cañones para riego			2	3,000.00	10	\$ 300.00	0.82	\$ 1.64	\$ 1.64
Mangueras			10	500.00	10	\$ 50.00	0.14	\$ 1.37	\$ 1.37
<b>C. Costo fijo total</b>									
<b>D. Costo total</b>									
<b>Ganancia=A-D</b>									
<b>Relación B/C=A/D</b>									
									\$ 8,386.71
									\$ 26,036.71
									\$ 7,963.29
									\$ 1.31

Anexo 18. Costos y presupuestos durante el quinto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total	Costo fijo												
						Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor real (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total			
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>																		
Sistema de riego	Mantenimiento		40	\$	850.00	\$	34,000.00											
Cosecha	Pago por corte	Destajo	1600	\$	10.00	\$	16,000.00											
Transportación	Mantenimiento camión					\$	500.00											
	Diésel	Litros	50	\$	13.00	\$	650.00											
<b>B. Costo total variable</b>																		
<b>Costo fijo</b>																		
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea														\$	2,000.00	
Mano de obra permanente	Jornal		91		70.00											\$	6,370.00	
<b>Herramientas y equipo</b>																		
Cajas			200		250.00	10	\$	25.00	\$	0.07	\$	13.70	\$	13.70				
cañones para riego			2		3,000.00	10	\$	300.00	\$	0.82	\$	1.64	\$	1.64				
Mangueras			10		500.00	10	\$	50.00	\$	0.14	\$	1.37	\$	1.37				
<b>C. Costo fijo total</b>																\$	8,386.71	
<b>D. Costo total</b>																	\$	26,036.71
<b>Ganancia=A-D</b>																	\$	7,963.29
<b>Relación B/C=A/D</b>																	\$	1.31

Anexo 19. Costos y presupuestos durante el sexto año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>					
Instalación de riego	Mantenimiento	Ton ha-1	30 \$	850.00 \$	25,500.00
Cosecha	Pago por corte	Destajo	1200 \$	10.00 \$	12,000.00
Transportación	Mantenimiento camión				500.00
	Diésel	Litros	50 \$	13.00 \$	650.00
<b>B. Costo total variable</b>					<b>13,650.00</b>

Costo fijo

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor real (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea	91	70.00				\$ 2,000.00
Mano de obra permanente	Jornal	Jornal						\$ 6,370.00
<b>Herramientas y equipo</b>								
Cajas			200	250.00	10 \$	25.00 \$	0.07 \$	13.70 \$
cañones para riego			2	3,000.00	10 \$	300.00 \$	0.82 \$	1.64 \$
Mangueras			10	500.00	10 \$	50.00 \$	0.14 \$	1.37 \$
<b>C. Costo fijo total</b>								<b>\$ 8,386.71</b>
<b>D. Costo total</b>								<b>\$ 22,036.71</b>
<b>Ganancia=A-D</b>								<b>\$ 3,463.29</b>
<b>Relación B/C=A/D</b>								<b>\$ 1.16</b>

Anexo 20. Costos y presupuestos durante el séptimo año de producción en la plantación de sábila ubicada en Blanca Flor.

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Cantidad o Número utilizado	Precio unitario	Costo total
<b>A. Ingreso total (beneficio total)</b>			25 \$	850.00 \$	21,250.00
Instalación de riego				\$	500.00
Cosecha	Pago por corte	Destajo	1000 \$	10.00 \$	10,000.00
	Mantenimiento camión			\$	500.00
Transportación	Diésel	Litros	50 \$	13.00 \$	650.00
<b>B. Costo total variable</b>				\$	11,650.00

Costo fijo

Actividad	Rubro	Unidad de medida	Número de días utilizado (anual)	Valor real (costo de adquisición)	Vida Útil en años	% de amortización anual	% de amortización diaria	Amortización unitaria diaria	Total
Renta de la tierra anual	Renta de una hectárea	Hectárea	91	70					\$ 2,000.00
Mano de obra permanente		Jornal							\$ 6,370.00
Herramientas y equipo									
Cajas			200	250	10 \$	25.00 \$	0.07 \$	13.70	\$ 13.70
cañones para riego			2	3000	10 \$	300.00 \$	0.82 \$	1.64	\$ 1.64
Mangueras			10	500	10 \$	50.00 \$	0.14 \$	1.37	\$ 1.37
<b>C. Costo fijo total</b>									\$ 8,366.71
<b>D. Costo total</b>									\$ 20,036.71
<b>Ganancia=A-D</b>									\$ 1,213.29
<b>Relación B/C=A/D</b>									\$ 1.06

Anexo 21. Temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) mensual en la región del cultivo de Shara para el periodo 1993 a 2013.

<b>Mes</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>
Enero	22.4	43.48	126.67
Febrero	24.1	23.06	132.19
Marzo	25.6	11.36	177.73
Abril	27.9	25.98	194.96
Mayo	28.8	87.22	204.29
Junio	28.2	213.82	184.43
Julio	27.5	188.43	177.95
Agosto	27.9	251.92	179.08
Septiembre	27.6	248.58	161.33
Octubre	28.3	131.73	162.35
Noviembre	24.3	57.32	129.83
Diciembre	23.4	46.29	122.35
Anual	26.3	1329.17	1953.16

\*Fuente: Datos de la estación climática de Pocyaxum, Campeche.

Anexo 22. Temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) mensual en la región del cultivo de Blanca Flor para el periodo de 1993 a 2013.

<b>Mes</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>ETP (mm)</b>
Enero	24.1	35.7	136.17
Febrero	25.4	23.8	140.8
Marzo	27.2	16.3	192.89
Abril	28.8	42.9	210.5
Mayo	29.4	110.8	220.34
Junio	28.6	206.2	197.26
Julio	27.8	184.5	194.48
Agosto	28.7	200	189.7
Septiembre	27.8	236	171.08
Octubre	26.7	147.4	160.8
Noviembre	25.1	61.2	134.03
Diciembre	24.5	27.7	128.45
Anual	27	1292.5	2076.5

\*Fuente: Datos de la estación climática de Hecelchakan, Campeche



Anexo 23. Características químicas de los suelos muestreados en las plantaciones de sábila de Shara (19° 43'33.81" N, 90° 22'18.36" O) y Blanca Flor (20° 12'37.57" N, 90° 06'38.91" O), Campeche.

Coordenadas		Shara					Blanca Flor				
X	Y	Fosforo (P) mg kg <sup>-1</sup>	pH	Materia orgánica (MO) %	Nitrógeno (N) total (%)	Fosforo (P) mg kg <sup>-1</sup>	pH	Materia orgánica (MO) %	Nitrógeno (N) total (%)		
0	0	4.9	7.81	3.26	0.23	4.17	6.92	4.26	0.23		
0	20	2.6	7.72	2.89	0.27	0.46	7.77	0.78	0.04		
0	40	3.1	7.99	2.93	0.27	1.05	7.96	1.77	0.1		
0	60	4.3	7.03	4.18	0.3	2.84	8.2	7.42	0.41		
0	80	5.8	7.59	3.92	0.27	2.54	7.36	1.44	0.08		
0	100	2.5	7.46	3.51	0.26	2.84	8.07	2.1	0.12		
20	0	4.3	7.91	3.19	0.28	1.35	8.09	5.76	0.32		
20	20	2.8	7.66	2.79	0.25	2.84	8.15	8.09	0.45		
20	40	2.8	7.77	2.32	0.29	1.65	8.06	7.42	0.41		
20	60	2.5	7.2	3.45	0.24	1.05	8.17	5.43	0.3		
20	80	7.9	7.59	3.85	0.25	0.46	8.11	5.1	0.28		
20	100	4.3	7.65	3.78	0.29	1.05	8.3	3.43	0.19		
40	0	4	7.9	2.79	0.23	1.35	8.04	3.77	0.21		
40	20	5.2	7.82	4.47	0.32	0.16	8.16	4.76	0.27		
40	40	2.5	7.8	2.79	0.25	4.92	8.04	10.08	0.56		
40	60	5.8	7.48	5.06	0.34	1.65	8.35	6.42	0.36		
40	80	2.2	7.72	3.98	0.28	1.05	8.12	5.76	0.32		
40	100	2.5	7.92	3.85	0.24	0.76	8.25	6.76	0.38		
60	0	2.5	7.84	3.13	0.26	0.46	8.22	3.77	0.21		
60	20	3.4	7.51	2.79	0.27	1.65	8.33	5.65	0.31		
60	40	2.5	7.6	3.26	0.3	2.24	8.12	8.42	0.46		
60	60	2.2	7.28	3.18	0.27	0.46	8.27	4.26	0.25		
60	80	2.5	7.81	3.78	0.26	1.05	8.2	9.65	0.53		
60	100	2.5	7.62	3.51	0.38	1.65	8.13	11.03	0.62		
80	0	3.7	7.8	3.19	0.3	9.97	8.15	4.43	0.25		
80	20	2.5	7.87	2.39	0.28	1.05	8.16	8.11	0.45		
80	40	2.5	7.74	2.66	0.26	1.35	8.5	4.72	0.26		
80	60	2.8	7.46	3.18	0.25	1.05	8.28	10.27	0.57		
80	80	2.2	7.84	3.11	0.26	2.24	8.23	10.88	0.6		
80	100	2.5	7.88	3.38	0.31	0.46	8.51	5.34	0.29		
100	0	3.1	7.99	2.59	0.3	0.76	8.1	4.1	0.23		
100	20	2.5	7.8	2.32	0.21	0.76	8.55	4.72	0.26		
100	40	2.2	7.65	1.82	0.25	0.46	8.37	5.03	0.28		
100	60	1.9	7.42	2.64	24	1.65	8.36	7.49	0.41		
100	80	2.5	7.67	3.38	0.25	0.76	8.18	6.26	0.34		
100	100	2.5	7.94	2.71	0.24	0.61	8.11	5.8	0.33		

