



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

SEDE JUIGALPA
“JOFIEL ACUÑA CRUZ”

Trabajo de Tesis

**Efecto del diseño y manejo de la biodiversidad
sobre macro invertebrados y calidad de suelo en
dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao*
L.), Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan,
Nicaragua, 2017-2018**

Autor

Br. Anielka Paola Mendoza

Asesores

Dr. Dennis José Salazar Centeno

Ing. MSc. Leonardo José García Centeno

Ing. MSc. Hugo René Rodríguez González

Juigalpa, Chontales, Nicaragua

Febrero 2022



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

**Efecto del diseño y manejo de la biodiversidad sobre
macro invertebrados y calidad de suelo en dos
agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.), Las
Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua,
2017-2018**

Autor

Br. Anielka Paola Mendoza

Asesores

Dr. Dennis José Salazar Centeno
Ing. MSc. Leonardo José García Centeno
Ing. MSc. Hugo René Rodríguez González

Presentado a la consideración del honorable tribunal
examinador como requisito final para optar al grado
de Ingeniero Agrónomo

Juigalpa, Chontales, Nicaragua
Febrero 2022

Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable Tribunal Examinador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Miembros del Tribunal Examinador

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: _____

DEDICATORIA

Este estudio que se ha realizado con mucho esfuerzo se lo dedico a Dios por brindarme vida, salud y fuerza para salir adelante siendo mi guía en todo momento.

Dedico este trabajo investigativo a mi madre, Rosa Matilde Mendoza por cada uno de sus consejos, cariño, comprensión y apoyo por brindarse su fuerza de seguir adelante y luchar por mis sueños.

A mis asesores Dr. Dennis |José Salazar Centeno, Ing. Msc. Hugo René Rodríguez González, Ing. Msc. Leonardo García Centeno, Ing. Juan Carlos Álvarez por brindarme su confianza y apoyo.

Br. Anielka Paola Mendoza.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todo poderoso por brindarme salud, sabiduría, perseverancia y fortaleza en obstáculos difíciles en el periodo de estudios y trabajo de tesis, sin el apoyo de nuestro señor Jesucristo nada de mis sueños se hubieran hecho realidad.

A mi madre Rosa Matilde Mendoza que siempre brindo su confianza y apoyo para lograr mis estudios.

A mis asesores Dr. Dennis |José Salazar Centeno, Ing. Msc. Hugo René Rodríguez González, Ing. Msc. Leonardo García Centeno, por compartir sus experiencias, brindarme su amistad. Dedicar su tiempo a trabajar en mi estudio investigativo, teniéndome paciencia y comprensión.

Al Ing. Juan Carlos Álvarez responsable del proyecto de Fortalecimiento de capacidades de gestión, técnicas y productivas para el desarrollo integral de cinco municipios del Departamento de Rio San Juan ejecutado por la UNA. Se me permitió integrarme al proyecto, facilitándome recurso y apoyo en levantamiento de datos para mi estudio investigativo.

A los productores Juan Pablo Herradora y Patricio Maradiaga, que junto a sus familias me brindaron su apoyo permitiéndome elaborar mi trabajo investigativo en sus agroecosistemas (fincas), brindarme acompañamiento en los levantamientos de datos.

Br. Anielka Paola Mendoza

INDICE DE CONTENIDO

	SECCIÓN	PÁGINAS
	DEDICATORIA	i
	AGRADECIMIENTO	ii
	INDICE DE CONTENIDO	iii
	INDICE DE CUADRO	v
	INDICE DE FIGURA	vi
	RESUMEN	viii
	ABSTRACT	ix
I	INTRODUCCIÓN	1
II	OBJETIVOS	4
2.1	Objetivo general	4
2.2	Objetivo específico	4
III	MARCO DE REFERENCIA	5
3.1	Diseño y manejo de la biodiversidad	5
3.2	Caracterización de agroecosistema cacaoteros	5
3.3	Caracterización de agroecosistema con café	6
3.4	Caracterización de agroecosistemas con ganado bovino	7
3.5	Caracterización de agroecosistema con grano básico	9
3.6	Indicadores de calidad del suelo	10
3.7	Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo	11
3.8	Indicadores físico	12
3.9	Indicadores químicos	13
3.10	Indicadores biológico	13
IV	MATERIALES Y METODOS	15
4.1	Ubicación del estudio	15
4.1.1	Clima del municipio de San Carlos	16
4.1.2	Suelo del municipio de San Carlos	16
4.1.3	Vegetación del municipio de San Carlos	16
4.2	Diseño metodológico	16
4.2.1	Grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad	19
4.2.2	Determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo	21
4.2.3	Identificación taxonómica de macrofauna	24
4.2.4	Análisis de datos	25
V	RESULTADO Y DISCUSIÓN	26
5.1	Diagnósticos de los diseños y manejo de la biodiversidad de los agroecosistemas	26
5.1.1	Diseño y manejo de la biodiversidad productiva	26
5.1.2	Manejo y Conservación de suelo	28
5.1.3	Manejo y conservación de agua	31
5.1.4	Manejos de las intervenciones sanitarias en rubros productivos	33
5.1.5	Diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar	34
5.1.6	Estado de los elementos de la biodiversidad asociada	38

5.1.7	Coefficientes de manejo de la biodiversidad	40
5.2	Indicadores químicos, físicos y biológicos de calidad del suelo	44
5.2.1	Indicadores químicos, físicos, y biológicos del agroecosistema El Mono	44
5.2.1.1	Indicadores químicos del agroecosistema El Mono	44
5.2.1.2	Indicadores físico del agroecosistema El Mono	47
5.2.1.3	Indicadores biológicos del agroecosistema El Mono	48
5.2.2	Indicadores físicos y químicos del agroecosistema Jardín del Edén	50
5.2.2.1	Indicadores químicos del agroecosistema Jardín del Edén	50
5.2.2.2	Indicadores físicos del agroecosistema Jardín del Edén	52
5.2.2.3	Indicadores biológicos del agroecosistema Jardín del Edén	53
5.3	Identificación taxonómica de la macrofauna, análisis de su diversidad alfa, beta y funcionalidad en dos agroecosistema con cacao	55
5.3.1	Diversidad alfa	55
5.3.2	Diversidad beta	58
5.3.3	Funcionalidad de la macrofauna edáfica	59
5.3.3.1	Depredadores	60
5.3.3.2	Fitófago	61
5.3.3.3	Detritívos	61
5.3.3.4	Omnívoros	62
5.3.3.5	Parásitos	63
5.3.3.6	Microvívoros	63
5.3.3.7	Carnívoros	64
VI	CONCLUSIONES	67
VII	RECOMENDACIONES	68
VIII	LITERATURA CITADA	69

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Lotes de los agroecosistemas evaluados agroecológicamente; El Mono, Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018	19
2.	Componentes, indicadores y fórmula para calcular el componente y el Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB)	20
3.	Nivel de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en el agroecosistema	21
4.	Categorización de la presencia de materia orgánica (MO) en el suelo	21
5.	Categorías de valoración de los parámetros del suelo evaluados según García (2015)	22
6.	Parámetros o indicadores de calidad de suelo y métodos con que se determinaron-en el laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria	23
7.	Categorías de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB) y del número de lombrices de tierra por metro cuadrado	24
8.	Nombre común, nombre científico y familia taxonómica del componente arbóreo del agroecosistema El Mono, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2017-2018	35
9.	Nombre común, nombre científico y familia taxonómica del componente arbóreo del agroecosistema Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2017-2018	36
10.	Características químicas de los lotes o parcelas del agroecosistema El Mono, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan	45
11.	Características químicas de los lotes o parcelas del Agroecosistema Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan	51
12.	Numero de clase, ordenes, familia e individuo en cada agroecosistema, 2017	56
13.	Cantidades de organismo por rol funcional de familias taxonómicas identificadas en dos agroecosistemas con Cacao, El Mono (EM) y Jardín del Edén (JDE), en Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan	65

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Ubicación de los agroecosistemas El Mono y Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2017-2018.	15
2.	Plano del agroecosistema El Mono, en Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	17
3.	Plano del agroecosistema Jardín del Edén, en la comunidad Las Azucenas, municipio San Carlos, Departamento. Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	18
4.	Diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr), en dos agroecosistemas con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	27
5.	Manejo y conservación de suelo (MCS) en dos agroecosistema con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	30
6.	Manejo y conservación de agua (MCA) en dos agroecosistema con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	32
7.	Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr) en dos agroecosistema con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	34
8.	Diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu) en dos agroecosistemas con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	38
9.	Estado de los elementos de la biodiversidad asociada (EBAs) en dos agroecosistema con cacao Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	40
10.	Coeficientes de manejo de la biodiversidad (CMB) en dos agroecosistemas con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	43
11	Estado actual de los indicadores evaluados por parcelas en el agro ecosistema con cacao El Mono, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2018.	48
13	Comparación de los indicadores físicos y químicos evaluados en dos agroecosistema con cacao El Mono y Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2018.	54

FIGURA		PÁGINA
14	Perfiles de Renyi a nivel de familias taxonómicas de la macrofauna edáfica en dos agroecosistema con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2018.	57
15	Índice de disimilitud según Bray-Curtis para las familias taxonómicas de la macrofauna edáfica en dos agroecosistema con cacao El Mono y Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2018.	59

RESUMEN

El presente estudio sobre la evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, se llevó a cabo en los años 2017 y 2018, que representa los primeros resultados sobre esta temática en esta localidad. El propósito de esta tesis consistió en evaluar los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao. Para lograr esta finalidad se implementaron diferentes metodología y herramientas. Se seleccionaron dos agroecosistemas colindantes (El Mono y Jardín del Edén) localizados entre las coordenadas 11°9'17.56''N de latitud y 84°37'28.85''O en longitud, a una altura de 59 msnm en El Mono y 11°9'9.75''N de latitud y 84°37'8.47''O de longitud, a una altura de 151 msnm Jardín del Edén en la zona de transición de la reserva de biosfera de Indio Maíz. Los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas El Mono y Jardín del Edén son poco complejos. En ambos agroecosistemas, el principal indicador físico limitante del suelo es la textura (arcillosa) afectando negativamente su porosidad e infiltración del agua. El principal indicador químico limitante del suelo es el pH que afecta la disponibilidad de P, K y Ca y favorecen la solubilidad de Mn, Fe y Al y por consiguiente el balance intercasiónica. En el agroecosistema El Mono, la población de lombrices de tierra no es adecuada, producto del mal manejo de la producción agrícola. La diversidad alfa de la macrofauna edáfica fue superior en su riqueza en el agroecosistema Jardín del Edén, cuyas poblaciones son mayores, menos uniformes y más dominantes. En ambos agroecosistemas, las funciones de la macrofauna edáfica fueron: depredador, fitófaga, detritívoro, omnívoro, parásita, microvívoro y carnívoro, cuyas poblaciones son superiores en El Jardín del Edén y las familias más abundantes en ambos agroecosistema fueron Formicidae y Lumbricidae.

Palabras claves: *Agroecología, agroecosistema, biodiversidad, suelo, macrofauna.*

ABSTRACT

The present study on the agroecological evaluation of two agroecosystems with cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, was carried out in the years 2017 and 2018, which represents the first results on this topic in this locality. The purpose of this thesis was to evaluate the designs and management of biodiversity, macro fauna and indicators of quality and soil health in two agroecosystems with cocoa. To achieve this goal, different methods and tools were implemented. Two adjoining agroecosystems (El Mono and Jardín del Edén) located between coordinates 11 ° 9'17.56"N latitude and 84 ° 37'28.85"W longitude, at a height of 59 masl in El Mono and 11 were selected ° 9'9.75"N of latitude and 84 ° 37'8.47"W of longitude, at a height of 151 masl Jardín del Edén in the transition zone of the Indio Maíz biosphere reserve. The designs and management of the biodiversity of the El Mono and Jardín del Edén agroecosystems are not very complex. In both agroecosystems, the main limiting physical indicator of the soil is the texture (clayey), negatively affecting its porosity and water infiltration. The main limiting chemical indicator of the soil is the pH that affects the availability of P, K and Ca and favors the solubility of Mn, Fe and Al and therefore the intercathionic balance. In the El Mono agroecosystem, the earthworm population is not adequate, due to poor management of agricultural production. The alpha diversity of the edaphic macrofauna was superior in its richness in the Jardín del Edén agroecosystem, whose populations are higher, less uniform and more dominant. In both agroecosystems, the functions of the edaphic macrofauna were: predator, phytophagous, detritivorous, omnivorous, parasitic, microvivorous and carnivorous, whose populations are higher in the Jardín del Edén and the most abundant families in both agroecosystems were Formicidae and Lumbricidae.

Key words: *Agroecology, agroecosystem, biodiversity, soil, macrofauna.*

I. INTRODUCCIÓN

Los diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas sostenibles responden a cinco principios ecológicos propuestos por Reijntjes *et al.* (1992), que se numeran a continuación:

- 1) Aumentar el reciclado de biomasa y optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de nutrientes,
- 2) Asegurar condiciones del suelo favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente a través del manejo de la materia orgánica y aumentando la actividad biótica del suelo
- 3) Minimizar las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del microclima, cosecha de agua y el manejo de suelo a través del aumento en la cobertura
- 4) Diversificar específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio
- 5) Aumentar las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes de la biodiversidad promoviendo procesos y servicios ecológicos claves (p.1)

Vázquez *et al.* (2014) agrupan a los elementos de la biodiversidad en los siguientes componentes funcionales:

- 1) “**Biodiversidad productiva**”, que es la biota introducida que se planifica y se cultiva o cría con fines económicos.
- 2) “**Biodiversidad asociada**” u organismos que influyen de manera directa, positiva o negativa, sobre el desarrollo fisiológico y la defensa de las plantas cultivadas.
- 3) “**Biodiversidad auxiliar**”, que es la vegetación no cultivada que habita naturalmente o se introduce, y se maneja para influir positivamente sobre el resto de la biodiversidad.
- 4) “**Biodiversidad introducida**” que son los organismos que se introducen para lograr efectos directos en beneficio de la biota productiva.

Entre los organismos de la biodiversidad asociada se encuentra la macrofauna, cuyo diámetro es superior a 2 mm (Cabrera, 2012, p.346-363.). Muchos organismos de la macrofauna son

importantes en la transformación de las propiedades del suelo, entre ellos: las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta), las termitas (Insecta: Isoptera) y las hormigas (Insecta: Hymenoptera: Formicidae), que actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua y la humificación y mineralización de la materia orgánica. Otra parte de los macroinvertebrados intervienen en la trituración de los restos vegetales (e.g. Coleoptera, Diplopoda, Isopoda, Gastropoda) y algunos funcionan como depredadores de animales de la macrofauna y la mesofauna edáfica (e.g. Araneae, Chilopoda) (Cabrera *et al.*, 2011, p. 313-330).

La calidad del suelo debe interpretarse como la utilidad de éste para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter *et al.*, 1997, p.90). El estado de las propiedades dinámicas del suelo como: contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos, en un tiempo particular constituye la salud del suelo (Romín *et al.*, 1995).

Se ha considerado que el suelo es el substrato básico para las plantas; capta, retiene y emite agua; y es un filtro ambiental efectivo (Larson y Pierce, 1991, (p.175-203) y Buol, 1995). Arshad y Coen (1992, p.25-31) afirman que la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, no permiten que existan criterios universales para evaluar los cambios en la calidad de éste.

Es preciso contar con variables que sirven para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, que representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Dumanski *et al.*, 1998, p. 92). Adriaanse (1993, p. 92) expresa que los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos.

Éstos pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él (SQI, 1996, p. 92) y deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan.

Hünнемeyer *et al.* 1997 establecen que los indicadores deben permitir:

- a) Analizar la situación actual e identificar los puntos críticos respecto al desarrollo sostenible.
- b) Analizar los posibles impactos antes de una intervención.

c) Monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas.

d) Ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible (p. 19-27)

En Nicaragua existen estudios sobre diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna edáfica e indicadores de calidad y salud del suelo en agroecosistemas con cacao, café, ganadería, y granos básicos, en la zona del pacífico, central, norte y la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (Salazar, 2017a (p. 20-30), 2017b. (p.19-24) y 2017c (p. 21-33)y Díaz, 2019).

Resultados sobre estos tres aspectos en el departamento de Rio San Juan no existen. Con la presente tesis se evalúan diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna edáfica e indicadores de calidad y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Las Azucenas, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

2.1. Objetivos específicos

1. Analizar el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en dos agroecosistemas con cacao.
2. Estimar características físicas, químicas y biológicas del suelo para valorar su calidad en dos agroecosistemas con cacao.
3. Determinar taxonómicamente la macrofauna, su diversidad alfa, beta y sus funciones en dos agroecosistemas con cacao.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Diseños y manejos de la biodiversidad

En Nicaragua, se han publicados resultados de la aplicación de la metodología de (Vázquez 2013, P.33-42) en diferentes zonas agroecológicas y agroecosistemas con cacao, café, con ganado bovino y con granos básicos con el propósito de determinar los diseños y manejos de la biodiversidad. Estos resultados son reportados por (Díaz 2019, p.17-18) y Rodríguez *et al.* (2017a, p.20-33, 2017b, p.19-24 y 2017c, p.21-33).

3.2. Caracterización de agroecosistemas cacaoteros

La influencia de los diseños y manejos de la biodiversidad sobre la macrofauna edáfica e indicadores de calidad de suelo se evaluó en dos agroecosistemas con cacao (Díaz 2019, p.69-74). Un agroecosistema fue Los Laureles, con diseños y manejos de su biodiversidad “medianamente complejo, y se gestiona bajo el paradigma agroecológico, mientras que el segundo agroecosistema, El Encanto, tiene diseños y manejos de su biodiversidad “poco complejo y se aplican agrotóxicos sintéticos propios del paradigma convencional.

Ambos agroecosistemas presentaron variaciones en el pH, materia orgánica y N, P y K. En general, se constató que las parcelas tienen deficiencias de P y con variaciones importantes en el contenido de potasio. El pH va de extremadamente a fuertemente ácidos, los suelos son de textura arcillosa, moderadamente profundos a superficial y con porosidad no satisfactoria (51% a 55%). Son suelos con un drenaje imperfecto. La saturación de base y la capacidad de intercambio catiónico es baja (Díaz 2019, p.39-45).

Los diseños y manejos de la biodiversidad y el paradigma con el que se gestiona el agroecosistema influyen sobre las poblaciones de la macrofauna edáfica y sobre las características de la diversidad alfa a nivel de órdenes y familias taxonómicas. El agroecosistema Los Laureles presentó una mayor población de macrofauna edáfica con 315 organismos, que es superior en 96.8% a las registrada en el agroecosistema El Encanto. En ambos agroecosistemas con cacao, las poblaciones de las familias de la macrofauna edáfica desempeñan las funciones de: detritívoros, omnívoros, fitófagos, depredadores y microvívicos (Díaz, 2019).

3.3. Caracterización de agroecosistemas con café

La influencia de los diseños y manejos de la biodiversidad sobre la macrofauna edáfica e indicadores de calidad de suelo se llevó a cabo en dos agroecosistemas con café, que ya han sido estudiados por diversos autores. El primero es el agroecosistema Linda Vista, con un área de 39.2 hectáreas, cuyo propietario es el agricultor, Julio Cesar Muñoz Peralta, quién es promotor agroecológico.

Este agroecosistema tiene diseños y manejos de su biodiversidad medianamente complejo y se gestiona bajo el paradigma agroecológico (Rodríguez *et al.*, 2017a, p.20-33), pero debe mejorar principalmente los diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr: 2.04), el manejo y conservación del suelo y agua (MCS: 1.44 y MCA: 1.71), reducir las medidas de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr: 1.43) y los diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu: 2.68) para fortalecer los sinergismos entre sus diferentes componentes. Rodríguez *et al.* (2017d, p.45-58) registraron 915 organismos de la macrofauna edáfica e identificaron 7 clases, 26 órdenes y 67 familias.

Se encontraron organismos de la macrofauna del suelo con funciones depredadoras, fitófagas, detritívoros, omnívoros y parásitos, pero no establecieron las diferencias de estas poblaciones a consecuencia del manejo que el agricultor realiza en cada lote del agroecosistema.

El segundo agroecosistema es El Milagro de Dios, con un área de 5.6 hectáreas, cuyo propietario es el agricultor Sixto Doroteo Talavera Olivas y no es promotor agroecológico. Este agroecosistema tiene diseños y manejos de su biodiversidad poco complejo y se gestiona bajo el paradigma convencional (Rodríguez *et al.*, 2017a, p.20-33). Debe mejorar significativamente los indicadores de los DMBPr, MCS, MCA, MISRPr, DMBAu. Rodríguez *et al.* (2017d, p.45-58) registraron 747 organismos de la macrofauna edáfica, pertenecientes a 6 clases, 25 órdenes y 34 familias. Se encontraron organismos de la macrofauna edáfica con funciones depredadoras, fitófagas, detritívoras y omnívoras, pero no establecieron las diferencias de estas poblaciones a consecuencia del manejo que el agricultor realiza en cada lote del agroecosistema.

3.4. Caracterización de agroecosistemas con ganado bovino

La influencia de los diseños y manejos de la biodiversidad sobre la macrofauna edáfica e indicadores de calidad de suelo se llevó a cabo en dos agroecosistemas con ganado bovino, que ya han sido estudiados por Salazar *et al.* (2017b, p.74).

Un agroecosistema es Buena Vista, que tiene diseños y manejos de su biodiversidad complejos y se gerencia bajo el paradigma agroecológico. Esto se manifiesta en mejor manejo y conservación del suelo y agua, un mejor manejo de las intervenciones en rubros productivos, un mejor diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar y en los elementos de la biodiversidad asociada. El segundo agroecosistema es San Juan, categorizado como un agroecosistema con diseños y manejos de su biodiversidad poco complejos y se gerencia bajo el paradigma convencional. Esto se exterioriza en un deficiente manejo y conservación del suelo y agua, en un deficiente manejo de las intervenciones en rubros productivos, en un deficiente diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar y en los elementos de la biodiversidad asociada. Hay que resaltar que el productor Juan José García, propietario del agroecosistema Buena Vista, es promotor agroecológico calificado, está organizado y comprometido con el paradigma de producción agroecológico, lo que ha permitido que su agroecosistema se encuentre en el tránsito hacia la sostenibilidad y la resiliencia.

En el agroecosistema Buena Vista, el balance parcial de los tres nutrientes (N, P y K) es positivo, pero el agricultor, debe implementar una estrategia para aumentar los niveles de fósforo en todas sus parcelas, así mismo para que el pH de las parcelas diversificada, café y pasto de pastoreo no disminuyan más y acentúen la deficiencia de fósforo, también, esa estrategia debe conducir a mejorar la relación inter catiónicas Mg/K en estas parcelas y en la de pasto de corte para evitar una posible deficiencia de magnesio por exceso de potasio en los suelos (García *et al.*, 2017 b, p.25-31). En el agroecosistema, San Juan, el pH de la parcela con pasto de corte, con pasto de pastoreo y con café son bajos (5.4, 5.2 y 5.5) que puede inducir a deficiencias de fósforo, lo que se acentúa por los bajos niveles de este elemento en estas parcelas (4.6 ppm de promedio). Además, en la parcela agrícola la relación Ca/Mg indica una probable deficiencia de magnesio, la que se acentúa por la baja relación Mg/K. En las parcelas, pasto de pastoreo y pasto de corte las relaciones inter catiónicas Ca/K muestran que puede haber una probable deficiencia de potasio por los altos niveles de Ca en las parcelas. En ambos

agroecosistemas, la estrategia de manejo para mejorar el pH del suelo y la disponibilidad de fósforo debe incluir el incremento de los contenidos de materia orgánica del suelo, este aumento, y el uso de fuentes adecuadas, mejoraran a su vez, los niveles de fósforo en las parcelas, los niveles de magnesio y potasio en los sitios de intercambio, mejorando las relaciones inter catiónicas e incuestionablemente la nutrición de los cultivos. Estos resultados demuestran que el manejo del suelo bajo el paradigma agroecológico no solo deber ser positivo el balance aparente de N, P y K, sino que debe garantizar una nutrición balanceada, para lo cual es fundamental adecuadas relaciones inter catiónicas, que son específicas para cada subsistema productivo del agroecosistema. El agroecosistema Buena Vista, con diseños y manejos de su biodiversidad complejos y en tránsito hacia la sostenibilidad y resiliencia económica, social y agroambiental se caracteriza por presentar una mayor población, riqueza y equidad de las comunidades de la macrofauna edáfica en los taxones clases, órdenes y familia, lo que contribuye a que exista una mayor funcionalidad de estos organismos, dado que ellos pueden ejercer distintas funciones y al encontrarse en mayores poblaciones contribuye a que el suelo sea más vivo, dinámico y complejo (Rodríguez *et al.*, 2017e, p.31-42).

Únicamente en este agroecosistema se encontraron organismos con funcionalidad parásita. Para fomentar poblaciones altas de macrofauna edáfica y garantizar suelos más vivos, dinámicos y complejos es fundamental dotar al suelo, permanentemente, de materia orgánica muerta (mucho, hojarasca y restos de cosecha) o a través de abonos orgánicos sólidos, lo que contribuya al reciclado de los nutrientes y favorece el incremento de las poblaciones microbiológicas. Adicionalmente, se pueden asperjar abonos orgánicos líquidos a la materia orgánica muerta sobre la superficie del suelo para acelerar el proceso de descomposición y mineralización de ésta. Es decir que en la estrategia de una adecuada conservación y rehabilitación del suelo se debe implementar, además de las obras de conservación de suelo y agua, así como los principios de las 4 R (qué fuente de abono?, cuánto fertilizo?, cómo fertilizo? y dónde fertilizo?), los principios de las 5 M, que consisten en: 1) dotar al suelo permanentemente con materia orgánica (M1), 2) aplicar abonos orgánicos enriquecidos con minerales de harina (M2) de roca, 3) fomentar la microbiota edáfica (M3) mediante abonos orgánicos líquidos y sólidos con microorganismos de montaña, 4) aplicar moléculas vivas (M4) a través de biofermentos y 5) cambio de mentalidad del campesino (M5) para fomentar el paradigma o modelo agroecológico. Este último principio es el de mayor complejidad y dificultad, debido a que se requiere de un

cambio de actitud por parte de los campesinos para garantizar la transición o el canje paulatino del paradigma de una producción agroalimentaria convencional hacia una agroecológica (Salazar *et al.*, 2017b, p.74).

3.5. Caracterización de agroecosistemas con granos básicos

La influencia de los diseños y manejos de la biodiversidad sobre la macrofauna edáfica e indicadores de calidad de suelo se llevó a cabo en dos agroecosistemas con granos básicos (Rodríguez *et al.*, 2017c, p.21-33 y 2017f, p.40-46), que ya han sido estudiados por diversos autores. El primero es el agroecosistema El Chipote, con un área de 9.1 ha, cuyo propietario es el agricultor, Miguel Ángel Sandino, quién es promotor agroecológico del MAONIC. Este agroecosistema obtuvo un Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB) de 2,95, clasificándose los diseños y manejos de la biodiversidad como:” Medianamente Compleja” y se fundamenta bajo el paradigma agroecológico (Rodríguez *et al.*, 2017c, p.21-33). Los resultados evidencian mejor diseño y manejo de su biodiversidad productiva, integración de prácticas que favorecen el manejo, conservación del suelo y agua, el manejo de las intervenciones sanitarias se basa en aplicaciones de insumos biológicos con técnicas de manejo integrado de cultivos y con mejor diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar. El INIDE-MAGFOR (2013, p. 51-60) aplicó a este agroecosistema una herramienta rápida de diagnóstico de la biodiversidad (Vázquez y Matienzo, 2006), donde resalta la diversidad y disponibilidad de especies vegetales, se cultivan 33 especies alimentarias y se realizan 2 siembras al año (sorgo, frijol, maíz, yuca, cucurbitácea). La calidad sanitaria de los cultivos se evaluó a través de la metodología de evaluación rápida de salud de cultivos (Altieri y Nicholls; 2002, p.17-24). Con esta metodología se determinaron excelentes indicadores de apariencia, crecimiento del cultivo, resistencia o tolerancia a estrés (sequía, lluvias intensas, plagas, etc.), incidencia de enfermedades, competencia por malezas, rendimiento actual y potencial. García *et al.* (2017c, p.33-39) demostraron que las cantidades de nutrientes aplicadas por medio de la composta es insuficiente para garantizar la sustentabilidad del suelo. Rodríguez *et al.* (2017f, p.40-46) registraron 451 organismos de macrofauna edáfica, pertenecientes a 7 clases, 17 orden, 34 familias con grupo funcional representativo depredadores y detritívoros (Familia Theridiidae y Rhinotermitidae)

pero no establecieron las diferencias de estas poblaciones a consecuencia del manejo que el agricultor realiza en cada lote del agroecosistema.

El segundo agroecosistema es El Manantial, con un área de 9.8 ha, cuyo propietario es el agricultor Evelio Sandino Sánchez, quien trabaja con la combinación de prácticas tradicional y convencional (uso racional de agroquímicos) sin pertenecer a una entidad organizativa. Este agroecosistema obtuvo un Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB) de 1.46, clasificando a los diseños y manejos de la biodiversidad como, “poco complejo” (Rodríguez *et al.*, 2017c, p.21-33).

Los resultados evidencian un deficiente diseño y manejo de su biodiversidad productiva, poca diversificación y prácticas que favorecen el manejo, conservación del suelo y agua, el manejo de las intervenciones sanitarias se fundamenta en el uso de agroquímicos, el diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar se ve afectado en diversidad y poblaciones de organismos por el uso de agroquímicos y prácticas que no favorecen al agroecosistema. García *et al.* (2017c, p.33-39) demostraron un agotamiento progresivo del suelo por no considerar la reposición de nutrientes. Rodríguez *et al.* (2017f, p.40-46) registraron 361 organismos de la macrofauna edáfica, pertenecientes a 6 clases, 12 órdenes y 19 familias.

Se encontraron organismos de la macrofauna edáfica con funciones depredadoras, fitófagas, detritívoras y omnívoras, pero no establecieron las diferencias de estas poblaciones a consecuencia del manejo que el agricultor realiza en cada lote del agroecosistema.

3.6. Indicadores de calidad del suelo

A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo (Arshad & Coen, 1992, p.25-31).

Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Dumanski *et al.*, 1998, p. 92). Adriaanse (1993) afirma que:

Los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc)..p.92.

Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él (SQI, 1996, p.92).

Para Dumanski *et al.* (1998, p.92) dichos indicadores, no podrían ser un grupo seleccionado *ad hoc* para cada situación particular, sino que deben ser los mismos en todos los casos. Esto con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional. Tal posición no es compartida por Bautista *et al.* (2004, p.90-97), quienes sostienen que los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan, como lo ha sugerido Astier *et al.* (2002, p.605-620). Hünemeyer *et al.* (1997, p.19-27) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

3.7. Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones (Doran & Parkin, 1994) afirma que:

- 1) Describir los procesos del ecosistema.
- 2) Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- 3) Reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir.
- 4) Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo.
- 5) Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo.
- 6) Ser reproducibles.
- 7) Ser fáciles de entender.

8) Ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.

9) y 10) Cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.. (p.244).

En virtud de que existen muchas propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo, Larson y Pierce, 1991, p.175-203; Doran y Parkin 1994, p. 244 y Seybold *et al.* 1997, p.387-403 plantearon un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo. Los indicadores disponibles para evaluar la calidad de suelo pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo (Arshad y Coen, 1992, p. 25-31).

La identificación efectiva de indicadores apropiados para evaluar la calidad del suelo depende del objetivo, que debe considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental. La identificación es compleja por la multiplicidad de factores químicos, físicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en intensidad con respecto al tiempo y espacio (Doran, *et al.*, 1996, p. 90).

3.8. Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000, p.271-298). Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros.

La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

3.9. Indicadores químicos

Los indicadores químicos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (SQI, 1996, p.92).

Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrimentos, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable.

3.10. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos propuestos por (Bautista *et al.* 2004, p.90-97) integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macro organismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (SQI, 1996, p.92; Karlen *et al.*, 1997, p.4-10). Como la biomasa microbiana es mucho más sensible al cambio que el C total se ha propuesto la relación C microbiano/C orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (Sparling, 1997, p.97-110).

Bautista *et al.* (2004, p.90-97) afirma que no hay un enfoque único para generar un conjunto de indicadores para cada propósito. Los enfoques pueden cambiar con el tiempo conforme incrementa el entendimiento de los problemas ambientales y conforme los valores sociales evolucionan. Uno de los enfoques ampliamente utilizados por lo inmediato de su comprensión es el que trabaja la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). Se trata del sistema presión-estado-respuesta, el cual se basa en una cadena de causalidades donde se entiende que las actividades humanas originan presiones sobre el ambiente (indicadores de presión) que modifican la calidad y cantidad de los recursos naturales (indicadores de estado) en virtud de lo cual se produce una respuesta que tiende a modular la presión (indicadores de respuesta).

Dentro del enfoque presión-estado-respuesta, la OECD (1991, 1993, 2003) ha propuesto algunos indicadores ambientales que se relacionan con la calidad del suelo. Dos de ellos son indicadores para el riesgo de erosión hídrica y riesgo de erosión eólica. La OECD (2003) propuso indicadores de acumulación de C en el suelo. Por la urgencia de contar con herramientas que permitan evaluar la evolución de este recurso natural se continúa trabajando en la materia. Adicionalmente, esta organización ha instado a sus miembros a establecer indicadores nacionales de diversa naturaleza, entre ellos de calidad del suelo.

En los Estados Unidos de América se ha constituido el Soil Quality Institute (SQI, 1996, p.92), organismo encargado de difundir entre los productores agrícolas los principios básicos de los indicadores de calidad del suelo y a proponer metodologías simples para realizar mediciones. La Unión Europea y Canadá han publicado información valiosa al respecto (Gregorich *et al.*, 1994, p.367-385)

Bautista *et al.* (2004, p.90-97) concluye que todo tipo de vida depende de la calidad del suelo para su supervivencia. Por ende, la protección de este recurso natural debe ser una política nacional e internacional. Para lograr lo anterior y, al mismo tiempo, un manejo adecuado del suelo, es necesario contar con indicadores que permitan evaluar su calidad. El desarrollo de tales indicadores debe hacerse con base en las funciones del suelo que se evalúan; considerando aquellas propiedades edáficas sensibles a los cambios de uso del suelo.

En la presente tesis se evalúan diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores físicos, químicos y biológicos de dos agroecosistemas del trópico húmedo nicaragüense localizado en el departamento de Rio San Juan que brinden pautas para un manejo holístico del recurso suelo desde la perspectiva de la producción vegetal, que es fundamental para la seguridad alimentaria y nutricional, y mejorar los medios de vida (capitales: físico, social, humano, natural, financiero y político) de las familias campesinas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

La evaluación de los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) se realizó en Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, en el periodo comprendido de 2017 al 2018.

Un agroecosistemas es El Mono del productor Juan Pablo Herradora, cuya área es de 38.64 ha. Éste se localiza entre las siguientes coordenadas 11°9'17.56''N de latitud y 84°37'28.85''O en longitud, a una altura de 59 msnm (Figura 1).

El segundo agroecosistema es Jardín del Edén, propiedad del productor Patricio Madariaga, con un área de 42 ha. Éste se localiza entre las siguientes coordenadas 11°9'9.75''N de latitud y 84°37'8.47''O de longitud, a una altura de 151 msnm (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de los agroecosistemas El Mono y Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2017-2018.

4.1.1 Clima del municipio de San Carlos

Las condiciones climáticas predominantes son tropicales de selva monzónica y tropical de selva. El período seco dura de 1 a 4 meses. La temperatura media anual varía de 28 a 33°C y la precipitación pluvial anual entre los 2,000 y 2,400 mm.

4.1.2. Suelo del municipio de San Carlos

Existen terrenos ondulados, con muy buenas condiciones topográficas, con pendientes máximas de 25%, predominan tres grupos de suelos: 1) los suelos arcillosos, negros, pesados, con problemas de drenaje, distribuidos en el litoral noroccidental del Lago Cocibolca; 2) los arcillosos, amarillentos y rojizos, kaoliníticos formados en las rocas del Terciario y 3) suelos orgánicos pantanosos distribuidos en las zonas bajas del litoral meridional en las proximidades de Los Guatusos. (http://www.ineter.gob.ni/Ordenamiento/files/suelos_rio_san_juan.pdf, s.f.)

4.1.3. Vegetación del municipio de San Carlos

De 1967 a 2008, nuestro país ha sufrido fuertes impactos negativos en el ámbito socio económico y su entorno físico natural, debido a la ocurrencia prevista o imprevista de una serie de fenómenos naturales que se manifestaron de manera extrema y se vincularon con el nivel de vulnerabilidad de cada momento. A esto se suman conflictos sociales que coadyuvaron a modificar rápida y drásticamente todo el panorama nacional. (<http://www.manfut.org/juan/plandesarrollo.html>, s.f.)

Inicialmente todo el departamento de Río San Juan estaba cubierto de bosques, la parte central y Este por bosques densos perennifolios y la parte Oeste por bosques caducifolios. “Estos bosques han sido explotados desde la parte final del siglo XIX, pero fue aproximadamente desde el año de 1936, que se explotaron con mayor intensidad y siempre en forma selectiva”. (<http://www.manfut.org/juan/plandesarrollo.html>, s.f.)

4.2. Diseño metodológico

Las investigaciones para la evaluación de los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad de suelo en dos agroecosistemas con cacao es del tipo transeccional, no experimental, descriptivo y correlacional (Hernández, *et al.*, 1991, p. 612).

Hernández *et al.* (2014, p.57) definen que:

Los estudios descriptivos muestran los hechos como son observados y los correlacionales estudian las relaciones entre variables dependientes e independientes, ósea se estudia la correlación entre dos variables. Estos autores definen a la investigación no experimental, según la temporalización, que pueden ser transeccional o transversal: Esta investigación recolecta datos de un solo momento y en un tiempo único. El propósito de este método es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Para subdividir los agroecosistema en estudio en lotes se consideró características del terreno como: pendiente, vegetación, cultivos anuales, cultivos perennes, ganado y pastos. El agroecosistemas El Mono se subdividió en diez lotes o parcelas y Jardín del Edén en once lotes o parcelas (Figura 2 y 3, Cuadro 1).

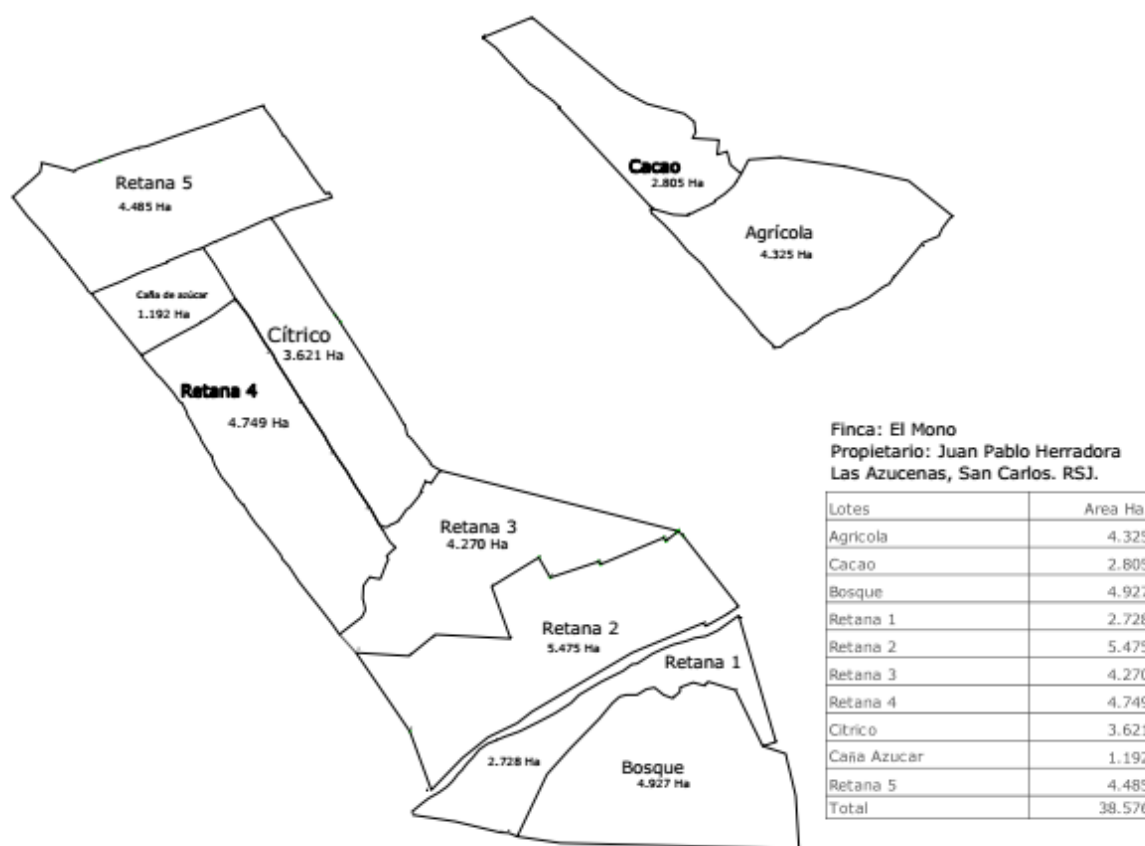


Figura 2. Plano del agroecosistema El Mono, en Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

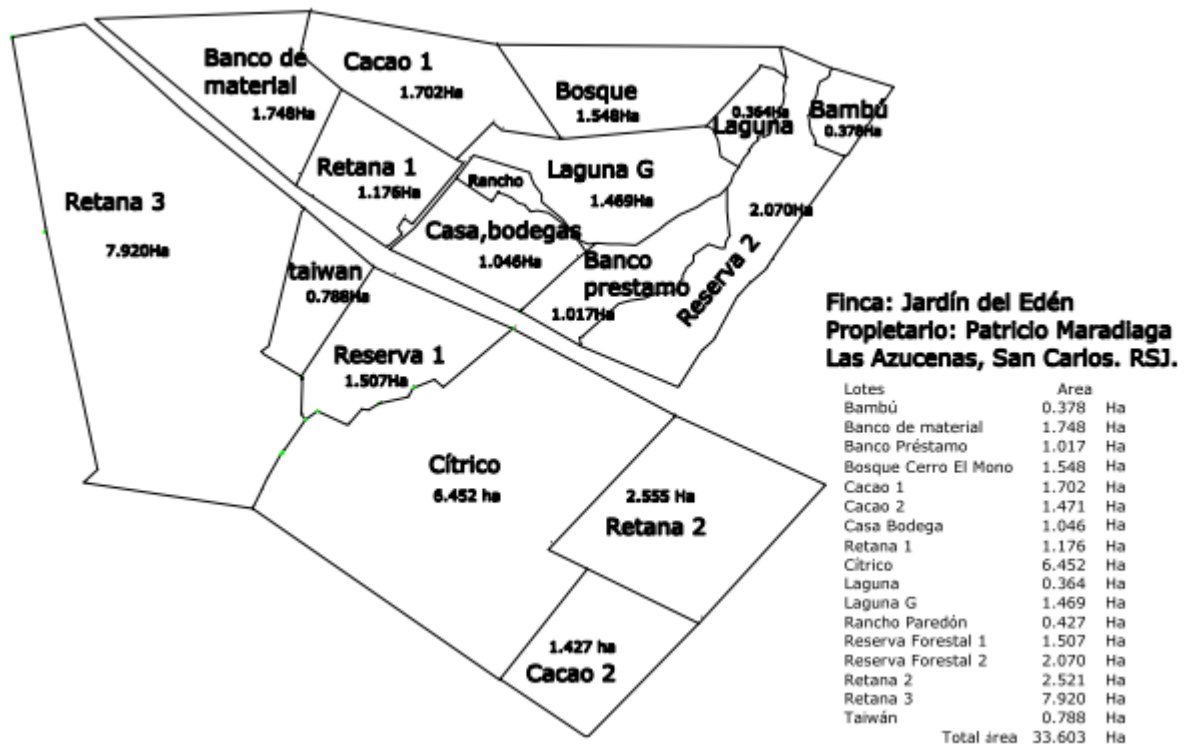


Figura 3. Plano del agroecosistema Jardín del Edén, en la comunidad Las Azucenas, municipio San Carlos, Departamento. Rio San Juan, Nicaragua, 2017.

Cuadro 1. Lotes de los agroecosistemas evaluados agroecológicamente; El Mono, Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018

Lotes	Agroecosistemas	
	El Mono	Jardín del Edén
I	Bosque	Bosque
II	Retana 1	Bambú
III	Retana 2	Retana 1
IV	Retana 3	Cacao 1 (7 año)
V	Cítrico	Retana 2
VI	Retana 4	Cítrico
VII	Caña de azúcar	Cacao 2 (3 año)
VIII	Retana 5	Retana 3
IX	Área agrícola	Taiwán
X	Cacao (4 año)	Reserva 1
XI		Reserva 2

4.2.1. Grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad

La estimación del grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en los dos agroecosistemas con cacao se realizó a través de la metodología de (Vázquez, 2013, p.33-42), que tiene seis componentes, 64 indicadores y un coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB), que categoriza al agroecosistema en diferentes grados de complejidad de sus diseños y manejos de la biodiversidad (Cuadro 2 y 3). El valor de cada indicador oscila en el intervalo cerrado de 0 a 4.

Cuadro 2. Componentes, indicadores y fórmula para calcular el componente y el Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB)

Componentes	Indicadores	Fórmulas	CMB
Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva (DMBPr)	18	DMBPr = Σ (2Pr1+Pr2+2Pr3+Pr4+ Pr5+ Pr6+ Pr7+ Pr8+ Pr9+ Pr10+ Pr11+3 Pr12+ Pr13+ Pr14+ Pr15+ Pr16+Pr17+2Pr18)/23	Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB)
Manejo y conservación del suelo (MCS)	7	MCS = Σ (2S1+S2+S3+2S4+S5+S6+S7)/9	
Manejo y conservación del agua (MCA)	5	MCA = Σ (A1+A2+2A3+2A4+A5)/7	
Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr)	5	MISRPr = Σ (I1+2I2+I3+2I4+ I5)/7	
Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu)	15	DMBAu = Σ (2Au1+Au2+2Au3+Au4+3Au5+Au6+Au7+2Au8+Au9+2Au10+Au11+Au12+Au13+2Au14+Au15)/22	
Elementos de la biodiversidad asociada (EBAs)	14	EBAs = Σ [As1 + As2 + As3 + As4 + As5 + As6 + As7 + As8 + As9 + As10 + 2As11 + As12 + 2As13 + As14]/16	
		CMB = Σ (DMBPr+ MCS+ MCA+ MISRPr+ DMBAu+ EBAs)/6	
6	64		1

Cuadro 3. Nivel de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en el agroecosistema

CMB	Grados de complejidad del agroecosistema
0 – 1.0	Simplificado (s)
1.1 – 2.0	Poco complejo (pc)
2.1 – 3.0	Medianamente complejo (mc)
3.1 – 3.5	Complejo (c)
3.6 – 4.0	Altamente complejo (ac)

4.2.2 Determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

La determinación de las características o indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de los suelos en dos agroecosistemas con cacao se realizó mediante los siguientes parámetros: **profundidad del suelo** (cm) a través de un barreno, **densidad aparente** (gcm^{-3}) mediante un cilindro de PVC, **porosidad** (%), **infiltración** (cmh^{-1}), **materia orgánica** (MO) a través del efecto de agua oxigenada al 10% y categorizarla según el Cuadro 4, **pH** mediante cinta y **textura** a través del tacto. Para que el productor pueda, en un futuro, ir evaluando su agroecosistema, se utilizaron métodos de campo debidamente calibrados elaborado por (García, 2015, p.9-28).

Cuadro 4. Categorización de la presencia de materia orgánica (MO) en el suelo

Categoría	Observación	Presencia de MO
1	No se observa efervescencia, ni se escucha al oído.	Nula
2	No se observa efervescencia, pero se escucha al oído.	Baja
3	Se nota efervescencia claramente	Media
4	La efervescencia es rápida y sube lentamente	Alta
5	La efervescencia es rápida y sube rápidamente	Muy alta

Los parámetros arriba descritos se categorizaron basados en el Cuadro 5. La densidad aparente se estimó para poder calcular la porosidad del suelo.

Cuadro 5. Categorías de valoración de los parámetros del suelo evaluados según García (2015)

Categoría Parámetros del suelo						
	Profundidad (cm)	Porosidad total (%)	Materia orgánica	Infiltración (cmh⁻¹)	pH	Textura
1	<25	>70	Nula	<1.95	< 5.2	Arcillosa
2	25-50	<39	Baja	>25	> 7.5	Arenosa
3	50 – 100	51 – 55	media	12.1 - 25	5.3 – 5.9	Franco arcillo arenoso
4	100-150	56 - -69	alta	2 - 6	6.6 – 7.4	Franco arcillo limoso
5	>150	40 – 50	Muy alta	6.1 - 12	6.0 – 6.5	Franco

Adicionalmente se tomó una muestra al azar del suelo por lote a una profundidad de 20 cm, para un total de 11 muestras en el Jardín del Edén y 10 en El Mono, a las que se les determinaron macro y micros elementos, pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y textura. Estas muestras se trasladaron al laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria. Con los resultados se calculó las relaciones intercatiónicas y el porcentaje de saturación de bases (SB).

Finalmente se consideró el número de lombrices de tierra por metro cuadrado. En el Cuadro 6 se muestran los parámetros evaluados en el laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria, la profundidad del muestreo, los métodos empleados en el laboratorio con su respectiva fuente.

Cuadro 6. Parámetros o indicadores de calidad de suelo y métodos con que se determinaron-en el laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria

Indicador químico *	Métodos	Fuente
pH (H ₂ O)	Potenciométrico 1:2.5 suelo: agua.	Mc Lean, (1982)
MO (%)	Walkley Black	Walkley y Black, (1934).
N (%)	A partir de la MO. Calculado	
P (ppm)	Olsen, colorimétrico. Extracción con bicarbonato de sodio pH 8.5.	Olsen et al (1954)
K(meq/100 g de suelo)	Acetato de amonio pH7 1N. Absorción atómica.	Thomas (1982)
Ca (meq/100 g de suelo)		
Mg (meq/100 g de suelo)		
Na (meq/100 g de suelo)		
Fe (ppm)	Método de Olsen	Instituto Colombiano
Cu (ppm)	modificado. Medición en	Agropecuario, ICA.
Zn (ppm)	absorción atómica.	(1989)
Mn (ppm)		
CIC	Método del acetato de amonio, NH ₄ OAc, pH 7.0 1N	USDA. (1996)
Textura	Bouyuco	Blake y Hartge (1986)

Todas las muestras fueron tomadas a 20 cm de profundidad

Las categorías de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases y número de lombrices por metro cuadrado se categorizaron basado en cinco escalas que se ilustran en el (Cuadro 7).

Cuadro 7. Categorías de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB) y del número de lombrices de tierra por metro cuadrado

Categorías	Parámetros o indicadores del suelo		
	CIC	Saturación de bases	Lombrices por metro cuadrado
1	< 10	<20	Menos de 16
2	10 - 20	21-35	16 a 32
3	21 - 35	36- 45	33 a 64
4	36 - 45	46 – 85	65 a 99
5	> 45	> 86	Más de 99

4.2.3. Identificación taxonómica de macrofauna

La identificación taxonómica de los organismos de la macrofauna y su funcionalidad, en los dos agroecosistemas con cacao, se llevó a cabo mediante el método del Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) propuesto por (Anderson & Ingram, 1993, p.44-46). Cada monolito tenía las siguientes dimensiones: 25 cm x 25 cm x 30 cm, el que se subdividió en tres estratos sucesivos (Hojarazca-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm de profundidad). Este procedimiento se realizó en cinco puntos de muestreos por lote para un total de 50 muestras en el agroecosistema El Mono y 55 muestra en el agroecosistema Jardín del Edén, con distanciamiento de cinco metros entre monolitos, colocados en zig-zag de forma aleatoria.

Los especímenes fueron extraídos en el sitio del muestreo golpeando y quebrando los trozos de suelo y revisando la hojarasca. Seguidamente se extrajo la tierra de cada estrato, y se depositó en una bandeja por estratos para su respectiva revisión. Los especímenes frágiles de cada estrato fueron extraídos con un pincel y el resto con una pinza; se colocaron en un frasco plástico con su respectiva información (localidad, agroecosistema, lote, número de muestra y profundidad); las lombrices fueron conservadas en formaldehído al 4% para evitar la supuración de la mucosa y el resto de la macrofauna en alcohol al 70% para la identificación.

Las muestras recolectadas se trasladaron al Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional Agraria para su respectiva identificación. Se extrajeron los especímenes de los frascos con cuidado y se colocaron en papel toalla. Una vez secos se ubicaron sobre un vidrio reloj bajo el lente de un estereoscopio (LW Scientific Z4, WF 10X/20), donde se detallaron sus características morfológicas para ser clasificados taxonómicamente desde Phylum hasta familia. Para la identificación se utilizaron claves taxonómicas de diferentes literaturas como Andrews,

Caballero y Matute (1989, p.1-179), McGavin (2000, p.1-129) y Cabrera (2014, p.9-21). Posteriormente, una vez identificados los especímenes de la macrofauna edáfica, a nivel de familia, se procedió a determinar su rol funcional.

4.2.4. Análisis de datos

Los datos de la aplicación de la metodología de Vázquez (2013, p.34-38) se presentan en gráficos radiales, elaborados a través del programa EXCEL.

Con los datos de los parámetros o indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo se realizó una base de datos con el programa EXCEL y éstos se presentan en cuadros y gráficos de barras.

La identificación taxonómica de la macrofauna, así como su funcionalidad se presenta en cuadros de frecuencia. Con los datos de la identificación taxonómica de la macrofauna edáfica se calculó los índices de **Renyi y Bray-Curtis**, que se grafican en líneas y barras.

El índice de **diversidad de Renyi o diversidad** alfa depende de los valores de alfa, y se comporta de la manera siguiente: cuando alfa es igual a 0, el índice da el valor observado de **riqueza** del taxón; alfa es cercano a 1 el perfil se comporta como el índice de Shannon-Weaver (**Uniformidad**); alfa es igual a 2 se comporta como el índice de Simpson (**Dominancia**); para valores infinitos muy grande se comporta como el índice de Berger-Parker (**Equidad**), (Gómez, 2008, p.47).

El **Índice de distancia de Bray-Curtis o diversidad beta** determina la distancia ecológica entre dos agroecosistemas o dos subsistemas dentro de un mismo agroecosistema. Los valores de diversidad beta oscilan entre 0 y 1. Si el valor es cercano a 0 los subsistemas o agroecosistemas son completamente diferentes en cuanto a su composición taxonómica. En la medida que el valor se acerca más a 1 los subsistemas o agroecosistemas son más similares.

Posteriormente, se realizó el escalado multidimensional no métrico para la comprobación de la hipótesis, todo esto se hizo aplicando el análisis de multi varianza basado en disimilitudes (Kindt y Coe, 2005). Para categorizar el taxón con el índice de disimilitud se tomaron diferentes rangos para agruparlos y consistió en los siguientes valores: $0 \leq \text{disimilitud alta} \leq 0.33$, $0.33 < \text{disimilitud intermedia} \leq 0.66$ y $0.66 < \text{disimilitud baja} \leq 0.99$.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Diagnósticos de los diseños y manejo de la biodiversidad de los agroecosistemas

El diagnóstico de los diseños y manejo de la biodiversidad se realizó en dos agroecosistemas (El Mono y Jardín del Edén) con cacao en la comunidad Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, cuyo propósito consistió en estimar el grado de complejidad de la biodiversidad de cada agroecosistema, mediante metodología de Vázquez (2013, p.34-38).

En Nicaragua, se han publicados resultados de la aplicación de la metodología de Vázquez (2013, p.34-38) en diferentes zonas agroecológicas y agroecosistemas con cacao, café, granos básicos y con ganado bovino con el propósito de determinar sus diseños y manejos de la biodiversidad. Estos resultados son reportados por Rodríguez González *et al.*, (2017a, p.20-33), Rodríguez González, Chavarría Díaz, Martínez Arauz, & Rocha Espinoza (2017b, p.19-24) y Rodríguez González, *et al.*, (2017c, p.21-33).

5.1.1. Diseño y manejo de la biodiversidad productiva

La biodiversidad productiva se refiere a la biota introducida que se planifica, se cultiva o se cría con fines económicos (Vázquez *et al.*, 2013, p 34).

El valor de los diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr) es de 1.48 en el agroecosistema El Mono. De los 18 indicadores, dos obtuvieron el punto óptimo; en los tipos de rubros productivos (Pr1) y el origen de la razas (Pr17) del agroecosistema. Este componente obtuvo un valor de 2.26 en el agroecosistema Jardín del Edén. En cinco indicadores se obtuvo el punto óptimo; en los tipos de rubros productivos (Pr1), diversidad de especies de cultivos herbáceos y arbustivos (Pr2), complejidad de los diseños en policultivos (Pr5), complejidad de diseños agroforestales (Pr8) y superficie con diseños silvopastoril (Pr11) (Figura 4).

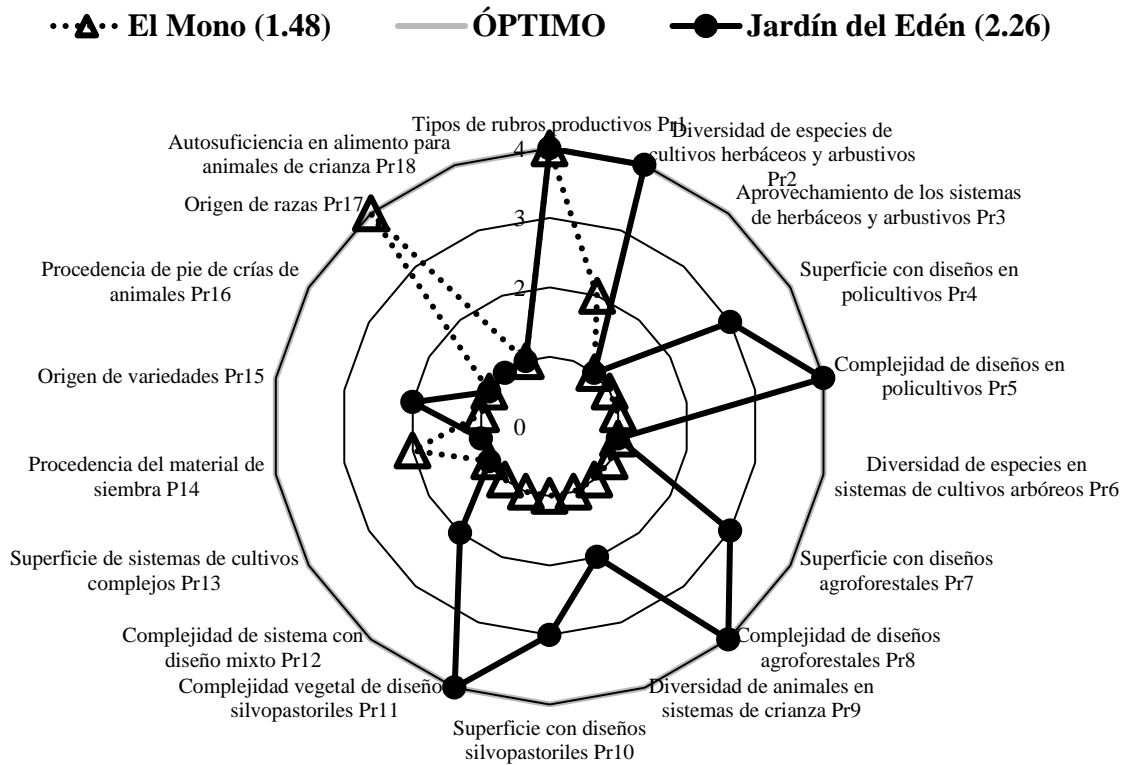


Figura 4. Diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr), en dos agroecosistemas con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

El productor del agroecosistema El Mono ha integrado más de tres tipos de rubros productivos vegetales y animales con una diversidad de especies de cultivos tales como cacao (*Theobroma cacao* L.), yuca (*Manihot esculenta* Cratz), plátano y guineo (*Musa* spp.), frijol, (*Phaseolus vulgaris* L.) maíz (*Zea mays* L.), naranja (*citrus sinensis* L.) y en el sistema agroforestal con cacao se identificaron 34 especies de árboles (Cuadro 8). Tiene ganado mayor (vacas, toro, terneros y vaquillas) y no tiene ningún sistema silvopastoril. El agroecosistema cuenta con cinco potreros de pasto natural Retana (*Ischaemum ciliare* Retz.) y un área de pasto de corte (caña de azúcar: (*Saccharum officinarum* L.). Al plantar diversidades de árboles mejoraría la diversidad de especie agroforestales y aumentaría la población de corredores biológicos, el 50% de la procedencia de material de siembra es nacional-provincial y el 50% restante del origen de variedad es importado.

El agroecosistema el Jardín del Edén se han integrado más de tres tipos de rubros productivos vegetales y animales con una diversidad de especies de cultivos tales como cacao, yuca, quequisque, (*Xanthosoma* sp), malanga, (*Colocasia esculenta* L.), plátano y guineo, maíz, pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth), naranja, pepino (*Cucumis sativus* L.) y en el sistema agroforestal con cacao se identificaron 39 especies de árboles (Cuadro 9) con una diversidad de especies agroforestales. Tiene aves de corral como: chumpipes (*Meleagris gallopavo* L.), gallinas (*Gallus gallus domesticus* L.) y ganado bovino (*Bos Taurus* L.), con un diseño silvopastoril (árboles dispersos) en sus tres áreas de pasto natural de Retana (*Ischaemum ciliar* Retz) y un área de pasto de corte (Taiwán: *Pennisetum purpureum* L.).

5.1.2. Manejo y conservación de suelo

Las técnicas de conservación de suelo y agua son aquellas actividades que se ejecutan para evitar las pérdidas de los suelos por causa de la erosión, son muy diversas y deben ser seleccionadas en función de: la pendiente del terreno, del largo de ellas, de la vegetación existente en cada lugar y del costo; además, obedecen a tres principios fundamentales; primero favorecer la cobertura vegetal del suelo, segundo mejorar la infiltración del agua y tercero reducir o evitar que ella escurra sobre la superficie. (INIA, 2003).

En el agroecosistema El Mono, el diagnóstico del manejo y conservación de suelo (MCS) alcanzó un valor de 1.33 (Figura 5), debido a que de los 7 indicadores, solamente uno cumple el punto óptimo (S7), dado que utiliza implementos de conservación del suelo (Espeque y macana). En este agroecosistema, donde su cultivo principal es el sistema agroforestal naranja, por su manejo presenta mejor conservación del suelo. Cuenta con superficie para rotaciones de cultivo (maíz, frijol común) durante el año, sin ser planificada y en menos del 25% del área incorpora poca biomasa orgánica, no realiza prácticas anti erosivas, ni establece barreras vivas y barreras muertas; hace uso de implementos de conservación de suelo al realizar la preparación de éste para la siembra.

En el agroecosistema, en las parcelas de pasto, se adiciona biomasa de estiércol de ganado bovino, deja los rastrojos de las cosechas de Taiwán y de granos básicos (maíz y frijol) para su descomposición. Altieri y Nicholls (2013), afirma que:

El manejo de los cultivos de cobertura y los abonos verdes mejoran la cobertura del suelo protegiéndolo de la erosión y contribuye a un mayor nivel de materia orgánica en el suelo. (p.10-11).

El agroecosistema Jardín del Edén, el manejo y conservación de suelo obtuvo un valor de 1.11 debido a que de los 7 indicadores ninguno cumple con su punto óptimo. En este agroecosistema, donde el cultivo principal es el sistema agroforestal de naranja, por su manejo presenta mejor conservación del suelo. Cuenta con superficie para rotaciones de cultivo (maíz, pepino) durante el año, que es inferior al 25% de su área, se caracteriza por ser un sistema de rotación sin planificar, se incorpora un tipo de fuente de materia orgánica (estiércol de bovino) en poca cantidad. Al momento de preparación de suelo para la siembra, se utiliza implementos convencionales (rotary) integrados con los de conservación.

Ambos agroecosistemas, El Mono y Jardín del Edén, son similares en la forma de preparación y conservación del suelo, los agricultores realizan laboreo mínimo o sin laboreo en menos del 30% del área, en menos del 50% del área utilizan el espeque y macana que provocan poca perturbación en el suelo. Hay que resaltar que los agroecosistema se localizan en la zona de transición de la Reserva de Biosfera de Indio Maíz, la que por sus condiciones edafoclimáticas es recomendable un excelente manejo y conservación de suelo, que no es el caso de ambos agroecosistemas.

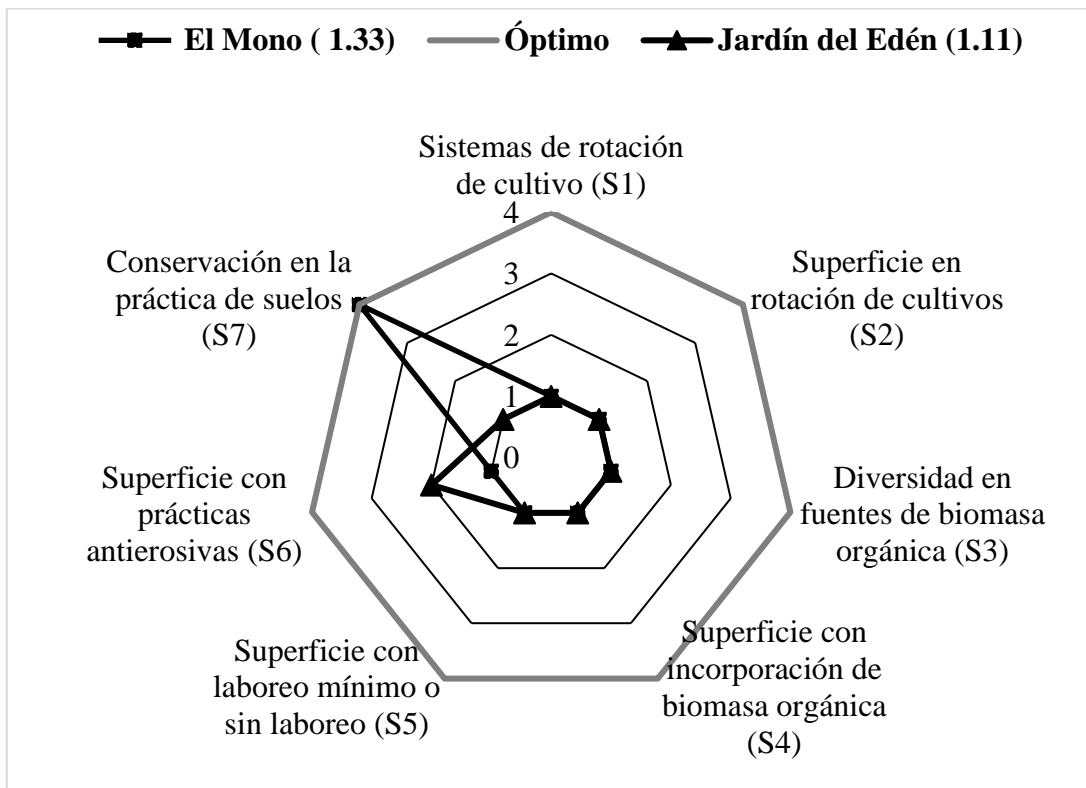


Figura 5. Manejo y conservación de suelo (MCS) en dos agroecosistema con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

5.1.3. Manejo y conservación de agua

Para la Fundación Hondureña la Investigación Agrícola, la conservación de suelo y agua consiste en aplicar técnicas o prácticas que contribuyen a conservar las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo, para mantener su capacidad productiva. Con las técnicas de conservación de suelos se reduce o elimina el arrastre y pérdida del mismo por acción de la lluvia y el viento, se mantiene o se aumenta su fertilidad y con esto, la buena producción de los cultivos. (FHIA, 2004, p.1-2).

En ambos agroecosistemas con cacao, el valor de manejo y conservación de agua (MCA) osciló entre 1.0 y 1.14 (Figura 6), que indica un deficiente manejo de este recurso natural. Estos agroecosistemas, se localizan en una región donde la estación lluviosa es de 9 a 10 meses, cuya intensidad y persistencia sólo disminuye en algunas semanas de los meses de marzo y abril. Durante el periodo seco las plantas soportan un estrés por déficit de agua, debido a que estos suelos tienen poca capacidad de retención de humedad, por lo que se recomienda realizar riego durante este tiempo. No obstante, solo en Jardín del Edén se utiliza sistema de riego por gravedad, en la época seca, en un área inferior al 25%.

El agroecosistema El Mono no cuenta con sistema de riego, existe largas distancias entre las áreas de cultivo y el pozo artesanal, que dificulta el riego por gravedad a pesar de que la pendiente no es muy pronunciada. El pozo artesanal mide 11.5 metros de profundidad, un metro de altura del brocal y 32 pulgadas de diámetro y su utilidad es para el ganado bovino y para las labores domésticas. Se encuentran tres caños de agua y una laguna sin dársele ningún uso. El agricultor mencionó que la estación lluviosa es de 9 a 10 meses.

El agroecosistema Jardín del Edén obtuvo un valor de 1.14, cuenta con un sistema de riego para el área de siembra de cacao y un sistema de drenaje elaborado según la observación del agua; posee 1 pozo artesanal que se encuentra junto a un caño de agua en una pequeña reserva. Existen dos pilas: una de las pilas se encuentra en la parte baja del cerro “El Mono” (Bosque), que es utilizada para hacer recolecta de agua en la época lluviosa, sus dimensiones son de tres metros de ancho, seis metros de largo y 1.5 metro de profundidad; la otra pila se encuentra contiguo al área de siembra para el sistema de riego con una medida de cinco metros de ancho, 10 metros de largo y 2 metro de profundidad. Existen dos lagunas azules, su uso es para turismo.

La evaluación de las prácticas de conservación y manejo del agua requiere de indicadores más detallados, sea mediante estudios específicos o sistematizando experiencias de productores u otros agricultores, ya que ésta tiene múltiples efectos sobre la biodiversidad en el agroecosistema. En el sector productor se ha desarrollado una cultura de conservación y explotación sustentable de los recursos. En general, se observan prácticas de manejo inadecuadas de los suelos, los cultivos y el agua; la erosión y el desperdicio de agua caracterizan la mayor parte del territorio de la entidad; incluso, se han abandonado y destruido muchas obras de conservación de suelos que se hicieron en décadas pasadas en lugar de mantenerlas y rehabilitarlas (CCRECRL [Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerna], 2009, p. 30-31).

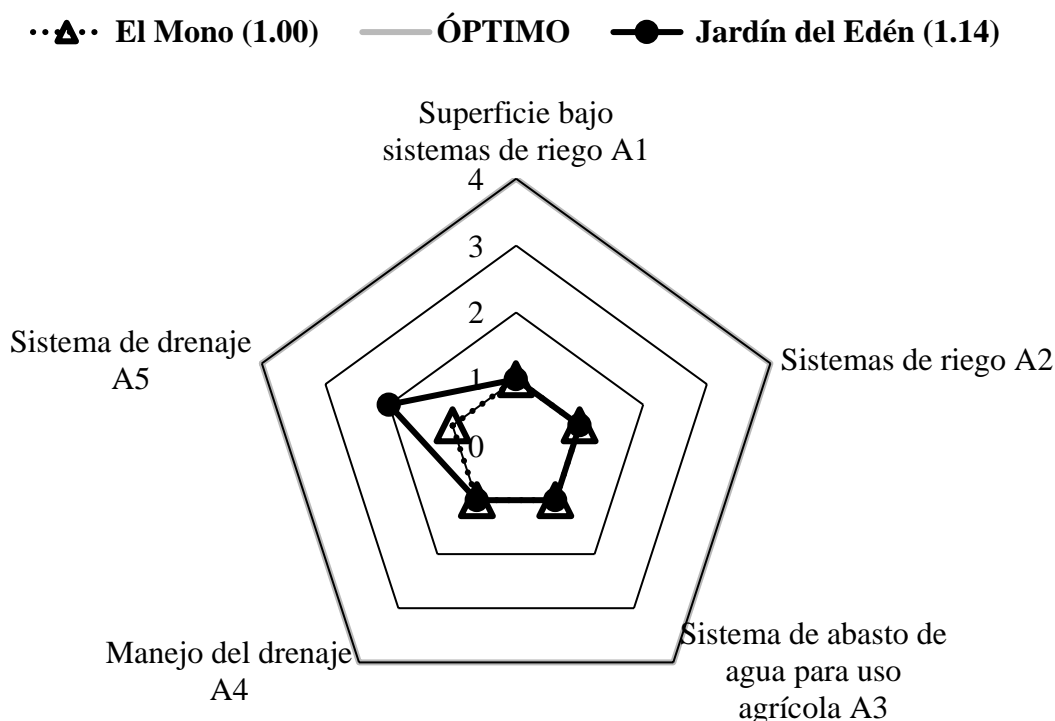


Figura 6. Manejo y conservación de agua (MCA) en dos agroecosistema con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

5.1.4. Manejos de las intervenciones sanitarias en rubros productivos

En los agroecosistemas, el manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos se refiere a:

Productos y técnicas para reducir la incidencia de organismos nocivos a las plantas cultivadas y los animales de crianza, y para fortalecer su crecimiento y desarrollo. Los indicadores utilizados consideran la reducción de intervenciones, la integración de productos biológicos y de éstos, los que se obtienen en el propio agroecosistema (Vázquez Moreno, 2013, p. 35-37).

En el manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos se obtuvo un valor de 1.29 para el agroecosistema El Mono (Figura 7). Genera un 25% de sus insumos biológicos esto reduce su dependencia de insumos externos, pero aplica agrotóxicos para el control de malezas, plagas y enfermedades, que es característico del manejo convencional. Se ha reducido de un 41 a 60% las decisiones de intervenciones de rubros productivos vegetales.

En el agroecosistema Jardín del Edén, el manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos obtuvo un valor de 1.57 (Figura 7), integra del 20-40 % intervenciones biológicas y ha reducido entre un 41-60 % en rubros productivos animales, genera solo un 25 % de los insumos biológicos utilizados (garrapaticidas, biofertilizantes y compost).

Yong (2010) realizó una revisión bibliográfica sobre la diversidad florística en los sistemas agrícolas y resalta que:

La diversidad en la agricultura ha demostrado ser una vía para proteger a los agricultores de plagas y enfermedades. Por el contrario, el camino de la especialización y el monocultivo provocan el aumento de la contaminación, por el uso de agro tóxicos y fertilizantes y la degradación de recursos naturales. Como consecuencia se asiste a un proceso acelerado de “erosión genética” de las especies cultivadas, que ocurre por la sustitución de variedades, de gran diversidad y adaptación por cultivares denominados “modernos”, obtenidos a través de la manipulación y selección del material genético.. (p.2).

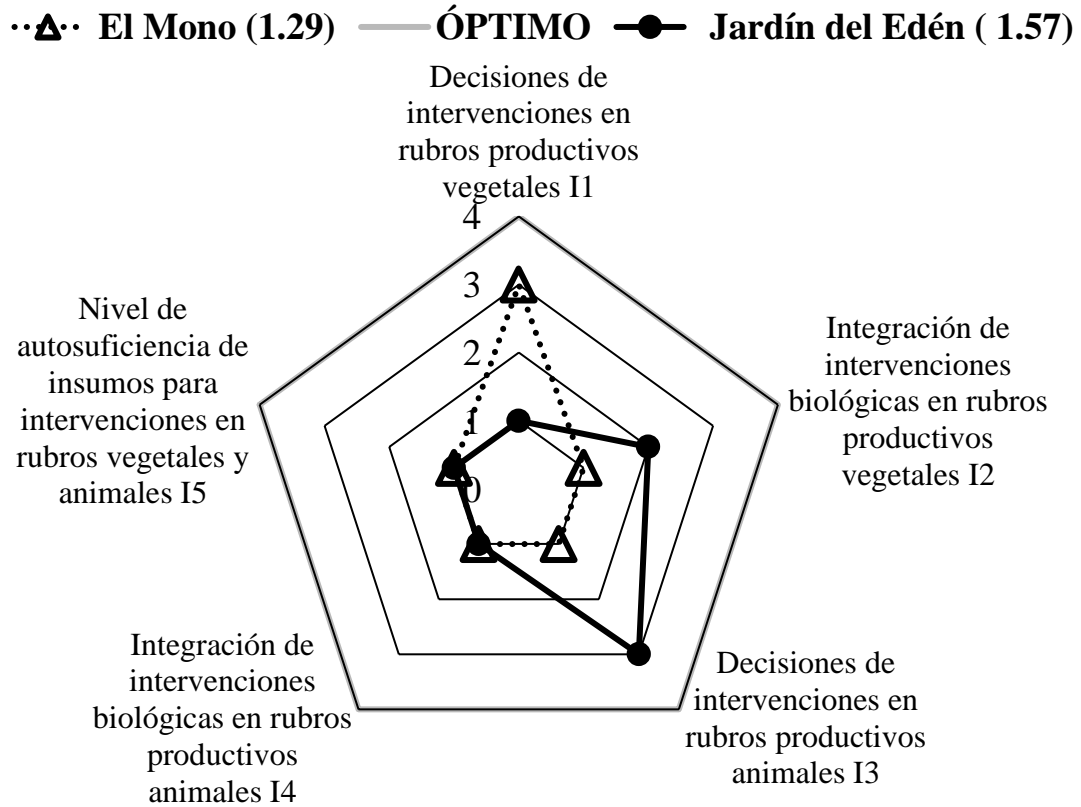


Figura 7. Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr) en dos agroecosistema con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

5.1.5. Diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar

La biodiversidad auxiliar es que:

Es la vegetación no cultivada que habita naturalmente o se introduce, que se maneja para influir positivamente sobre el resto de la biodiversidad. La vegetación auxiliar en un agroecosistema puede estar integrada por cortinas rompe vientos, cerca viva perimetral e internas, arboledas, ambientes seminaturales, corredores ecológicos internos y barreras vivas laterales e intercaladas en los agroecosistemas. Se considera la estructura de los elementos que la integran, así como la complejidad de los diseños y manejos que se realiza (Vázquez, 2013, p.34-36).

El agroecosistema El Mono, los diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar lograron un valor de 1.95 (Figura 8). Ninguno de los indicadores alcanzó el valor óptimo, pero cinco indicadores alcanzaron un valor de 3. El 75 % de cercas perimetrales son vivas, con cinco especies de árboles maderables y frutales: madero negro (*Gliricidia sepium* Jacq.), falso roble

(*Licania arborea* Seem), nancite (*Byrsonima crassifolia* L.), capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth.) y jícaro (*Amphitecna sessilifolia* Donn.Sm.) que son importantes para la conservación y manejo de una gran diversidad de flora y fauna, siendo útil en la conservación de los recursos. Los corredores biológicos se conservan sin intervenciones para garantizar sus funciones con dos especies predominantes y las arvenses se controlan, de acuerdo al grado de incidencia. Solo cuenta con una especie de animal (Equino: *Equus ferus caballus* L.) para las labores del agroecosistema.

Cuadro 8. Nombre común, nombre científico y familia taxonómica del componente arbóreo del agroecosistema El Mono, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2017-2018

Nombre Común	Nombre científico	Familia botánica
Almendro	<i>Dipteryx panamensis</i> (Pittier)	Fabaceae
Aguacatón	<i>Ocotea mollifolia</i> Mez & Pittier	Lauraceae
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb	Bombacaceae
Berbería	<i>Cochlospermum vitifolium</i> Willd	Bixaceae
Camíbar	<i>Copaifera camibar</i> Poveda	Fabaceae
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Meliaceae
Capirona	<i>Calycophyllum Spruceanum</i> Benth	Rubiaceae
Carol	<i>Cassia grandis</i> L. f.	Fabaceae-Caes.
Cedro real	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae
Centicero	<i>Samanea saman</i> Jacq.	Fabaceae
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> L.	Bombacaceae
Chaperno	<i>Lonchocarpus felipei</i> N.	Fabaceae.
Chilamate	<i>Ficus werckleana</i> Rossberg	Moraceae
Cocobolo	<i>ryodaphnopsis burgeri</i> N	Lauraceae
Cortez	<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.)	Bignoniaceae
Coyol	<i>Acrocomia aculeata</i> Jacq.	Arecaceae
Falso roble	<i>Licania arborea</i> Seem.	Chrysobalanaceae
Guaba	<i>Inga edulis</i> Mart	Fabaceae
Guacamayo	<i>Triplaris americana</i> L.	Polygonaceae
Guanacaste	<i>Albizia niopoide Spruce ex Benth.</i>	Mimosaceae
Guapinol	<i>Hymenaea courbail</i> L.	Fabaceae
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i> L.	Cecropiaceae
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae
Guayaba	<i>Psidium guayava</i> L.	Mirtáceas
Jícaro	<i>Cariniana pyriformis</i> Mirs	Lecythidaceae
Lagarto	<i>Sciadodendron excelsum</i> Griseb.	Araliaceae
Laurel	<i>Cordia alliodora</i> Ruiz & Pav.	Boraginaceae
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i> L.	Fabaceae-
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> Jacq.	Fabaceae
Melina	<i>Gmelina arborea</i> L.	Vitaceae

Nombre Común	Nombre científico	Familia botánica
Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i> L.	Malpighiaceae
Nancitón	<i>Hyeronima poasana</i> Standl	Euphorbiaceae
Plomo	<i>Lafoensia puniceifolia</i> DC.	Lythraceae
Querosén	<i>Tetragastris panamensis</i> Engl.	Burseraceae

En el agroecosistema Jardín del Edén, los diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar lograron un valor de 2.32. Cuatro indicadores lograron su valor óptimo. El productor del agroecosistema Jardín del Edén entiende la importancia de las barreras vivas (AU1 y AU2), y cuenta con más de un 75% de campo con cuatro especies en cercas intercaladas: madero negro, falso roble, capirona, jícaro, con un 75% de cercas perimetrales. Las barreras vivas proveen un hábitat y un sitio de refugio para las especies; posee solo una especie de animal (Equino) para las labores del agroecosistema.

Cuadro 9. Nombre común, nombre científico y familia taxonómica del componente arbóreo del agroecosistema Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2017-2018

Nombre común	Nombre científico	Familia
Aguacatón	<i>Ocotea mollifolia</i> Mez & Pittier	Lauraceae
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i> Cav. ex Lam.	Bombacaceae
Berbería	<i>Cochlospermum vitifolium</i> Willd	Bixaceae
Bimbaya	<i>Acacia mangium</i> W.	Fabaceae
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Meliaceae
Capirona	<i>Calycophyllum Sprucearum</i> Benth	Rubiaceae
Carol	<i>Cassia grandis</i> L. f.	Fabaceae
Carolillo	<i>Erythrina</i> sp	Fabaceae
Cedro real	<i>Cecropia fissilis</i> Vell.	Meliaceae
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> L.	Bombacaceae
Cenicero	<i>Samanea saman</i> Jacq.	Fabaceae
Chaperno	<i>Lonchocarpus felipei</i> N.	Fabaceae
Chilamate	<i>Ficus werckleana</i> Rossberg	Moraceae
Cortez	<i>Tabebuia chrysanthaj</i> Jacq.	Bignoniaceae
Coyol	<i>Acrocomia aculeata</i> Jacq.	Arecaceae
Falso roble	<i>Licania arborea</i> Seem.	Chrysobalanaceae
Frijolillo	<i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth.	Fabaceae
Gavilán	<i>Shizolobium parahyba</i> Vell.	Caesalpiniaceae
Granadillo	<i>Dalbergia tucurensis</i> J.D.Smith	Fabaceae
Guaba	<i>Inga edulis</i> Mart	Fabaceae
Guanábana	<i>Annona muricata</i> L.	Annonaceae
Guanacaste	<i>Albizia niopoides</i> Spruce ex Benth.	Mimosaceae
Guapinol	<i>Hymenaea courbail</i> L.	Fabaceae

Nombre común	Nombre científico	Familia
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i> L.	Cecropiaceae
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae
Guayaba	<i>Psidium guayava</i> L.	Mirtáceas
Jícaro	<i>Cariniana pyriformis</i> Mirs	Lecythidaceae
Laurel	<i>Cordia alliodora</i> Ruiz & Pav.	Boraginaceae
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> Jacq.	Fabaceae
Mamón chino	<i>Nephelium lappaceum</i> L.	Sapindales
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae
Melina	<i>Gmelina arborea</i> L.	Vitaceae
Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i> L.	Malpighiaceae
Nancitón	<i>Hyeronima poasana</i> Standl	Euphorbiaceae
Roble coral	<i>Buchenavia costaricensis</i> Stace	Combretaceae
Sincolla	<i>Annona purpurea</i> M.	Annonaceae
Sota caballo	<i>Zygia longifolia</i> Britton	Fabaceae
Teca	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Vitaceae

Los diseños y manejos de la vegetación auxiliar pueden contribuir a múltiples funciones como, por ejemplo, la cerca viva perimetral, que mediante su diseño agroecológico puede lograrse entre 10-15 funciones (Vázquez, 2013, p. 33-42). En la agricultura de sistemas de producción y las bases agroecológicas, la biodiversidad constituye un recurso natural esencial que se puede diseñar, planificar, y manejar por el propio agricultor para favorecer su conservación y los procesos ecosistémicos que contribuyan a la eficiencia del sistema de producción (Vázquez, 2014, p.151).

Los sistemas donde se encuentran una alta diversidad de especies arbóreas permiten la capturar carbono, además de propiciar resiliencia para enfrentar las variaciones climáticas. Los sistemas agroforestales tienen una alta complejidad estructural y que sirva como amortiguador frente a grandes fluctuaciones de temperatura, manteniendo así el cultivo principal más cerca a sus condiciones óptimas (Altieri y Nicholls, 2013, p.10-11).

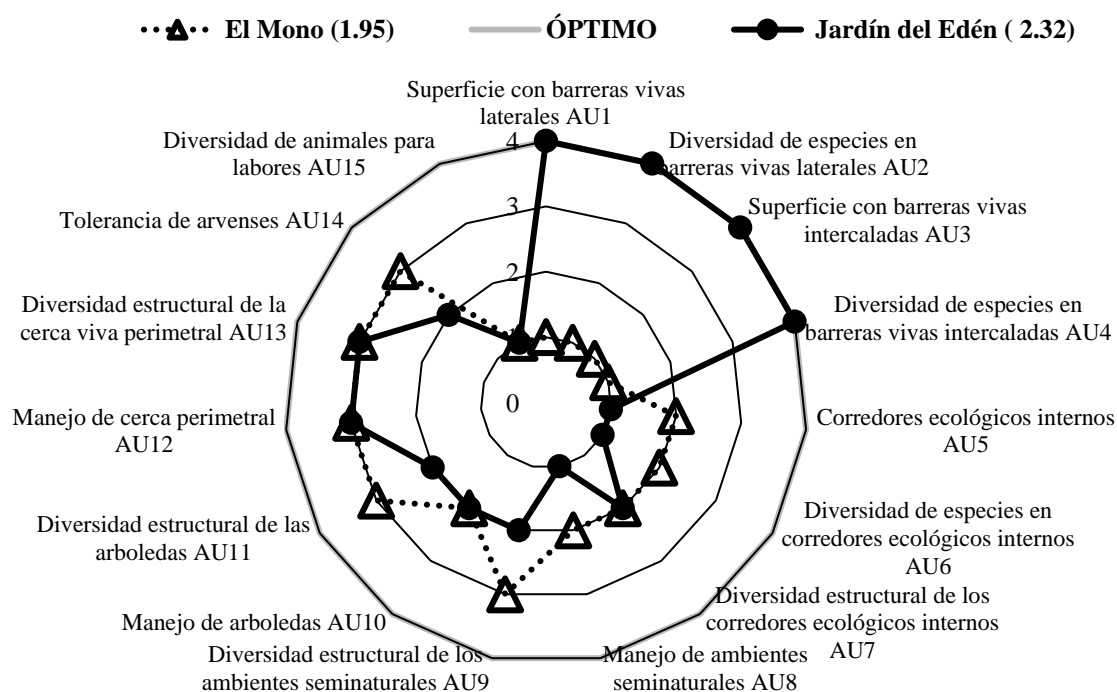


Figura 8. Diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu) en dos agroecosistemas con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

5.1.6. Estado de los elementos de la biodiversidad asociada

La biodiversidad asociada son animales, vegetales y microorganismos, que se asocian a las plantas cultivadas y los animales de crianza, en unos casos con interacciones positivas y en otras negativas, representados por los polinizadores, reguladores naturales, organismos nocivos, entre otros de diferentes funciones en el agroecosistema. La biodiversidad asociada u organismos que influyen de manera directa, positiva o negativa, sobre el desarrollo fisiológico y la defensa de las plantas cultivadas (Vázquez *et al.*, 2013, p.36-40).

La Figura 9 muestra el estado de los elementos de la biodiversidad asociada. El agroecosistema El Mono obtuvo un valor de 2.94. Siete indicadores cumplen con el valor óptimo y solo 1 con un valor de tres. También, el agroecosistema Jardín del Edén obtuvo un valor de 2.94. Seis indicadores cumplen con valores óptimos y tres indicadores alcanzan el valor de tres.

El agricultor del agroecosistema El Mono aprovecha la presencia de las arvenses por la diversidad que tiene como una forma de protección del suelo, pero al momento de realizar el diagnóstico existía menos 25 % de enmalezamiento (AS1), además de ser hábitat o alimento para muchos insectos o macro invertebrados edáficos, se observó la presencia de tres polinizadores (avispa, murciélagos y mariposas: AS10), que se debe a la gran variedad de plantas que existen en el agroecosistema, además presenta alta diversidad y población de macrofauna del suelo (32 familias y 461 individuos: AS13 y AS14)) y más de cinco familias taxonómicas y una población de 66 individuos de reguladores naturales (Depredadores y parásitos: AS11 y AS12), no obstante sus poblaciones son menores en comparación al agroecosistema Jardín del Edén (Cuadro 13). Los animales de crianza presentan baja incidencia de organismos nocivos.

También, el agroecosistema Jardín del Edén, presenta tres tipos de polinizadores (AS10), que son avispa, murciélagos y mariposas; enfermedades y parásitos en animales de crianza con bajo uso de controladores químicos. Existen más de cinco grupos de reguladores naturales (AS11) con una población de al menos de 98 individuos (AS12 y cuadro 13). Se identificaron 54 familias taxonómicas de la macrofauna edáfica con 777 individuos (AS13 y AS14).

Martínez y Vázquez, (2013) ejemplifica que la diversidad y población o intensidad con que se manifiestan algunos elementos, pueden servir como referencia, sobre todo los que son organismos nocivos, sus reguladores naturales y la macrofauna del suelo, que pueden considerarse como representativos por su nivel de interacción con los rubros productivos.

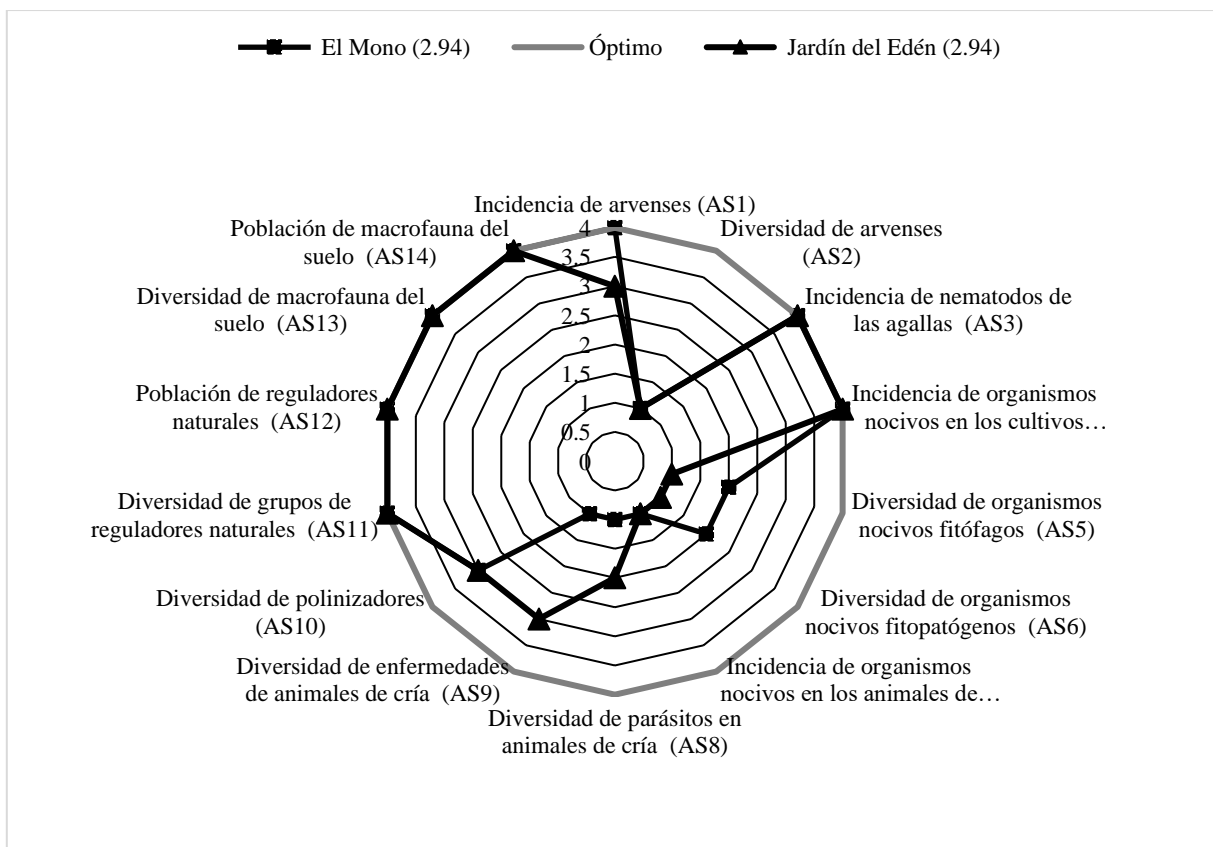


Figura 9. Estado de los elementos de la biodiversidad asociada (EBAs) en dos agroecosistemas con cacao Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

5.1.7. Coeficientes de manejo de la biodiversidad

El coeficiente del manejo de la biodiversidad permite clasificar al agroecosistema respecto a la complejidad alcanzada de sus diseños y manejos de la biodiversidad, y a partir de esa información elaborar un plan de reconversión agroecológica del agroecosistema, que permita a mediano y largo plazo complejizarlo y alcanzar agroecosistemas resilientes y que contribuyan a la soberanía alimentaria, tecnológica y energética.

Rodríguez *et al.* (2017a, p.20-33; 2017b, p.19-24 y 2017c, p.21-33) realizaron diagnósticos para:

Determinar el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en diferentes zonas agroecológicas y agroecosistemas. En la zona del pacífico, estos autores determinaron que los diseños y manejos de la biodiversidad de agroecosistemas con granos básicos (75 a 468 msnm) y un período lluvioso de seis meses (1200 a 2000 mm año⁻¹), pueden ser poco complejos y medianamente complejos, por ser éstos de

agricultura familiar, a pequeña escala (2.1 a 9.1 ha), con diferentes grados de diversificación.

En Boaco, en la zona de transición intermedia (360 m), y un período lluvioso de ocho meses (1200 a 2000 mm*año), en agroecosistemas con ganado bovino, a mediana escala (13 y 19.3 ha), los diseños y manejos de la biodiversidad pueden ser poco complejos y complejos, mientras que en Matagalpa y Condega, en la zona de transición alta (850 a 1200 m), y un período lluvioso de ocho meses (850 a 2400 mm año⁻¹), en agroecosistemas con café, a pequeña y mediana escala (3.5 a 39.2 ha), los diseños y manejos de la biodiversidad pueden ser poco complejos, medianamente complejos y complejos, debido a que éste es un sistema agroforestal.

Díaz (2019) determinó:

La complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao localizados en la zona de transición de la reserva de la biosfera de BOSAWAS, Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN), municipio de Siuna. El clima de esta región, según la clasificación Köpen, es tropical monzónico, con temperaturas promedio de 26°C y precipitaciones superiores a los 2,000 mm anuales, con un período seco aproximado de 2 a 3 meses. Estos agroecosistemas poseen diseños y manejos de la biodiversidad medianamente complejo y poco complejo. En estas condiciones agroecológicas existen agricultores que promueven el paradigma agroecológico, pero hay otros que aplican agrotóxicos sintéticos propios del paradigma convencional, que es preocupante por ser una zona de transición..(p.127).

Ambos agroecosistemas, Jardín del Edén y El Mono, se localizan en el trópico húmedo de nuestro país, en la zona de transición de la reserva de biosfera de Indio Maíz, cuya altitud no supera los 200 m, con precipitaciones superiores a los 2000 mm por año, cuyo período lluvioso oscila entre 9 a 10 meses, con suelos arcillosos, ácidos y poco fértiles.

El “Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad” del el agroecosistema El Mono tiene un valor de 1.67 (Figura 10), que indica que es un agroecosistema con diseños y manejo de la biodiversidad “poco complejo” (Cuadro 3). Este agroecosistema se caracteriza por; integrar al menos tres tipos de rubros productivos vegetales y animales, diseños de policultivos de tres especies asociadas o intercaladas, sistemas agroforestales en menos del 50 % del área con una

complejidad de diseños mixtos, con una superficie menor al 50% del área para rotaciones de cultivo durante el año, un deficiente manejo de suelo y agua, aplica agrotóxicos para el control de malezas , plagas y enfermedades, que es característico del manejo convencional.

El agroecosistema Jardín del Edén refleja un valor del “coeficiente de manejo de la biodiversidad” de 1.89 (Figura 10), que lo clasifica como un agroecosistema con diseños y manejos de su biodiversidad “poco complejo” (Cuadro 3), que se identifica por integrar más de tres tipos de rubros productivos vegetales y animales, un deficiente manejo de suelo y agua, y combina prácticas agroecológicas (bioinsumos) y convencionales (herbicidas, urea, fertilizante completo, desparasitantes y vitaminas). Todo lo antes expuesto demuestra, que este agricultor gestiona su agroecosistema de forma mixta, al combinar prácticas propias del paradigma agroecológico con prácticas de una producción convencional.

Lo ideal en la zona de transición de la reserva de biosfera de Indio Maíz es contar con agroecosistemas con diseños y manejos de su biodiversidad complejo y altamente complejo, gestionados agroecológicamente por sus características edafoclimáticas, que son muy frágiles.

Regiones agroecológicas con agroecosistemas con diseños y manejos de su biodiversidad complejos y altamente complejos por sus distribuciones y arreglos permiten disponer de mayor alimento, estabilidad ante variaciones climáticas y un equilibrio en sus agroecosistemas. Estos agroecosistemas presentan interacciones entre los elementos de la biodiversidad que lo componen y estas relaciones determinan en gran medida la salud del mismo (Altieri y Nicholls, 2000, p. 46). Mientras más complejos son los agroecosistemas mayor estabilidad presentan y pueden llegar a ser sostenible desde la dimensión o criterio socio-político-cultural, económico y agroambiental y garantizar la soberanía alimentaria, tecnológica y energética.

A medida que un sistema de producción es más biodiverso, habrá menores condiciones para el arribo, establecimiento e incremento de poblaciones de organismos nocivos, sean insectos, ácaros, nematodos, hongos, bacterias, virus, arvenses y otros, debido a diversos efectos, principalmente por reducción de la concentración de hospedantes preferidos, por confusión o repelencia y por incremento de enemigos naturales, entre otros factores (Vázquez y Matienzo, 2010, p.4).

Para alcanzar la sostenibilidad y la soberanía alimentaria, energética y tecnológica, en ambos agroecosistemas (Jardín del Edén y El Mono), urge que sus propietarios implementen un plan de reconversión agroecológica para complejizar los diseños y manejos de la biodiversidad, para que las interacciones y relaciones entre los elementos de la biodiversidad que los componen determinen en gran medida la salud y sostenibilidad de ambos.

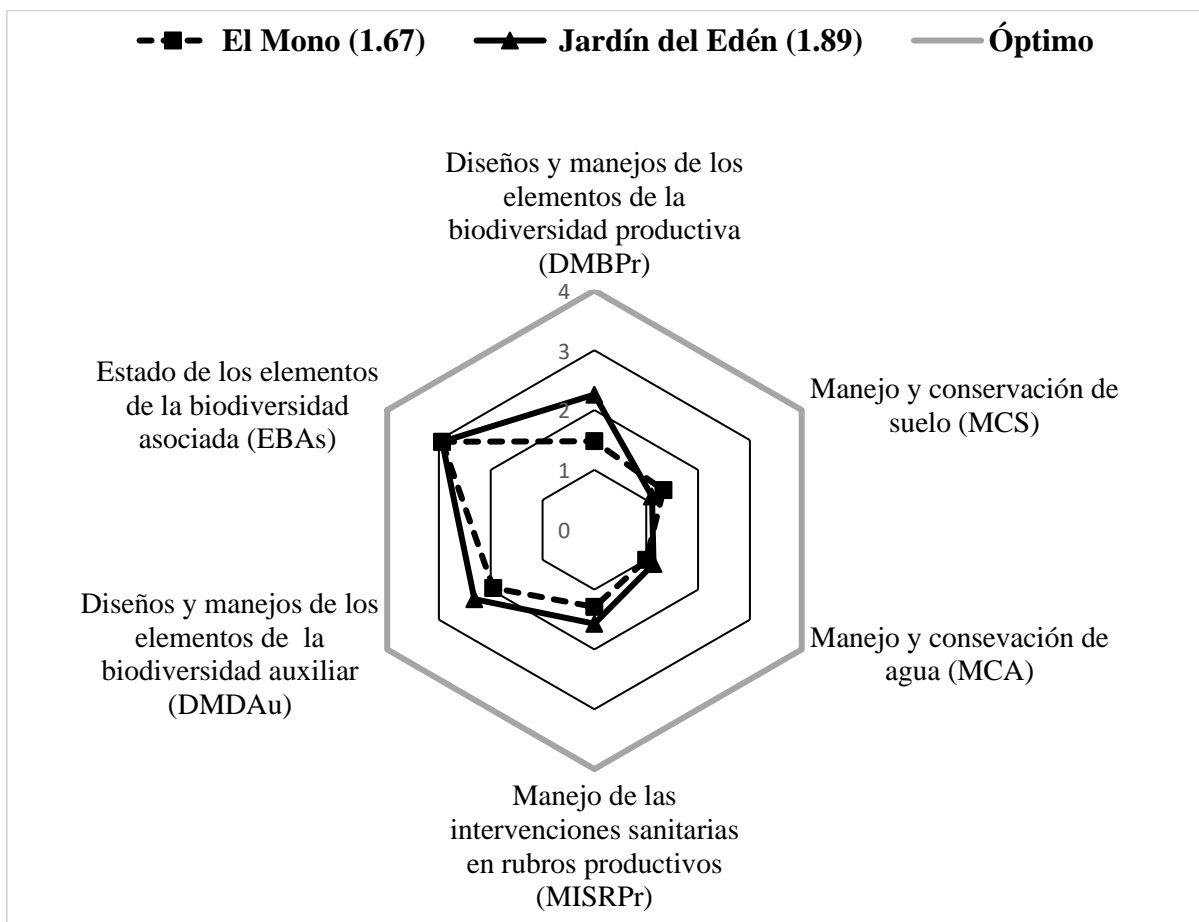


Figura 10. Coeficientes de manejo de la biodiversidad (CMB) en dos agroecosistemas con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

5.2. Indicadores químicos, físicos y biológicos de calidad del suelo

Hünnemayer *et al.* (1997) afirman que:

Los indicadores de calidad edáfica permiten analizar la situación actual e identificar los puntos críticos respecto a la sostenibilidad de la agroecosistema como medio productivo o recursos natural importante para la calidad de vida, o el mantenimiento de la biodiversidad, para analizar los posibles impactos antes de una intervención, evaluar el impacto de las intervenciones, y ayudar a determinar si el uso de recurso es sostenible.. (p.19-27).

La evaluación de la calidad de suelo es indispensable para determinar si el sistema de manejo empleado es sustentable, tanto en el corto como el mediano y largo plazo (Doran y Parkin, 1994). Además, estos indicadores son utilizados como una herramienta para identificar áreas con problema, buscando estimadores realistas de producción y monitoreando cambios en la calidad ambiental, relacionado al manejo agrícola.

5.2.1. Indicadores químicos, físicos, y biológicos del agroecosistema El Mono

Los indicadores químicos del suelo evaluados en esta tesis son: pH, P (ppm) K (meq por 100 g de suelo), Mg K (meq por 100 g de suelo), Ca K (meq por 100 g de suelo), CIC y las relaciones inter catiónicas (Ca/Mg, Ca/K, Mg/K) y porcentaje de saturación de bases.

Los indicadores físicos de calidad de suelo que fueron considerados corresponden a la profundidad, infiltración, porosidad y textura, mientras que el número de lombrices por metro cuadrado fue el único indicador biológico.

5.2.1.1. Indicadores químicos del agroecosistema El Mono

El pH define la actividad química y biológica de un suelo, los mejores rangos de pH para la agricultura están entre los 5.5 y 6.5 (Watler & Thompson, 2002). Los valores de pH para las parcelas evaluadas (Cuadro 10), variaron entre ácido y ligeramente ácido (5.11 y 6.38). El 90 % de las áreas de este agroecosistema alcanzaron categoría tres, que indica que este factor puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes. También se observa, que el 50% de las parcelas o lotes, presentan pH que requieren la realización de prácticas de encalado, ya que a esos valores

existe alta probabilidad de presentar toxicidad por hierro y aluminio. De acuerdo a los valores de pH, las cantidades de cal variaría entre 3.6 y 6.0 tn ha⁻¹.

En relación a los contenidos de fósforo, se evidencia que todas las parcelas presentan deficiencia de este elemento, que se debe al efecto ácido de los suelos y a la alta disponibilidad de elementos que acomplejan al fósforo y lo indisponen para los cultivos. También se pudo notar (Cuadro 10) que los contenidos de potasio (K) disponible variaron entre 0.08 y 0.68 meq 100 g de suelo, siendo estos valores indicadores de baja disponibilidad de este nutrimento. La baja disponibilidad puede estar condicionada por las altas precipitaciones en la zona que ocasiona una alta lixiviación de este elemento y favorecido por la falta de obras de conservación de suelos y la pendiente. La única parcela o lote con valor adecuado de potasio fue precisamente la parcela (con bosque) que presentó el pH más alto.

Cuadro 10. Características químicas de los lotes o parcelas del agroecosistema El Mono, Las Azucenas, San Carlos, Río San Juan

Características físicas		Características químicas												
		Relaciones intercatiónicas												
Lotes	Prof. (cm)	MO (%)	pH H ₂ O	P (ppm)	K (meq 100 ⁻¹ g de suelo)	Mg	Ca	CIC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	%SBT	Encalado (ton ha ⁻¹)	
Agroecosistema El Mono	Bosque	10	6.12	6.38	0.36	0.68	5.18	16.61	22.26	3.2	24.4	7.6	9	-4.44
	Retana 1	100	2.97	5.67	0.77	0.08	3.34	15.35	19.69	4.6	191.9	41.8	95.3	-2.54
	Retana 2	100	2.92	5.28	1.62	0.16	2.94	8.16	17.11	2.8	51.0	18.4	65.8	4.10
	Retana 3	100	2.25	5.11	1.14	0.13	2.06	6.63	16.38	3.2	51.0	15.8	53.8	6.38
	Cítrico	100	4.98	5.27	0.48	0.16	2.09	6.07	13.43	2.9	37.9	13.1	62.0	3.87
	Retana 4	100	5.39	5.74	0.42	0.22	2.29	8.06	14.9	3.5	36.6	10.4	70.9	2.62
	Caña de azúcar	100	3.64	5.4	0.71	0.25	2.35	8.6	27.97	3.7	34.4	9.4	40.0	15.72
	Retana 5	150	3.54	5.22	0.83	0.11	2.52	6.07	15.82	2.4	55.2	22.9	55.0	5.93
	Área Agrícola	90	3.38	5.54	0.48	0.21	2.29	8.52	16.01	3.7	40.6	10.9	68.8	3.24
	Cacao	100	2.82	5.52	0.36	0.17	3.57	9.02	16.19	2.5	53.1	21.0	78.8	1.25
Valores ideales									2-5	5-25	3.5-15			

En relación a las bases calcio (Ca), magnesio (Mg), los contenidos están acordes a los valores de pH encontrados, la relación intercatiónica entre estos elementos es adecuada (valor adecuado entre 2 y 5). Sin embargo, las relaciones intercatiónicas de estos elementos en relación al potasio

se encuentra fuera de los rangos ideales, que es el resultado de los altos valores de Ca y Mg y por los bajos valores de K. De este resultado se deduce que existe una alta probabilidad que los cultivos presenten deficiencias de potasio, lo que hace necesario la aplicación de este elemento.

Respecto a los contenidos de materia orgánica (MO), éstos se categorizaron entre 3 y 5, que se consideran de medios a altos.

Es bastante lógico que el valor más alto le haya correspondido a la parcela o lote con Bosque (20 años), los otros dos valores altos correspondieron a las parcelas con cítricos (11 años) y la parcela con Retana 4, que, aunque este último no es un cultivo perenne, esta parcela anteriormente estaba en barbecho, pero además esta área recibe constantemente adiciones de estiércol por su cercanía al corral donde permanecen los animales. Para el caso de la parcela con cacao, aunque éste es un cultivo perenne, tiene solamente 4 años de establecido y anteriormente se utilizaba como área agrícola (maíz y frijol).

Fassbender (1994) destaca que en condiciones tropicales la CIC es independiente del pH de los suelos y que una buena parte de la CIC depende de los altos contenidos de materia orgánica que tienen estos suelos y del tipo de arcilla que predomina.

En relación a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), los valores de los suelos de las parcelas evaluadas se corresponden con las condiciones de suelo y el clima bajo el que se han formado. Eso explica porque las saturaciones de bases la mayoría se clasificaron en categoría 4, lo que también evidencia que el proceso o de pérdida de nutrientes por lixiviación es proporcional a los contenidos.

De acuerdo con la figura 11, el parámetro químico más limitante es el pH que como ya se indicaba influye grandemente en la baja disponibilidad de fósforo y la baja disponibilidad de potasio. Aunque la saturación de bases es aceptable desde el punto de vista nutricional, los contenidos de las bases son bajas, lo que está influenciado por la baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos. Una estrategia de manejo para mejorar no solo pH, sino también la disponibilidad de los macro elementos es a través del encalado. Simultáneamente, se debe aumentar el uso de enmiendas orgánicas que traerán un efecto positivo sobre la porosidad total, la infiltración y el almacenamiento de agua.

5.2.1.2. Indicadores físicos del agroecosistema El Mono

En la Figura 11 se muestra el comportamiento de los parámetros físicos del suelo evaluados según categorización en el agro ecosistema El Mono.

La profundidad varía entre 10 y 150 cm (categoría entre 1 y 5). De las 10 parcelas del agro ecosistema, nueve presentan excelente profundidad de modo que existen buenas condiciones para el desarrollo de los cultivos establecidos. La parcela o lote con bosque es la menos profunda (10 cm), porque está expuesta a una fuerte erosión, que en ocasiones ha facilitado la caída de árboles, cuando se han presentado fuertes vientos, debido a que éste tiene una pendiente muy pronunciada, una textura muy arcillosa, poca infiltración y se localiza en la parte más alta del agroecosistema.

Respecto a la textura, todas las parcelas poseen suelos arcillosos (categoría 1), que se corresponde con los altos valores de porosidad total, en ocho de las diez parcelas o lotes. Los resultados en estos parámetros se corresponden también con el parámetro infiltración, que es muy lenta (menos de 2 cmh^{-1}) en las ocho parcelas antes mencionadas.

Esta característica de baja infiltración podría ser limitante, si las precipitaciones superaran las medias locales, pero a su vez, anqué, se trata de suelos arcillosos, las arcillas que predominan no son plásticas, lo que de alguna manera facilita un poco más la infiltración. En el caso de las parcelas con Retana 4 y caña de azúcar, la mejor infiltración es favorecida por la profundidad de los mismos que corresponden a 150 y 100 cm respectivamente.

De acuerdo con la figura 11, el parámetro químico más limitante es el pH que como ya se indicaba influye grandemente en la baja disponibilidad de fósforo y la baja disponibilidad de potasio. Aunque la saturación de bases es aceptable desde el punto de vista nutricional, los contenidos de las bases son bajas, lo que está influenciado por la baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos. Una estrategia de manejo para mejorar no solo pH, sino también la disponibilidad de los macro elementos es a través del encalado. Simultáneamente, se debe aumentar el uso de enmiendas orgánicas que traerán un efecto positivo sobre la porosidad total, la infiltración y el almacenamiento de agua.

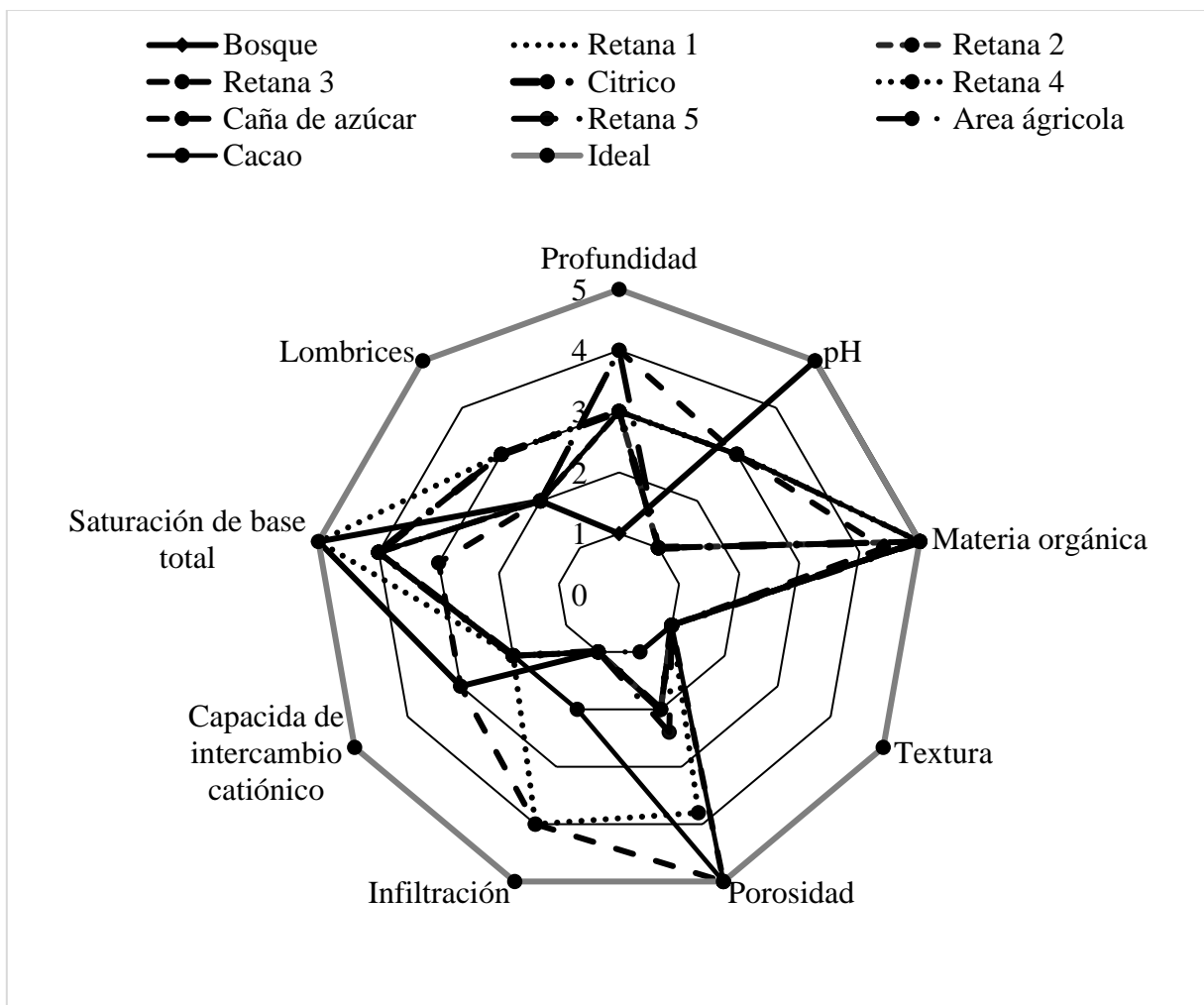


Figura 11. Estado actual de los indicadores evaluados por parcelas en el agro ecosistema con cacao El Mono, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2018.

El uso de cal y enmiendas orgánicas también afectará positivamente la actividad biológica del suelo (mayor presencia de lombrices), indicador que alcanzó categorías entre dos y tres en todas las parcelas evaluadas. Por consiguiente, estas recomendaciones se deben considerar en el plan de reconversión agroecológica de cada agroecosistema. Lo idóneo es que en el agroecosistema se puedan contabilizar al menos 100 lombrices por metro cuadrado para considerarlo que cuenta con un suelo biológicamente muy activo.

5.2.1.3. Indicadores biológicos del agroecosistema El Mono

Los indicadores biológicos integran una gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo, como la abundancia y los subproductos de los macro invertebrados Karlen *et al.* (1997, p. 4-10). Estos rompen, transportan y mezclan el suelo al construir galerías, nidos, sitios de

alimentación, turrículos o compartimientos (Villani *et al.*, 1999, p.44-233); afectan de manera directa los procesos incorporación y redistribución de varios materiales o indirecta la formación de comunidades microbiana, transporte de propágulos, antibiosis o reducción selectiva de la viabilidad, etc. (Wolters, 2000, p. 1-8); incluyen funciones como la tasa de respiración, el ergosterol y otros subproductos de los hongos, las tasas de descomposición de los residuos vegetales, y el N y el C de la biomasa microbiana (SQI, 1996, p.92; Karlen *et al.*, 1997, p.4-10).

Como la biomasa microbiana es mucho más sensible al cambio que el C total, se ha propuesto la relación C microbiano orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (Sparling, 1997, p.97-105).

Bautista Cruz, Etchevers Barra, Del Castillo, & Gutiérrez, (2004) mencionan que:

Los indicadores biológicos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macro organismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. El indicador biológico que se consideró en este estudio, es la abundancia por metro cuadrado de lombrices de tierra, que se categorizó basado en el cuadro 7..(p.93).

En la figura 10 se muestran las categorías alcanzadas por las poblaciones de lombrices de tierra, en los diferentes lotes del agroecosistema El Mono, cuyas categoría son 2 y 3. La mayor categoría se determinó en las parcelas con Retana 1 y 4, cuyas poblaciones oscilaron entre 33 a 64 individuos m⁻². En las restantes parcelas, las lombrices de tierra oscilaron entre 16 y 32 individuos m⁻².

En ambos agroecosistemas, las poblaciones de lombrices de tierra se consideran bajas, lo que puede estar influenciado por el pH ácido de los suelos, al bajo nivel de materia orgánica y la poca retención de humedad por los suelos. Las poblaciones de éstas pueden variar con las características del sitio (disponibilidad de nutrientes y condiciones del suelo), y con la estación y las especies involucradas (SQI, 1999, p.82).

Se considera poblaciones de lombrices de tierra adecuadas, cuando los agroecosistemas poseen más de 100 individuos m⁻²(SQI, 1999, p.82). Estas altas poblaciones por lo general aumentan la actividad microbiana y mejoran la fertilidad química y las características físicas de éste. Este

resultado debe considerarse en el plan de reconversión agroecológica de ambos agroecosistemas.

5.2.2. Indicadores químicos y físicos del agroecosistema Jardín del Edén

Los indicadores químicos físicos, que se evaluaron en este agroecosistema son los mismos que se describen en el acápite 5.2.1.

5.2.2.1. Indicadores químicos del agroecosistema Jardín del Edén

Los valores de pH, en los lotes o parcelas evaluadas (Cuadro 11), variaron entre muy ácido y ligeramente ácido (5.0 a 6.25). Los valores más altos correspondieron a las parcelas donde prácticamente no existe ninguna intervención y son utilizadas como áreas de reserva. El 45 % del área de este agroecosistema alcanzó la categoría tres y cuyos pH varían entre 5.3 y 5.9, de éstas áreas, en el 90% se podrían presentar efectos tóxicos por hierro y aluminio y requerirían por lo tanto de la práctica del encalado.

Los contenidos de fósforo (cuadro 11) son pobres para todas las parcelas, por lo que son deficientes de este elemento, también se pudo notar (en el mismo cuadro) que los contenidos de potasio (K) disponible variaron entre 0.12 y 0.75 meq 100 g de suelo, las parcelas (4) con valores menores de 0.2 meq 100 g suelo son deficitarias de potasio (menos de 187 kg de K_2O ha^{-1} disponible), las restantes parcelas (7) contienen disponible entre 215 y 700 kg de K_2O ha^{-1}), lo que es suficiente para cultivos no muy exigentes a este elemento. La única parcela con valor más alto de potasio fue precisamente la parcela (Reserva 2) que presentó el pH más alto.

Respecto a la CIC, los valores variaron entre 8.28 y 20.61 meq 100 g de suelo, estos valores se corresponden con las características de los suelos en estudio. Los valores bajos de CIC muestran su efecto sobre los bajos contenidos de calcio y magnesio intercambiables y más evidentes sobre los muy bajos contenidos de potasio.

En relación a las bases calcio (Ca), magnesio (Mg), los contenidos están acordes a los valores de pH encontrados, la relación intercatiónica entre estos elementos se encuentran en el rango de adecuada (entre 2 y 5).

Sin embargo, las relaciones intercatiónicas de estos elementos con respecto al potasio muestran que en el 36% de las parcelas los valores de la relación Ca/K se encuentra fuera de los rangos

ideales, indicando que, por los altos valores de Ca y los bajos de K se produce un antagonismo que provocará una deficiencia en la absorción de potasio por la planta. Al analizar la relación Mg/K se encontró que en el 73% de las parcelas se podría presentar deficiencias de K por exceso de Mg. Este desbalance en las relaciones intercatiónicas es favorecido por las altas precipitaciones de la zona que aumentan la lixiviación de potasio.

Respecto a los contenidos de materia orgánica (MO), éstos se categorizaron entre 4 y 5, con contenidos entre medio y alto. El valor más alto corresponde a la parcela de pasto de Retana 3 con 4.9% de MO, los otros dos valores altos correspondieron a las parcelas con Retana 2 y Reserva 1 (bosque de 15 años) con 4.6 y 4.1 % respectivamente. Para el caso de la parcela con bambú, aunque es un cultivo perenne, éste tiene solamente 2 años de estar establecido y anteriormente se utilizaba como área agrícola (maíz y frijol), que pudo haber contribuido a que el nivel de MO sea bajo.

De la figura 12, el parámetro químico más limitante es el pH, que influye grandemente en la baja disponibilidad de fósforo y la baja disponibilidad de potasio. Aunque la saturación de bases es aceptable desde el punto de vista nutricional. Los contenidos de las bases son bajas, lo que está influenciado por la baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos.

Una estrategia de manejo para mejorar no solo pH, sino también, la disponibilidad de los macro elementos es a través del encalado. Simultáneamente debe aumentarse el uso de enmiendas orgánicas que traerán un efecto positivo sobre la porosidad total, el almacenamiento de agua y la infiltración, especialmente sobre este último parámetro.

Cuadro 11. Características químicas de los lotes o parcelas del Agroecosistema Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Río San Juan.

Características físicas	Características químicas									Relaciones intercatiónicas				Encalado Ton ha ⁻¹
	Lotes	Prof. (cm)	MO (%)	pH H ₂ O	P (ppm)	K (meq/100)	Mg	Ca	CIC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	%SBT	
Agroecosistema Jardín del Edén	Bosque	10	3.15	5.92	0.6	0.48	2.3	8.28	13.25	3.6	17.3	4.8	83.5	0.25
	Bambú	70	2.83	5.79	0.54	0.33	1.91	8.46	13.43	4.4	25.6	5.8	79.7	0.89
	Retana 1	65	3.63	5.69	0.66	0.33	1.45	6.23	11.22	4.3	18.9	4.4	71.4	1.91
	Cacao 1	70	3.04	5.83	1.27	0.18	2.93	11.91	15.54	4.1	66.2	16.3	96.7	-2.26
	Retana 2	100	4.64	5.73	1.09	0.12	2.53	5.29	14.17	2.1	44.1	21.1	56.0	5.13
	Cítrico	150	3.41	5.01	0.18	0.17	1.58	4.93	11.04	3.1	29.0	9.3	60.5	3.38
	Cacao 2	100	3.31	5.45	0.36	0.15	2.11	4.63	14.17	2.2	30.9	14.1	48.6	6.44

Retana 3	75	4.96	5.51	0.54	0.4	2.17	4.81	15.46	2.2	12.0	5.4	47.7	7.20
Taiwán	100	3.57	5.44	0.24	0.23	1.68	4.77	8.28	2.8	20.7	7.3	80.7	0.45
Reserva 1	60	4.11	5.95	0.42	0.35	4.21	13.15	20.61	3.1	37.6	12.0	85.9	-0.24
Reserva 2	70	2.93	6.25	0.12	0.75	2.3	9.44	15.46	4.1	12.6	3.1	80.8	0.81
Valores ideales									2 a 5	5 a 25	3.5 a 15		

5.2.2.2. Indicadores físicos del agroecosistema Jardín del Edén

La Figura 12 muestra el comportamiento de los parámetros físicos del suelo evaluados según categorización en el agroecosistema Jardín del Edén. La profundidad del suelo de las parcelas evaluadas varía entre 10 y 150 cm, la mayoría de las parcelas presentan buenas condiciones de profundidad para una variedad de cultivos que puedan establecerse. La parcela con menor profundidad fue la de Bosque (10 cm).

Respecto a la textura de los suelos, estos variaron de arcillosos a franco arcillo limosos (categorías 1 a 3). Nueve de las once parcelas evaluadas, poseen textura arcillosa (categoría 1), que se corresponde con los altos valores de porosidad total, en nueve de las once parcelas evaluadas. Los resultados en estos parámetros se corresponden también con el parámetro infiltración, que es muy lenta (menos de 2 cmh^{-1}) en ocho de las nueve parcelas antes mencionadas. Esta característica de baja infiltración podría ser limitante si las precipitaciones superaran las medias locales, pero a su vez anqué se trata de suelos arcillosos y franco arcilloso, las arcillas que predominan son los hidróxidos de hierro (FeOOH), las cuales no son plásticas, lo que de alguna manera facilita un poco la infiltración.

De la figura 12, el parámetro químico más limitante es el pH, que influye grandemente en la baja disponibilidad de fósforo y la baja disponibilidad de potasio. Aunque la saturación de bases es aceptable desde el punto de vista nutricional.

Los contenidos de las bases son bajas, lo que está influenciado por la baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos. Una estrategia de manejo para mejorar no solo pH, sino también, la disponibilidad de los macro elementos es a través del encalado. Simultáneamente debe aumentarse el uso de enmiendas orgánicas que traerán un efecto positivo sobre la porosidad total, el almacenamiento de agua y la infiltración, especialmente sobre este último parámetro.

5.2.2.3. Indicadores biológicos del agroecosistema Jardín del Edén

En la figura 12 se muestran también las categorías alcanzadas por las poblaciones de lombrices de tierra, en los diferentes lotes del agroecosistema Jardín del Edén, que es de 3 y 5. La mayor categoría se determinó en las parcelas Reserva 1 y Reserva 2, cuyas poblaciones superan los 100 individuos m^{-2} (135 y 118).

Estas parcelas son áreas de reserva forestal del agroecosistema, en las que las poblaciones de lombrices son favorecidas para su sobrevivencia y reproducción. En las restantes parcelas, las poblaciones de lombrices de tierra oscilaron entre 37 y 46 individuos m^{-2} , que son consideradas bajas. Estos resultados deben considerarse en el plan de reconversión agroecológica para el manejo del suelo y agua.

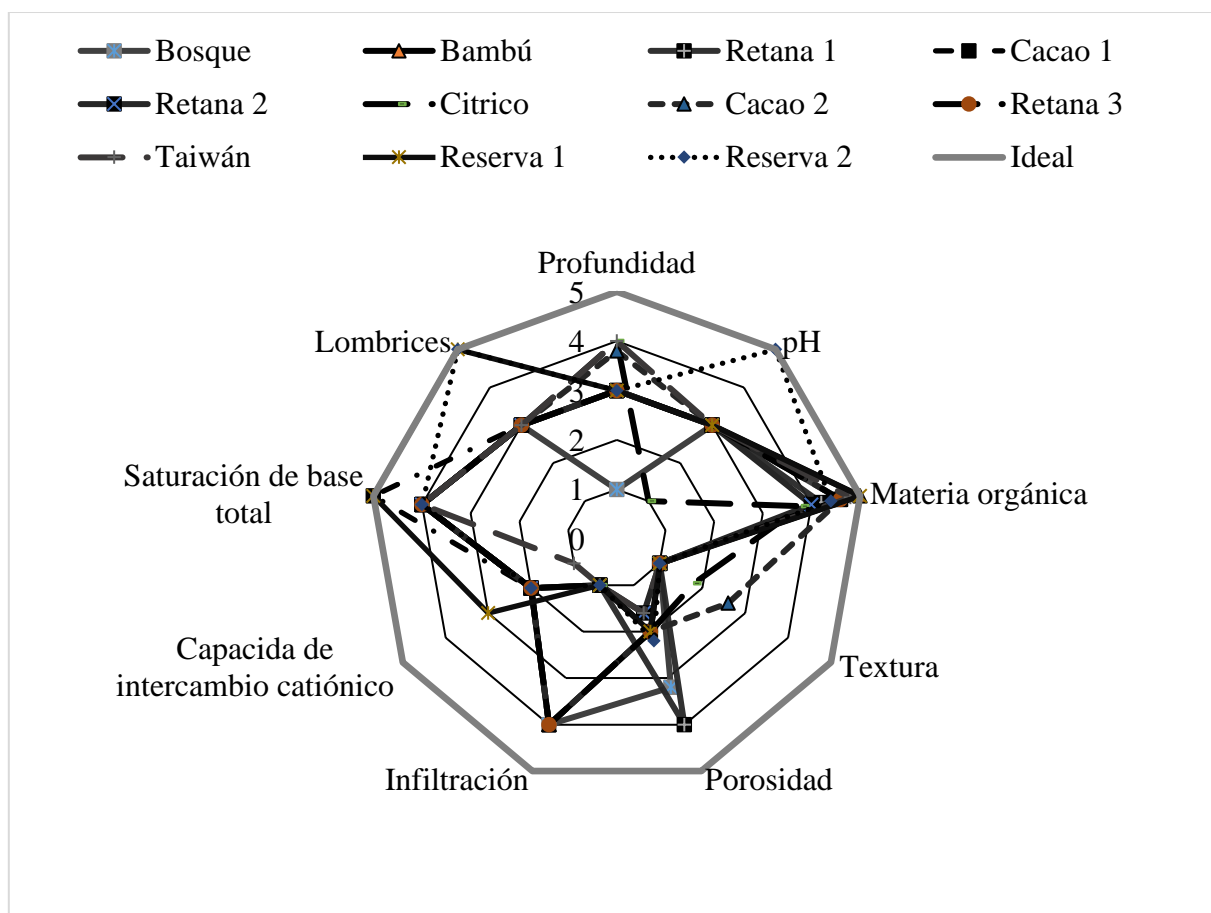


Figura 12. Estado actual de los indicadores evaluados por parcelas en el agroecosistema con cacao Jardín del Edén en Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2018.

Cuando se comparan las propiedades físicas, químicas y biológicas evaluadas en ambos agroecosistemas, se encontró (Figura 13), que los resultados siguen las mismas tendencias en todos los parámetros. No obstante, se observa que el agroecosistema El Mono presenta indicadores con categorías más bajas que Jardín del Edén (pH, textura y CIC), esto probablemente se deba a la menor incorporación de biomasa orgánica, aunque en el Jardín del Edén las fuentes orgánicas incorporadas también son bajas, en esta última se procura un mejor aprovechamiento de los rastrojos de los cultivos y se complementa con la aplicación de estiércol de bovino en todos los cultivos.

El valor promedio de pH fue más bajo en el agroecosistema El Mono, que se refleja en el antagonismo más marcado entre las bases calcio, magnesio y potasio, éste último aparentemente se pierde más por lixiviación en comparación con calcio y magnesio, éstos últimos favorecidos por su mayor valencia eléctrica y por la mayor CIC de los suelos. Lo contrario se observó en Jardín del Edén, donde los valores de CIC más bajos favorecen la mayor pérdida de bases, que aparentemente es similar en términos proporcionales en todos los elementos.

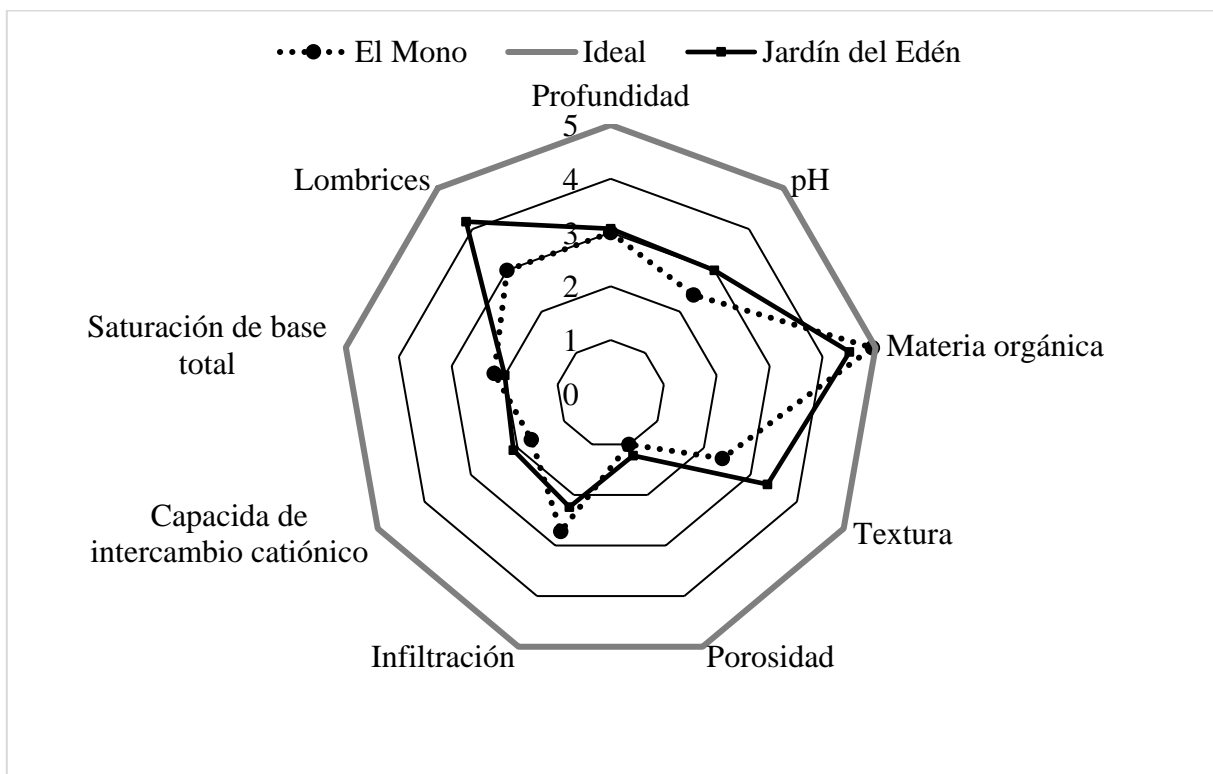


Figura 13. Comparación de los indicadores físicos y químicos evaluados en dos agroecosistema con cacao El Mono y Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2018.

Las poblaciones de lombrices de tierra m^{-2} son superiores en el agroecosistema Jardín del Edén (55 individuos m^{-2}) que a las registradas en el agroecosistema El Mono (33 individuos m^{-2}), cuya categoría es 3 son 4 y 5 respectivamente. En ambos agroecosistemas, es fundamental hacer un manejo del suelo y agua que contribuya a elevar las poblaciones de esta clase taxonómica (Lumbricidae).

Los resultados de los indicadores físicos, químicos y biológicos evaluados, en ambos agroecosistemas, sugieren que el manejo agroecológico del suelo debe fundamentarse en las características de cada lote o parcela.

5.3. Identificación taxonómica de la macrofauna, análisis de su diversidad alfa, beta y funcionalidad en dos agroecosistemas con cacao

La macrofauna del suelo está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre la superficie inmediata del suelo, troncos podridos, hojarasca superficial y bajo la superficie de la tierra, desde el punto de vista de la alimentación incluye individuos que son fitófago, depredadores, omnívoros (Brown *et al.*, 2001).

5.3.1. Diversidad alfa

En el cuadro 12 se observa que el agroecosistema El Mono registro 461 individuos permanentes a 6 clases (Arachnida, Chilopoda, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda, Insecta), 16 órdenes (Amblypygi, Araneae, Blattodea, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Haplotaxida, Hemiptera, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Opiliones, Orthoptera, Scolopendromorpha, Scorpiones, Stylommatophora) y 32 familias. En el agroecosistema Jardín del Edén se registraron 777 individuos pertenecientes a 7 clases (Amphibia, Arachnida, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda, Insecta, Reptilia), 19 órdenes (Anura, Araneae, Blattodea, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Glomerida, Haplotaxida, Hemiptera, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Opiliones, Orthoptera, Spirostreptida, Squamata, Strepsitera, Stylommatophora, Trichoptera) y 54 familias.

Cuadro 12. Número de clases, ordenes, familias e individuo en cada agroecosistema, 2017

	El Mono	Jardín del Edén
Clases	6	7
Ordenes	16	19
Familias	32	57
Total de individuo	461	777

La mayor abundancia de la macrofauna en el agroecosistema Jardín del Edén se atribuye a que en éste existen dos áreas de reservas forestales, una parcela con un cacaotal de siete años de establecido (Cacao 1) y las áreas con sistemas agroforestales son mayores (Retana 1, 2 y 3), que favorece la supervivencia y reproducción de la macrofauna edáfica.

La riqueza menor de organismos en el agroecosistema El Mono, se debe a la sensibilidad de las comunidades de la macrofauna ante el manejo convencional del agroecosistema (aplicación de agrotóxicos). Los cambios en la cobertura y la transformación de la vegetación, genera un efecto negativo por las perturbaciones impuestas en los sistemas de cultivo (Cabrera *et al.*, 2011, p.313-330).

Al medir la diversidad alfa en el taxón de familias según el **índice de Renyi**, si el valor del alfa está en cero, se muestra con mayor riqueza al agroecosistema Jardín del Edén. Cuando en los perfiles de Renyi el valor del alfa se acerca a uno se comporta según el **índice de Shannon-Wiener** mostrando similar uniformidad de las familias en los dos agroecosistema. Cuando el valor del alfa está en dos, el perfil se comporta según índice Simpson, mostrado una mayor dominancia en el agroecosistema Jardín del Edén. A partir del valor del alfa dos al infinito, el perfil horizontal se comporta según el índice de Berger-Parker, muestra que hay una mejor equidad en el agroecosistema El Mono (Figura 14).

La uniformidad y la dominancia son característica de la biodiversidad que está relacionadas con la distribución de la abundancia entre diferentes categorías de un mismo taxón de la macrofauna. En ambas características, el agroecosistema El Mono, según los perfiles de Renyi, fue superior al Jardín del Edén, porque en este último agroecosistema hubo mayor dominancia de lombrices (Familia: Lumbricidae), que representa el 58.9% de la abundancia total registrada (458

lombrices/777 individuos totales), desequilibrando la uniformidad de las poblaciones de las familias de la macrofauna presente.

Este resultado es positivo para el agroecosistema Jardín del Edén desde un punto de vista funcional, porque las lombrices se vuelven aliadas importantes en la descomposición de materia orgánica dentro de cualquier agroecosistema. Hay que destacar que en el agroecosistema Jardín del Edén, que las poblaciones de lombrices por metro cuadrado alcanzaron la categoría 5, que significa que éstas son superiores a 97 individuos por metro cuadrado. En el caso del agroecosistema El Mono, las poblaciones de la familia Lumbricidae fue de 64 individuos por metro cuadrado, cuya categoría es cuatro. En ambos agroecosistemas, otra familia importante es Formicidae, con 88 individuos en agroecosistema El Jardín del Edén y 76 individuos en el agroecosistema El Mono (Cuadro 13).

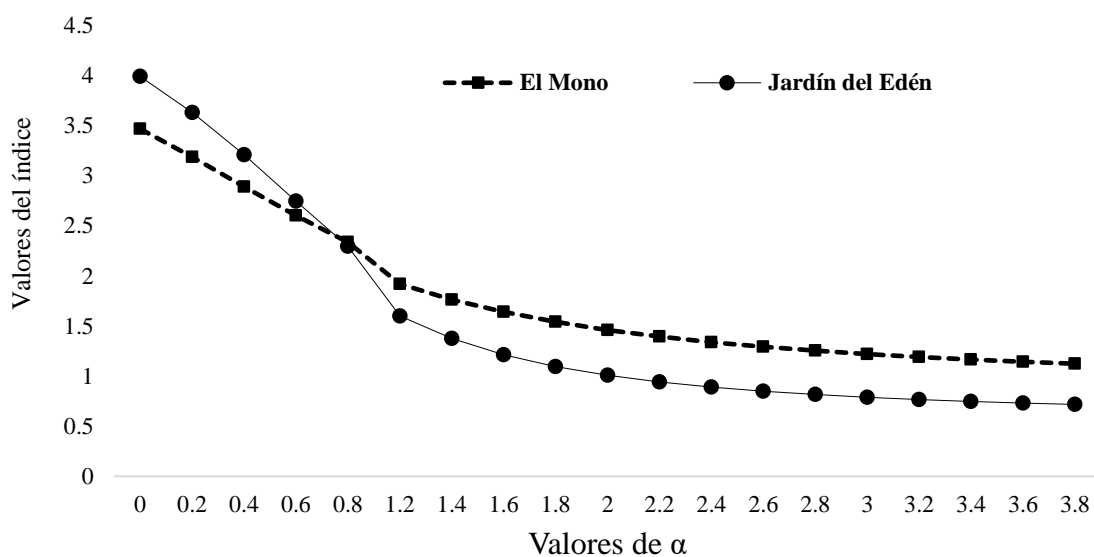


Figura 14. *Perfiles de Renyi a nivel de familias taxonómicas de la macrofauna edáfica en dos agroecosistemas con cacao, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2018.*

La mayor diversidad taxonómica presente en sistemas agroecológicos es considerada como valores muy bajos al relacionarlos con los sistemas naturales con cierto grado de conservación, como las selvas secundarias, que poseen gran riqueza taxonómica (Ararat y Aristizabal, 2002). Esto se debe a que en los sistemas no intervenidos por el ser humano hay una menor y casi nula alteración del suelo y la presencia de vegetación multiestratificada provee protección y fuentes

de alimentos en diferentes grados de descomposición a los macro invertebrados, humedad constante y mayores contenidos de materia orgánica.

5.3.2. Diversidad beta

Zaldivar *et al.* (2009, p.1-8) plantearon que:

Los suelos tropicales son actualmente los más amenazados, por los cambios ligados a una intensificación de la agricultura, cuya secuela es la disminución de la biodiversidad y se debe sumar al efecto que se ejerce con un inadecuado manejo transformando así sus propiedades físicas y por tanto el hábitat de las comunidades de macro invertebrado existentes en el ecosistema.

Villalobos *et al.* (1999) indican que:

La actividad agrícola afecta las condiciones ambientales del suelo y muchos grupos de macrofauna son particularmente sensibles a estos cambios a largo plazos..(p.80).

Las influencias de prácticas agroecológicas que benefician más a una especie que a otra influye sobre un desbalance en proporciones poblacionales. El aumento de la disponibilidad de la materia orgánica permite condiciones propicias para que macro invertebrados como las lombrices de tierra sean dominantes (Rodríguez *et al.* , 2017b, p.19-24).

En ambos agroecosistemas, El Mono y Jardín del Edén, según Bray-Curtis se registraron 22 familias comunes (Figura 15), de las cuales las familias Dysderidae, Arionidae, Anthocoridae, Phalangiidae, Veliidae, Formicidae, Cryptocercidae, Elateridae, Rhinotermitidae, Blattidae, Agelenidae, Julidae, Theraphosidae, Sparassidae, Reduviidae (Figura15) presentaron una disimilitud baja, cuyo valor de Bray-Curtis oscila entre 0.67 a 1.0. Las familias Lumbricidae, Araneidae, Tenebrionidae, Blaberidae, Erebididae, Cosmetidae tienen una **disimilitud** intermedia de ambos agroecosistema, cuyo valor de Bray-Curtis oscila entre 0.36 a 0.61.

Según Sonco (2013), define que:

Los bajos índices de similitud que se obtuvieron entre las parcelas y entre localidad, mostraron una elevada tasa de recambio de especies, resultado que se presenta porque las zonas en donde se encuentran estas localidades tienen un carácter de transición de la

vegetación y además se presenta como una respuesta a los diferentes factores ambientales y abióticos presente en cada localidad.

Diversos estudios indican que la mayoría de los productores desconocen el impacto de las prácticas agrícolas sobre el ambiente y particularmente sobre la macro fauna edáfica (Lagn *et al*, 2011, p.169-177).

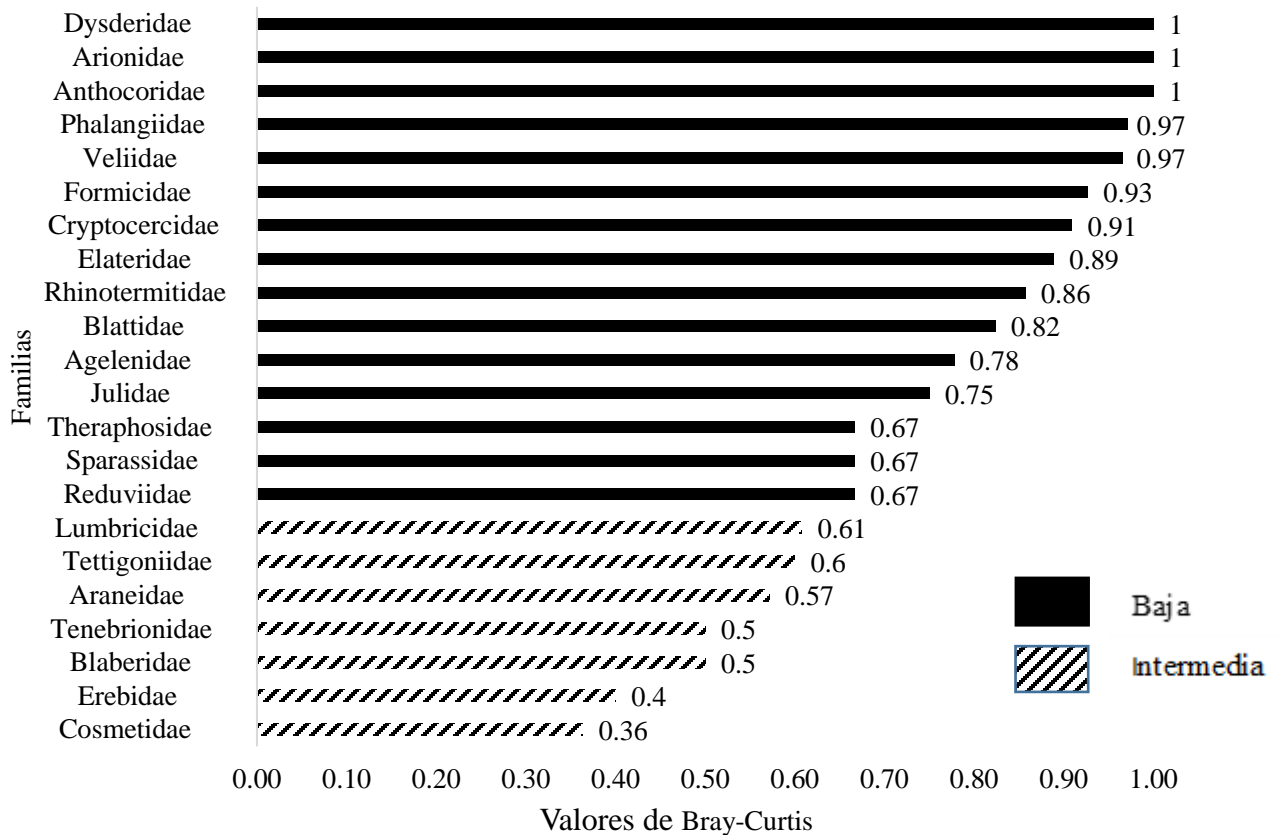


Figura 15. Índice de disimilitud según Bray-Curtis para las familias taxonómicas de la macrofauna edáfica en dos agroecosistemas con cacao El Mono y Jardín del Edén, Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan, 2018.

5.3.3. Funcionalidad de la macrofauna edáfica

Los artrópodos tienen una alimentación muy variada, a veces los estadios inmaduros tienen las mismas costumbres alimentarias que los adultos lo más común es que sean especies: depredadores, detritívoros, fitófagos y parásitos (Mc Gavin, 2000, p.1-129).

Las funciones de la macrofauna en un agroecosistema son variables y depende de sus hábitos alimenticios, ciclos vitales y disponibilidad de materia orgánica del suelo. Entre las funciones que han determinado dentro de las agroecosistemas se encuentran:

5.3.3.1. Depredadores

Para la ecología, la depredación es una interacción biológica en la que el depredador o predador caza a una presa para subsistir (<https://definicion.de/depredador/>).

En este estudio se identificó el grupo funcional depredadores (Cuadro 13), se encontró un total de 98 organismos depredadores en el agroecosistema Jardín del Edén de las familias: Agelenidae, Anthocoridae, Araneidae, Coccinellidae, Cosmetidae, Dipluridae, Dysderidae, Geotrupidae, Pentatomidae, Phalangiidae, Pholcidae, Reduviidae, Salticidae, Scarabaeidae, Sclerosomatidae, Sicariidae, Sparassidae, Tenebrionidae, Theraphosidae, Theridiidae, Thomisidae, Veliidae; y 65 en el agroecosistema El Mono de las familias: Agelenidae, Anthocoridae, Araneidae, Cosmetidae, Dysderidae, Phalangiidae, Reduviidae, Scolopendridae, Scorpionidae, Sparassidae, Tenebrionidae, Theraphosidae, Veliidae.

El agroecosistema Jardín del Edén obtuvo mayor cantidad de organismos y los representativos son los de la familia Dipluridae y Phalangiidae (Arañas). La menor cantidad de organismo lo obtuvo el agroecosistema El Mono y los representativos son Phalangiidae (Arañas) y Veliidae (Chinches). Estas familias en el agroecosistema realizan funciones de controladores biológicos para plagas insectiles, pero al aumentar su población se representan como plagas perjudicando los cultivos.

Nicholls (2008) afirma que:

La mayoría de los depredadores se alimentan de un gran número de insectos plagas durante su desarrollo, pero algunos resultan más eficaces que otros en el momento de controlar a las plagas. Los estados juveniles usan la presa para su desarrollo y crecimiento, mientras que los adultos las usan para su mantenimiento y reproducción. Los insectos depredadores se alimentan de todos los estados de presa: huevos, larvas(o ninfas), pulpas y adultos.

5.3.3.2. Fitófago

Un fitófago es una especie animal, a menudo un insecto, que se alimenta de vegetales (<https://salud.ccm.net/faq/15730-fitofago-definicion>, s.f.)

El agroecosistema Jardín del Edén obtuvo mayor cantidad de organismos que se desempeñan como fitófagos (458 individuos) y el agroecosistema El Mono obtuvo un valor menor (Cuadro 13). En ambos agroecosistemas predominan las familias Rhinotermitidae (comején) que se alimentan de maderas y pueden causar grandes daños, son conocidas como plagas *Coptotermes formosanus*, *Coptotermes gestroi* y *Reticulitermes flavipes* y Tettigoniidae (saltamontes) son plagas ocasionales de poca importancia. Por ej: *Caulopsis*, *Conocephalus*, *Neoconocephalus* y *Phlugis* afectan esporádicamente, las hembras insertan sus huevos en los tejidos de las plantas. Generalmente son fitófagos, aunque existen depredadores (Zumbado y Azofeifa, 2018)

Se registró un total de 520 individuos fitófagos en el agroecosistema Jardín del Edén de las familias: Anthocoridae, Aradidae, Arionidae, Blaberidae, Blattidae, Curculionidae, Elateridae, Erebidae, Gryllidae, Noctuidae, Pentatomidae, Reduviidae, Rhinotermitidae, Scarabaeidae, Tenebrionidae, Tettigoniidae; y 262 organismos en el agroecosistema El Mono de las familias: Anthocoridae, Arionidae, Blaberidae, Blattidae, Elateridae, Erebidae, Lumbricidae, Passalidae, Reduviidae, Rhinotermitidae, Tenebrionidae, Tettigoniidae.

Se reportan las familias Scarabaeidae y Gryllidae en diferentes estados larvarios descomponiendo los residuos vegetales sobre las superficies del suelo y destruyendo raíces del cultivo frijol, maíz, naranja.

5.3.3.3. Detritívoros

Los detritívoros son organismo que viven en la hojarasca e intervienen en la descomposición de la materia organica y se encarga de la trituración de restos vegetales y animales que componen la hojarasca (Cabrera, 2014, p.9-21). En el agroecosistema Jardín del Edén; se presentan 557 organismo (Cuadro 13) que pertenecen a las familias: Blaberidae, Blattidae, Chironomidae, Conopidae, Forficulidae, Glomeridae, Gryllidae, Julidae, Lumbricidae, Philopotamidae, Rhinotermitidae, Scarabaeidae, Spirostreptidae, Stylopidae, Tabanidae, Tenebrionidae, Tettigoniidae, Therevidae; y 297 en el agroecosistema El Mono de las familias: Bibionidae,

Blaberidae, Blattidae, Helicidae, Julidae, Lumbricidae, Rhinotermitidae, Scolopendridae, Tenebrionidae, Tettigoniidae.

En ambos agroecosistemas predominan las familias Julidae (milipiés) que son considerados plagas de jardín, ya que a veces, se alimentan de plantas vivas deteriorando sus raíces, bulbos y semillas y Lumbricidae (lombriz de tierra), cuyas poblaciones sonde de 458 individuos, en Jardín del Edén, y 200 individuos en El Mono, esta última familia tiene un excelente papel como reguladores de la dinámica de la hojarasca y la materia orgánica del suelo; participa activamente en los ciclos de carbono (C) y del nitrógeno (N), sirven de alimentación para algunas aves y mamíferos (topos, erizos, etc.).

5.3.3.4. Omnívoros

Se define como omnívoro a todo animal que se alimenta de animales y plantas (<https://www.significados.com/omnivoros/>, s.f.)

En el agroecosistema Jardín del Edén, se presentaron los omnívoros con un total de 612 individuos, que pertenecen a las familias: Blaberidae, Blattidae, Cerambycidae, Colubridae, Cosmetidae, Cryptocercidae, Formicidae, Gryllidae, Halictidae, Lacertidae, Lumbricidae, Nitidulidae, Ranidae, Rhinotermitidae, Tettigoniidae; y en el agroecosistema El Mono con 338 individuo de las siguientes familias: Anisolabididae, Blaberidae, Blattidae, Cosmetidae, Cryptocercidae, Formicidae, Lumbricidae, Rhabdophoridae, Rhinotermitidae, Tettigoniidae, estos organismos en el ámbito ecológico se alimentan de cualquier tipo de resto, aunque demuestran una especial tendencia hacia materiales con fécula, sustancias dulces, productos cárnicos (Cuadro 13).

También, pueden comer muchos otros materiales, y por supuesto, especímenes de su misma especie. Contribuyen a que los procesos de degradación de la materia orgánica sean efectivos, porque ayudan como indicador eco climático, de humedad y de cantidad de luz presente en el sistema (Arango y Agudelo).

En ambos agroecosistemas, las familias Formicidae (hormigas) y Lumbricidae (lombrices) son los omnívoros más abundantes, pero predominan las hormigas, que se alimentan de una gran cantidad de especie causando daño principalmente al follaje de los cultivos y se convierten en plagas cuando las poblaciones aumentan; dependen a los invertebrados que sirven como

controladores biológicos. Se conoce que ambas familias desempeñan un rol importante en la transformación de la estructura del suelo. Holldobler y Wilson, (1990) señalan que lugares donde las hormigas llegan a densidad elevadas, pueden mover la misma cantidad de suelo que las lombrices debido a que transportan restos de animales y plantas dentro de su nido bajo el suelo, mezclan estos materiales con la tierra excavada y el área del nido es cargada con altos niveles de carbono, nitrógeno y fósforo, consecuentemente el suelo se fragmenta en un mosaico de concentración de nutrientes.

5.3.3.5. Parásitos

Jiménez (2009) define que:

Los organismos parásitos son generalmente más pequeños que el hospedero y se alimentan del cuerpo de éste, sin matarlo o al menos no de inmediato.

En los cuadros 13 se muestra que el agroecosistema Jardín del Edén presenta 5 organismos parásitos de las familias: Acanthosomatidae, Culicidae, Forficulidae, Stylopidae; en cambio en el agroecosistema El Mono solo se registró la presencia de 1 organismo parásitos de la familia Helicidae.

En los agroecosistemas diversificados se encuentran diferentes funciones, el número de organismo influye en su macrofauna y su diversificación. Los organismos pueden desempeñar diferentes funciones transformando su alimentación en minerales útiles para las plantas, si la producción de la macrofauna aumenta en un agroecosistema esto favorece en la degradación de su materia orgánica y sirve para reducir los insectos nocivos que perjudican las plantas.

5.3.3.6. Microvívoros

Son organismos de tamaño medio, con una anchura corporal entre 0,2 y 10 mm es muy diversa taxonómicamente, incluye muchos anélidos, insectos, crustáceos, miriápodos, arácnidos y otros artrópodos, que funcionan como transformadores del material vegetal. Todos estos organismos ocupan varios niveles tróficos, de forma que algunos se alimentan fundamentalmente de microbios y otros de una mezcla de materia orgánica y microbios (microbi-detritívoros) (Domínguez *et al.*, 2009).

En el agroecosistema Jardín del Edén se encontró un total de 546 organismos microvívoros de las familias: Formicidae (88 individuos) y Lumbricidae (458 organismos) y el agroecosistema El Mono se encontraron 276 individuos de las familias Formicidae (76 individuos) y Lumbricidae (200 organismos). La descomposición de la materia orgánica será más eficaz en el agroecosistema Jardín del Edén por contener mayor cantidad de estos organismos que cumplen este rol (Cuadro 13).

5.3.3.7. Carnívoros

En el agroecosistema Jardín del Edén se encontraron 10 organismos carnívoros perteneciente a las siguientes familias: Colubridae, Pholcidae, Ranidae, Sclerosomatidae, Sparassidae, Theraphosidae, Therevidae (Cuadro13); y en el agroecosistema El Mono solo se registró la presencia de 5 organismo carnívoros de las siguientes familias: Phrynidae, Rhabdophoridae, Sparassidae, Theraphosidae, que son organismo que se alimentan de otros organismos como artrópodos.

En el agroecosistema Jardín del Edén, todos los grupos funcional se encontraron en mayor cantidad de organismos (Cuadro 13), el objetivo principal de este productor es la diversificación de especies vegetales y la conservación de los recursos. En el manejo de este sistema no se realizan aplicaciones de agrotóxicos y no se interviene en la textura y estructura del suelo.

Debido a la gran cantidad de especies vegetales y a la implementación de prácticas agroecológicas. Este sistema se mantiene siempre húmedo y con grandes cantidades de materia orgánica, siendo un factor determinante para la diversificación y abundancia de organismos presentes en un sistema. La presencia de microvívoros en forma abundante dentro del sistema medianamente complejo es promovida por el establecimiento de especies vegetales utilizadas como sombra. Estas especies en su mayoría pertenecen al género *Inga* (*Inga edulis* L.) que se caracterizan por aportar constantemente grandes cantidades de materia orgánica, favoreciendo a organismos que pasan un mayor tiempo de vida en el suelo.

Cuadro 13. Cantidades de organismo por rol funcional de familias taxonómicas identificadas en dos agroecosistemas con Cacao, El Mono (EM) y Jardín del Edén (JDE), en Las Azucenas, San Carlos, Rio San Juan

Familia	Depredadores		Fitófagos		Detritívoros		Omnívoros		Parásitos		Microvívoros		Carnívoros	
	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE
Acanthosomatidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
Agelenidae	11	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anisolabididae	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
Anthocoridae	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aradidae	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Araneidae	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arionidae	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bibionidae	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blaberidae	-	-	2	6	2	6	2	6	-	-	-	-	-	-
Blattidae	-	-	20	14	20	14	20	14	-	-	-	-	-	-
Cerambycidae	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Chironomidae	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Coccinellidae	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Colubridae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Conopidae	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Cosmetidae	2	9	-	-	-	-	2	9	-	-	-	-	-	-
Cryptocercidae	-	-	-	-	-	-	12	10	-	-	-	-	-	-
Culicidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Curculionidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dipluridae	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dysderidae	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elateridae	-	-	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erebidae	-	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Forficulidae	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
Formicidae	-	-	-	-	-	-	76	88	-	-	76	88	-	-
Geotrupidae	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glomeridae	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-
Gryllidae	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
Halictidae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Helicidae	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Julidae	-	-	-	-	45	27	-	-	-	-	-	-	-	-
Lacertidae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Lumbricidae	-	-	-	-	200	458	200	458	-	-	200	458	-	-

Familia	Depredadores		Fitófagos		Detritívoros		Omnívoros		Parásitos		Microvívoros		Carnívoros	
	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE	EM	JDE
Nitidulidae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Noctuidae	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Passalidae	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pentatomidae	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phalangiidae	18	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Philopotamidae	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Pholcidae	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Phrynidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Ranidae	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
Reduviidae	4	2	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rhaphidophoridae	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-
Rhinotermitidae	-	-	9	12	9	12	9	12	-	-	-	-	-	-
Salticidae	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scarabaeidae	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Sclerosomatidae	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Scolopendridae	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scorpionidae	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sicariidae	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sparassidae	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1
Spirostreptidae	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-
Stylopidae	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
Tabanidae	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Tenebrionidae	3	1	3	1	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Tettigoniidae	-	-	14	6	14	6	14	6	-	-	-	-	-	-
Theraphosidae	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2
Therevidae	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Theridiidae	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thomisidae	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Veliidae	14	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	65	98	262	520	297	557	338	612	1	5	276	546	5	10

VI. CONCLUSIONES

Los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas Jardín del Edén y El Mono son poco complejos.

En ambos agroecosistemas, el principal indicador físico limitante es la textura del suelo (arcillosa), que afecta negativamente la porosidad del suelo y la infiltración del agua reduciendo la presencia de lombrices de tierra.

En ambos agroecosistemas, el pH es el principal indicador químico limitante, que afecta la disponibilidad de P, K y Ca y favorece la solubilidad de Mn, Fe y Al, y por consiguiente el desbalance intercатиónicas.

En ambos agroecosistema las poblaciones de lombrices de tierra no son idóneas, es decir inferiores a 100 individuos por metro cuadrado.

La diversidad alfa de la macrofauna edáfica fue superior en su abundancia y riqueza en el agroecosistema Jardín del Edén, cuyas poblaciones son menos uniformes y más dominantes.

En ambos agroecosistemas, las funciones de la macrofauna edáfica fueron: depredador, fitófaga, detritívoro, omnívoro, parásita, microvívoro y carnívoro, cuyas poblaciones son superiores en El Jardín del Edén.

En ambos agroecosistemas las familias Formicidae y Lumbricidae fueron las más abundantes.

VII. RECOMENDACIONES

En ambos agroecosistemas se debe aplicar abonos orgánicos para mejorar la porosidad e infiltración de agua y auxiliarse elaborando obras de drenajes.

Se debe utilizar material encalante que sea a beneficio de mejorar el pH, siendo a base de magnesio y aumentar aplicación de potasio.

La aplicación de fósforo en ambos agroecosistema se debe de ser con productos de baja solubilidad para lograr un buen aprovechamiento de este elemento.

Basados en los resultados de este estudio se debe implementar un plan de reconversión agroecológica en cada agroecosistema. Principalmente, porque estos agroecosistemas se localizan en la zona de amortiguamiento de la reserva biológica Indio Maíz.

VIII. LITERATURA CITADA

- Adriaanse, A. (1993, p. 92). Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2000). Agroecología, teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Altieri, M.A. Y Nicholls, C.I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. Colombia.
- Altieri, M. A y Nicholls, C. I. (20002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales, Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No.64 p.17-24, consultado en: <https://pdfs.semanticscholar.org/0be9/cb69f1c8ad981e6da39e6ea56c5574e69c5e.pdf>
- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods* (Segunda ed.). Wallingford, Inglaterra: CAB Internacional.
- Andrews, K.L; Caballero, R; Matute, D. (1989). Guía para el estudio de órdenes y familias de insectos de Centroamérica. Cuarta edición. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 1- 179p.
- Arango Gutiérrez, G.P., y Agudelo Betancur L. M. (s.f). Valor biológico de las cucarachas en el compost. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 1(1). P 1-3 Recuperado de:
- Ararat, MC; Aristizabal, M. (2002). Efecto de cinco manejos agroecológicos de un Andisol (Typic Dystrandep) sobre la macrofauna en el municipio Piendamó, departamento del Cauca, Colombia.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American J. of Alternative Agriculture 7: p., 25-31.
- Astier, C.M., Mass-Moreno, M. y Etchevers, B.J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia 36: 605-620.
- Ayala , JE.; Monterroso, LE. (1998). Aspectos básicos sobre la biología de la gallina ciega. El salvador. Guatemala.
- Bautista, A; Etchevers, J;. Del Castillo, R.F y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas 13 (2): 90-97, <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>
- Blake, G., and K. Hartge. (1986). Particle density. pp: 377-382. In: Klute, A. (Ed.). Methods of soil analysis. 2nd ed. ASA and SSSA. Madison WI. v.1.
- Brown, G.G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, C., Bueno, J., Moreno, A.G., Lavelle, P., Ordaz, V., y Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macro fauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57500006>
- Buol, S. W. (1995). Sustainability of soil use. Annual Review of Ecology and Systematic 26:25-44.
- Cabezas Melara, F.A. (1996). Introducción a la entomología. Trillas, S.A. México.
- Cabrera Dávila, G. C. (2014). La macro fauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo. Cuba: Rufford. Recuperado de: <http://www.rufford.org/files/Manual%20Pr%20C3%A1ctico%20Sobre%20la%20Macrofauna%20del%20Suelo.pdf>
- Cabrera, G. (2012). La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes, 35(4), 346-363.

- Cabrera, G., Robaina, N y Ponce de León D. (2011). Riqueza y abundancia de la Macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Pastos y Forrajes, Vol. 34, No. 3, (p. 313-330), 2011. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121083007>> ISSN 0864-039.
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. (1997, p. 90). Concepts of soil quality and their significance. En Soil quality for crop production and ecosystem health (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- CCRECRL (Comisión Coordinadora para la Recuperación de la Cuenca del Rio Lerma). (2009). Manual de conservación de suelo y agua. México. Recuperado de: <http://cuencalerma.edomex.gob.mx/sites/cuencalerma.edomex.gob.mx/files/files/Manuales/Manual%20de%20Conservaci%C3%B3n%20de%20Suelo%20y%20Agua.pdf>
- Coronado, R & Márquez, A. (1991). Introducción a la entomología. Morfología y taxonomía de los insectos. Limusa. México.
- Coto A, D. (1998). Estados inmaduros de insectos de los órdenes coleóptera, díptera y lepidóptera. Manual de reconocimiento. Turrialba. Costa Rica
- Díaz Torrez, K.,R (2019). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Siuna, Nicaragua.127 p.Sonco Suri, R. 2013. Estudio de la diversidad alfa y beta en tres localidades de un bosque montano en la región de Maddi, la Paz-Bolivia. (Tesis de grado). Universidad mayor de San Andrés. Recuperado de: http://www.mobot.org/PDFs/research/madidi/Sonco_2013_Thesis.pdf.
- Domínguez, J., Aíra, M., & Gómez, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Vigo, España.
- Doran, J. W., y Parkin T. B., (1994). Defning and assessing soil quality. In: Defning and Assessing soil quality for sustainable environment. USA: Soil Science Society of America.
- Doran, J.W., Sarrantonio, M. y Liebig, M.A. (1996). Soil Health and Sustainability. Advances in Agronomy Vol. 56. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. (1998, p. 92). Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.
- Fassbender, H; Bornemisza, E., (1994) Química del suelo con énfasis en suelo de América Latina. San José, Costa Rica.
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). (2004). Guía sobre prácticas de conservación de suelos. La Lima Cortes Honduras.
- García, L. (2015). Manual: Metodologías de campo para determinar la profundidad, la densidad aparente, materia orgánica e infiltración del agua en el suelo. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria.
- García, L.; Blandón, M.; Blandón, W.; Alamán, A.; López, Y.; García, O. Cáceres, C. (2017c). Balance aparente de nutrientes y evaluación de propiedades físicas y químicas del suelo. En: [Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. 2017c. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua. PP: 33-39. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>.](#)

- García, L.; Hodgson, M.; Martínez, P. y Rocah, J. (2017b). Balance aparente de nutrientes y caracterización de propiedades físicas y químicas del suelo. En: [Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. 2017b Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino, Las Lagunas, Boaco, Nicaragua.](#) PP: 25-31. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- García, L.; Suárez, G.; Gámez, N.; Mejía, A.; Urbina, D. y López, G.(2017a). Balance aparente de nutrientes y caracterización de propiedades físicas y químicas del suelo. En: [Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. 2017a. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café \(Coffea arabica L.\) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua.](#) PP: 33-45. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>.
- Gómez Anaya, JA. (2008). Ecología de los ensamblajes de larvas de odonatos (insecta) y su uso potencial como indicadores de calidad ecológica en la sierra de Coalcomán, Michoacán, México (en línea). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Consultado el 31 ene. 2017.
- Gregorich EC, Carter MR, Angers VC, Monreal M y Ellert BH. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soil. Can J. Soil Sci., 367-385.
- Hernández, R; Fernández, C y Baptista, M del Pilar. (1991). Metodología de la investigación. 5^{ta} edición, editorial Mc. Graw Hill, P: 612. Recuperado de: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigacion%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista. (2014). Metodología de la investigación. 6ta ed. México. D.F. pp. 57.
- Holldobler, B. y Wilson, E.O. (1990). The Ants. Belknap Press, Cambridge, Massachusetts
- Hünemeyer, A. J., De Camino, R., & Müller, S. (1997). Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: indicadores para la agricultura y los recursos naturales. Ed. M Araya. San José, CR, GTZ. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible, (4), 19-27.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (1989). El análisis de suelo, planta y agua para riego. Manual de Asistencia Técnica No 47. Bogotá.
- INIA. (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). (2003). Métodos y prácticas de conservación de suelo y agua. Rancagua Chile, Boletín N° 103, 132 P.
- INIDE-MAGFOR. 2013. IV CENAGRO (2011). Departamento de Boaco, Nicaragua INIDE.
- Jiménez, E. (2009). Entomología, Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Recuperado de: <http://repositorio.una.edu.ni/2458/1/nh10j61e.pdf>.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of America J. 61: 4-10.
- Kindt, R; Coe, R. (2005). Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies: World Agroforestry Centre (ICRAF) Nairobi. 207p. Recuperado de: <http://www.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/b13695.pdf>

- Lagn Ovalle, F.P., Pérez Vázquez A., Martínez Dávila, J.P., Platas Rosado, D.E., Ojeda Enciso L.A., González Acuña, I.J. (2011). Macro fauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, vol. 29, núm. 2, abril-junio, 2011, pp. 169-177 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Larson, W.E. y Pierce, F.J. (1991). Conservation and Enhancement of Soil Quality. In *Evaluation for sustainable land Ecosistemas* 13 (2). Mayo 2004. 96 management in the developing world. En *Proc. of the Int. Work-shop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*, Chiang Rai. pp. 175-203. 15-21 Sept. 1991. Int. Board of Soil Res. and Manage., Bangkok, Thailand.
- Martínez, A.; Vázquez, L. (2013). Características de la colindancia de cultivos en tres sistemas agrícolas convencionales y su relación con la incidencia de insectos nocivos y reguladores naturales (en línea). *Fito sanidad*. Vol. 17(2). 1-73p. Consultado el 02 mar. 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Luis_L_Vazquez_Moreno/publication/286646807_Andres_Martinez_y_Luis_L_Vazquez_Caracteristicas_de_la_colindancia_de_cultivos_en_tres_sistemas_agricolas_convencionales_y_su_relacion_con_la_incidencia_de_insectos_nocivos_y_reguladores_naturales_Fit/links/566cde6a08aea0892c4ff715.pdf.
- Mc Lean, E.O. (1982). Soil and Lime Requirement. *En*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. *Agronomy* 9:199-224.
- McGavin G.C. (2000). *Manual de identificación. Insectos. Arañas y otros Artrópodos terrestres*. Barcelona. Universidad de Cambridge. Ed. Omega, S.A.
- Mendoza Hernández, F; Gómez Sousa, J. (2006). *Entomología General. Pueblo y educación*.
- Moreno, A. G. (2002). *Catálogo (Annelida:Oligochaeta)*.
- Nicholls, C. (2008). *Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico*. Medellín, Colombia: universidad de Antioquia.
- OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development). (1991). *Environmental indicators for agriculture. Methods and Results*. Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, Francia.
- OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development). (1993). *Environment Monographs No. 83. OECD Core set of indicators for Environmental Performance Reviews*. OECD. Paris, Francia.
- OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development). (2003). *Soil organic carbon and agriculture: developing indicators for policy analyses. Proceedings of an OECD expert meeting*. (ed. Scott Smith, C.A). Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, Francia.
- Olsen, S.R.; Cole; Watanabe C.V. y Dean. L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Dep. of Agric. Circ.* 939.
- Reijntjes CB, Haverkort & A Waters-Bayer (1992) *Farming for the future*. MacMillan Press Ltd., London (p. 1).
- Rodríguez, H.R; Chavarría, B.R; Martínez y J.A; Rocha, D.J. (2017e). Macrofauna del suelo y su funcionalidad. *En*: Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. (2017e). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las lagunas, Boaco, Nicaragua*. PP: 31-42. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>.

- Rodríguez, H.R; Chavarría, B.R; Martínez, J.A; Rocha, D.J. (2017b). Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas. En: Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. 2017b. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las lagunas, Boaco, Nicaragua. PP: 19-24. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>.
- Rodríguez González, H. R., González Merlo, L. H., Herrera Moncada, H. J., Vargas Urbina, J. E., Laguna Ramírez, M. J., López Montenegro, G., & Medina Acuña, R. I. (2017a). Diagnósticos de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (*Coffea arabica* L.) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua (págs. 20-33). Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN.
- Rodríguez, H.R; Varga, J.E; Laguna, M.J; González, L.H; Herrera, H.J; López, G y Medina, R.I. (2017d). Macrofauna del suelo y su funcionalidad. En: Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. (2017c). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (*Coffea arabica* L.) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua. PP: 45-58. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>.
- Rodríguez, H.R; Aguilera, Y.J; Pilarte; M de A; Herradora, Y de A; Galeano, M.N; García, O.G y Cáceres, C.A. (2017c). Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas. En: Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. 2017. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua. PP: 21-33. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>.
- Rodríguez, H.R; Aguilera, Y.J; Pilarte; M de A; Herradora, Y de A; Galeano, M.N; García, O.G y Cáceres, C.A. (2017f). Macrofauna del suelo y su funcionalidad. En: Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. 2017. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua. PP: 40-46. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>.
- Salazar Centeno, D., J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Arsenio Calero, C. Morales Navarro, M. A. & Valverde Luna, L. O. (2017c). Evaluación Agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua. Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN. 82 p.
- Salazar Centeno, D., J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Arsenio Calero, C. Morales Navarro, M. A. & Valverde Luna, L. O. (2017b). Evaluación Agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua. Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN. 74 p.
- Salazar Centeno, D., J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Arsenio Calero, C. Morales Navarro, M. A. & Valverde Luna, L. O. (2017a). Evaluación Agroecológica de dos agroecosistemas café (*coffea arabica* L) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua. Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN. 92 p.

- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. y Rogers, H.H. (1997). Quantification of Soil Quality. En *Soil Process and the Carbon Cycle* (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A.), pp. 387-403, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Singer, M.J. y Ewing, S. (2000). Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Sonco Suri, R. (2013). Estudio de la diversidad alfa y beta en tres localidades de un bosque montano en la región de Maddi, la Paz-Bolivia. (Tesis de grado). Universidad mayor de San Andrés. Recuperado de: http://www.mobot.org/PDFs/research/madidi/Sonco_2013_Thesis.pdf.
- Sparling, G.P. (1997). Soil Microbial Biomass, Activity and Nutrient Cycling, as Indicators of Soil Health. En *Biological Indicators of Soil Health* (eds. Pankhursts, C.E., Doube, B.M. y Gupta, V.S.R.), p. 97-105, Cab International, Oxon, UK.
- SQI (Intituto de Calidad de Suelo). (1999) Guía para la Evaluación de la Calidad del Suelo, USDA.p 82.
- SQI (-Soil Quality Institute). (1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA, p. 92.
- Thomas, G.W. (1982). Exchangeable cations. *En*: A.L. Page, R.H. Miller y D.R. Keeney (eds) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties*. 2nd ed. Agronomy 9:159-165.
- USDA. (United State Department of Agriculture). (1996). Soil Survey Laboratory Manual. Version 3. Washington, D.C.
- Vázquez LL. Y Matienzo Y. (2006). Caracterización rápida de la diversidad biológica en los sistemas de producción agrícola, como base para el manejo agroecológico de plagas. En: IV curso-taller nacional del programa para la adopción de la lucha biológica y otras prácticas agroecológicas por el agricultor. Trinidad, Sancti Spiritus.
- Vásquez, L. (2013). Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. *Agroecología*, 8 (1): 33-42. Consultado en: <http://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182951/152441>
- Vázquez L, L. (2014). Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), Habana, Cuba
- Vázquez L, L.; Matienzo Brito, Y. (2010). Metodología para la caracterización rápida de la diversidad biológica en las fncas, como base para el manejo agroecológico de plagas. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), Ministerio de la Agricultura. Habana, CU. 1 - 4 p
- Vázquez, L.; Matienzo, Y.; Griffon, D. (2014). Diagnóstico participativo de la biodiversidad en fincas en transición agroecológica. Morelos, México. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2091/209143451003.pdf>
- Vázquez, L.L; Matienzo, Y y Griffon, D. (2011). Diagnóstico participativo de la biodiversidad en agroecosistemas en transición agroecológica. En Simposio Agroecosistemas y biodiversidad: taxonomía y manejo. III Congreso Latinoamericano de Agroecología. Oaxtepec, Morelos, México.

- Villalobos, F.J., Ortiz Pulido, C., Moreno, N.P., Pavón Hernández, H., Hernández Trejo, J., Bello, S.M. (1999). Patrones de la macro fauna edáfica en un cultivo de Zea maíz durante la fase Postcosecha en “La Mancha”, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 80. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S006517372000000200009&script=sci_arttext.
- Villani, M. *et al.* (1999) Adaptive strategies of edaphic arthropods. *Annual Reviews Entomology*. 44-233.
- Walkley, A. y Black, I.A. (1934). An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil. Sci.* 37:29-38
- Watler R, WJ.; & Thompson C, DD. (2002). Caracterización y clasificación de los suelos de la microcuenca Cuscamas, con una propuesta agroecológica del uso mayor de la tierra, El Tuma, La Dalia, Matagalpa. (en línea). Consultado 24 feb. 2017. Disponible en: <http://cenida.una.edu.ni/TESIS/TNP32W334.PDF>
- Wolters, V. (2000) Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils*. Zaldívar Suarez, N., Benítez Jiménez, D., Pérez Machado, B., Fernández Verdecía, Y., Licea Castro, L. 2009. Efecto de la vegetación sobre la biodiversidad de macro invertebrados del suelo en ecosistemas ganaderos.Cuba. *Revista Electrónica Granma Ciencia*, 13(1), pp 1-8. Recuperado de: http://www.grciencia.gramma.inf.cu/vol13/1/2009_13_n1.a4.pdf.
- Yong A. (2010). La biodiversidad florística en los sistemas agrícolas. *Cultivos Tropicales* (en línea). vol.31 (4): p 1-13. Consultado 25 abr. (2017. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000400012
- Zumbado, M. A. y Azofeifa, D. (2018). *Insectos de Importancia Agrícola. Guía Básica de Entomología*. Heredia, Costa Rica. Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO). 204 pp.
- MMA, (1998). Ministerio de Medio Ambiente: *Medio ambiente en Europa: Informe Dobris*, Madrid.
- Zaldívar Suarez, N.; Benítez Jimenez, D.; Pérez Machado, B.; Fernández Verdecía, YZ.; Licea Castro, L. (2009). Efecto de la vegetación sobre la biodiversidad de macro invertebrados del suelo en ecosistemas ganaderos (en línea). Cuba. *Revista Electrónica Granma Ciencia*, 13(1), pp 1-8. Consultado 05 abr. 2017. Disponible en: http://www.grciencia.gramma.inf.cu/vol13/1/2009_13_n1.a4.pdf
<http://lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/09698%20Valor%20biol%20c3%20b3gico%20de%20las%20cucarachas%20en%20el%20compost.pdf>
<http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/09698%20Valor%20biol%20C3%20B3gico%20de%20las%20cucarachas%20en%20el%20compost.pdf>.
 (<https://definicion.de/depredador/>).
- <https://www.significados.com/omnivor/>. (s.f.).
- http://www.ineter.gob.ni/Ordenamiento/files/suelos_rio_san_juan.pdf. (s.f.)
- <http://www.manfut.org/juan/plandesarrollo.html>. (s.f.)
- <https://salud.ccm.net/faq/15730-fitofago-definicion>. (s.f.)