



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

## **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD**

**MANEJO INTEGRADO DE ECOSISTEMAS**

**CAMBIOS EN LA DIVERSIDAD DE GALLINA CIEGA ASOCIADOS A LAS DIFERENCIAS EN PRÁCTICAS AGRÍCOLAS**

# **TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**PAULETTE HUELGAS MARROQUÍN**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:**

DRA. EK DEL VAL DE GORTARI,  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS  
Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**COMITÉ TUTOR:**

DRA. MARTA ASTIER CALDERÓN,  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA  
AMBIENTAL, UNAM  
DR. JOHN LARSEN,  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS  
Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**MÉXICO, D.F. ENERO, 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

## **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD**

**MANEJO INTEGRADO DE ECOSISTEMAS**

**CAMBIOS EN LA DIVERSIDAD DE GALLINA CIEGA ASOCIADOS A LAS DIFERENCIAS EN PRÁCTICAS AGRÍCOLAS**

## **TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**PAULETTE HUELGAS MARROQUÍN**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:**

DRA. EK DEL VAL DE GORTARI,  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS  
Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**COMITÉ TUTOR:**

DRA. MARTA ASTIER CALDERÓN,  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA  
AMBIENTAL, UNAM  
DR. JOHN LARSEN,  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS  
Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**MÉXICO, D.F. ENERO, 2016**



Por medio de la presente me permito informar a usted, que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, en su sesión ordinaria del día 12 de octubre de 2015, aprobó el jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **Maestra en Ciencias Biológicas** de la alumna **Huelgas Marroquín Paulette** con número de cuenta **303057954**, con la tesis titulada "**Cambios en la diversidad de gallina ciega asociados a las diferencias en prácticas agrícolas**", bajo dirección de la **Dra. Ek del Val de Gortari**, Tutora principal:

Presidente: Dr. Alejandro Casas Fernández  
Vocal: Dra. Ana Isabel Moreno Calles  
Secretario: Dr. John Larsen.  
Suplente: Dra. Mariana Benitez Keinrad.  
Suplente: Dra. Marta Astier Calderón.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 01 de diciembre de 2015

Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga  
Coordinadora del Programa



## AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada.

A mi tutora, la Dra. Ek del Val de Gortari.

A mi comité tutor, la Dra. Marta Astier Calderón y el Dr. John Larsen.

## AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A Ek por todo el apoyo, en el ámbito personal y profesional, para terminar este proyecto felizmente. Por tus consejos, la crítica, la motivación y la disposición a ayudar y escuchar.

A John y Marta por el valioso aporte y comentarios en la realización de la tesis. Por su guía y apoyo a lo largo de la maestría.

A Miguel Nájera por la asesoría en la identificación de géneros y especies de larvas y adultos de gallina ciega y por sus valiosos comentarios para mejorar este trabajo. Por siempre estar disponible para solucionar mis dudas.

A los miembros del jurado, el Dr. Alejandro Casas, la Dra. Ana Isabel Moreno y la Dra. Mariana Benítez, por sus comentarios enriquecedores.

A la Biol. Maribel Nava por la realización de los ensayos de nitrógeno y fósforo en plantas y composta y por su asesoría.

Al Dr. Francisco Espinosa y a la Biol. Yolanda García y por su disponibilidad a prestar las instalaciones de su laboratorio y el equipo para la realización de diversas actividades.

Al Dr. José Alfredo Carrera por la identificación del maíz utilizado en el experimento de jardín común.

A los agricultores de Napízaro, en especial a Juan, Jesús y a sus familias, por su apoyo en campo, por su asesoría y el conocimiento compartido.

A Claudio por su ayuda en campo, en la realización de los análisis estadísticos y por las discusiones para mejorar la tesis. Sobre todo por su paciencia y amor; sin ti este proyecto no hubiera sido posible.

Al pequeño Jun, porque te has portado muy bien y tu sonrisa mañanera me ayuda a comenzar el día feliz.

A todos mis compañeros de laboratorio y de Instituto por su aportación y apoyo en diferentes ámbitos, principalmente a Nallely L., Nallely H., Fernanda, Lupita y Ricardo A., Liz, Wendy y Edain. Sin su aportación, el trabajo de campo no hubiera sido divertido, ni realizable.

A Jun y Claudio

## INDICE GENERAL

---

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS.....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	3
INTRODUCCIÓN .....	4
ANTECEDENTES .....	7
Agricultura, biodiversidad y plagas .....	7
El complejo gallina ciega. Filogenia y clasificación .....	10
Distribución geográfica y ecológica .....	11
Relación de los sistemas de manejo agrícola y características del suelo con la abundancia y riqueza del CGC.....	122
CAPÍTULO 1. EL COMPLEJO GALLINA CIEGA (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE) Y SU RELACIÓN CON EL SUELO Y EL MANEJO AGRÍCOLA.....	15
OBJETIVO GENERAL.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
Sitio de estudio.....	15
Información sobre el manejo del cultivo.....	16
Caracterización de suelos .....	16
Muestreo e identificación de larvas .....	16
Evaluación de daño por gallina ciega .....	17
Análisis de poblaciones y comunidades en relación al suelo y al manejo .....	17
RESULTADOS.....	19
Caracterización de los sistemas de manejo agrícola .....	19
Características del suelo y manejo agrícola .....	23
Características del suelo y géneros de gallina ciega.....	23
Identificación de gallina ciega.....	24
Abundancia de larvas por tipo de manejo y por zona.....	24
Abundancia de larvas por género: Análisis de poblaciones.....	27
Riqueza, abundancia y diversidad de géneros: Análisis de comunidades.....	27
Daño en raíces .....	29
DISCUSIÓN .....	32
CAPÍTULO 2. DIVERSIDAD DE GALLINA CIEGA EN DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZACIÓN DEL SUELO .....	35
OBJETIVO GENERAL.....	35

MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
Sitio de estudio .....	35
Diseño experimental y tratamientos.....	35
Muestreo de larvas del CGC, plantas y raíces .....	36
Determinación de biomasa y daño en raíces .....	36
Determinación de N y P en hojas y raíces .....	36
Determinación de N y P en composta.....	37
Identificación de larvas .....	37
Determinación de productividad.....	37
Análisis estadísticos.....	38
RESULTADOS.....	39
Fertilización del suelo.....	39
Altura y biomasa de las plantas .....	39
Biomasa de raíces.....	40
Contenido de N y P en hojas y raíces.....	41
Daño en raíces .....	41
Productividad (grano y rastrojo) .....	42
Incidencia total de gallina ciega.....	42
Análisis de poblaciones.....	43
Análisis de comunidades.....	43
DISCUSIÓN .....	44
CONCLUSIONES GENERALES .....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXO I. MAPA DE SITIOS Y UBICACIÓN DE LAS PARCELAS .....	54
ANEXO II. MAPA DE LA PARCELA DE JARDÍN COMÚN .....	55
ANEXO III. ENCUESTA PARA CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVO .....	56

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1. Gallina ciega parasitada por larva de himenóptero.....	99
FIGURA 2. PCA con variables del suelo seleccionadas. ....	23
FIGURA 3. CCA basado en géneros de gallina ciega y variables ambientales seleccionadas.....	24
FIGURA 4: Promedio de abundancia mensual del complejo gallina ciega durante el ciclo de cultivo 2013.....	25
FIGURA 5. Abundancia anual de larvas (promedio $\pm$ EE).. ....	26
FIGURA 6. Abundancia total mensual por géneros del CGC a lo largo del ciclo de cultivo.....	27
FIGURA 7. Promedio de la larvas por cepellón por género (promedio $\pm$ EE).....	28
FIGURA 8. Dendrograma de presencia /ausencia de géneros de gallina ciega por parcela de cultivo.....	29
FIGURA 9. Mapa de calor por géneros de gallina ciega. ....	30
FIGURA 10. NMDS con datos de abundancia de géneros por parcela. En verde están las parcelas pertenecientes al manejo SFO, en morado las de SCC y en café las de SRC.. ....	31
FIGURA 11. Histograma de daño en raíz por tipo de manejo de cultivo .....	31
FIGURA 12. Modelos lineales. A. Altura de las plantas bajo diferentes condiciones de fertilización. B. Biomasa de las plantas bajo diferentes condiciones de fertilización.....	4040
FIGURA 13. Modelo lineal del peso seco de la raíz a lo largo de los meses bajo diferentes condiciones de fertilización.....	40
FIGURA 14. Frecuencia de daño en los diferentes tratamientos.....	41
FIGURA 15. Número de larvas del CGC totales en el año (promedio $\pm$ EE) en diferentes condiciones de fertilización.....	42
Figura 16. Dendrograma de las parcelas en relación a las morfoespecies del CGC, los números indican el número de la parcela.....	43
TABLA 1. Hábitos alimenticios de principales géneros de gallina ciega.....	14
TABLA 2. Distribución de parcelas por zonas y sistemas de manejo agrícola en la comunidad de Napízaro, Michoacán.....	15
TABLA 3. Variables del agroecosistema bajo los diferentes manejos.....	22
TABLA 4: Tabla de ANOVA para los modelos de abundancia de gallina ciega en relación con la zona y tipo de manejo.....	25
TABLA 5. Criterios de comparación de modelos .....	26
TABLA 6. Comparación de modelos de abundancia de gallina ciega por géneros en relación con la zona y el tipo de manejo.....	28
TABLA 7. Puntuación de cada variable (género) en el análisis NMDS .....	30
TABLA 8. Descripción de los tratamientos de fertilización y cantidad de N y P adicionada a las parcelas según la recomendación de los agricultores. ....	37
TABLA 9. Valores de productividad de grano y rastrojo por tratamiento.....	42

## RESUMEN

---

El complejo gallina ciega (CGC) designa a la etapa larval de más de mil especies de escarabajos lamelicornios, y es considerado una de las plagas más importantes en México; los métodos convencionales para su control incluyen pesticidas químicos como Volaton (Foxim) o Furadan (Carbofurano), los cuales han sido reportados como altamente tóxicos para los organismos y sumamente dañinos al ambiente.

No obstante los daños que ocasionan por herbivoría, las larvas del CGC aportan beneficios como ingenieras del suelo; sin embargo, el control convencional de estos insectos tiene como objetivo eliminarlos completamente de los agroecosistemas.

Considerando lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar si las comunidades del CGC responden al tipo de fertilización y a las formas de manejo agrícola con la intención de proponer posibles acciones de control de plagas prescindiendo de pesticidas.

En el primer capítulo se estudiaron parcelas con diferentes manejos agrícolas (convencional, fertilización orgánica y rotación de cultivos) ubicadas en diversas zonas de Napízaro, Michoacán. Los análisis mostraron que las características del suelo explican 74% de la varianza del modelo de abundancia anual de larvas, mientras que el manejo agrícola explica 49%. Sin embargo, el manejo agrícola se relaciona más que la zona en la estructuración de la comunidad del CGC en el análisis de clúster. Se encontró que algunas características del suelo están relacionadas con la abundancia de ciertos géneros, lo cual podría ser útil en el diagnóstico de campos agrícolas.

En el segundo capítulo se estableció una parcela de jardín común con tres diferentes condiciones de fertilización (química, orgánica y sin fertilización). En cuanto a productividad de grano y rastrojo, el único tratamiento significativamente diferente fue el tratamiento con fertilizante químico, lo cual muestra los retos de la transición de sistemas convencionales a otros más sustentables. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la comunidad del CGC.

Los datos de ambos capítulos muestran que las diferencias en la comunidad de gallina ciega son más importantes cuando se hace el estudio a nivel de paisaje (capítulo 1) en comparación con el nivel de parcelas (capítulo 2), de forma que los factores que interactúan en niveles mayores de territorio parecen estructurar las comunidades.

Este trabajo hace una propuesta interesante y novedosa en el estudio de las comunidades de plagas en México, por una parte por la utilización de modelos de estadística multivariada y GLMM, en segundo término, los niveles espaciales en los que se realiza el análisis.

## ABSTRACT

---

The white-grub complex (WGC) designates the larval stage of over thousand species of Scarabaeoidea beetles, and it is considered among the most important pests in Mexico. Conventional control methods includes the use of chemical pesticides as Volaton (Phoxim) or Furadan (Carbofuran), which have been reported as highly toxic for humans and other organisms and harmful to the environment.

However, the benefits that WGC may provide acting as soil engineers have been long forgotten and therefore, the conventional control of these insects aims to completely eliminate them for agroecosystems.

In this context, this study assessed how the WGC communities change according to agricultural management and fertilization regime, in order to contribute to the development of potential pest control actions without pesticides. The objective was to determine whether larval communities respond to fertilization and to the different agricultural managements.

In Chapter one, I describe a study in twelve plots located in several areas in the community of Napízaro, Michoacán. These plots are under different management techniques (conventional, organic fertilization and crop rotation). Analysis showed that the soil characteristics explain 74% of larval annual abundance, while agricultural management explains 49%. However, the agricultural management is more important than the zone in structuring the community of WGC in the cluster analysis. It was found that some characteristics of the soil are related to the abundance of certain genres, which may be useful on farmland diagnosis.

In the second Chapter a common garden plot with three different fertilization conditions (chemical fertilization, organic fertilization and without fertilization) was established. In terms of grain and stubble productivity, only the treatment with chemical fertilization was significantly different from the rest. This represents a sign of the transition challenges from conventional to sustainable agricultural systems. No significant differences between treatments in the WGC community were found.

Comparing the data obtained in the two chapters we see that differences in white grub communities are most relevantly influenced by the landscape (Chapter 1). It is more difficult to detect changes in the communities when the experiment was performed at the plot level (Chapter 2). It therefore appears that several factors interacting at the level of the territory influence the structure of white-grub communities. This work makes a novel contribution in the way how white grub communities have been studied Mexico, on the one hand by the use of multivariate statistical models and GLMMs to analyze data from different points of view and secondly, the trans-scalar levels at which the analysis is performed.

## INTRODUCCIÓN

---

En un nivel macro-espacial, los factores que influyen la diversidad y riqueza de las especies en el suelo están relacionados con la heterogeneidad de hábitats influenciada por el clima, la orografía, la historia geológica del territorio, los suelos, entre otros factores. A su vez, a nivel micro-espacial, la distribución de las especies se relaciona en gran medida con la estructura de la comunidad biótica (Teeri y Stowe, 1976; García y Ríos, 1991; Ettema y Wardle, 2002). Este último enfoque requiere de la consideración de la fenología vegetal, los micro-hábitats generados a partir de la arquitectura de la vegetación, el estado de la diversidad y las interacciones bióticas, así como de los efectos recíprocos entre los componentes bióticos y abióticos interactuantes. Casos especiales los constituyen los agroecosistemas, los cuales por su dinámica particular, pueden mostrar patrones de diversidad asociados a los ciclos de cultivo y a las prácticas agrícolas empleadas.

Los invertebrados son mediadores clave de las funciones de los suelos debido a la diversidad de los procesos de ingeniería de ecosistemas de los cuales forman parte. La pulverización y la incorporación de materia orgánica en el suelo, la construcción y el mantenimiento de porosidad estructural y la agregación de los suelos a través de la creación de túneles, el control de las comunidades y las actividades microbianas, la protección fitosanitaria contra plagas y enfermedades y la aceleración de las etapas de sucesión de especies vegetales, son algunos de los muchos efectos que tienen los invertebrados sobre otros organismos a través de sus actividades (Lavelle et al., 2006).

En el contexto agrícola, gran parte de las plagas son especies de invertebrados, por lo que se han utilizado pesticidas para combatirlos sin considerar los efectos que éstos puedan tener sobre insectos benéficos para el funcionamiento de los ecosistemas (Kunkel et al., 1999; Jepson, 1989). Este es uno de los grandes problemas de la agricultura intensiva que no ha sido estudiado a profundidad. Eso sin tomar en cuenta que muchos invertebrados considerados como plaga también tienen efectos benéficos sobre los suelos. Por ello, hoy por hoy, el estudio de cómo se afectan las comunidades de invertebrados con manejos agrícolas menos agresivos (por ejemplo uso de compostas, abonos verdes y bioplaguicidas) con el ambiente es un área de investigación de alta prioridad.

Las gallinas ciegas, nombre que designa a la etapa larval de más de 1179 especies de escarabajos principalmente, de la familia Melolontidae en México (Morón, 2014). Estas larvas son ampliamente reconocidas como dañinas para los cultivos por ser rizófagas (se calcula que pueden generar daños de hasta el 50% del cultivo) y la mayoría de los estudios se han centrado en estrategias para combatirlos. Sin embargo, como cualquier invertebrado edáfico, las larvas de estos escarabajos

tienen importantes contribuciones benéficas en los suelos (Romero-López et al., 2010). Entre los más importantes se pueden mencionar:

- 1.- Incremento de la porosidad, drenaje y aireación del suelo, al comportarse de manera similar a las lombrices e influir positivamente en las características físicas edáficas;
- 2.- Mejoramiento de las características químicas del suelo, al inmovilizar y distribuir nutrientes, así como al mineralizar y/o humificar la materia orgánica, funcionando así como catalizadores biológicos, y
- 3.- Estimulación de las diversas actividades biológicas del suelo, incrementando la descomposición microbiológica de la materia orgánica, regulando la composición biótica y exportando algunos de los nutrientes del suelo contenidos en su fase adulta, hacia el subsistema supraedáfico.

Estas actividades de las gallinas ciegas las hacen un modelo interesante de estudio, pues su potencial benéfico y su capacidad destructiva de los cultivos dependen en gran medida del balance de factores bióticos y abióticos en los que se desarrollan. Como se verá más adelante, los hábitos alimenticios de algunas especies de estas larvas dependen de la disponibilidad de materia orgánica y de raíces, lo que a su vez depende del manejo agrícola.

El sitio de estudio se ubica en Napízaro, una comunidad representativa de las prácticas agrícolas de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, aunque cuenta con sus propias características edáficas y usos del suelo. Napízaro pertenece a Erongarícuaro, municipio que en 2005 contaba con casi dos mil agricultores, lo que corresponde a casi el 38% del total de productores de la región. Los sistemas de manejo agrícola que se practican en Napízaro, son también representativos de la agrobiodiversidad de la región ya que utilizan sistemas de rotación y descanso de tierras además de maíces nativos (del-Val et al., 2013).

En el primer capítulo de este trabajo se estudiaron doce parcelas con diferentes manejos agrícolas ubicadas en diversas zonas en la comunidad de Napízaro, Michoacán. Los análisis se realizaron tanto para las zonas como para los manejos agrícolas con la finalidad de establecer los efectos de cada variable. Se encontró que las características del suelo son más relevantes que el manejo agrícola en relación con el número total de larvas en la parcela, a lo largo de todo el ciclo de cultivo. Sin embargo, el manejo agrícola es más relevante que la zona en la estructuración de la comunidad del CGC. También se encontró que algunas características del suelo pueden estar relacionadas con la abundancia de los géneros del CGC, lo cual podría ser útil en el diagnóstico de los géneros de gallina ciega presentes en campos agrícolas.

En el segundo capítulo se estableció una parcela de jardín común con tres diferentes condiciones de fertilización: 1) fertilización química, 2) fertilización orgánica y 3) sin fertilización. Se midieron parámetros relacionados con la nutrición vegetal (altura y biomasa), con la productividad (productividad de grano y rastrojo) y con las comunidades del CGC

### AGRICULTURA, BIODIVERSIDAD Y PLAGAS

Los diferentes tipos de agricultura, por ejemplo orgánica, de bajos insumos e intensiva, conllevan prácticas particulares (uso de agroquímicos, rotación de cultivos, descanso de la tierra, chaponeo, policultivos, labranza, etc.) que modifican el suelo y por ende la diversidad en los agroecosistemas, de maneras distintas (Giller et al., 1997). Las especies de animales que habitan en los agroecosistemas, y que son capaces de adaptarse a los continuos cambios en una parcela, pueden verse afectadas directamente por los regímenes de perturbación asociados con el pastoreo, siembra y cosecha, e indirectamente por la abundancia de plantas y alimento disponible. Algunas técnicas tales como el drenaje de tierras, crean cambios tan importantes en el hábitat que provocan modificaciones significativas en la composición de las especies (McLaughlin y Mineau, 1995).

Adicionalmente, la pérdida de heterogeneidad de hábitat, sobre todo en prácticas de agricultura convencional, es un factor relacionado con la disminución de los niveles de biodiversidad (Benton et al., 2003).

Numerosos estudios han tenido como objetivo determinar el efecto de las prácticas agrícolas sobre la diversidad de grupos de plantas y animales. En general, se considera a la agricultura orgánica como la más respetuosa con el ambiente y a la agricultura convencional como la más problemática en términos de contaminación y disminución de la biodiversidad. Se ha registrado, por ejemplo, que la agricultura orgánica incrementa la diversidad de carábidos, plantas vasculares y aves (Dritschilo & Wanner 1980; Kromp 1989; McLaughlin y Mineau, 1995, Pfinner & Niggli 1996, Freemark & Kirk 2001, Hyvönen & Salonen 2002). En contraste, la agricultura convencional y la intensificación tienden a reducir la diversidad de especies, principalmente de plantas y aves (Flohre et al., 2011). Sin embargo, existen indicios de que, dependiendo del clima y lugar donde se realice el experimento, el tipo de agricultura puede tener o no efectos positivos sobre la biodiversidad (Kleijn et al., 2001).

Bengtsson y colaboradores (2005) realizaron un meta-análisis con 66 publicaciones posteriores a 2002 y encontraron lo siguiente:

- La agricultura orgánica por lo general aumenta la riqueza de especies en las parcelas; en promedio se encontró un valor 30% más alto de riqueza de especies en parcelas orgánicas que en sistemas agrícolas convencionales. Sin embargo, 16% de los estudios mostró un efecto negativo de la agricultura orgánica sobre ese mismo parámetro.
- La riqueza de aves, insectos y plantas generalmente mostró un aumento en terrenos manejados bajo prácticas de agricultura orgánica. Sin embargo, el

número de estudios analizados fue pequeño para la mayoría de los grupos (rango 2-19). El efecto de agricultura orgánica fue mayor en estudios realizados en escala de parcelas. Para estudios en escala de granja, cuando las granjas manejadas bajo sistema convencional y orgánico fueron agrupadas de acuerdo con la estructura del paisaje, el efecto fue significativo pero altamente heterogéneo.

- En promedio, los organismos (plantas, aves e insectos) fueron 50% más abundantes en los sistemas de agricultura orgánica; sin embargo, los resultados fueron muy variables entre los estudios y grupos de organismos. Las aves, insectos depredadores, organismos del suelo y plantas respondieron positivamente a la agricultura orgánica, mientras que insectos no depredadores y plagas, no lo hicieron. Los efectos positivos de la agricultura orgánica en la abundancia fueron más importantes en escala de parcela y de granja, que a escala de paisaje.

En resumen, los efectos de la agricultura orgánica sobre la diversidad de organismos son generalmente positivos, aunque existe evidencia que demuestra que los efectos del manejo sobre los organismos pueden variar de acuerdo a la región donde se realice el estudio, a la metodología empleada y al grupo al que pertenezcan las especies.

Un estudio interesante para entender la función del manejo agrícola en el mantenimiento de agroecosistemas saludables es el de Tiemman y colaboradores (Tiemman *et al.*, 2015), quienes encontraron que, en un gradiente de biodiversidad de cultivos, el carbono en las parcelas bajo rotación incrementó 33% en comparación con los monocultivos y que la actividad microbiana fue significativamente mayor en las parcelas con rotación. Estos resultados sugieren que la biodiversidad de cultivos afecta positivamente la función microbiológica y por ende la función de los agroecosistemas, lo que, en última instancia, soporta los niveles de biodiversidad y productividad.

En el caso de las especies de insectos herbívoros, consideradas generalmente como plagas, se sabe que uno de los factores más relevantes que afectan la abundancia es la modificación del control “top-down” o descendente, el cual se refiere a la capacidad de las poblaciones de parasitoides y de depredadores para limitar las poblaciones de herbívoros (Bengtsson *et al.*, 2013). Al respecto varias investigaciones han llegado a la conclusión de que diferentes formas de manejo agrícola fomentan la biodiversidad son capaces de aumentar las poblaciones de enemigos naturales y de esta forma realizar un manejo integrado de plagas (Landis *et al.*, 2000 y Gurr *et al.*, 2003).

En relación con prácticas agrícolas particulares se conocen algunas relaciones entre éstas y su efecto en la diversidad, por ejemplo el monocultivo reducen la diversidad

de plantas, mientras que la milpa los aumenta (Contreras, 2011); la aplicación de composta o vermicomposta afecta diferencialmente la diversidad de bacterias en el suelo (Vivas *et al.*, 2009); mientras que la diversidad de plantas y patrones espacio-temporales variados en los cultivos permiten una mayor diversidad de nichos y recursos que estimulan la biodiversidad del suelo. Por ejemplo, hábitats diversos soportan mezclas complejas de organismos del suelo, y por medio de la rotación de cultivos o cultivos intercalados, es posible fomentar la presencia de una mayor variedad de organismos, mejorar el ciclo de nutrientes y procesos naturales de control de plagas y enfermedades (Scialabba, 2001).

Aunque todavía no se establece con claridad cómo las prácticas agrícolas en conjunto con otros factores que operan a nivel de parcela, granja o paisaje funcionan para influir sobre los niveles de biodiversidad, los estudios indican que el manejo es un factor que influye de manera relevante en los niveles de riqueza y abundancia de especies; inclusive tiene un papel fundamental en el mantenimiento de niveles bajos de abundancia de especies consideradas plagas.

Este trabajo centra la atención en un grupo de especies conocidas como gallinas ciegas (Figura 1), las cuales, según diversos autores (Espinosa *et al.*, 2005; Nájera 2005; Aragón y Morón, 2000; Ramírez-Salinas *et al.*, 2000) son una de las plagas más importantes en México, tanto para el maíz como para otros cultivos de importancia alimentaria e industrial. Esta plaga está relacionada con pérdidas económicas importantes, algunas aproximaciones sugieren que puede causar daños de hasta 15% en el cultivo de maíz, lo que significa pérdidas anuales de 135 millones de dólares sólo en Latinoamérica (Argüello, *et al.*, 1999); según otros autores las larvas pueden reducir la producción de grano de maíz en 1.3 t/ha, lo que podría representar la reducción de la producción nacional en millones de toneladas por año (Ríos y Romero, 1982).



FIGURA 1. Gallina ciega parasitada por larva de himenóptero. Fotografía propia.

## EL COMPLEJO GALLINA CIEGA. FILOGENIA Y CLASIFICACIÓN

Gallina ciega, yupo, gusano blanco, nixticuil, nexteocuil, kolom, rosquilla o ticoco, son los nombres con los que se conocen comúnmente las larvas de escarabajos de la superfamilia Scarabaeoidea o Lamellicornia en México (Morón 1984, 2003a y b, 2004, Morón et al., 1997).

Los primeros estudios taxonómicos de este grupo fueron realizados por investigadores estadounidenses, quienes reconocieron tres familias de Scarabaeoidea: Scarabaeidae, Passalidae y Lucanidae (Blackwelder 1944, Arnett 1963, Woodruff 1973, Ratcliffe 1991). Morón, por su parte, siguió la clasificación propuesta por Endröi en 1966, la cual consideraba cinco familias: Lucanidae, Passalidae, Trogidae, Scarabaeidae y Melolonthidae, dentro de esta última se consideraban las subfamilias: Melolonthinae, Rutelinae, Dynastinae y Cetoniinae (Morón, 2010).

En 2002, Ratcliffe y colaboradores promovieron la clasificación de Lawrence y Newton (1995) como la mejor opción para el estudio de los Scarabaeoidea; cuestionaron el uso del nombre de Melolonthidae para el agrupamiento de las “Scarabaeidae saprófitas” e incluyeron Melolonthinae, Rutelinae, Dynastinae y Cetoniinae como subfamilias de Scarabaeidae.

Posteriormente, los estudios realizados por Ahrens (2005) y por Smith y colaboradores (2006) sugirieron la separación de Aphodiinae y Scarabaeinae para conformar una verdadera familia de Scarabaeidae, y dejar las demás subfamilias en el clado de Melolonthidae (Morón, 2010).

Adicionalmente, estudios filogenéticos preliminares con caracteres morfológicos de adultos y larvas (Mico et al., 2008) apoyan la separación de las especies incluidas en Cetoniinae, Trichiinae y Valginae como una familia parafilética de Melolonthidae llamada Cetoniidae (Morón, 2010). Estos estudios confirman la propuesta de Endröi (1966), en la cual las larvas y adultos de Melolonthinae, Dynastinae, Rutelinae y Cetoniinae fueron descritas con hábitos y características distintas a Scarabaeinae, Aphodiinae y Geotrupinae (Morón, 2010).

Los ciclos de vida de las especies comprendidas en el CGC varían en un amplio rango de duración. Algunos adultos viven de 5 a 20 días, mientras que otros llegan a vivir entre 2 y 8 meses; por su parte las larvas pueden llegar a vivir desde 80 a 120 días hasta 4 a 32 meses (Morón, 2010). En términos generales, las especies coprófagas y necrófagas, como las subfamilias Scarabaeinae y Aphodiinae, tienen ciclos de vida más cortos que las especies fitófagas y saprófagas como las subfamilias Melolonthinae, Rutelinae, Dynastinae y Cetoniinae. Diferencias que pueden ser

atribuibles al sustrato alimentario, al tamaño corporal y hábitos reproductivos (Morón, 2010).

#### **DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y ECOLÓGICA**

De acuerdo con Morón (2003b), los cinco estados con mayor número de especies de coleópteros lamelicornios son Chiapas (455), Veracruz(430), Oaxaca (389), Puebla (259), Jalisco (237), Guerrero (231), Durango (213) e Hidalgo (211).

La diversidad de gallina ciega incrementa de noroeste a sureste, es decir, el área debajo de la línea del Trópico de Cáncer reúne más especies. Así, Baja California Sur, Chihuahua y Nuevo León tienen registrado un promedio de 94 especies, mientras que Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Tabasco y Chiapas registran un promedio de 326 especies (Morón, 2010). El número de especies también es más reducido en las penínsulas que en el resto del territorio nacional, hasta 2007 se tenían registradas 164 especies en la Península de Baja California y 136 en Yucatán, de las 1,820 especies registradas en México (Morón, 2010).

Según Morón (2010), la distribución ecológica de la gallina ciega se relaciona con la disponibilidad de humedad y la temperatura media a lo largo del año, así como con la diversidad de ambientes y suelos generados a través de la historia geológica del territorio.

Los estados de la Meseta del Norte (720,749 km<sup>2</sup>) tienen grandes extensiones de aridisoles, suelos derivados de cenizas volcánicas y andosoles, con pocos litosoles y regosoles. En la Meseta Central (123,666 km<sup>2</sup>) predominan los suelos derivados de cenizas volcánicas, andosoles y vertisoles sobre los aridisoles. Por otra parte, en los estados que conforman la vertiente del Pacífico al noroeste de Oaxaca (479,897km<sup>2</sup>) existe una variedad de aridisoles, oxisoles, suelos derivados de cenizas volcánicas, andosoles, suelos hidromórficos, litosoles y regosoles. En los estados del sureste (266,727 km<sup>2</sup>), predominan los oxisoles, fluvisoles, suelos derivados de cenizas volcánicas, andosoles y rendzinas. En la península de Baja California (143,790 km<sup>2</sup>) se encuentran principalmente aridisoles, litosoles, regosoles y suelos hidromórficos. Los suelos que conforman la Península de Yucatán (141,523 km<sup>2</sup>) son sobre todo rendzinas, litosoles y regosoles (Morón 2001).

De acuerdo con el análisis del autor, los oxisoles y fluvisoles podrían ser uno de los factores determinantes para favorecer la diversidad de larvas edafícolas de Melolonthidae en el sureste, mientras que los aridisoles podrían ser el factor limitante para estas especies en la Meseta del Norte y la península de Baja California. Por otra parte, las isotermas de temperaturas medias anuales entre 18 a 22°C y mayores a 22°C corresponden con los valores de diversidad estatal y regional

más altos de coleópteros Melolonthidae, y en particular cuando coinciden con las isoyetas anuales de 800 a 3200 mm o lecturas mayores.

En regiones alejadas de las masas oceánicas y con escasa orografía, la temperatura y humedad son más estables en zonas extensas por lo que, en función de las condiciones del subsuelo, las comunidades de gallina ciega pueden ser menos diversas y especializadas. Lo mismo ocurre con ambientes relativamente jóvenes, como es el caso de la Gran Llanura de América del Norte, cuya formación tiene menos de 10 mil años y dónde el complejo está representado por cerca de 80 especies de 17 géneros (Rockewell, 1998 y Ratcliffe, 1991).

En el caso de ambientes más antiguos, como el “cerrado” de la Meseta Brasileña, con más de cinco millones de años de antigüedad, el complejo gallina ciega está formado por un mínimo de 300 especies y 30 géneros (Gottsberg y Gottsberg, 2006; Morón, 2004).

Los lamellicornios son organismos preponderantemente termófilos e higrófilos; por esta razón, se encuentran más diversificados en ambientes tropicales y subtropicales, aunque es frecuente que en sitios templados de México sean más abundantes, pero el número de especies y géneros sea menor. En los bosques tropicales perennifolios se han registrado hasta 115 especies, en bosques tropicales caducifolios 105 especies; mientras que en bosques de coníferas y encinos la diversidad varía entre 29 y 45 especies (Morón et al., 1997).

#### **RELACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANEJO AGRÍCOLA Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO CON LA ABUNDANCIA Y RIQUEZA DEL CGC**

De las numerosas especies de gallina ciega que se han reportado en hábitats tropicales, subtropicales y templados, sólo algunas especies han podido establecerse en suelos perturbados por la agricultura (Morón, 1997 y 2003; Evans, 2003 y Smith y Evans, 2005; Nájera, 1993). Cuando el suelo se remueve de una a tres veces al año, la inestabilidad microambiental genera que muchas especies de invertebrados con ciclos mayores a seis meses migren a zonas menos perturbadas (Morón, 2010).

En la región templada de Michoacán se tiene registro de 30 especies de gallina ciega asociadas al cultivo de maíz. Diecisiete especies de *Phyllophaga*, tres especies de *Diplotaxis*, cuatro especies de *Macroductylus*, dos especies de *Anomala* (ahora *Paranomala*), tres especies de *Cyclocephala* y una de *Izonychus* (Nájera, 1998).

Diversos trabajos sugieren que existen factores relacionados con el manejo agrícola que determinan la composición del CGC; sin embargo, son pocos los estudios que correlacionan factores agroclimáticos con géneros o especies de estos insectos.

Dentro del primer caso encontramos la investigación de Morón y colaboradores (1996), donde señalan que *C. lunulata* se encuentra en altas densidades en suelos profundos y con altos contenidos de materia orgánica; por su parte Rodríguez del Bosque y colaboradores (1995) refieren que en áreas de riego en el norte de Tamaulipas se registra mayor diversidad de especies de gallina ciega en comparación con zonas más secas. Aparentemente, las condiciones de humedad constante en el suelo irrigado favorecen una mayor sobrevivencia de las larvas.

En 2004, Pérez y colaboradores estudiaron la macrofauna en un sistema de producción de maíz en monocultivo (testigo) y cuatro sistemas de producción de las combinaciones resultantes entre dos cultivos de cobertura en invierno: *Avena sativa* L. y *Vicia sativa* L., y dos formas de uso: acolchados e incorporados. El sistema de producción de maíz en el cual se usó *Vicia sativa* (Leguminosae) como abono verde acolchado (labranza cero) durante el invierno, incrementó sustantivamente la población y diversidad de la macrofauna (insectos y arácnidos). En los muestreos realizados, el número de escarabajos (considerados en su mayoría como plagas, pero también algunos son depredadores y detritívoros) se incrementó en las parcelas con cultivo de invierno, situación que se interpreta como no deseable. Sin embargo, el autor hace la aclaración de que para sustentar esto último, habría que determinar la preferencia alimenticia de las larvas. La comunidad de coleópteros representó el mayor segmento y fue la más sensible a los cambios en las prácticas de los sistemas probados. Dado este resultado, los autores proponen el uso de coleópteros como indicador faunístico para inferir el grado de estabilidad del sistema, ya que este Orden responde a los cambios en la estructura vegetal y a las prácticas de cultivo.

En la región purépecha de Michoacán el género *Phyllophaga* pudiera estar asociado a condiciones de monocultivo, mientras que los géneros: *Macroductylus*, *Diplotaxis* y *Anomala* están mayormente relacionados con zonas de vegetación ruderal (Pérez et al., 2008).

Díaz y colaboradores (Díaz et al., 2006) realizaron estudios correlativos analizando abundancia, distribución y relación de la gallina ciega con factores climáticos, edáficos y de manejo en el estado de Jalisco. De acuerdo con sus datos, *Cyclocephala lunulata* y *Cyclocephala comata* presentan correlación positiva con el fósforo y nitrógeno amoniacal del suelo y, por lo tanto, con la fertilización a base de nitrógeno y fósforo que se aplica al cultivo. *Cyclocephala lurida* también se correlacionó con fósforo y nitrógeno amoniacal. Las especies *Phyllophaga dentex*, *Phyllophaga ravidata* y *Phyllophaga vetula* se correlacionaron positivamente con el contenido de manganeso en el suelo; *Phyllophaga vetula* y *Phyllophaga fulviventris* con el porcentaje de arcilla y precipitación pluvial. *Phyllophaga ravidata* y *Phyllophaga vetula* se correlacionaron negativamente con el pH, y *Phyllophaga vetula* con el

porcentaje de arena, pH, y concentración de potasio y magnesio en el suelo. De tal manera que cada especie respondió de manera distinta a cada componente del suelo.

Se han estudiado los efectos en la incidencia y daño por *Phyllophaga cuyabana* de acuerdo al método de labranza en cultivos de soya. Oliveira y colaboradores (Olivera *et al.*, 2000) estudiaron dos condiciones de manejo agrícola: labranza cero y labranza convencional (arado de disco, rastra de discos de nivelación, arado de vertedera, arado de cincel y arado de alta resistencia). La fluctuación de la población de *P. cuyabana* y la extensión del daño a la soya fue similar en los sistemas de labranza convencional y de siembra directa. La comparación de los equipos de labranza primaria mostró efectos diferenciados sobre las poblaciones de *P. cuyabana* en el suelo, dependiendo del momento de la temporada en la que se ejecute la labranza; la reducción de la gallina ciega fue más evidente en las parcelas labradas por un equipo más pesado, como el arado de vertedera.

Para poder interpretar si el manejo agrícola genera cambios deseados o no deseados en la CGC es necesario conocer los hábitos alimenticios de cada género. Al respecto existen algunos trabajos que reportan esta información, aunque no siempre llegan a la misma conclusión (Tabla 1).

TABLA 1. Hábitos alimenticios de principales géneros de gallina ciega.

Género	Hábito	Fuente
<i>Phyllophaga</i> sp.	Rizófaga estricta / Rizófaga facultativa	Blanchard, 1850; Bates, 1888;
<i>Cyclocephala</i> sp.	Saprófaga /Rizófaga facultativa	Brown et al., 2001
<i>Paranomala</i> sp.	Rizófaga facultativo / Saprófagas	Blanchard, 1850; Burmeister, 1844; Bates, 1888
<i>Macroductylus</i> sp.	Saprófaga	Castro-Ramírez et al. 2004, 2005
<i>Diplotaxis</i> sp.	Saprófaga	Castro-Ramírez et al. 2004, 2005
<i>Diloboderus</i> sp.	Rizófaga Facultativa	Brown et al., 2001
<i>Bothynus</i> sp.	Saprófaga	Brown et al., 2001

Aunque hoy el conocimiento sobre cómo las prácticas agrícolas afectan las poblaciones y comunidades de gallina ciega ha avanzado mucho, aún no se han realizado investigaciones que permitan indagar más sobre los factores que afectan a las comunidades de estos insectos, en particular el manejo y características del suelo. La mayoría de los trabajos sugieren factores que son relevantes, pero son pocos los estudios correlativos. Hoy con las herramientas de estadística multivariada es más fácil examinar los diferentes factores relacionados.

## CAPÍTULO 1. EL COMPLEJO GALLINA CIEGA (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE) Y SU RELACIÓN CON EL SUELO Y EL MANEJO AGRÍCOLA

---

### OBJETIVO GENERAL

Analizar la relación entre las características del suelo y el manejo agrícola con los cambios en la comunidad de gallina ciega.

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### SITIO DE ESTUDIO

Napízaro se localiza en la región purépecha de Michoacán a 19°36'00" Norte: 101°43'00" Oeste, aproximadamente a 2,100 msnm y con topografía variada (Anexo I). El clima es templado con temperatura media anual de 15°C y precipitación media anual de 1,040 mm, principalmente en los meses de Junio a Octubre (del-Val *et al.*, 2013). Según el Mapa Digital de México V. 6 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía (INEGI), en la zona oeste del lago de Pátzcuaro, donde se encuentra la comunidad de Napízaro, el tipo de suelo es durisol, el cual se caracteriza por acumulación de sílice.

El presente estudio se llevó a cabo en parcelas bajo tres sistemas de manejo agrícola durante cuatro años, cada uno representado por cuatro parcelas:

1. Sistema rotación de cultivos (SRC): caracterizado por el uso de pesticidas y fertilizantes químicos.
2. Sistema de fertilización orgánica (SFO): caracterizado por el uso de composta y manejo mecánico de arvenses.
3. Sistema de cultivo convencional (SCC): caracterizado por aporte de nitrógeno y otros nutrientes derivados del rastrojo y cultivo de gramíneas.

La caracterización de manejos se realizó mediante entrevistas semiestructuradas a los agricultores de cada parcela, en total se realizaron 12 entrevistas, una por cada parcela. Cabe señalar que debido a las prácticas agrícolas propias de la zona y a la necesidad de seleccionar parcelas con sistemas de manejo similares, las doce parcelas utilizadas para el muestreo se encontraban distribuidas en cuatro zonas dentro de Napízaro (Tabla 2).

TABLA 2. Distribución de parcelas por zonas y sistemas de manejo agrícola en la comunidad de Napízaro, Michoacán.

Zona	Manejo
La Presa (Z1)	SFO (P1 y P2)
La Joya (Z2)	SCC (P3, P4 y P6) y SFO (P5)
La Cuateramba (Z3)	SRC (P7, P8, P9 y P10)
El Panteón (Z4)	SFO (P11) y SCC (P12)

En el Anexo I se muestra el mapa de las parcelas con su ubicación dentro de cada zona en Napízaro.

#### INFORMACIÓN SOBRE EL MANEJO DEL CULTIVO

Las parcelas utilizadas para el estudio poseen tres tipos diferentes de manejo: convencional (SCC), rotación de cultivos (SRC) y orgánico o de bajos insumos (SFO), todas las parcelas han sido manejadas bajo el sistema de cultivo indicado durante un período de cuatro años.

Del-Val *et al.* (2013) publicaron un estudio en el que reportan las variables de cada uno de los diferentes sistemas de manejo (sistema de cultivo convencional-SCC, sistema de fertilización orgánica-SFO y sistema de rotación de cultivo-SRC) para los años 2010, 2011 y 2012. Estos sistemas son los mismos que se utilizaron en el presente trabajo; sin embargo, se realizaron nuevas entrevistas con el fin de detectar cambios en el manejo de los sistemas (Ver Tabla 3). La información sobre las principales prácticas se obtuvo mediante preguntas relacionadas con: el sistema de siembra, la rotación de cultivo, el descanso de tierra, la aplicación de estiércol, la variedad de maíz utilizada, el tipo de control de plagas y de malezas y el uso de fertilizantes químicos (Anexo III).

#### CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

Para evaluar la composición de los suelos se homogenizaron nueve muestras por cada parcela, tomadas en forma de zigzag con nucleadores edafológicos a lo largo del terreno. Posteriormente se mezclaron para obtener una muestra compuesta. Las muestras compuestas fueron enviadas al Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal (Campo Experimental Bajío) del INIFAP y realizaron análisis de: textura (arena, arcilla y limo), densidad aparente (DenApar), capacidad de campo (CapaCam), punto de saturación, pH, materia orgánica (MO), carbono total, nitrógeno asimilable, fósforo asimilable o de Bray (PBray), carbonatos totales, bases intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ), minerales y micronutrientes (Ca, Mg, Na, K, Fe, Co, Mn, Zn) y se calculó la capacidad de intercambio catiónica (CIC).

La capacidad de campo se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje.

#### MUESTREO E IDENTIFICACIÓN DE LARVAS

El muestreo se llevó a cabo cada mes durante el ciclo primavera-verano 2013, de junio a octubre. Mensualmente, de cada parcela, se tomaron cinco muestras de suelos elegidas al azar mediante cepellones de 30x30x30 cm (Rodríguez del Bosque *et al.*, 1995). Las larvas presentes se depositaron en contenedores de plástico para ser transportadas hasta el laboratorio, ahí cada larva fue colocada en un recipiente de plástico de 4 cm de altura y 6 cm de diámetro con suelo proveniente del lugar de

colecta, se utilizaron trozos de zanahoria previamente lavados para la alimentación de las larvas (Raid y Cherry, 1992).

La identificación de morfoespecies del CGC se realizó mediante observaciones del raster y la epifaringe en el estado larvario de cada individuo con la asesoría del especialista en gallina ciega, el M. en C. Miguel Nájera. Algunas larvas se fijaron en ese estado en solución Pampel y posteriormente en alcohol al 70 %, algunas otras se criaron hasta alcanzar el estado adulto para determinar la especie a la que pertenecen.

#### *EVALUACIÓN DE DAÑO POR GALLINA CIEGA*

Para medir el daño ocasionado por las larvas en las raíces de maíz se utilizaron 5 plantas por cada parcela. Las muestras de maíz fueron tomadas en el mes de agosto, cuando las plantas tenían aproximadamente 2 meses de edad. La determinación de daño se realizó mediante el establecimiento de una escala arbitraria de daño modificada de Oleson (2005) y colaboradores, la cual corresponde: 1 = raíces sin daño o sólo con pocas raicillas dañadas, 2= raíces con daño evidente pero sin raíces cortadas desde el nacimiento, 3= raíces con daño moderado, de una hasta tres nudos de raíz totalmente destruidos y 4= raíces con daño severo, más de tres nudos de raíz totalmente destruidos. Los datos fueron analizados mediante una prueba de  $\chi^2$  para comparación de grupos (test de independencia).

#### *ANÁLISIS DE POBLACIONES Y COMUNIDADES EN RELACIÓN AL SUELO Y AL MANEJO*

Para seleccionar las características del suelo que ordenan las parcelas, se realizaron dos análisis de componentes principales (PCA), el primero considerando todas las variables del suelo y el segundo seleccionando sólo aquellas que mostraron los coeficientes más importantes dentro de los dos primeros componentes en el primer PCA, este último es el que se muestra en la Figura 2. El análisis de correspondencia canónica (CCA) se utilizó para analizar las relaciones entre especies y características del suelo con la finalidad de determinar posibles factores abióticos que determinan las comunidades del CGC.

El análisis de número total de larvas por tipo de manejo se realizó mediante un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) considerando a los meses de muestreo como una variable explicativa. Así mismo, debido a que la distribución de parcelas corresponde a diferentes lugares en Napízaro se realizó un GLMM adicional para las zonas. Posteriormente se procedió a hacer una comparación de modelos mediante los siguientes criterios:

- 1) Criterio de Información de Akaike (AIC): este criterio tiene en cuenta los cambios en la bondad de ajuste (describe el nivel en el que los datos se ajustan

al modelo) y las diferencias en el número de parámetros entre dos modelos. Los mejores modelos son aquellos que presentaron el menor valor de AIC.

- 2) Criterio de Información Bayesiano (BIC): se estima para los diferentes modelos como una función de la bondad de ajuste del  $\log\text{Lik}$ , el número de parámetros ajustados ( $K$ ) y el número total de datos ( $N$ ). El mejor modelo es aquel que tiene un menor valor de BIC.
- 3) Logaritmo de Máxima verosimilitud ( $\log\text{Lik}$ ): la probabilidad-verosimilitud ( $L$ ) de que ocurra un modelo ( $p$ ) dado un conjunto de datos ( $x$ ). Cuanto más alto sea el valor de  $\log\text{Lik}$  los parámetros del modelo son mejores.
- 4) Coeficiente de determinación ( $R^2$ ): mide el porcentaje de variación total en  $y$  debido a las variables  $x$ . La  $R^2$  marginal ( $R^2_m$ ) describe la proporción de varianza explicada por los factores fijos, mientras que la  $R^2$  condicional ( $R^2_c$ ) describe la proporción de varianza explicada por los factores fijos y aleatorios.

Una de las grandes diferencias entre AIC y BIC es que este último asume que el modelo real está incluido entre los modelos candidatos; por lo tanto, mide el grado de certeza de que un modelo sea el verdadero generador de los datos. Por su parte, AIC no asume que ningún modelo sea el verdadero, por ello calcula para cada modelo la discrepancia de Kullback-Leiber, que es una medida de distancia entre la densidad de probabilidad generada por el modelo y la realidad. En la práctica, la definición de modelo verdadero será mejor cuando  $n \rightarrow \infty$  (Caballero, 2011); por lo tanto en el caso de mis datos el criterio que resulta más adecuado es AIC.

Como una medida de la heterogeneidad del número de individuos por género se determinó el coeficiente de variación (CV) para de cada uno de los géneros para lo cual se consideró el número total de individuos a lo largo de toda la temporada.

Los análisis de los componentes de diversidad (riqueza y abundancia) se realizaron a nivel de género y no de especies, pues a pesar de que se lograron identificar morfoespecies, la mortalidad de las larvas fue alta y por lo tanto muchas de ellas sólo fueron identificadas hasta género, de esta forma se consideró que los datos a nivel de morfoespecies no eran confiables.

El análisis de las abundancias de larvas por género se realizó con el total de larvas sin considerar los meses de muestreo debido a la insuficiencia de datos. Nuevamente, se utilizó un análisis GLMM para zona y otro para manejo. Únicamente para los datos del género *Cyclocephala* se utilizó un modelo cero-inflado, puesto que para la zona 3 o el manejo SRC no se encontró ningún individuo de este género.

Para estudiar el recambio de especies, se realizó un análisis de clúster jerarquizado con la finalidad de analizar la biodiversidad beta en las diferentes parcelas. Para calcular el índice de disimilitud se utilizó una matriz de presencia/ausencia por géneros y se aplicó el método Jaccard y el método del vecino más lejano. Además, los datos de riqueza por género fueron analizados mediante un Análisis Multidimensional no-Métrico (NMDS).

Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el Software R versión 3.0.3. (R Development CoreTeam 2014).

## RESULTADOS

### CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE MANEJO AGRÍCOLA

Al realizar las encuestas para caracterizar las diferentes estrategias de manejo de cultivo de maíz, se observó que debido a la heterogeneidad de agricultores y sus costumbres, cada una de las parcelas dentro de una misma clasificación tiene cierto grado de variación en el manejo. Así por ejemplo, en una de las parcelas clasificadas como convencional se suele utilizar un fertilizante químico en mezcla con composta de excretas animales y humanas; aunque el fertilizante predominante es el químico. En la Tabla 3 se muestran las características más relevantes de cada uno de los sistemas de manejo estudiados.

En todos los manejos, la siembra se realiza de acuerdo a las primeras lluvias, aunque cada agricultor decide cuándo es el mejor momento para realizar esta labor, de manera que algunos cultivos se siembran a finales de marzo y otros hasta mediados de junio. En todas las parcelas se utiliza maíz criollo (variedad écuaro), sin embargo en el SCC es más común el uso de maíz blanco, mientras que en SFO y SRC se utilizan, también, maíz morado y azul.

En el sistema de cultivo convencional (SCC) se cultiva año tras año monocultivo de maíz sin dejar descansar la tierra en ningún ciclo. La labranza se realiza con tractor, por lo que la profundidad mínima de siembra es de 30 cm y se realiza arrastre para desboronar los terrones. La siembra suele realizarse mediante sembrado manual aunque algunos agricultores pueden usar sembradora mecánica, la distancia entre plantas suele ser muy pequeña de entre 20 y 25 cm. El control de gallina ciega y *Diabrotica* spp. se hace con Volaton® (organofosforado) el cuál es aplicado en conjunto con el abono; para el chapulín se utiliza Cipermetrina® (piretroide) y se aplica cuando comienzan a observarse los primeros individuos. Por otra parte, el manejo de arvenses se realiza con aplicación de Primagram Gold® (atrazina y s-metolaclor) o de Marvel® pre-emergente (dicamba y atrazina). La fertilización, generalmente, se hace en dos ocasiones, la primera en el momento de la siembra cuando se aplica fosfato de amonio

(18-46-00) en una dosis, aproximada, de 150 kg/ha, y la segunda aplicación se realiza en el aporque con una cantidad de 400 kg/ha de sulfato de amonio (22.5-00-00) o de 150 a 200 kg/ha de urea (45-00-00). La cosecha de grano se realiza de forma manual durante el mes de diciembre y el forraje se recoge entre los meses de enero y febrero.

En el sistema de rotación de cultivo (SRC) se siembra en el ciclo primavera-verano maíz, calabaza y frijol (milpa); mientras que en el ciclo de otoño-invierno se siembra un cultivo de leguminosas o bien otra gramínea, ambos tipos de plantas se siembran, comúnmente, en monocultivo. Las leguminosas más comunes son el janamargo (*Vicia sativa*), haba (*Vicia faba*) y chícharo (*Pisum sativum*), mientras que el trigo criollo (*Triticum spp.*), es la otra gramínea que se utiliza. Aproximadamente 30% de *Vicia sativa* se deja en el suelo y el resto se corta como forraje, los residuos de las otras leguminosas y del trigo se dejan en las parcelas después de la cosecha. Para el cultivo de maíz, el manejo del suelo consiste en un laboreo con yunta a una profundidad de 20 a 30 cm durante el mes de mayo; la siembra se efectúa utilizando tracción animal para marcar surcos con una distancia de 80 cm entre ellos, aproximadamente. La distancia entre planta y planta es de, aproximadamente, 30 cm. Algunas de las parcelas realizan un aporque cuando el maíz alcanza los 25-30 cm para fortalecer la sujeción de la planta al suelo. El control de malezas se realiza manualmente por chaponeo. La incorporación de restos vegetales se complementa con composta o fertilizante químico al momento de la siembra, adicionalmente en algunas ocasiones se hace aplicación de fertilizante foliar cada 15 días hasta que nace la mazorca, en total se aplican aproximadamente 30 litros. La cosecha se efectúa a partir de noviembre rozando el maíz con machete y amontonándolo en toros para que se vaya secando hasta que en enero se destusa y desgrana. El zacate que creció con el maíz se pica en trozos pequeños para que el arado lo pueda enterrar. El siguiente cultivo (otoño-invierno) se establece inmediatamente después de la roza del maíz, para ello, se realiza un laboreo con yunta a una profundidad de 30 cm y una pasada de rastra. La siembra se efectúa con tracción animal, en este caso la cosecha se realiza en mayo, cortándose manualmente con hoz a una altura 10 cm del suelo permaneciendo las raíces enterradas. El haba y el chícharo se vorean para extraer su semilla y lo que queda es forraje para el ganado o para elaborar compostas.

Por último, en el sistema de fertilización orgánica (SFO) se establece un policultivo con maíz, frijol y calabaza (milpa). La preparación del terreno se realiza en mayo y junio con tracción animal y a una profundidad de 20 a 30 cm, después se pasa la rastra a una profundidad de 15 cm. La siembra del maíz, se realiza en surcos con 80 cm aproximadamente de separación. Se realizan tres fertilizaciones, la primera, junto con la siembra utilizando 5 t/ha de composta preparada con estiércol del ganado y restos

vegetales, la segunda 30 días después de que nazca el maíz y la última cuando la milpa alcanza 1 m de altura, aplicando 0.5 t/ha en cada una de estas dos fertilizaciones. Esta fertilización se complementa con el estiércol directo del ganado cuando éste forrajea el rastrojo de la milpa en la parcela. El control de arvenses se realiza con machete (chaponeo) y en dos tiempos; el primero cuando la maleza alcanza los 30 cm de altura y el segundo cuando el maíz comienza a espigar. La cosecha es de diciembre a enero. Sólo en una parcela se documentó prácticas de rotación de cultivos, en dicho terreno se siembra como cultivo de invierno janamargo o trigo.

TABLA 3. Variables del agroecosistema bajo los diferentes manejos: sistema de cultivo convencional (SCC), sistema de rotación de cultivos (SRC) y sistema de fertilización orgánica (SFO). Modificado de del Val, 2013.

Determinantes del agroecosistema		Sistema convencional (SCC)	Sistema de rotación de cultivos (SRC)	Sistema de fertilización orgánica (SFO)	
<b>Biofísicas</b>		El clima es templado y subhúmedo. La temperatura media anual es de 15°C y la precipitación media anual es de 1000 mm. Los sitios se encuentran a 2100 msnm.			
<b>Prácticas de manejo</b>	<b>Condiciones del suelo</b>	Degradados por químicos	Buenas condiciones	En proceso de conservación y mejora	
	<b>Especies y variedades</b>	Maíces criollos	Maíz criollo, calabaza y frijol. Avena, haba, chícharo, janamargo o trigo	Maíz criollo, haba o frijol y calabaza	
	<b>Especies dominantes</b>	Monocultivo de maíz	Maíz, frijol, calabaza, trigo	Maíz, calabaza y frijol	
	<b>Tracción</b>	<b>Labranza</b>	Mecánica	Animal	Tracción animal
		<b>Labores culturales</b>	---	Dos pasos de rastra para deshierbe y levantamiento de surco	Dos pasos de rastra para deshierbe y levantamiento de surco
	<b>Manejo de suelos</b>	<b>Conservación</b>	---	Aporte de materia orgánica de la rotación	Aporte de abono orgánico
		<b>Fertilización</b>	Química, con 18:46:00 y 22:00:00	Biomasa proveniente de desechos de la cosecha de maíz, composta orgánica y sulfato de amonio 22.5:00:00. Fertilización foliar	Biomasa proveniente de desechos de la cosecha de maíz más estiércol bovino y porcino
	<b>Control de plagas</b>	Cipermetrina y Volaton	Cipermetrina	Cipermetrina	
	<b>Manejo de arvenses</b>	Herbicida	Manual y animal	Manual y animal	

#### CARACTERÍSTICAS DEL SUELO Y MANEJO AGRÍCOLA

El PCA realizado con las variables de suelo mostró que las parcelas se ordenan en relación a la zona donde se encuentran y no con el manejo agrícola que reciben, las parcelas de La Cuateramba (Z3, marcadas con el círculo verde) se diferencian por sus valores de materia orgánica, capacidad de campo, pH y manganeso, principalmente (Fig. 2). Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los dos grandes grupos para las variables anteriores.

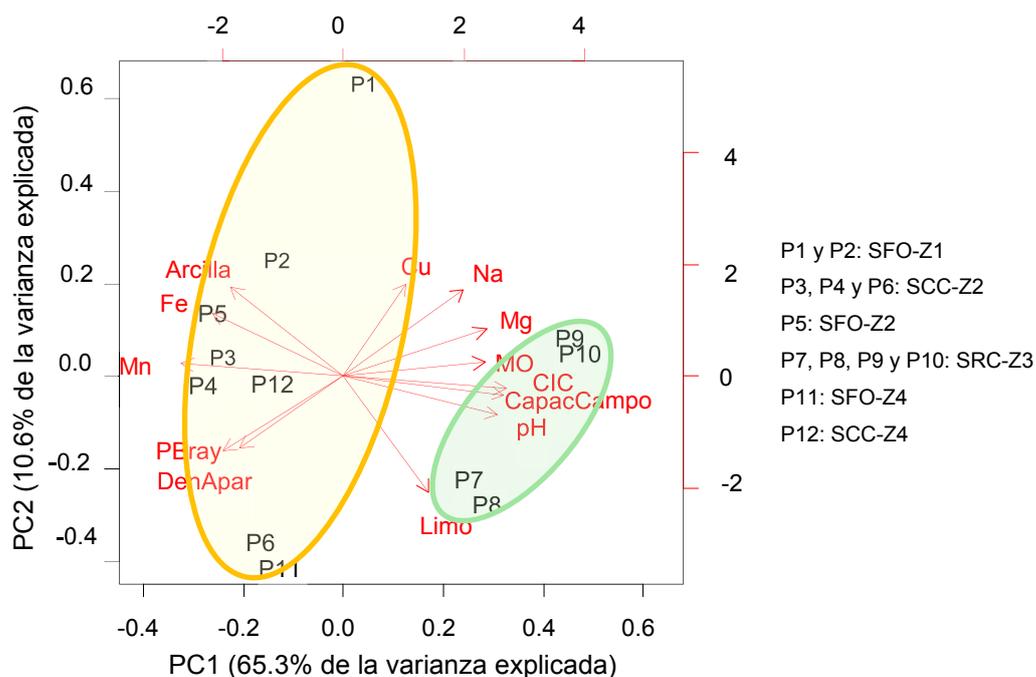


FIGURA 2. PCA con variables del suelo seleccionadas. El círculo verde corresponde a las parcelas ubicadas en la Cuateramba (Z3) y el círculo naranja al resto de las parcelas (Z1, Z2 y Z3).

Con este primer análisis se seleccionaron las variables más importantes que ordenan a las parcelas y además se determinó qué tan importante resulta el manejo y la zona en las características de las parcelas.

#### CARACTERÍSTICAS DEL SUELO Y GÉNEROS DE GALLINA CIEGA

Una vez que se analizó el PCA se seleccionaron una serie de variables para simplificar análisis posteriores, en este caso el CCA. De acuerdo con este último análisis, la capacidad de campo (CapCam) y la materia orgánica (MO) se asocian con el género *Macroductylus* y, a su vez, todas estas variables con las parcelas 7, 8, 9, 10, 11 y 12 las cuales se encuentran en las zonas Z3 y Z4. Por otra parte, el manganeso (Mn) y el hierro (Fe) se asocian con los demás géneros en las parcelas 1, 2, 3, 5, 6 y 7 en las zonas Z1 y Z2. Nuevamente, no se encontró que las parcelas se agruparan de acuerdo al tipo de manejo agrícola (Fig.3).

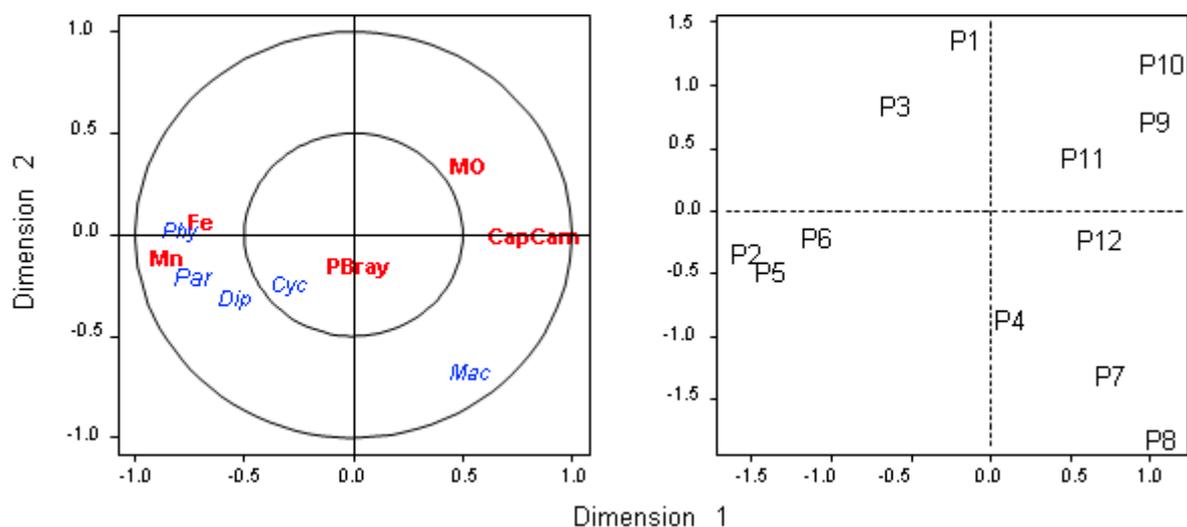


FIGURA 3. CCA basado en géneros de gallina ciega y variables ambientales seleccionadas. Las variables aparecen en la figura izquierda (características del suelo en rojo y géneros en azul) y las parcelas del lado derecho.

#### IDENTIFICACIÓN DE GALLINA CIEGA

Se identificaron 12 morfoespecies dentro de cinco géneros considerados en el CGC: seis morfoespecies de *Phyllophaga*, tres de *Paranomala* y una de *Cyclocephala*, *Macroductylus* y *Diploctaxis*. Se logró la identificación a nivel de especie en tres de las seis morfoespecies de *Phyllophaga*: *P. vetula*, *P. ravidia* y *P. polyphylla*. Además, la única morfoespecie de *Cyclocephala* fue identificada como *C. comata*.

#### ABUNDANCIA DE LARVAS POR TIPO DE MANEJO Y POR ZONA

El análisis por GLMM muestra que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el número total de larvas a través del tiempo; es decir, la abundancia se modifica conforme avanzan los meses; esta tendencia es común para casi todos los datos registrados, tanto por zona como por manejo. En los manejos SFO y SCC el número de gallinas ciegas aumentó a través de los meses, pero en el SRC decrece ligeramente en octubre. En las zonas de La Presa y La Joya el número de gallina ciega aumentó a lo largo de la temporada, en El Panteón el número de larvas se mantuvo más o menos constante y en La Cuateramba la abundancia disminuye ligeramente en el último mes. La abundancia en el mes de junio fue mucho menor en La Cuateramba y el Panteón en comparación con las otras dos zonas (Fig. 4).

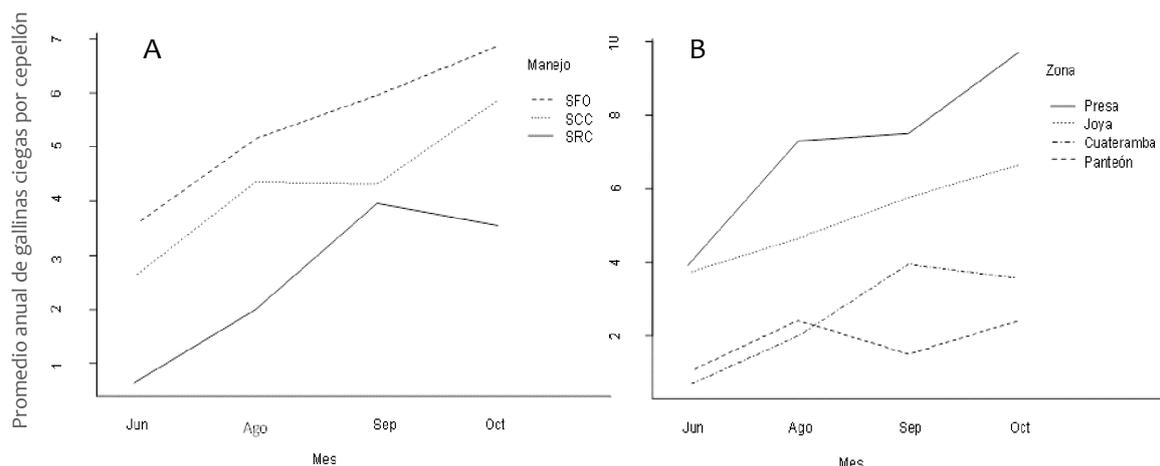


FIGURA 4: Promedio de abundancia mensual del complejo gallina ciega durante el ciclo de cultivo 2013. A) Por zona. B) Por tipo de manejo.

En el análisis estadístico de datos por manejo no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ); sin embargo, el valor de  $p$  entre los tratamientos SFO y SRC de las pruebas *a posteriori* fue marginalmente significativa (0.0523). En el modelo por zonas se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre La Presa y La Joya con las zonas de La Cuateramba y El Panteón, en las dos primeras zonas la abundancia fue significativamente mayor que en las otras dos (Tabla 4 y Fig.5).

TABLA 4: Tabla de ANOVA para los modelos de abundancia de gallina ciega en relación con la zona y tipo de manejo

Factor	g.l.	Suma de cuadrados	F	P
Modelo por tipo de manejo				
Mes	3	29.720	9.9068	0.0033
Manejo	2	16.287	8.1434	0.0195
Mes:Manejo	6	14.826	2.4710	0.0294
Modelo por zona				
Mes	3	31.443	10.4809	0.0027
Zona	3	54.645	18.2149	0.0004
Mes:Zona	9	17.814	1.9794	0.0452

Es importante mencionar que no fue posible realizar análisis estadísticos para determinar el efecto de interacción entre la zona y el tipo de manejo puesto que no todos los tratamientos estuvieron representados en todas las zonas analizadas. Esto significa, que al menos, con el diseño experimental implementado es imposible determinar la forma y la magnitud en que los factores se relacionan.

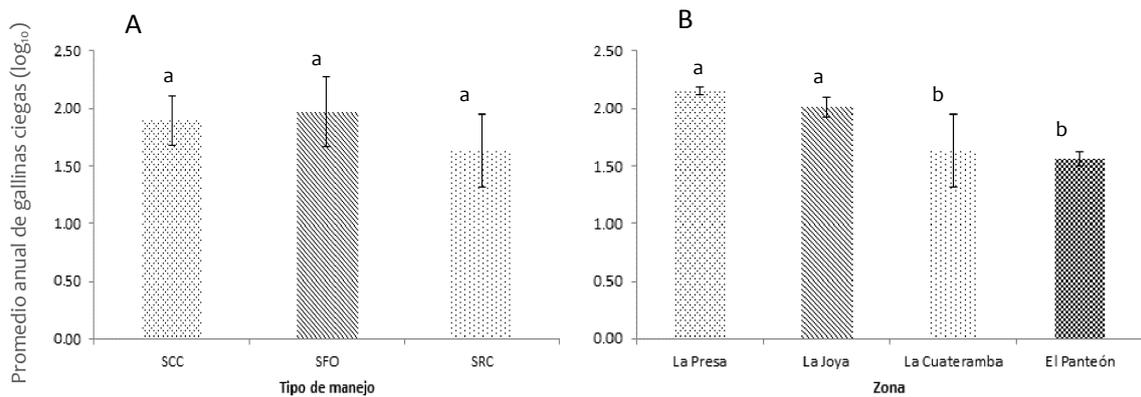


FIGURA 5: Abundancia anual de larvas (promedio  $\pm$  EE). A) Por tipo de manejo. B) Por zona.

La comparación entre modelos, permite visualizar que valor de AIC para el modelo por manejo fue de 361.2, mientras que para el modelo por zona fue de 354.4 (Tabla 5). La diferencia entre ambos valores es de 6.8, lo que indica que este último es un mejor modelo de acuerdo con la relación entre la complejidad y bondad de ajuste. En segundo lugar, el valor del criterio de información bayesiano (BIC) fue de 402.3 y 403.1 para el primer y segundo modelo, respectivamente. Utilizando este criterio, ambos modelos resultan similares; sin embargo, como se discutió arriba, el BIC no es el criterio más adecuado para los datos de este estudio. En cuanto al valor de logLik, nuevamente el modelo por zona resulta mejor en términos de los parámetros que utiliza. Por último los valores de  $R^2m$  indican que el modelo por zona (Mes y Zona) explica 74% de la varianza, mientras que el modelo por manejo (Mes y Manejo) explica 49% de la varianza (Tabla 5).

TABLA 5. Criterios de comparación de modelos

	Modelo por manejo	Modelo por zona
AIC	361.2	354.4
BIC	402.3	403.1
logLik	-158.6	-151.2
$R^2m$	0.49	0.74
$R^2c$	0.92	0.92

El análisis de número total de larvas es importante puesto que, en general, la forma habitual de evaluar si hay o no infestación por gallina ciega en los campos agrícolas es hacer una revisión general de larvas, es decir, no se revisa si éstas pertenecen a uno u otro género y todos son considerados como igualmente “peligrosos” por los agricultores.

#### ABUNDANCIA DE LARVAS POR GÉNERO: ANÁLISIS DE POBLACIONES

Incluyendo todas las larvas colectadas en las doce parcelas a lo largo de la temporada, el género más importante por el número de individuos fue *Phyllophaga*, el cual mostró un pico en el mes de octubre. En segundo lugar está el género *Paranomala*, con un pico en el mes de agosto. El género *Cyclocephala* presentó un pico en octubre pero el número de individuos fue de casi una cuarta parte del correspondiente a *Phyllophaga*. Para los géneros *Macroductylus* y *Diploctaxis* no se determinó el pico de abundancia, sin embargo éste debe ser en meses posteriores a octubre, pues los niveles de abundancia aún estaban en aumento (Fig. 6).

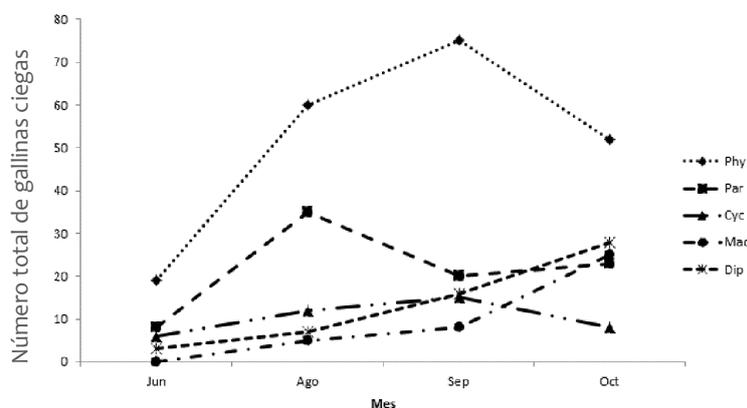


FIGURA 6: Abundancia total por mes por géneros de gallina ciega a lo largo del ciclo de cultivo 2013.

De acuerdo a los Coeficientes de Variación-CV (%) de cada género en las diferentes parcelas, *Phyllophaga* (68.8) es el género que menos varía en abundancia, seguida de *Paranomala* (83.1), *Diploctaxis* (92.8), *Cyclocephala* (159.1) y finalmente *Macroductylus* (136.8).

No se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el número de larvas del género *Phyllophaga* en relación con los distintos manejos, aunque se observó una tendencia hacia una menor abundancia del género en el SRC. En cuanto a las diferencias por zona, en El Panteón y La Cuateramba hay significativamente menos larvas de este género en comparación con las zonas de La Joya y La Presa (Fig. 7).

En cuanto al número de individuos del género *Paranomala*, se encontró diferencia significativa entre el manejo SRC con los otros tratamientos. Mientras que entre zonas sólo se encontraron diferencias significativas entre La Cuateramba y La Joya.

Para el género *Cyclocephala* no se encontraron diferencias significativas entre manejos, aunque cabe señalar que en las parcelas en el sistema SRC no se encontraron individuos de este género. Tampoco se encontraron diferencias significativas para el modelo por zonas.

El género *Macroductylus* mostró diferencias significativas entre el sistema SRC y los otros dos manejos, en las parcelas de rotación de cultivos este género estuvo presente en abundancias mayores. Para el caso de las zonas, las diferencias significativas están sólo entre La Cuateramba y La Joya.

Por último, el género *Diplotaxis* no mostró diferencias significativas por tratamiento ni por zonas (Fig. 7).

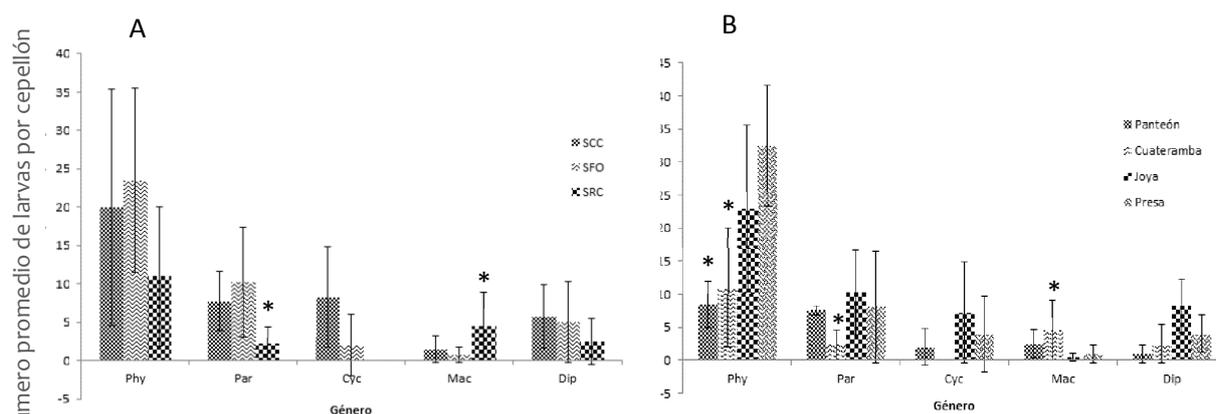


FIGURA 7: Promedio de la larvas por cepellón por género (promedio  $\pm$  EE). A) Por tipo de manejo. B) Por zona.

De acuerdo a los criterios de selección de modelos, es probable que el efecto de zona sea más importante que el manejo para los géneros de *Phyllophaga* y *Diplotaxis*, ya que el valor de  $R^2_m$  es mayor en los modelos por zona que en los de manejo. Para el caso de los demás géneros, los modelos son muy similares (Tabla 6).

TABLA 6: Comparación de modelos de abundancia de gallina ciega por géneros en relación con la zona y el tipo de manejo

Modelo	AIC	logLik	$R^2_m$
<i>Phyllophaga</i> sp.			
Por manejo	96.12	-44.06	0.213
Por zona	88.62	91.04	0.667
<i>Paranomala</i> sp.			
Por manejo	73.45	-32.72	0.534
Por zona	75.74	-32.87	0.517
<i>Macroductylus</i> sp.			
Por manejo	54.63	-23.32	0.517
Por zona	54.44	-22.22	0.620
<i>Diplotaxis</i> sp.			
Por zona	68.91	-30.45	0.166
Por manejo	64.31	-27.157	0.560

El análisis mediante clúster se utilizó para evaluar datos de presencia/ausencia (riqueza) de géneros. De acuerdo con los resultados, existe un alto recambio de especies entre las parcelas; los dos grandes grupos que se forman difieren entre sí en un 60% (Fig. 8).

Las parcelas en SSC están agrupadas con un valor de disimilitud de 20%, siendo éstas las parcelas más similares entre sí cuando se analizan tomando en cuenta el manejo agrícola. Con excepción de la parcela 4 (donde no se encontraron individuos de *Macroductylus* sp.), las parcelas de SCC registraron todos los géneros. Una de las parcelas del SFO (situada en La Presa) se parece más a las parcelas de SCC que a las de su misma clasificación.

Tres de las cuatro parcelas manejadas bajo SFO no mostraron la presencia de *Cyclocephala*, además este grupo de parcelas es el que muestra más variación. Por otra parte todas las parcelas de SRC, registraron la presencia de *Diplotaxis* y *Macroductylus*. En las dos parcelas situadas en la Z1 no se registró presencia del género *Macroductylus* (Fig. 8).

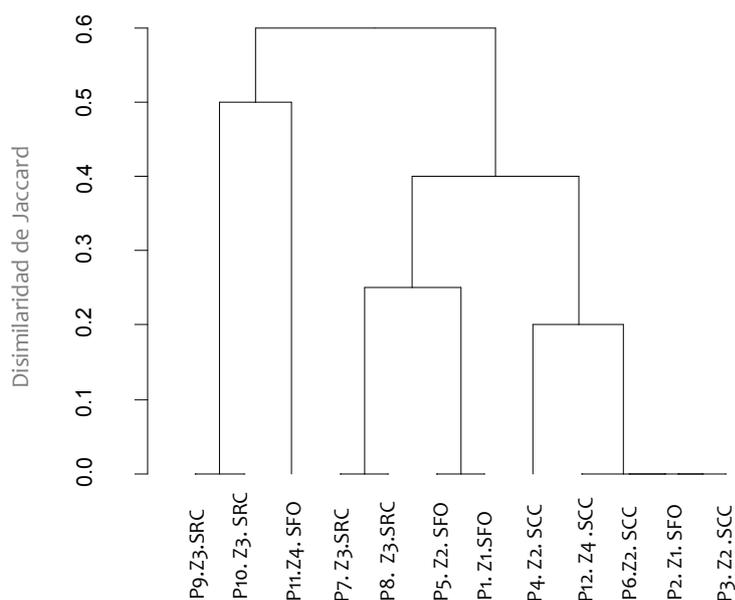


FIGURA 8. Dendrograma de presencia /ausencia de géneros de gallina ciega por parcela de cultivo.

El análisis de abundancia de géneros se realizó mediante un NMDS y en éste se encontró separación entre las parcelas manejadas bajo SRC y SFO, lo que sugiere que estos dos tipos de manejo son los más contrastantes. Las observaciones son similares a las encontradas en el análisis de abundancia total anual. El análisis NMDS indica que las parcelas de SRC están mayormente asociadas con la abundancia del

género *Macroductylus*; mientras que las parcelas manejadas mediante SCC se asocian más con *Cyclocephala* y *Diplotaxis*. Por último las parcelas bajo SFO presentan más asociación con el género *Paranomala*. Estos resultados son consistentes con los análisis de riqueza de géneros (Fig. 10).

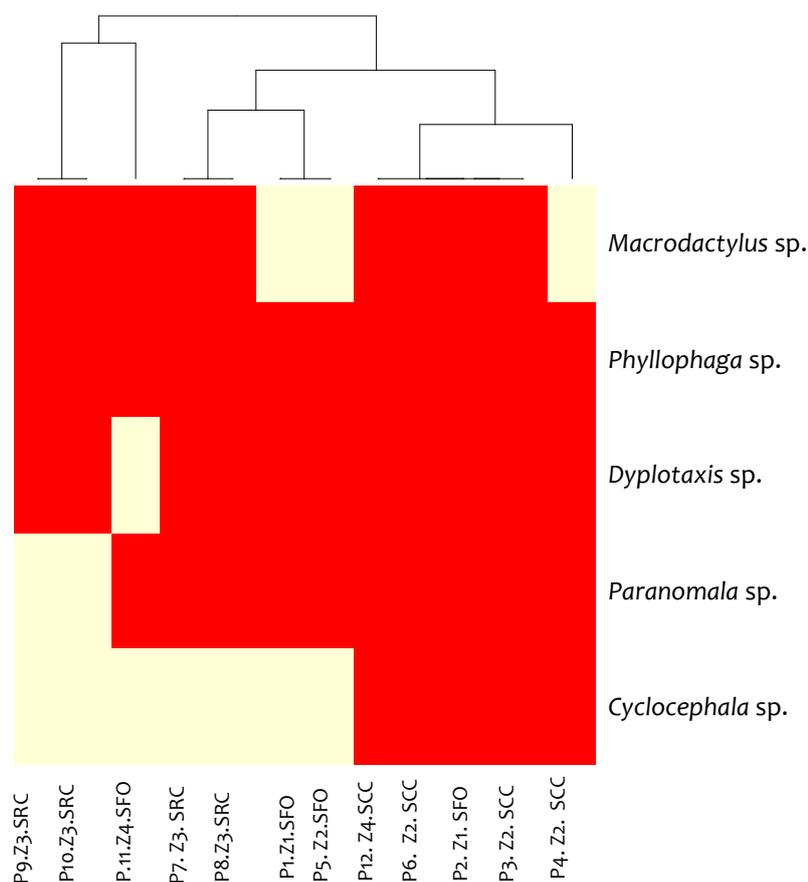


FIGURA 9. Mapa de calor por géneros de gallina ciega.

Nota. El color oscuro significa presencia y el color claro ausencia del género.

De acuerdo con la puntuación de cada variable para el primer NMDS la separación de la comunidad de CGC está mayormente relacionada (positivamente) con el género *Macroductylus* y posteriormente con *Cyclocephala* (negativamente). Para el segundo NMDS la separación corresponde con *Paranomala* (negativamente) y con *Diplotaxis* (positivamente).

TABLA 7. Puntuación de cada variable (género) en el análisis NMDS

	MDS1	MDS2	MDS3
<i>Phyllophaga</i>	-0.01715668	-0.2664619	-0.21871840
<i>Paranomala</i>	-0.15898278	-0.4034216	0.22265364
<i>Cyclocephala</i>	-0.46318185	0.3815495	0.78718913
<i>Macroductylus</i>	0.81402162	0.2793113	0.04617412
<i>Diplotaxis</i>	-0.27841404	0.3827383	-0.28636616

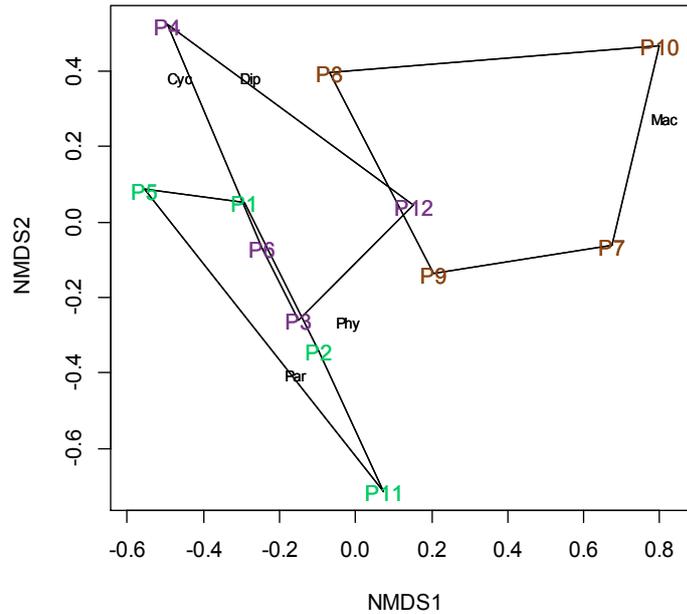


FIGURA 10. NMDS con datos de abundancia de géneros por parcela. En verde están las parcelas pertenecientes al manejo SFO, en morado las de SCC y en café las de SRC.

#### DAÑO EN RAÍCES

La escala que se utilizó para determinar el daño en raíces considera el valor de 1 como el más bajo y el de 4 como el más alto. De acuerdo a la Figura 11 se puede apreciar que en el SCC los daños registrados con mayor frecuencia fueron los 2 y 3, no se encontró ninguna raíz con daño 1 y 4 raíces presentaron daño 4. En el caso del SFO el daño observado fue similar al daño en SCC, la única diferencia fue una raíz con daño 1. El SRC fue el que mostró frecuencias más altas de los daños 2 y 3, aunque no se encontraron raíces con daño 1 para este sistema de manejo (Figura 11). No se encontraron diferencias significativas para el daño en raíces entre tratamientos.

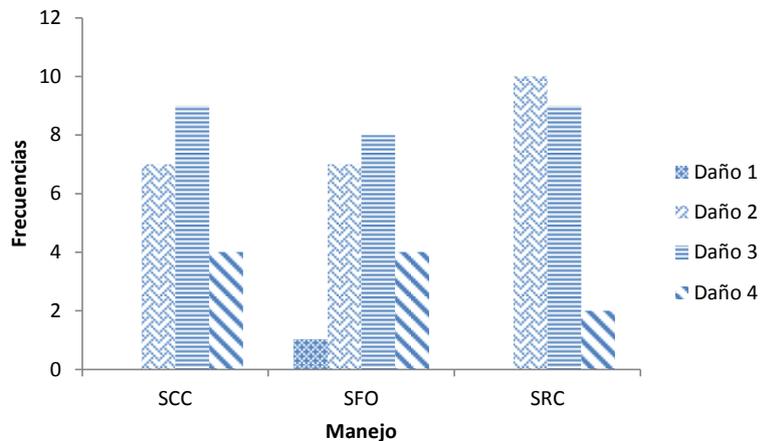


FIGURA 11. Histograma de daño en raíz por tipo de manejo de cultivo.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En relación con las diferencias entre los distintos tipos de manejo se pueden enlistar tres puntos importantes:

- 1) La cantidad de cultivos presentes en la parcela a lo largo del año
- 2) La aplicación de químicos para control de gallina ciega y malezas
- 3) La incorporación de materia orgánica como parte de la fertilización

Así, las parcelas bajo manejos SFO y SRC incorporan, por lo menos, tres cultivos diferentes, en el caso de SRC además se utilizan cultivos de invierno. Las parcelas con SCC se han sembrado con monocultivo de maíz durante muchos años de manera consecutiva. En este sentido, las parcelas SFO y SRC son más parecidas.

En cuanto a la aplicación de químicos para el control de gallina ciega y malezas, nuevamente el sistema SCC se diferencia de SFO y SRC, puesto que estos últimos no utilizan insumos químicos con estos fines. Aunque los tres sistemas de cultivo utilizan control químico para el ortópteros (chapulines).

Por último, la aportación de materia orgánica y fertilización, el sistema SRC sería el manejo intermedio puesto que es común el uso de fertilizantes químicos en combinación con fertilización orgánica (además del aporte de residuos vegetales), mientras que en el SCC sólo se utilizan fertilizantes químicos y en SFO, únicamente composta.

Con esta información se esperaba que las parcelas se ordenaran de acuerdo a las características del suelo debido al manejo diversificado; sin embargo una vez que se realizó en análisis de componente principales (PCA) se observó que las únicas parcelas que se diferencian del resto, en relación con las características del suelo, son todas las que se encuentran en La Cuateramba (Z3).

Debido a que esta zona es considerada una *zona vadosa* por la evaporación de agua del lago de Pátzcuaro (González-Sosa et al., 2010; Orozco et al., 2014) y que sólo ahí se lleva a cabo la rotación de cultivo (SRC), las variables que la diferencian del resto de zonas deben estar relacionadas tanto con su origen geológico y sus propiedades edáficas; por lo tanto no fue posible concluir si el manejo de rotación de cultivos llevado a cabo en la comunidad de Napízaro es suficiente para generar cambios significativos en las características del suelo.

En otros estudios se ha encontrado que las diferencias en prácticas agrícolas pueden modificar la dinámica (concentraciones, estructuras y movimiento) de nutrientes y agua en los suelos (Leonard et al., 1987; Six et al., 1998; McLachlan, 2007; Ogle et al., 2005); sin embargo es poco lo que se conoce sobre como el tipo de suelo puede influenciar cambios debidos a las diferencias en manejo agrícola.

En relación con suelos lacustres del Lago de Pátzcuaro, Orozco y colaboradores (2014) realizaron un estudio para conocer las características de dos tipos de humedales de la costa del Lago: el humedal saturado permanentemente y el humedal con inundación periódica; el segundo tipo sería el más similar a la zona de La Cuateramba del presente estudio. Los resultados mostraron que en el segundo tipo de humedal hay una alta concentración de materia orgánica (>7%) y existen restos de ostrácodos (clase de crustáceos de tamaño microscópico), lo que podría marcar una diferencia importante con suelos que están más alejados del Lago.

Vale la pena señalar que La Cuateramba, donde se encuentran todas las parcelas del SRC, es una zona más húmeda que el resto, puesto que se encuentra a orillas del Lago, sin embargo la incidencia de gallina ciega es mucho menor que en otros sitios; de acuerdo a Rodríguez del Bosque (1995) en zonas húmedas, generalmente, se encuentra mayor abundancia y riqueza de especies de gallina ciega. En este sentido, resulta interesante determinar las causas de la baja abundancia del complejo en esta zona particular en Napízaro. Uno de los factores que podrían ser considerados para próximos estudios es el lago de Pátzcuaro como barrera física. Además, estos suelos son conocidos como hidromórficos y presentan un nivel freático elevado o condiciones de saturación prolongada debido a procesos de inundación o estancamiento durante un periodo suficientemente largo como para desarrollar condiciones anaerobias en el suelo y que pudiese estar afectando la sobrevivencia de la gallina ciega.

En relación con los datos de ordenamiento de las parcelas, con el análisis de correspondencia canónica (CCA) se determinó qué géneros del CGC parecen estar relacionados con ciertas características del suelo seleccionadas. Estos datos sugieren que algunas variables ambientales pueden ser útiles como indicadores de presencia o abundancia de géneros de gallina ciega. Por ejemplo, el género *Macroductylus* parece relacionarse con la capacidad de campo y la materia orgánica en el suelo; mientras que *Paranomala* se asocia mayormente con el manganeso; *Phyllophaga* con manganeso y hierro; y *Cyclocephala* con fósforo.

El género *Phyllophaga* fue el único encontrado en todas las parcelas, lo cual concuerda con la bibliografía que considera a este género como el más común y resistente a diversas condiciones ambientales. Es posible que el género *Cyclocephala* esté asociado mayormente a la presencia de fertilizante fosfórico y amoniacal (presente en el SCC), lo cual concuerda con la investigación realizada por Díaz y colaboradores (2006); y que la abundancia significativamente mayor de *Macroductylus* en el SRC se relacione con la vegetación ruderal, lo que concuerda con lo encontrado por Pérez (2008).

En los GLMM de abundancia total anual de larvas se encontró que tanto la zona como el manejo resultan factores importantes en la incidencia total de gallina ciega

a lo largo del ciclo de siembra; sin embargo, la zona parece tener un efecto más importante que el manejo ya que explica el 74% de la varianza del modelo, mientras que el manejo explica únicamente el 49%. Por lo tanto, cuando se analizan datos sobre comunidades de plagas es relevante considerar las características propias del suelo (zonas) además de los sistemas agrícolas que se estén estudiando, con ello se obtiene una visión más integral de los factores que efectivamente influyen en las comunidades del CGC.

Es importante mencionar que la abundancia total de las larvas no fue significativamente diferente en el SCC en comparación con el SFO; lo que significa que el control químico que utilizan en Napízaro es obsoleto y sin tener ningún efecto benéfico únicamente contamina suelo y agua.

De acuerdo con los resultados del análisis de clúster, el manejo agrícola de SFO genera parcelas con mucha variación entre ellas, esto debido, muy probablemente, a que las prácticas de los agricultores en este sistema no son homogéneas; por ejemplo diferentes cultivos en la milpa y distinto proceso de elaboración de composta. Además, las parcelas con este sistema se encuentran distribuidas en tres zonas distintas (a diferencia de los otros dos manejos); de hecho, en el mapa de calor, las parcelas 1 y 2 se encuentran juntas y ambas están en la Zona 1, las otras dos parcelas están separadas, al igual que las zonas en las que se encuentran.

Los agroecosistemas presentan algunas dificultades que hacen complicado analizar los datos mediante estadística univariada y modelos tradicionales como el análisis de varianza (ANOVA), puesto que es complicado reunir parcelas que se manejen bajo las mismas condiciones y por lo tanto establecer repeticiones. De la misma manera al querer contrastar variables en dos sistemas distintos de manejo nos encontramos con que las parcelas se encuentran, en ocasiones, a distancias considerables y por lo tanto no sabemos cómo afectan las condiciones del paisaje a nuestras conclusiones. Dados los resultados de este estudio, se propone que al realizar investigación sobre sistemas agrícolas se evalúen y ponderen las características del suelo como variables que pudieran tener efecto sobre la diversidad independientemente del tipo de manejo, para lo cual el uso de estadística multivariada es esencial, además de modelos alternativos como los modelos lineales generalizados (GLMM) que permiten considerar factores aleatorios en los análisis estadísticos.

## CAPÍTULO 2. DIVERSIDAD DE GALLINA CIEGA EN DIFERENTES TIPOS DE FERTILIZACIÓN DEL SUELO

---

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar cómo cambia la diversidad de la comunidad de gallina ciega en tres condiciones de fertilización del suelo: fertilización orgánica (FO), fertilización química (FQ) y sin adición de fertilizantes (SA) en una parcela de jardín común.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### *SITIO DE ESTUDIO*

El sitio de estudio se ubicó en Napízaro en el Municipio de Erongarícuaro en Michoacán, en una parcela ubicada en las siguientes coordenadas 19° 35' 93" al Norte y 101° 41' 83" Oeste a una altitud de 254 msnm.

La parcela utilizada fue sembrada por casi una década con maíz bajo un sistema convencional, posteriormente se sembró sorgo por dos años y los dos años siguientes permaneció en descanso. Al año siguiente se sembró con el experimento de jardín común que se utilizó en el presente estudio.

#### *DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS*

En una parcela de 240 m de largo y 15 m de ancho se estableció un jardín común. Al inicio y final de la parcela se dejaron 10 m de largo a manera de borde. En total se utilizaron 10 surcos a lo ancho de la parcela, dejando el primero y el último sin ningún tratamiento experimental. A dos surcos contiguos se les aplicó el tratamiento correspondiente y entre éstos se dejó un surco (aproximadamente 1 m de distancia) sin tratamiento para evitar contaminación entre una y otra aplicación. Esta forma de aplicación ya se había probado en un experimento piloto en el que se comprobó que no existe interacción entre tratamientos.

El diseño fue de bloques completamente aleatorizados. En total se establecieron 20 bloques con los tres tratamientos cada uno de ellos; es decir, con tres parcelas cada uno. Cada parcela tenía dos surcos de ancho y 10 m de largo.

La aplicación de fertilizantes se realizó siguiendo las recomendaciones de los agricultores. La aplicación de fertilizante químico se realizó dos veces en la temporada, una vez durante la siembra y otra durante el aporque; en la siembra se aplicaron 10 g de sulfato de amonio (18-46-00) y en el aporque se aplicaron 10 g de urea (46-00-00). En el caso de la fertilización orgánica se aplicaron 3 veces 200 g de composta semi-madura, las aplicaciones se realizaron en la siembra, el aporque, y antes de la formación de la espiga. En la Tabla 8 se muestran los productos utilizados en cada tratamiento y las cantidades utilizadas a lo largo del período.

El maíz utilizado fue una variedad criolla de maíz morado (écuaro), el cual fue seleccionado por sus características de crecimiento mediante el experimento piloto antes mencionado. El maíz fue identificado por el Dr. José Alfredo Carrera de la Universidad Autónoma de Chapingo, Unidad Morelia.

En el Anexo I se muestra el diseño de la parcela experimental utilizada.

#### *MUESTREO DE LARVAS DEL CGC, PLANTAS Y RAÍCES*

El muestreo de las parcelas se realizó mensualmente, de agosto a noviembre de 2014 mediante la metodología descrita en el capítulo anterior, los cepellones completos (incluyendo la planta) fueron llevados al laboratorio en bolsas para hacer las separaciones y determinaciones correspondientes en larvas, plantas y raíces. De cada parcela se tomaron dos cepellones al azar, uno de cada surco (N=20).

Para el muestreo mensual de larvas, plantas y raíces, únicamente se utilizaron los bloques impares, ya que los pares fueron utilizados para la medición de productividad al final de la temporada.

Una vez en el laboratorio se contabilizaron, individualizaron e identificaron las larvas del CGC.

#### *DETERMINACIÓN DE BIOMASA Y DAÑO EN RAÍCES*

El daño en raíces fue determinado solamente para los meses de agosto y septiembre. En el primer muestreo las raíces se lavaron y una vez limpias se procedió a realizar la observación del daño, posteriormente se secaron y se midió la biomasa seca. Sin embargo, para la determinación de daño de las raíces obtenidas en septiembre, se requirió hacer algunos cortes en la raíz puesto que el crecimiento y volumen de la biomasa radical no permitía hacer observaciones certeras. Por lo tanto, se retiraron las raíces adventicias y la determinación de daño se realizó únicamente con la parte basal de la raíz y la raíz primaria de la planta.

Para determinar el daño en raíces se estableció una escala arbitraria, modificada de Oleson y colaboradores (2005), anteriormente descrita. En todos los muestreos la raíz y la biomasa aérea se secó a 60°C por 7 días y midió la biomasa total de la raíz.

#### *DETERMINACIÓN DE N Y P EN HOJAS Y RAÍCES*

Para la determinación de nitrógeno (N) y fósforo (P) en hojas y raíces se seleccionaron 20 plantas al azar por cada tratamiento, el muestreo se realizó en octubre, cuando las plantas ya tenían mazorcas. Para la cuantificación de nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt) se utilizaron técnicas colorimétricas (Murphy y Riley, 1962; Bremner, 1996).

#### DETERMINACIÓN DE N Y P EN COMPOSTA

Para la cuantificación de nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt) se utilizaron técnicas colorimétricas, las mismas utilizadas en la determinación de N y P en plantas. Para calcular el nitrógeno y fósforo añadido en los tratamientos se utilizaron los valores de N y P que reporta el fabricante, en el caso del fertilizante químico, para el caso de la composta se consideró un 60% de humedad al momento de la aplicación, el porcentaje de humedad se determinó con base en el peso seco y húmedo de una muestra de composta.

TABLA 8. Descripción de los tratamientos de fertilización y cantidad de N y P adicionada a las parcelas según la recomendación de los agricultores.

Tratamiento	Descripción	Cantidad aplicada	Cantidad de N y P en todo el ciclo
<b>Fertilización química (FQ)</b>	Fertilización química mediante 1 aplicación de fertilizante 18:46:00 y urea 46:0:0	10g por planta en cada aplicación	155 kg de N/ha 30 Kg de P/ha
<b>Fertilización orgánica (FO)</b>	Fertilización mediante 3 aplicaciones de estiércol de bovino-porcino semimaduro.	237 g por planta	46 kg de N/ha 20 kg de P/h
<b>Sin adición de fertilizante (SA)</b>	Sin adición de ningún tipo de fertilizante.	Sin adición	Sin adición

#### IDENTIFICACIÓN DE LARVAS

La identificación de larvas se realizó mediante la misma metodología señalada en el Capítulo 1 de este trabajo.

#### DETERMINACIÓN DE PRODUCTIVIDAD

La determinación de productividad del grano se realizó siguiendo las recomendaciones del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (Lafitte,1993). Para ello se consideraron todas las plantas en los bloques pares, los cuales no habían sido manipulados en los muestreos mensuales. Se realizaron las siguientes determinaciones:

1. Cálculo de la densidad poblacional (plantas/ha)
2. Número de mazorcas por planta (mazorcas/planta)
3. Número de granos por mazorca (granos/mazorca)
4. Número de granos por kilo
5. Pérdida de humedad por parte de los granos (expresado en %)

La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\frac{\text{Rendimiento}}{\text{ha}} = \frac{\left(\frac{\text{plantas}}{\text{ha}}\right) * \left(\frac{\text{mazorcas}}{\text{plantas}}\right) * \left(\frac{\text{granos}}{\text{mazorcas}}\right)}{\text{Número de granos por kilo}}$$

Las mazorcas consideradas fueron aquellas que no poseían daños graves ni que afectaran a más de 60% de la mazorca; es decir que los agricultores mencionaron que si utilizarían para su consumo.

El conteo de granos por mazorca se realizó contando las hileras de granos y el número de granos en una hilera representativa (que inicie en la base y termine en la punta). No se consideraron los granos de la punta cuyo tamaño sea inferior a la mitad de los granos del centro de la mazorca. Esto se realizó con cada una de las mazorcas obtenidas.

Para conocer el número de granos que contiene un kilo, se tomó una muestra de 100 gr de granos por cada parcela y se contabilizaron. Posteriormente los granos fueron secados a 50 °C por dos días. Se proyectó el número de granos por kilo y se obtuvo el % de humedad.

En el caso de la medición de productividad de rastrojo, se cortó todo el rastrojo por parcela y se midió su masa con ayuda de una balanza de campo.

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

**Biomasa y altura en plantas.** Las diferencias de altura y peso seco de la biomasa de las partes aérea y subterránea de plantas entre tratamientos se analizaron mediante un modelo lineal (LM), para analizar las diferencias de velocidad de crecimiento a lo largo del año. Adicionalmente, se realizó un modelo lineal generalizado (GLMM) para determinar las diferencias en la altura y biomasa en la temporada completa.

**Contenido de nitrógeno y fósforo en hojas y raíces.** Para analizar estos datos se utilizó un análisis de varianza (ANOVA).

**Abundancia total anual de gallinas ciegas.** Se realizó un GLMM para evaluar las diferencias entre tratamientos en la cantidad total anual de gallinas ciegas sin considerar géneros.

**Análisis de poblaciones y de comunidades.** Para los datos por géneros y morfoespecies se utilizó tanto un GLMM como un GLMM inflado en ceros de acuerdo al tipo de datos. Para estudiar el recambio de especies, se realizó, nuevamente, un análisis de clúster jerarquizado aplicando el índice de Jaccard y el método del vecino más lejano. Los datos de riqueza por género fueron analizados mediante un Análisis Multidimensional no-Métrico (NMDS).

**Daño en raíces:** Se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis para analizar las diferencias entre grupos, ya que la prueba de  $\chi^2$  no admite valores de cero y los datos no se ajustan a una distribución normal.

**Productividad de grano y rastrojo.** Los datos fueron analizados mediante una prueba de análisis de varianza (ANOVA).

Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el Software R versión 3.0.3 (R Development Core Team 2014).

## RESULTADOS

### FERTILIZACIÓN DEL SUELO

Como se puede observar en la Tabla 8, las cantidades de N totales adicionadas al suelo son casi un 70% menores en el tratamiento de fertilización orgánica en comparación con la fertilización química; mientras que en el caso de los valores de P, la diferencia es menor, en el tratamiento orgánico se adicionó casi un 30% menos del nutriente que en la fertilización química.

Es importante mencionar que estas cantidades hacen referencia al N y P totales, por lo que no conocemos las cantidades que están efectivamente disponibles.

### ALTURA Y BIOMASA DE LAS PLANTAS

El análisis mediante LM indica que la altura y biomasa de las plantas se comporta de manera diferente en todos los tratamientos a lo largo de los meses; es decir, la pendiente es diferente en cada una de las líneas. Las plantas en el tratamiento con fertilizante químico (FQ) crecen más rápido que aquellas con fertilizante orgánico (FO) y sin adición (SA). A su vez, las plantas en las parcelas bajo tratamiento FO crecen ligeramente más rápido que las plantas en SA (Fig. 12-A). Los análisis por GLMM realizados sobre los datos de altura de plantas señalan diferencias significativas sólo entre FQ y los demás tratamientos (FO y SA); es decir, las plantas creciendo sin adición de fertilizante alcanzan una altura muy similar que las plantas creciendo con fertilizante orgánico.

Para el caso de los datos de biomasa aérea, se encontró que las plantas acumulan más biomasa y lo hacen más rápidamente cuando se aplica fertilizante químico, seguido de fertilizante orgánico y por último sin adición de fertilizante ( $p < 0.05$ ) (Fig. 12-B); en este caso el GLM mostró diferencias significativas entre todos los tratamientos. Esto indica que si bien las plantas creciendo en el tratamiento con composta (FO) alcanzan alturas similares a aquellas en el tratamiento SA, la biomasa que acumulan es significativamente mayor, aunque no alcanzan los niveles de las plantas que crecen en el tratamiento FQ.

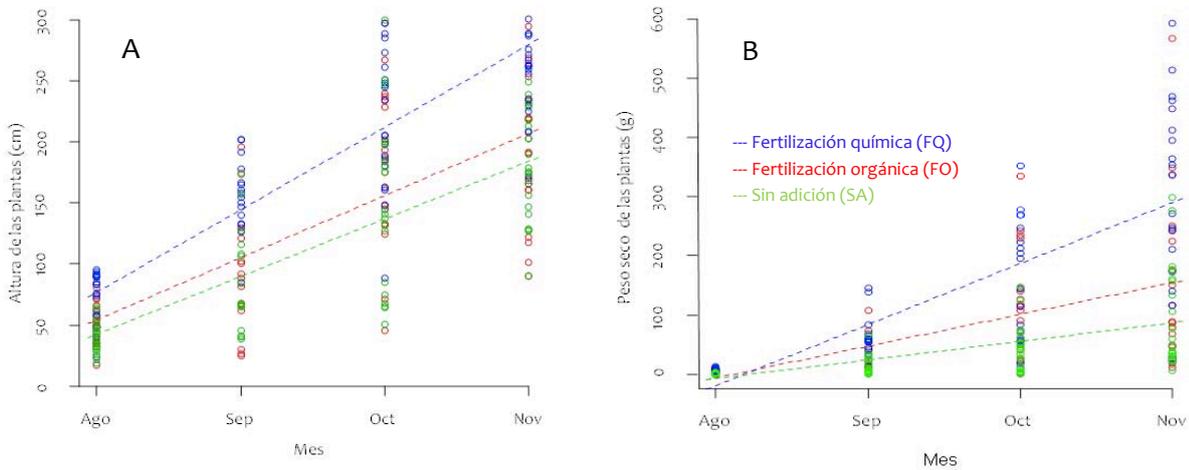


FIGURA 12. Modelos lineales. A. Altura de las plantas bajo diferentes condiciones de fertilización. B. Biomasa de las plantas bajo diferentes condiciones de fertilización.

#### BIOMASA DE RAÍCES

Al igual que con la biomasa aérea, el crecimiento de la biomasa subterránea es diferente en cada tratamiento a lo largo de los meses. Nuevamente, la pendiente de las líneas indica que las raíces de las plantas en el tratamiento FQ crecen más rápido que las de FO, y éstas, a su vez más rápido que las raíces de las plantas en SA (Fig. 13). De acuerdo con análisis estadístico, la biomasa de las raíces es significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) entre todos los tratamientos.

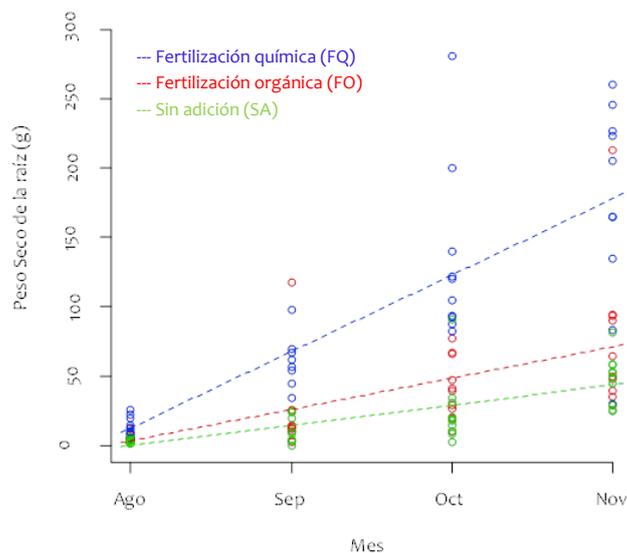


FIGURA 13. Modelo lineal del peso seco de la raíz a lo largo de los meses bajo diferentes condiciones de fertilización.

#### CONTENIDO DE N Y P EN HOJAS Y RAÍCES

Los contenidos de N en hojas: son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos FQ y SA con el tratamiento FO, los dos primeros presentaron concentraciones (mg/g) de nitrógeno más altas que los tratamientos restantes. Mientras que no se encontraron diferencias significativas en los valores de concentración de fósforo en las hojas.

Para el caso de las raíces, los contenidos de N y P no fueron significativamente diferentes entre tratamientos.

#### DAÑO EN RAÍCES

La medición de daño se realizó únicamente para los meses de agosto y septiembre. En el primer mes, las raíces de las plantas que crecieron sin adición de fertilizante (SA) mostraron una mayor frecuencia de daños en la categoría 3 y 4 (daño moderado y grave), mientras que las plantas con fertilizante químico fueron las únicas donde se encontraron raíces sin daño y la frecuencia de daño leve fue mayor. Sin embargo, para el segundo mes de la medición, las raíces con daño moderado aumentaron su frecuencia en el tratamiento FQ, y las de daño leve en el tratamiento FO (Fig. 14).

Se encontraron diferencias significativas entre FQ y SA para el primer mes, y entre FO y SA en el caso del segundo mes. Es decir, el primer mes el daño a raíces fue significativamente menor en el tratamiento con fertilizante químicos (FQ) en relación con el tratamiento sin fertilizante (SA); mientras que en el segundo mes el tratamiento con fertilizante orgánico mostró niveles de daño significativamente menores en relación con el tratamiento SA.

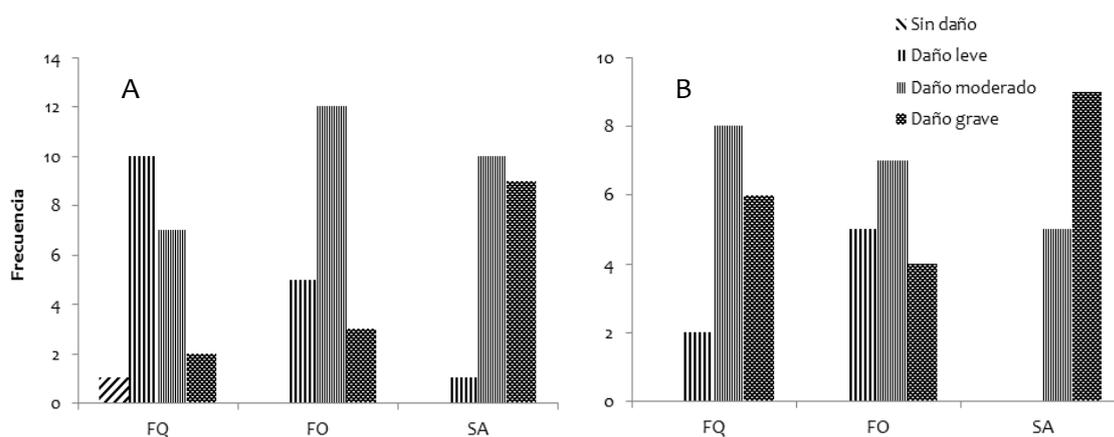


FIGURA 14. Frecuencia de daño en los diferentes tratamientos. A. Datos tomados en agosto. B. Datos tomados en septiembre

#### PRODUCTIVIDAD (GRANO Y RASTROJO)

En los valores de productividad de las plantas de maíz únicamente se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre FQ y los otros dos tratamientos. Aunque los valores de productividad en el tratamiento utilizando composta (FO) fueron mayores que en el control sin adición de fertilizante, las diferencias no fueron significativas (Tabla 9).

TABLA 9. Valores de productividad de grano y rastrojo por tratamiento

Valores de productividad de grano		
	Productividad (t/ha)	Desviación estándar
FQ	1753.70	966.3
FO	435.79	408.7
SA	197.74	205.9
Valores de productividad de rastrojo		
Tratamiento	Productividad (kg/ha)	Desviación estándar
FQ	2.90	1.4
FO	1.49	0.9
SA	0.59	0.6

En cuanto al peso de rastrojo, los análisis estadísticos también mostraron diferencias significativas únicamente entre el tratamiento con fertilizante químico y los otros dos tratamientos.

#### INCIDENCIA TOTAL DE GALLINA CIEGA

La incidencia de gallina ciega estuvo relacionada con el tratamiento, en particular el tratamiento SA fue diferente de los otros dos tipos de fertilización (FQ y FO) ( $p > 0.05$ ). En las parcelas creciendo sin ninguna adición de fertilizante el número de larvas encontradas fue significativamente menor (Fig. 15).

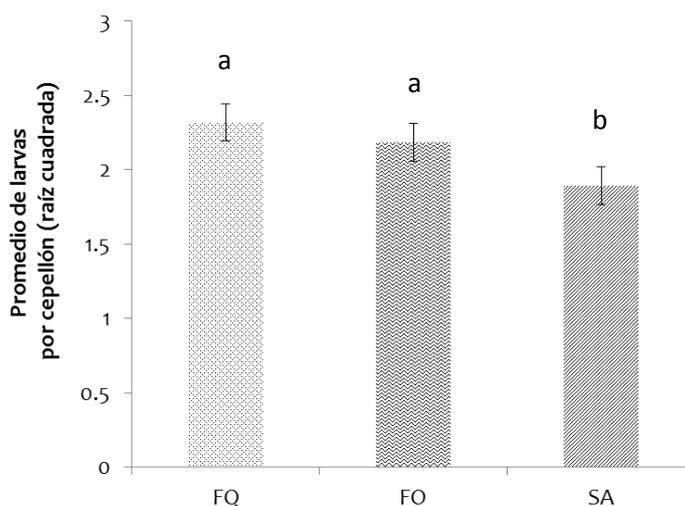


FIGURA 15. Número de larvas del CGC totales en el año (promedio  $\pm$  EE) en diferentes condiciones de fertilización

**Datos por Géneros**

Para el género *Phyllophaga* sp., no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, aunque se observó una tendencia a un mayor número de individuos de este género en el tratamiento con fertilizante químico (FQ). Mientras que para las larvas del género *Cyclocephala* sp., aunque no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, el valor de p para el tratamiento de FQ fue marginalmente significativo ( $p=0.08$ ), el número de individuos de este género fue ligeramente menor que en el resto de los tratamientos.

Para los géneros *Paranomala* sp., *Macroductylus* sp., y *Diplotaxis* sp., no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, ni se observó ninguna tendencia en el número de individuos. Además, en el tratamiento con fertilización orgánica (FO) se encontraron 10 larvas de un género aún no identificado.

**Datos por morfoespecies**

En el caso de los datos por morfoespecies, los únicos que pudieron ser analizados estadísticamente fueron los de las morfoespecies más abundantes. Así, tenemos que para *P. vetula*, *Phyllophaga* sp 3 y *Phyllophaga* sp 2 no se encontraron diferencias significativas. Mientras que para *P. ravida* se encontraron diferencias significativas ( $p<0.05$ ) entre el tratamiento de fertilizante orgánico (FO), donde fue más abundante, con respecto al tratamiento sin adición de fertilizantes (SA).

ANÁLISIS DE COMUNIDADES

No se encontraron diferencias en la estructura de las comunidades en los análisis de NMDS y el clúster jerarquizado en relación al tratamiento de fertilizante aplicado (Fig. 16).

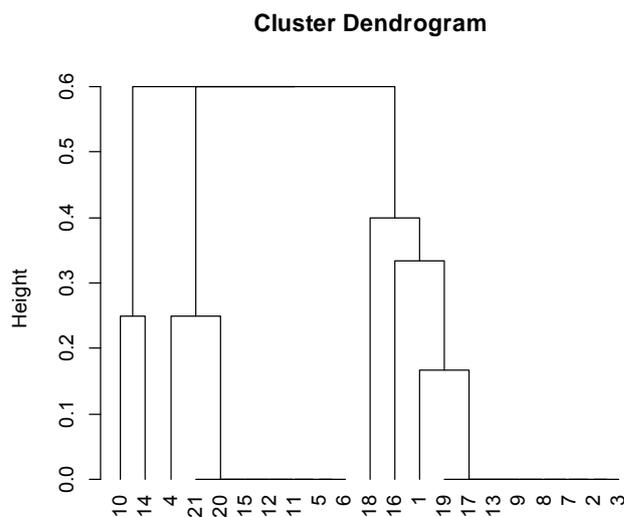


Figura 16. Dendrograma de las parcelas en relación a las morfoespecies del CGC, los números indican el número de la parcela.

## DISCUSIÓN

Se sabe que el tipo de suelo, la temporada del año y las características del fertilizante, pueden modificar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y, por tanto, la productividad de los cultivos (Rautaray et al., 2003 y Saleque et al., 2004; Fließbach et al., 2007); de tal manera que, además de que la cantidad aplicada de N y P varía en los tratamientos, es de esperarse que el contenido biodisponible de cada nutriente también sea distinto en los tratamientos debido a las características propias de cada fertilizante. En este sentido, es necesario tomar otras consideraciones y mediciones para poder determinar las cantidades de N y P que quedan biodisponibles en el suelo después de la fertilización. Inclusive sería interesante medir como los nutrientes disponibles para las plantas cambian a lo largo de los años posteriores de cultivo.

La fertilización orgánica es reconocida por su capacidad para mejorar los niveles de actividad microbiana, las propiedades físicas y las condiciones nutricionales del suelo en el largo plazo (Marinari et al., 2006). Sin embargo, de acuerdo con los agricultores, cuando se hace la conversión de un manejo convencional (con fertilizantes químicos) hacia manejo orgánico (con estiércol o compostas), las parcelas tardan, aproximadamente, cuatro años en mostrar niveles de productividad aceptables. Esta situación podría indicar que, en los primeros años, los nutrientes disponibles en la fertilización orgánica son menores puesto que el suelo ha sido intensamente explotado con anterioridad y aún la actividad microbiana y el reciclaje de nutrientes relacionados no son capaces de soportar la nutrición vegetal.

Los resultados de biomasa, altura y productividad de grano y rastrojo indican la pobre disponibilidad de nutrientes en las parcelas. Es muy probable que la cantidad de fertilizante orgánico no fuera suficiente para que las plantas alcanzaran los niveles de desarrollo que alcanzan con el uso del fertilizante químico, especialmente tratándose del primer año de conversión. Aunque se encontraron valores más altos para el tratamiento con fertilizante orgánico que en el tratamiento sin adición de fertilizante, éstos no fueron significativos.

Estos resultados muestran, en primer lugar, las dificultades que tienen que enfrentar los agricultores al pasar de un sistema convencional a un sistema orgánico, donde el suelo degradado ha perdido la capacidad microbiológica que es la que sostiene los fenómenos de reciclaje de nutrientes. De hecho, de acuerdo con nuestras entrevistas, la baja productividad es la principal razón de los agricultores para no pasar del sistema convencional al orgánico, a pesar de que conocen los beneficios a la salud y al ambiente de este último sistema agrícola. En este sentido, una transición gradual podría resultar interesante para los agricultores, por ejemplo manejar mezclas de fertilizantes químicos y orgánicos o bien sembrar algunas

parcelas con manejo orgánico y otras mantenerlas con fertilización química para asegurar una cantidad adecuada de maíz para consumo.

En segundo lugar, se encontró que las cantidades de composta orgánica utilizada para el experimento fueron bajas y por lo tanto se recomendó a los agricultores aplicaciones de entre 200 y 250 g (peso seco) de composta orgánica por planta para que las cantidades de N y P sean similares a las que se aplican en fertilización química. En tercer lugar, se concluye que el metabolismo vegetal del maíz da prioridad a la acumulación de nutrientes antes que al crecimiento, por ello los valores de biomasa son significativamente diferentes entre tratamientos y no así los valores de altura.

En cuanto a las concentraciones de N y P en hojas y raíces, hay que recordar que fueron medidos cuando las plantas en los tratamientos de fertilizante químico y orgánico ya habían producido mazorca, de tal forma que el N en las hojas ya había sido redistribuido a la producción de grano. Por ello, los valores de N en las plantas bajo sistema de fertilización orgánico eran menores que en las plantas sin adición de fertilizante, ya que éstas última prácticamente no produjeron mazorca.

En subsecuentes estudios se recomienda que las muestras de planta se realicen antes de que el maíz comience a espigar, ya que es el momento cuando la planta se prepara para la producción de grano y por tanto cuando redistribuye nutrientes (Tanaka y Yamaguchi, 1977).

En cuanto al contenido de N y P en raíces, resulta interesante que no se hayan encontrado diferencias significativas entre tratamientos, contrariamente a los que sucedió con el N y P en hojas. Por una parte, los resultados muestran que el N y P en las raíces no se redistribuye cuando ocurre la formación de la mazorca como sucede con los nutrientes en las hojas. Además, estos resultados pueden ser analizados desde el punto de vista de nutrición de las larvas; es posible concluir que la preferencia de las gallinas ciegas por las plantas fertilizadas se relaciona más con algún factor dependiente del volumen o longitud de las raíces (por ejemplo producción de exudados) y no con el concentración de nutrientes en la raíz.

La abundancia total de larvas en el año no fue significativamente diferente entre FQ y FO, estos resultados señalan que las larvas pueden seleccionar los sitios donde alimentarse aunque esto signifique moverse por distancias relativamente largas de terreno.

En cuanto a daño en raíces y abundancia de larvas, no se encontró una relación positiva entre el número de gallinas ciegas y el peso seco de las raíces. Lo que es importante porque la mayoría de agricultores piensa que mientras más larvas haya en el suelo más riesgo corren de sufrir pérdidas importantes en términos de productividad.

De hecho, de acuerdo con los resultados de frecuencia de daños, es probable que este parámetro se relacione más con los niveles de nutrición vegetal y con la adquisición de nutrientes que con la cantidad de larvas. Por ello en el segundo mes de medición de daño, las raíces en el tratamiento FO mostraron daños significativamente menores con relación a las raíces en el tratamiento SA.

En el análisis por NMDS y en el clúster no se encontraron diferencias entre tratamientos, por lo tanto las diferencias de fertilización en primer año no son suficientes para diferenciar las comunidades del CGC.

A nivel de poblaciones, algunos géneros y especies del Complejo parecen responder diferencialmente a los tratamientos como *Cyclocephala* sp. y *Phyllophaga* sp., en particular con *Phyllophaga ravidata*. Aunque se necesita realizar más estudios en años posteriores, es probable que algunas especies del CGC sean más susceptibles a la aplicación de distintos fertilizantes y por tanto mejores indicadores de tipos de fertilización del suelo. Por otra parte, la tendencia hacia una abundancia mayor de *Phyllophaga* en la fertilización química podría ser un punto interesante para continuar evaluando puesto que es considerado el género más abundante, resistente y voraz.

Por otra parte, los resultados de abundancia a nivel del CGC y a nivel de poblaciones resultan importantes en términos del estudio ecológico de plagas puesto que muestran que aún en escalas espaciales pequeñas existen factores capaces de definir la abundancia de las especies.

Si comparamos los resultados a nivel de poblaciones y comunidades en ambos capítulos de la presente tesis, resulta relevante que en el primer caso (nivel de paisaje) la comunidad del CGC se diferencia más claramente, tanto en zonas como en manejo agrícolas, mientras que a nivel de parcela las diferencias en la comunidad son nulas, y entre poblaciones son muy bajas. Esto significa que en el caso de proponer estrategias para el control de plagas es necesario considerar varias escalas espaciales, de manera que los beneficios se perciban a nivel de parcela (relevante para el agricultor) y a nivel de paisaje (relevante para impedir propagación de la plaga).

De hecho, el tema de la relevancia de las escalas espaciales para los estudios ecológicos se ha discutido desde finales de la década de los años 80. Los principales ejes teóricos se relacionan, por ejemplo, con la coexistencia de las especies o la persistencia de las poblaciones (Levin y Paine, 1989; Tilman y Pacala, 1993; Ellner, 2001). En relación con los patrones espaciales y la incidencia de plagas existen menos ejemplos (Dorn et al., 1999; Ferguson et al. 2003), y en particular en México este enfoque no es muy extendido. Resulta interesante también comenzar a indagar sobre los efectos de la escala espacial en los valores de diversidad, los

cuales pueden variar de especie a especie si se trata de una análisis en parcela o de paisaje (Flohre *et al.*, 2011).

En conjunto los datos obtenidos en el primer y segundo plantean soluciones novedosas para el estudio de plagas en México por dos razones, la primera es que se propone una metodología para solucionar el problema de distintos tipos de suelos (distinto hábitats) cuando se trabaja en campo y es difícil establecer repeticiones de tratamientos agrícolas. En segundo lugar, se aborda el tema de escalas espaciales como un importante tópico a considerar cuando se hacen estudios y recomendaciones sobre control de plagas.

### CONCLUSIONES GENERALES

- El manejo agrícola afecta la abundancia del CGC a lo largo del año, aunque el tipo de suelo tiene un efecto más importante en términos de la varianza explicada
- La estructura de las comunidades del CGC está influenciada por el tipo de manejo agrícola sobre las parcelas; sin embargo, es difícil distinguir un patrón específico debido a que existen muchos factores interactuando
- La abundancia de larvas del CGC presentes en la rizósfera no se relaciona positivamente con el daño encontrado en las raíces de maíz
- El nivel espacial en el que se realiza el estudio afecta los resultados obtenidos. En este estudio, los análisis a nivel de paisaje, al estar influenciado por diversos factores mostraron patrones que no son observables a nivel de parcelas
- El tipo de fertilización tiene un efecto diferencial sobre los distintos géneros del CGC
- De acuerdo con nuestros resultados y considerando el tipo de pesticida (el cual ya no surte ningún efecto sobre las larvas) que se utiliza en Napízaro, el manejo es una opción viable para reducir la abundancia de la gallina ciega, aunque aún tendrían que establecerse estrategias para elevar la productividad en sistemas orgánicos o de bajos insumos.
- En la transición de sistemas de cultivo convencionales a sistemas orgánicos o de bajos insumos se recomienda realizar un cambio gradual para que los niveles de productividad no afecten los suministros de las familias, además de utilizar cantidades de composta que asemejen niveles comparables de nitrógeno y fósforo
- Las herramientas estadísticas multivariadas y los modelos lineales generalizados son una herramienta muy útil para analizar experimentos en campo donde es difícil controlar todas las condiciones.

## BIBLIOGRAFÍA

---

Ahrens D. (2005). The phylogeny of Sericini and their position within the Scarabaeidae based on morphological characters (Coleoptera; Scarabaeidae). *Systematic Entomology* 31:113-114.

Argüello H.; Cáceres O. y Morón M. A. (1999). Guía ilustrada para identificación de especies de gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) presentes en las principales zonas agrícolas de Nicaragua. PROMIPAC–Nicaragua, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. pp.18.

Arnett R.H. Jr. (1963). *The beetles of United States (A manual for identification)*. Catholic University of America Press, Washington D.C. Pp 112

Bengtsson, J., Ahnström, J., & WEIBULL, A. C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of applied ecology*, 42(2), 261-269.

Blackwelder R.E. (1994). Checklist of the coleopterous insects of Mexico Central America, the West Indies and South America. Smithsonian Institution, United States National Museum Bulletin, 185, part 2. Pp 189-265

Benton, T. G., Vickery, J. A., & Wilson, J. D. (2003). Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(4), 182-188.

Bremner, J.M. (1996). Nitrogen-total. In: *Methods of soil analyses part 3: chemical analyses* (eds D.L. Sparks, A.L. Page, M.E. Summer, M.A. Tabatabai & P.A. Helmke), pp. 1085–1121. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, WI.

Contreras T. S. (2011). Milpa, biodiversidad y diversidad cultural. *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. México.

Díaz P.; Nájera M. B.; Lezama R.; Rebolledo O.; Flores H. E.; Martínez J. A. (2006). Especies de gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) y su asociación con factores agroclimáticos y de manejo del maíz en los altos de Jalisco, México. *Fitosanidad*, 10(3): 209-215. *Entomol. Mex.* 44(2):97-107.

Endröi S. (1996). *Monographie der Dynastinae (Coleoptera: Lamellicornia)*. I. Teil. *Entomologische Abhandlungen Museum für Tierkunde, Dresden*, Bd. 33:1-457.

Ettema, C. H., & Wardle, D. A. (2002). Spatial soil ecology. *Trends in ecology & evolution*, 17(4), 177-183.

Evans A.V. (2003). A checklist of the New World chafers (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae). *Zootaxa*. 211:1-458.

García, G. A., & Rios, O. V. (1991). Caracterización de microhabitats de la artopofauna en páramos del parque nacional natural Chingaza Cundinamarca, Colombia. *Caldasia*, 539-550.

Freemark, K. E., & Kirk, D. A. (2001). Birds on organic and conventional farms in Ontario: partitioning effects of habitat and practices on species composition and abundance. *Biological Conservation*, 101(3), 337-350.

Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle, P., Izac, A. M., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied soil ecology*, 6(1), 3-16.

Gottsberg G. y Gottsberg S.I. (2006). Life in the Cerrado. A South American tropical seasonal ecosystem. Volume I. Reta Verlang. Ulm. 510.

Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Luna, J. M. (2003). Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*, 4(2), 107-116.

Flohre, A., Fischer, C., Aavik, T., Bengtsson, J., Berendse, F., Bommarco, R., y Tschardtke, T. (2011). Agricultural intensification and biodiversity partitioning in European landscapes comparing plants, carabids, and birds. *Ecological Applications*, 21(5), 1772-1781.

Hills M., T. and Peters C., D. (1971). A method of evaluating postplanting insecticide treatments for control of western corn rootworm larvae. *J. Econ. Entomol.* 64:764-765.

Hyvönen, T., Ketoja, E., Salonen, J., Jalli, H., & Tiainen, J. (2003). Weed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals. *Agriculture, ecosystems & environment*, 97(1), 131-149.

Jepson, P. C. (1989). temporal and spatial dynamics of pesticide side-effects on non-target invertebrates. *Pesticides and non-target invertebrates*/editor: Paul C. Jepson.

Kromp, B. (1989). Carabid beetle communities (Carabidae, Coleoptera) in biologically and conventionally farmed agroecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 27(1), 241-251.

Kunkel, B. A., Held, D. W., & Potter, D. A. (1999). Impact of halofenozide, imidacloprid, and bendiocarb on beneficial invertebrates and predatory activity in turfgrass. *Journal of Economic Entomology*, 92(4), 922-930.

Lafitte, H. R. 1993. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de campo. México, D.F. CIMMYT.

- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., & Rossi, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, S3-S15.
- Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual review of entomology*, 45(1), 175-201.
- Lawrence J.F. y Newton A.F. Jr. (1995). Families and subfamilies of Coleoptera (with selected genera, notes, reference and data on family-group names). En: J. Pakaluk y S.A. Slipinski (eds.). *Biology, phylogeny and classification of Coleoptera. Papers celebrating the 80th birthday of Roy A. Crowson*, Muzeum I Instytut Zoologii PAN,
- Marinari, S., Mancinelli, R., Campiglia, E., & Grego, S. (2006). Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators*, 6(4), 701-711.
- Mico E.M., Morón M.A., Spiek P., Galante E. 2008. Laval morphology enhances phylogenetic reconstruction in Cetoniidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) and allows the interpretation of the evolution of feeding habitats. *Systematic Entomology* 33:128-144.
- McLaughlin, A., & Mineau, P. (1995). The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 55(3), 201-212.
- Murphy, J. & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27:31-36.
- Morón, M.A. (1984). *Escarabajos, 200 millones de años de evolución*. Publicación 14. Instituto de Ecología, México. Pp 131.
- Morón A.; Hernández S.; Ramírez A. (1996). El complejo gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) asociado con la caña de azúcar en Nayarit, México. *Folia Entomológica, México*, 98:1-44.
- Morón M.A., Ratcliffe B.C., Deloya C. (1997). *Atlas de los escarabajos de México. Coleoptera Lamellicornia. Volumen 1. Familia Melolonthidae*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Sociedad Mexicana de Entomología, México. Pp 280.
- Morón M. A. (2001). Larvas de escarabajos del suelo en México (Coleoptera: Melolonthidae). *Acta Zool. Mex. (n.s) Num.Esp* 1:111-130.
- Morón M. A. (2003)a. Diversidad, distribución e importancia de las especies de Phyllophaga Harris en México (Coleoptera: Melolonthidae). En A. Aragón-García, M. A. Morón y A. Marín-Jarillo (eds.) *Estudios sobre coleópteros del suelo en América*.

Publicación Especial Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. Páginas 1-27.

Morón, M.A. (2003)b. Atlas de los escarabajos de México. Coleoptera Lamellicornia. Vol. II. Familias Scarabaeidae, Trogidae, Passalidae y Lucanidae. Argania Editio. Barcelona España. Pp. 204

Morón, M.A. (2004). Melolontídeos edafícolas. En: J.R. Salvadori, C.J. Ávila, M.T.B da Silva (eds.). Pragas do Solo no Brasil. CNPT-CPAO, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Passo Fundo, RS. Brasil. Pp 133-166.

Morón M.A. (2010). Diversidad y distribución del complejo “gallina ciega” (Coleoptera: Scarabaeoidea). En L.A. Rodríguez del Bosque y M.A. Morón (eds). Plagas del suelo. Editorial Mundi-Prensa. México, D.F. Pp 41-63.

Nájera M.B.(1993). Coleópteros rizófagos asociados al maíz de temporal en el centro del estado de Jalisco, México: identificación, ecología y control. En M.A. Morón (compilador) Diversidad y manejo de plagas subterráneas. Publicación especial de la Sociedad Mexicana de Entomología e Instituto de Ecología, Xalapa. Veracruz, México. Pp 143-154.

Nájera, M.B. (1998). Diversidad y abundancia del complejo gallina ciega en agroecosistemas de maíz en la región templada de Michoacán.Pp 99-106. En: M.A. Morón y A. Aragón (eds). Avances en el estudio de la diversidad, importancia y manejo de coleópteros edafícolas americanos. Publicación especial de la Benemérica Universidad Autónoma de de Puebla y la Sociedad Mexicana de Entomología A.C. Puebla, México.

Oliveira J., Hoffman B.C. y García M.A. (2000). Effect of soil management on the white grub population and damage in soybean Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 35(5):887-894.

Peréz-Agis S.E., Vázquez G. M., González E. D., Pimienta B. E., Nájera R.M., Torres M.P. (2004). Sistemas de producción de maíz y población de macrofauna edáfica. TERRA Latinoamericana 22( 3): 335-341.

Peréz-Agis S.E., Morón M.A., Nájera-Rincón M.B., López-Barbosa E., Vázquez-García M. (2008). Análisis de diversidad del complejo “gallina ciega” (coleóptera: Melolonthidae) en dos sistemas de producción tradicional de maíz en la región Purhépecha, Michoacán. Acta Zoológica Mexicana, vol. 24, num. 001. Xalapa, México.

Pfiffner, L., & Niggli, U. (1996). Effects of bio-dynamic, organic and conventional farming on ground beetles (Col. Carabidae) and other epigaeic arthropods in winter wheat. Biological Agriculture & Horticulture, 12(4), 353-364.

Ratcliffe B.C. (1991). The scarab beetles of Nebraska. Bulletin University of Nebraska State Museum, 12:1-33.

Ratcliffe B.C., Jameson M.L. y Smith B.T. (2002). Scarabeidae. En: R.H. Arnett Jr., M.C. Thoas, Skelley P.E., Frank J.H. (eds). American Beetles. Volumen 2, Polyohaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea. CRC Press, Boca Raton. Pp 39-42.

Rockwell D.B. (1998). The nature of North America. A handbook to the continent rocks, plants and animals. Berkeley Books, New York. P 379.

Rodríguez del Bosque A.; Crocker R. L.; Riley E. J. (1995). Diversity and abundance of Phyllophaga and Anomala species in agroecosystems of northern Tamaulipas, México. Southwestern Entomologist 20 (1):55-59.

Romero-López, A. A., Morón, M. A., Aragón, A., & Villalobos, F. J. (2010). La “gallina ciega”(Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) vista como un “ingeniero del suelo”. Southwestern Entomologist, 35(3), 331-343.

Rautaray, S. K., Ghosh, B. C., & Mittra, B. N. (2003). Effect of fly ash, organic wastes and chemical fertilizers on yield, nutrient uptake, heavy metal content and residual fertility in a rice–mustard cropping sequence under acid lateritic soils. Bioresource Technology, 90(3), 275-283.

Saleque, M. A., Abedin, M. J., Bhuiyan, N. I., Zaman, S. K., & Panaullah, G. M. (2004). Long-term effects of inorganic and organic fertilizer sources on yield and nutrient accumulation of lowland rice. Field Crops Research, 86(1), 53-65.

Smith A.B.T. & Evans A.V. (2005). A supplement to the checklist of the classification and evolution of the major scarab beetle clades (Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthinae) with notes on their tribal classification. Zootaxa. 1032. Páginas 29-60.

Tanaka, A., & Yamaguchi, J. (1977). Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en maíz (No. 633.15 T353P.). Colegio de Postgraduados.

Tiemann, L. K., Grandy, A. S., Atkinson, E. E., Marin-Spiotta, E., & McDaniel, M. D. (2015). Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. Ecology letters.

Teeri, J. A., & Stowe, L. G. (1976). Climatic patterns and the distribution of C4 grasses in North America. Oecologia, 23(1), 1-12.

Scialabba N. E. (2001). Agricultural biological diversity in Convention on Biological Diversity. FAO.

Smith A.B.T., Haws D.C. y Heraty J.M. (2006). An overview of the classification and evolution of the major scarab beetle clades (Coleoptera: Scarabaeoidea) based on preliminary molecular analyses. *Coleopterist Society Monograph* 5:35-46.

Vivas, A., Moreno, B., Garcia-Rodriguez, S., & Benítez, E. (2009). Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste. *Bioresource Technology*, 100(3), 1319-1326.

Warszawa. Reprinted with permission in: *Publicaciones Especiales* 3, Centro de estudios en Zoología, Universidad de Guadalajara, México. Pp 779-95.

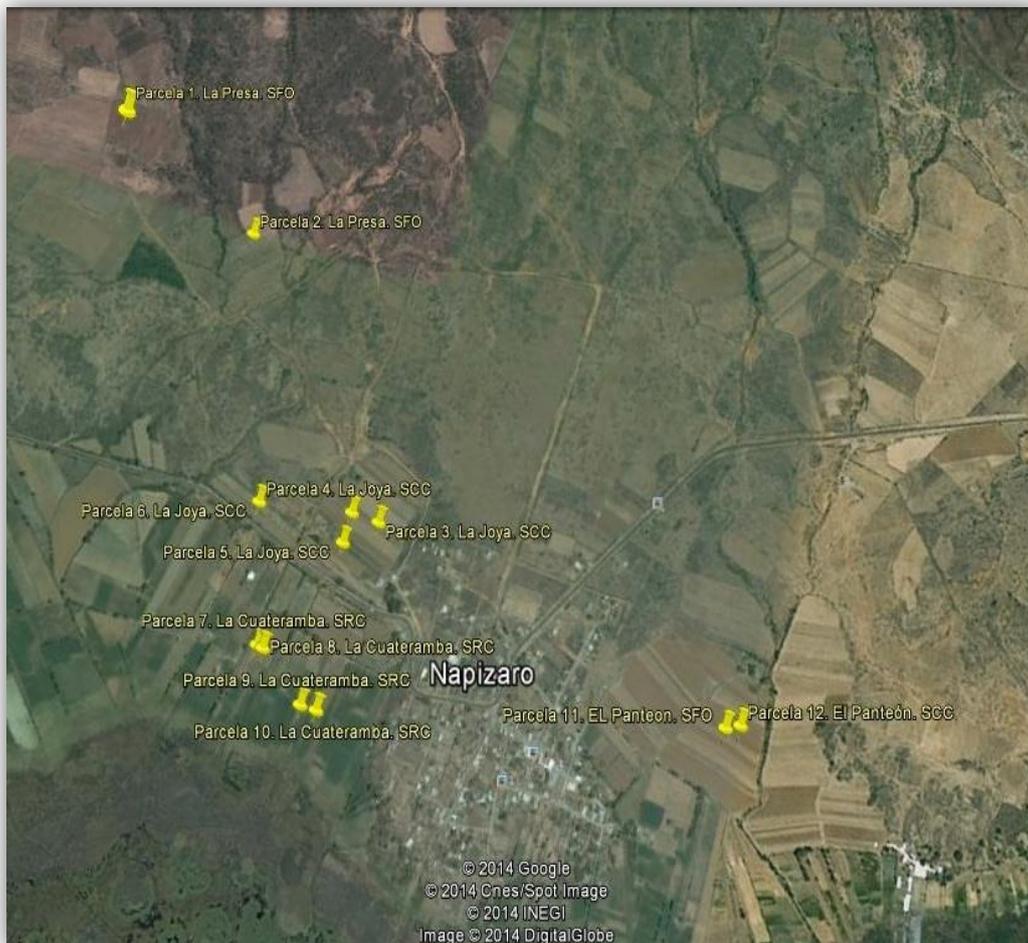
Woodruff R.E. (1973). The scarab beetles of Florida (Coleoptera: Scarabaeidae). Part I. *Arthropods of Florida and neighboring land areas*, vol . Florida Department of Florida and Consumer Services. Gainesville. Pp 220.

## ANEXO I. MAPA DE SITIOS Y UBICACIÓN DE LAS PARCELAS

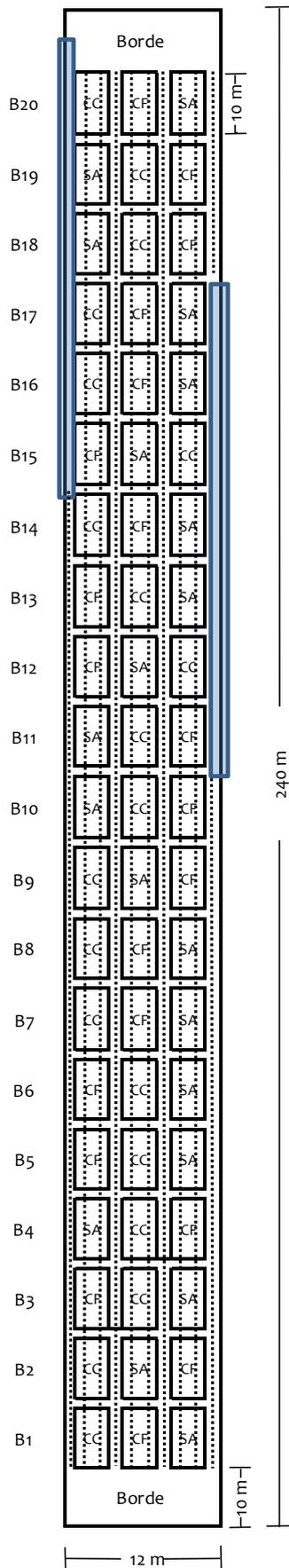
### Mapa de las comunidades cercanas al Lago de Pátzcuaro



### Mapa de las ubicaciones de las parcelas dentro de Napizaro



## ANEXO II. MAPA DE LA PARCELA DE JARDÍN COMÚN



Zonas sin surco de borde, debido al terreno.

## ANEXO III. ENCUESTA PARA CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVO

Fecha: \_\_\_\_\_

### Ident. Identificación de la parcela y del agricultor

1. Número de identificación de la parcela
2. Nombre del agricultor
3. Edad
4. Años de trabajar en esa parcela
5. Dimensiones
6. Régimen al que pertenece: Temporal / Riego/humedad

### Hist. Historia de la parcela

1. ¿Qué uso y manejo se ha dado a la parcela en los últimos 10 años?

	Tipo de fertilizante (estiércol, composta, químico)	¿Insecticida?	Control malezas (azadón, herbicida, escarda)	Semilla maíz (criolla, híbrida)	Otros cultivos
Año 1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

### Prep. Preparación de la tierra

Actividades que realiza de preparación de la tierra

1. Barbecho: Si / No
2. Cruza: Si / No
3. Control de plagas: Químico / Mecánico / Cultural / No realiza
4. Escarda (cuántas veces?)
5. Control malezas azadón
6. Descripción del control de plagas (frecuencia)
7. Fecha(s) del aplicación del control químico
8. Nombre del producto

9. Cantidad de plaguicida aplicado
10. Fertilización del suelo: Químico / Orgánico
11. Fecha(s) de fertilización de suelo
12. Nombre del producto
13. Cantidad aplicada

**Sim. Siembra (ciclo primavera-verano, 2013)**

1. Origen de las semillas
2. Variedad de maíz
3. Ha notado diferencias en la producción de acuerdo a la variedad de maíz que utiliza
4. Fecha de siembra
5. Aporque: Si / No
6. Control de plagas: Químico / Mecánico / Cultural
7. Descripción del control de plagas:
8. Nombre del producto
9. Cantidad de producto
10. Control de malezas / Químico / Mecánico / Cultural
11. Descripción del control de malezas
12. Nombre del producto
13. Cantidad de producto
14. Fertilización: Química / Orgánica
15. Veces de aplicación:
16. Fecha de aplicación:
17. Cultivo asociado
18. Fecha de siembra

**SimRot. Siembra de rotación (ciclo otoño-invierno, 2012)**

1. Cultivo(s) asociado(s)
2. Origen de las semillas
3. Fecha de siembra
4. Control de plagas: Químico / Mecánico
5. Control de malezas / Químico / Mecánico
6. Fertilización: Químico / Orgánico

**Cos. Cosecha**

1. Fecha de cosecha del cultivo Primavera-Verano

2. Rendimiento aproximado
3. Usos de la cosecha

### **Plag. Plagas**

1. Principales plagas de las hojas
2. Principales plagas de las raíces
3. Aproximadamente que tanta producción se pierde por plagas de hojas
4. Aproximadamente que tanta producción se pierde por plagas de raíces
5. En qué etapa del cultivo es más dañina la gallina ciega
6. Diferencias del daño por gallina ciega en distintos años
7. Han observado diferencias en el daño de gallina ciega en variedades de maíz
8. Descripción de las observaciones
9. Han hecho uso control biológico

### **Arv. Arvenses**

1. Cuáles son las malezas más problemáticas
2. Ha notado diferencia en el daño por gallina ciega si se dejan o no las malezas