



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

SEDE JUIGALPA

JOFIEL ACUÑA CRUZ

Trabajo de Tesis

Calidad de suelo y macrofauna edáfica en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.)

Autor

Br. Juan Noel Castro Guzmán

Asesores

Dr. Denis José Salazar Centeno

MSc. Leonardo José García Centeno

MSc. Hugo René Rodríguez González

Managua, Nicaragua
Febrero 2021



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
SEDE JUIGALPA
JOFIEL ACUÑA CRUZ

Trabajo de Tesis

Calidad de suelo y macrofauna edáfica en dos
diseños y manejos de la biodiversidad en
agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.)

Autor

Br. Juan Noel Castro Guzmán

Asesores

Dr. Denis José Salazar Centeno

MSc. Leonardo José García Centeno

MSc. Hugo René Rodríguez González

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

Managua, Nicaragua
Febrero 2021

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

Dr. Alvaro José Noguera Talavera
Presidente

Ing. José Antonio Vargas Pasos
Secretario

Ing. Juan José Oporta López
Vocal

Lugar y Fecha: **Juigalpa 24 de Abril 2021**

DEDICATORIA

A Dios por darme la sabiduría y fuerzas para culminar mi carrera, por la vida y el entendimiento para enfrentar los diferentes desafíos.

A mi hija Adriana Patricia Castro Brene que ha sido una luz de esperanza para finalizar mi carrera y a mi esposa Darlyn del Socorro Brene Gonzáles por su amor y apoyo económico siempre.

A mi padre, Juan Castro Portillo, por el deseo de superación que me ha enseñado. A mi Madre, Ernestina Andrea Picado Guzmán, por sus consejos y apoyo económico y por el amor verdadero que me brindan.

A mis hermanos: Evangelina del Carmen Castro Guzmán, Sorayda del Socorro Castro Guzmán, Greivin Alfonso Castro Picado, Deylin Eduardo Castro Guzmán por su apoyo incondicional y consejos para finalizar este trabajo.

A mis amigos de clases en especial a Álvaro Reynaldo Gómez López quien siempre estuvimos apoyándonos mutuamente en todo el proceso de este trabajo y profesores que me brindaron su apoyo el cual fue fundamental para mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Quiero brindar mis más sinceros agradecimientos a: Dios sobre todas las cosas por haberme dado la vida, la salud y el tiempo para culminar esta tesis.

A mi hija Adriana Patricia Castro Brene y a mi esposa Darlyn del Socorro Brene Gonzáles por su amor a diario que me llena de orgullo y satisfacción para seguir adelante en mi vida profesional y familiar.

A mis padres, Juan Castro Portillo y Ernestina Andrea Picado Guzmán, quienes siempre me aconsejaron para el bien de mi carrera y llegar hacer profesional.

A los productores Julio César Martínez Varela y a su familia que siempre nos apoyaron incondicionalmente para terminar este trabajo, a Victorino Reyes Ramírez y Ángel Alberto Martínez Sánchez quienes nos facilitaron sus fincas para desarrollar nuestro trabajo de tesis.

A nuestros asesores Dr. Dennis José Salazar Centeno, MSc. Hugo René Rodríguez González, MSc. Leonardo José García Centeno por su apoyo completo en todo el procedimiento de la tesis.

Al profesor Juan Carlos Fernández quien nos apoyó siempre a ingresar al proyecto que coordinaba en el departamento de Río San Juan junto a la Universidad Nacional Agraria y la Sede CNU-RSJ de San Carlos, quien nos brindó su apoyo en alojamientos y materiales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Agroecosistema	4
3.2. Evaluación de los diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas	6
3.3. Indicadores de calidad del suelo	8
3.4. Macrofauna invertebrada del suelo	10
3.5. Evaluación agroecológica de agroecosistemas	11
3.5.1. Evaluación agroecológica de agroecosistemas con cacao	12
3.5.2. Evaluación agroecológica de agroecosistemas con café	12
3.5.3. Evaluación agroecológica de agroecosistemas con ganado bovino	14
3.5.4. Evaluación agroecológica de agroecosistemas con granos básicos	16
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1. Ubicación y fechas de estudio	20
4.1.1. Clima del municipio de San Carlos	20
4.1.2. Suelo del municipio de San Carlos	20
4.1.3. Vegetación del municipio de San Carlos	21

4.2.	Diseño metodológico	21
4.2.1.	Grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad	22
4.2.2.	Determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo	23
4.2.3.	Determinación de la diversidad alfa, beta y funcionabilidad de la macrofauna invertebrada edáfica	27
4.2.4.	Análisis de datos	28
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1.	Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas	29
5.1.1.	Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva	29
5.1.2.	Manejo y conservación del suelo	31
5.1.3.	Manejo y conservación del agua	33
5.1.4.	Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos	36
5.1.5.	Diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar	38
5.1.6.	Estado de los elementos de la biodiversidad asociada	40
5.1.7.	Coefficiente del Manejo de la Biodiversidad	42
5.2.	Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad de los suelos de los agroecosistemas	47
5.2.1.	Indicadores físicos de los suelos de los agroecosistemas	48
5.2.2.	Indicadores químicos de los suelos de los agroecosistemas	51
5.2.3.	Indicador biológico de los suelos de los agroecosistemas	55
5.2.4.	Comparación de los indicadores de calidad de los suelos de los agroecosistemas	58
5.3.	Identificación taxonómica de la macrofauna, su diversidad alfa, beta y funcionalidad	62
5.3.1.	Diversidad alfa de la macrofauna invertebrada	62

5.3.2.	Diversidad beta de la macrofauna invertebrada	64
5.3.3.	Funcionalidad de la macrofauna invertebrada	65
VI.	CONCLUSIONES	71
VII.	RECOMENDACIONES	72
VIII.	LITERATURA CITADA	73
IX.	ANEXOS	81

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Agroecosistemas en estudio en Los Chiles, municipio de San Carlos, Río San Juan	22
2	Componentes, indicadores, fórmulas y coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB) (Vázquez Moreno, 2013, p. 34-38)	23
3	Nivel de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en el agroecosistema (Vázquez Moreno, 2013, p. 38)	24
4	Categorización de la presencia de materia orgánica (MO) en el suelo (García Centeno, 2017, p 25)	24
5	Categorías de valoración de los parámetros del suelo evaluados según (García Centeno, 2017, p. 28)	25
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 descritos en Díaz Torres, 2019, p. 10)	26
7	Categorías de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB) y del número de lombrices de tierra por metro cuadrado descritas en Díaz Torres, 2019, p. 10	26
8	Características físicas y químicas de las parcelas o lotes en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan	59
9	Disponibilidad de nutrientes (Kg ha^{-1}) en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan	60
10	Valores promedios de las características químicas de los dos agroecosistemas evaluados, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan	61
11	Roles funcionales de las familias taxonómicas de macrofauna identificadas en dos agroecosistemas con cacao (Los Mangos y Los Reyes), en Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Ubicación de los agroecosistemas en estudio (Los Reyes y Los Mangos) en la comunidad San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	20
2	Diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	31
3	Manejo y conservación del suelo (MCS) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	33
4	Manejo y conservación del agua (MCA) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	36
5	Manejo de las interacciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	38
6	Diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar (DAMB Au) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	40
7	Estado de los elementos de la biodiversidad asociada (EBAs) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	42
8	Coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	46
9	Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Los Reyes, propietario Victorino Reyes Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	50
10	Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Los Mangos, propietario Ángel Martínez Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	51
11	Comparación de los indicadores físicos, químicos y biológicos de los cuatro agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018.	60
12	Índice de biodiversidad alfa (Renyi) para las familias taxonómicas de la macrofauna en dos agroecosistemas con cacao (Los Mangos y Los Reyes), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018.	63
13	Índice de disimilitud Bray-Curtis para las familias de macrofauna edáfica en dos agroecosistemas con cacao (Los Mangos y Los Reyes), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019.	64

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Medición de infiltración en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua	81
2	Recolección de muestras para realizar análisis químicos del suelo en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua	81
3	Extracción de monolitos para la identificación de macrofauna en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua	82
4	Identificación morfológica de macrofauna recolectada en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua	83
5	Lista de árboles frutales, energéticos y maderables en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua	84

RESUMEN

En la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz es fundamental realizar evaluaciones de los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna edáfica e indicadores de calidad del suelo, cuya información es fundamental para el rediseño agroecológico de estos agroecosistemas. El objetivo del presente estudio consistió en evaluar la calidad de suelo y macrofauna invertebrada en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.), en Los Chiles, San Carlos; para lo cual se implementaron metodologías para estimar el grado de complejidad de agroecosistema, parámetros físicos y químicos de suelo y la del TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility). Los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes son poco complejos. En ambos agroecosistemas, el principal indicador de calidad físico limitante es la profundidad del suelo, el principal indicador químico limitante es la materia orgánica y el principal indicador biológico limitante son las poblaciones de lombrices de tierra. En ambos agroecosistemas, la diversidad alfa de la macrofauna edáfica fue muy similar. Se identificaron siete familias taxonómicas en el agroecosistema Los Mangos y ocho en el agroecosistema Los Reyes, con 116 y 182 individuos, respectivamente. En ambos agroecosistemas, las funciones de la macrofauna edáfica fueron: detritívoros, fitófagos, omnívoro, microvívoro-defoliador, ingenieros del suelo y polinizadores. Las funciones de depredadores y parasitoides se presentaron en el agroecosistema Los Reyes. En ambos agroecosistemas, las familias Lumbricidae y Julidae fueron las más abundantes y dominantes.

Palabras claves: Agroecología, Agroecosistemas, Macrofauna, Cacao, biodiversidad e indicadores del suelo.

ABSTRACT

In the buffer zone of the Indio Maíz Biological Reserve, it is essential to carry out evaluations of the designs and management of biodiversity, edaphic macrofauna and soil quality indicators, the information of which is essential for the agroecological redesign of these agroecosystems. The objective of this study consisted in evaluating the quality of soil and invertebrate macrofauna in two designs and management of biodiversity in agroecosystems with cacao (*Theobroma cacao* L.), in Los Chiles, San Carlos; for which methodologies were implemented to estimate the degree of complexity of the agroecosystem, physical and chemical parameters of the soil and that of the TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility). The designs and management of biodiversity in the Los Mangos and Los Reyes agroecosystems are not very complex. In both agroecosystems, the main limiting physical quality indicator is soil depth, the main limiting chemical indicator is organic matter and the main limiting biological indicator is earthworm populations. In both agroecosystems, the alpha diversity of the edaphic macrofauna was very similar. Seven taxonomic families were identified in the Los Mangos agroecosystem and eight in the Los Reyes agroecosystem, with 116 and 182 individuals, respectively. In both agroecosystems, the functions of the edaphic macrofauna were: detritivores, phytophagous, omnivore, microvivre-defoliator, soil engineers and pollinators. Predator and parasitoid functions were presented in the Los Reyes agroecosystem. In both agroecosystems, the Lumbricidae and Julidae families were the most abundant and dominant.

Keywords: Agroecology, Agroecosystems, Macrofauna, Cacao, biodiversity and soil indicators.

I. INTRODUCCIÓN

“En varios países de ALC [América Latina y El Caribe], el cacao [*Theobroma cacao* L.] es un cultivo tradicional de importancia, pues, desde la época de la colonia, ya se producía con fines de exportación, por lo que se ha constituido en un dinamizador de sus economías” (Sánchez, Iglesias, & Zambrano, 2019, p. 1).

En los últimos años, Nicaragua se ha posicionado en el comercio internacional de almendras secas fermentadas de cacao por la calidad de las variedades que se cultivan y ha sido reconocida como país productor de 100% de cacao fino y de aroma por la Organización Internacional del Cacao (Sánchez, Iglesias, & Zambrano, 2019, p. 11 y Orozco Aguilar & López Sampson, 2016, p. 9).

En Nicaragua, el cultivo de cacao fino o de aroma “se está promoviendo con un enfoque agroecológico” (Díaz Torres, 2019, p. 1), que tienen que establecerse en agroecosistemas agroforestales, en los que se deben implementar tecnologías y prácticas que se fundamenten en los principios de la agroecología, por consiguiente tienen que ser agroecosistemas muy complejos, biobiodiversos y multifuncionales. Vázquez Moreno (2013) destaca que:

La importancia de la biodiversidad para la reconversión de los sistemas de producción agropecuaria (SPA) hacia la sostenibilidad y la resiliencia, así como el valor que ésta tiene para la soberanía tecnológica, energética y alimentaria de los sistemas agrarios, demanda procesos de innovación local que contribuyan a generar diseños y manejos complejos, así como metodologías para evaluarlos (p. 33).

Por otra parte, la multifuncionalidad de los agroecosistemas consiste en la totalidad de bienes (Alimentos y materias primas), servicios ecosistémicos tangible e intangibles, y externalidades erigidos por las actividades agrícolas y que ejercen un impacto directo o indirecto sobre la economía y la sociedad en su conjunto; que responde a un amplio rango de factores ambientales, sociales, institucionales, culturales, políticos y económicos (Cotler-Ávalos & Lazos-Chavero, 2019, p. 553-555).

En el último quinquenio se ha prestado mucha atención a la evaluación agroecológica considerando indicadores de calidad de suelo, (Díaz Torres, 2019, págs. 39-45; García Centeno, et al., 2017, págs. 42-45; García Centeno, Hodgson Lacayo, Martínez Guzmán, & Rocha

Espinoza, 2017, págs. 28-31 y Garcia Centeno, et al., 2017, págs. 38-39), la macrofauna invertebrada y su funcionalidad (Díaz Torres, 2019, págs. 66-83; Rodríguez González, et al., 2017, págs. 45-58; Rodríguez González, Chavarría Díaz, Martínez Arauz, & Rocha Espinoza, 2017a, págs. 31-41 y Rodríguez González, et al., 2017. Págs. 40-46) y los diseños y manejos de la biodiversidad implementada por los agricultores (Díaz Torres, 2019, págs. 17-31; Rodríguez González, et al., 2017, págs. 20-33; Rodríguez González, Chavarría Díaz, Martínez Arauz, & Rocha Espinoza, 2017, págs. 19-24 y (Rodríguez González, et al., 2017, págs. 21-32) en agroecosistemas nicaragüenses con cacao, café, ganadería extensiva bovina y granos básicos. Estos agroecosistemas se localizan en la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN), la zona central, en Estelí y en la zona del pacifico nicaragüense, respectivamente.

En la presente tesis se abordan las temáticas descritas que son muy importantes para que los productores de la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz, que diversifican sus agroecosistemas con un sistema agroforestal con cacao, dispongan de una línea base para implementar un plan de reconversión de sus agroecosistemas basado en los principios de la agroecología.

Adicionalmente, los aportes de esta investigación permite a los productores de la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz auto evaluarse cómo ellos están manejando el suelo cimentado en indicadores de su calidad, o cómo lo han venido trabajando por muchos años, además los productores pueden tomar decisiones para intervenir en la mejora y rehabilitación de este recurso natural, que contribuya al fomento de las poblaciones de la macrofauna invertebrada al complejizar los diseños y manejos de la biodiversidad en sus agroecosistemas y que se empuje positivamente la multifuncionalidad de estos agroecosistemas.

Resultados sobre una evaluación integral de estos tres aspectos en San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua no se han reportado en la literatura. Con la presente tesis se evalúan los diseños y manejos de la biodiversidad, indicadores de calidad del suelo, y la macrofauna invertebrada y su funcionabilidad en dos agroecosistemas, en los que se ha integrado un subsistema agroforestal con cacao como parte de la diversificación de estos agroecosistemas, en esta zona agroecológica de nuestro país.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de suelo y macrofauna edáfica en dos diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.), en Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

2.2. Objetivos específicos

Estimar el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en dos agroecosistemas con cacao.

Determinar características físicas, químicas y biológicas del suelo para valorar su calidad en dos agroecosistemas con cacao.

Determinar la diversidad alfa, beta y funcionabilidad de la macrofauna invertebrada en dos agroecosistemas con cacao.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Agroecosistema

Von Bertalanffy (1976) propuso el Enfoque de Sistemas (ES) y la Teoría General de Sistemas (TGS) que son los cimientos del concepto y estudio de agroecosistemas (p. 30-53). Chiavenato (1976) plantea que:

La idea esencial del ES radica en que en los sistemas no hay unidades aisladas; por el contrario, todas sus partes actúan con una misma orientación y finalidad común, siendo necesario el funcionamiento correcto de los elementos que lo integran para el eficaz desempeño del todo en su conjunto (Von Bertalanffy, 1976, p. 10).

Por consiguiente, en todos los agroecosistemas están inherentes principios básicos relacionados con su estructura y funcionamiento. Altieri (1999) plantea que éstos son:

1. El agroecosistema es la unidad ecológica principal. Contiene componentes abióticos y bióticos que son interdependientes e interactivos, y por intermedio de los cuales se procesan los nutrientes y el flujo de energía.
2. La función de los agroecosistemas se relaciona con el flujo de energía y con el ciclaje de los materiales a través de los componentes estructurales del ecosistema el cual se modifica mediante el manejo del nivel de insumos. El flujo de energía se refiere a la fijación inicial de la misma en el agroecosistema por fotosíntesis, su transferencia a través del sistema a lo largo de una cadena trófica y su dispersión final por respiración. El ciclaje biológico se refiere a la circulación continua de elementos desde una forma inorgánica (geo) a una orgánica (bio) y viceversa.
3. La cantidad total de energía que fluye a través de un agroecosistema depende de la cantidad fijada por las plantas o productores y los insumos provistos mediante su administración. A medida que la energía se transfiere de un nivel trófico a otro se pierde una cantidad considerable para la futura transferencia. Esto limita el número y cantidad de organismos que pueden mantenerse en cada nivel trófico.
4. El volumen total de materia viva puede ser expresado en términos de su biomasa. La cantidad, distribución y composición de biomasa varía con el tipo de organismo, el ambiente físico, el estado de desarrollo del ecosistema y de las actividades humanas. Una gran proporción del componente orgánico en el ecosistema está compuesta de

materia orgánica muerta (DOM), en el cual la mayor proporción está compuesta de material de las plantas.

5. Los agroecosistemas tienden hacia la maduración. Estos pueden pasar de formas menos complejas a estados más complejos. Este cambio direccional es sin embargo inhibido en la agricultura moderna al mantener monocultivos caracterizados por la baja diversidad y la baja maduración.
6. La principal unidad funcional del agroecosistema es la población del cultivo. Esta ocupa un nicho en el sistema, el cual juega un rol particular en el flujo de la energía y en el ciclaje de nutrientes, aunque la biodiversidad asociada también juega un rol funcional clave en el agroecosistema.
7. Un nicho dentro de un agroecosistema dado no puede ser ocupado simultánea e indefinidamente por una población autosuficiente de más de una especie.
8. Cuando una población alcanza los límites impuestos por el ecosistema, su número debe estabilizarse o, si esto no ocurre, debe declinar (a menudo bruscamente) debido a enfermedades, depredación, competencia, poca reproducción, etc.
9. Los cambios y las fluctuaciones en el ambiente (explotación, alteración y competencia) representan presiones selectivas sobre la población.
10. La diversidad de las especies está relacionada con el ambiente físico. Un ambiente con una estructura vertical más compleja alberga en general más especies que uno con una estructura más simple. Así, un sistema silvicultural contendrá más especies que en un sistema basado en el cultivo de cereales. De manera similar, un ambiente benigno y predecible, alberga más especies que en un ambiente más impredecible y severo. Los agroecosistemas tropicales muestran una mayor diversidad que los templados.
11. En situaciones de cultivos que están aislados, las tasas de inmigración se tienden a equilibrar con las tasas de extinción. Mientras más cerca esté el cultivo isla a una fuente de población, mayor será la tasa de inmigración por unidad de tiempo. Mientras más grande sea el cultivo isla, mayor será su capacidad de carga para cada especie. En cualquier situación isla, la inmigración de las especies declina a medida que más especies se establecen y menos inmigrantes representan nuevas especies (p. 47-48).

No obstante, “El concepto de agroecosistema ha sido interpretado y utilizado de diversas formas acorde al contexto donde ha sido aplicado, se considera como la unidad de estudio, un modelo abstracto y método de investigación que permite estudiar la realidad” (Vilaboa Arroniz, 2018, p. 9).

Platas-Rosado, et al. (2017) destacan que:

El agroecosistema como proceso de producción se diseña para satisfacer las necesidades materiales de bienes y servicios de la sociedad. El controlador del proceso es el hombre que se encuentra en un contexto local, nacional y global de factores sociales determinantes con elementos naturales que condicionan su acción (p. 398).

3.2. Evaluación de los diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas

Vázquez, Matienzo, & Griffon (2014) aseveran que:

En la transición de la agricultura de sistemas convencionales a sostenibles sobre 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 (p. 151).

No obstante, la biodiversidad en agroecosistemas se continúa evaluando a través de:

índices que han sido diseñados para estudios del funcionamiento general de los ecosistemas no intervenidos (diversidad *Alfa*, *Beta* y *Gamma*); sin embargo, estos índices no son totalmente funcionales para caracterizar la diversidad de agroecosistemas en función de sus valores utilitarios y aportes medibles para la alimentación humana, de los animales y del recurso suelo, así como de necesidades complementarias asociadas al fortalecimiento del agroecosistema o de la espiritualidad humana (Leyva Galán & Lores Pérez, 2012, p. 109).

Vázquez Moreno & Matienzo Brito (2010) propusieron la primera versión de una metodología para la caracterización rápida de la biodiversidad en agroecosistemas con cinco componentes y sus respectivos indicadores. Estos componentes son: biodiversidad productiva con 11 indicadores, biodiversidad auxiliar con 10 indicadores, biodiversidad funcional con 11

indicadores, biodiversidad funcional introducida con nueve indicadores y biodiversidad nociva con siete indicadores, para un total de 48 indicadores (p. 6-7).

Esta primera propuesta metodológica para la caracterización rápida de la biodiversidad en agroecosistemas fue mejorada como consecuencia de varios años de innovación dando origen a su segunda versión. Ésta segunda versión contiene seis indicativos con sus respectivos indicadores:

1) Diseño y manejo de los elementos de la biodiversidad productiva (DMBPr) con 18 indicadores, 2) Manejo y conservación del suelo (MCS) con siete indicadores, 3) Manejo y conservación del agua (MCA) con cinco indicadores, 4) Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr) con siete indicadores, 5) Diseño y manejo de los elementos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu) con 15 indicadores y 5) Estado de los elementos de la biodiversidad asociada (EBAs) con 14 indicadores. El promedio aritmético de los seis indicativos determina el Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB), que clasifica o categoriza al agroecosistema basado en el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad que el agricultor ha implementado.

Primeramente, la aplicación de esta metodología consiste en hacer una investigación transversal, cuyos resultados se constituye en la línea de base para elaborar e implementar un plan de reconversión en el agroecosistema basado en los principios de la agroecología. Posteriormente, cada uno, dos o tres años, se puede aplicar esta metodología para constatar el grado de avance en el proceso de reconversión agroecológica, que se constituyen en estudios longitudinales (Vázquez Moreno, 2013, p. 33). Esta segunda versión permitió realizar un estudio transversal, que es parte de la presente tesis, para determinar el grado de complejidad de los agroecosistemas evaluados en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz.

También, es recomendable que la evaluación de los diseños y manejos de la biodiversidad en los agroecosistemas sea participativa, es decir a la par con las familias campesinas o productoras, debido a que es:

Possible evaluar por los propios agricultores, de manera sencilla y rápida, los elementos de la biodiversidad, su diseño y manejo, así como las principales interacciones que se logran, lo que constituye una herramienta útil para el diagnóstico inicial y de los avances

en la reconversión de sistemas de producción convencionales a sostenibles. Desde luego, aunque estos estudios no tienen la precisión que pudiera lograrse mediante los realizados por especialistas apoyados con servicios analíticos de laboratorios, contribuyen a las decisiones a nivel local y al aprendizaje de la importancia de la biodiversidad para la producción agropecuaria sostenible (Vázquez, Matienzo, & Griffon, 2014, p. 161).

3.3. Indicadores de calidad del suelo

Astier-Calderón, Maass-Moreno, & Etchevers-Barra (2002) enfatizan que;

La medición de la calidad de suelos mediante el empleo de indicadores permite entender cómo evoluciona el estado (capacidades y propiedades) de los suelos bajo determinados sistemas de manejo, particularmente para una agricultura sustentable. A diferencia de la antigua visión reduccionista, que sólo considera al suelo como fuente de nutrimentos y sostén para las plantas cultivadas, el concepto calidad de suelos ubica a este recurso como el centro de procesos ambientales a todos los niveles (p. 618).

Desde esa perspectiva, Navarrete Segueda, Vela Correa, López Blanco, & Rodríguez Gamin, (2011) plantean que:

Para el establecimiento de los indicadores de CS [Calidad de suelo] se debe considerar que sean fáciles de medir, que tomen en cuenta propiedades físicas, químicas, biológicas y cualitativas, ser accesibles, aplicables en condiciones de campo, sensibles a las variaciones del clima y manejo del suelo. Un enfoque de uso de indicadores de CS, no busca tener un grupo único de ellos, ya que cada ecosistema y agroecosistema responde a condiciones particulares. Estos indicadores permitirán que se apliquen políticas para la conservación del suelo, mejorar su calidad y revertir sus procesos de degradación, asimismo considerar su funcionalidad específica. Los indicadores de CS son una fuente de conocimiento importante porque facilitan la formulación de estrategias y acciones para la planeación territorial, el establecimiento de políticas, en la toma de decisiones, y para el aprovechamiento y conservación del recurso suelo (p. 29).

Por consiguiente, la calidad del suelo debe valorarse, principalmente, a través de indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones (SQI [Instituto de Calidad de Suelos], 2000, p. 7), que faciliten estar al corriente del estado del arte de la fertilidad del suelo

y su degradación, que es necesario saber para proponer acciones de manejo y evitar su degradación (Estrada-Herrera, et al., 2017, p. 813). García, Ramírez, & Sánchez (2012) plantean que la concepción de:

calidad del suelo es un término actual y necesario, que se debe considerar en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas. Los indicadores de la calidad del suelo constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global, y su estudio debe hacerse de forma particular, según las condiciones de cada agroecosistema (p. 135).

En el artículo titulado “naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad de suelo” se exterioriza que la textura, profundidad, infiltración y densidad aparente, capacidad de agua disponible, porosidad, compactación y estabilidad de los agregados deben ser los indicadores de calidad física de los suelos, porque éstos están relacionados cómo el suelo acepta, retiene y proporciona agua a las plantas, las condiciones que limitan el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración y el movimiento del agua dentro del perfil y promover el intercambio óptimo de gases.

También, se propone que la materia orgánica (C y N), pH, conductividad eléctrica, N, P y K extraíble y capacidad de intercambio catiónico deben ser considerados como indicadores químicos, debido a que éstos afectan las relaciones suelo-planta (calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y los microorganismos). Entre los indicadores biológicos se resaltan la biomasa microbiana (C y N), Nitrógeno potencial mineralizable (N), respiración del suelo y riqueza y abundancia de fauna. Estos indicadores se relacionan estrechamente con la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes, y los subproductos de su acción influyen de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Generalmente se refieren a la abundancia y subproductos de los las bacterias, hongos, nematodos, lombrices de tierra, anélidos y artrópodos. Adicionalmente, se proponen indicadores del relieve como: pendiente, orientación de la parcela, altitud y unidad geomorfológica (Forma del flujo del agua a lo largo de la ladera) (Navarrete Segueda, Vela Correa, López Blanco, & Rodríguez Gamin, 2011, p. 32-34). También, en los indicadores biológicos de la calidad de los suelos, entre la riqueza y macrofauna de invertebrados del suelo se debe considerar,

principalmente, el número de lombrices por metro cuadrado, y el rendimiento de los cultivos. Las lombrices por ser parte del grupo de ingenieros del suelo, al modificar la distribución y abundancia de las bacterias y hongos al interior del suelo, al contribuir al mejoramiento de su estructura y función con la incorporación de materia orgánica, formar agregados y mover partículas, influyendo así en la porosidad, aeración, infiltración y fertilidad; como consecuencia, promueven el crecimiento y productividad de las plantas. El rendimiento porque manifiesta la disponibilidad de los nutrientes en el suelo para que éstos expresen su rendimiento potencial (García, Ramírez, & Sánchez, 2012, p. 131-133 y Ortiz Gamino & Ortiz Ceballos, 2018, p. 13).

Para facilitar el análisis e interpretación de la calidad física y química de los suelos en los agroecosistemas por partes de las familias campesinas o agricultoras, García Centeno (2017) publicó un manual sobre metodologías de campo para determinar la profundidad, la densidad aparente, materia orgánica e infiltración del agua, textura y pH en el suelo, que se categorizan y se representan en gráficos de amebas o arañas, y pueden ser implementadas por las familias campesinas o agricultoras, si ellas son bien entrenadas (p. 9-28). A estas seis metodologías se les adicionó la capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de saturación de bases(%SB) y el número de lombrices por metro cuadrado, las que se implementaron en la tesis de maestría de Díaz Torres (2019, p. 39-45). También, en la presente tesis se consideran estas metodologías por su facilidad de aplicación y porque se pueden valorar estos indicadores físicos, químicos y biológico de los suelos de los agroecosistemas con la participación de los integrantes de las familias agricultoras o campesinas.

3.4. Macrofauna invertebrada del suelo

La macrofauna invertebrada edáfica está integrada por organismos “de más de dos centímetros de largo o más de dos milímetros de diámetro” (Bignell, et al., 2012, p. 91). Hay organismos que se alimentan de la hojarasca de la superficie del suelo (anécicas: lombrices y termitas), otros viven y se alimentan en la superficie del suelo (epigeicas: miriápodos, isópodos, lombrices de tierra), y los que viven en el interior del suelo y se alimentan de materia orgánica y raíces muertas (endógeicas: lombrices de tierra y termitas humivoras) (CIAT [Centro Internacional de Agricultura Tropical]–TSBF [Tropical Soil Biology and Fertility Program], s.f., p. 1).

La macrofauna del suelo puede ser clasificada en grupos funcionales, según la actividad que desempeñan, como ingenieros del suelo, detritívoros

(descomponedores), herbívoros y depredadores; todos ellos regulan los procesos edáficos del ecosistema suelo. Por otro lado, los macroinvertebrados son considerados indicadores de la calidad del suelo debido a que su diversidad, abundancia y funciones están fuertemente ligados al estrés y a cambios ambientales en las condiciones del suelo, asociados a las distintas prácticas de cultivo (labranza, aplicación de fertilizantes y plaguicidas entre otras) Almada, Szwarc, Vitti, Masin, & Cruz, 2019, p. 30).

Cabrera Dávila & López Iborra (2018) expone que:

Los macroinvertebrados regulan los procesos físico-químicos del suelo, y son valorados como bioindicadores de calidad o alteración ambiental. Entre los grupos funcionales de la macrofauna que determinan el equilibrio y el funcionamiento del medio edáfico se pueden encontrar los ingenieros del suelo o del ecosistema, los detritívoros de la hojarasca, los herbívoros y los depredadores. Los ingenieros del ecosistema cambian la estructura física del terreno, los detritívoros ayudan en la fragmentación de la hojarasca y estimulan el proceso de descomposición, y los herbívoros y los de predadores controlan la disponibilidad de los recursos del hábitat (p. 363-364).

3.5. Evaluación agroecológica de agroecosistemas

En Nicaragua se han realizado evaluaciones agroecológicas de agroecosistemas en las que se consideraron indicadores, ambientales, económicos y sociales, para lo cual se integraron la metodología de Vázquez Moreno (2013, p. 34-38), las metodologías de García Centeno (2017, p. 9-28), el método de muestreo de los macroinvertebrados edáficos del Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) basado en monolitos de suelo, cuyas dimensiones son 15cm*25cm*30cm (Anderson & Ingram, 1993, p. 44-46 y CIAT -TSBF, s.f., p. 2-3), la Herramienta de Evaluación de la Sostenibilidad en Fincas (HESOFI) (Bertinaria, 2015, p. 28-45) y estudios dasométricos y silviculturales de la flora forestal. Esta evaluaciones se realizaron en agroecosistemas con cacao, café, ganadería bovina y granos básicos, cuyos resultados, que corresponden a las tres primeras metodologías, se sintetizan a continuación.

3.5.1. Evaluación agroecológica de agroecosistemas con cacao

La evaluación agroecológica de agroecosistemas con cacao se realizó en la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN), municipio de Siuna, comunidad el Carao. Los agroecosistemas evaluados (Los Laureles y El Encanto) son colindantes y se localizan en la zona de transición de la reserva de la biósfera de BOSAWAS. Las conclusiones de esta publicación relacionadas con las metodologías que se aplicaron en este estudio son las siguientes:

El agroecosistema Los Laureles posee diseños y manejos de su biodiversidad “medianamente complejo y se gestiona bajo el paradigma agroecológico, mientras que el 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. En ambos agroecosistemas, en general 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 es alta y la capacidad de intercambio catiónico es baja.

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. En ambos agroecosistemas con cacao, las poblaciones de las familias de la macrofauna edáfica desempeñan las funciones de: detritívoros, omnívoros, fitófagos, depredadores y microvívoros (Díaz Torres, 2019, p. 96-97).

3.5.2. Evaluación agroecológica de agroecosistemas con café

La evaluación agroecológica de agroecosistemas con café se realizó en San Ramón, Matagalpa y Condega, Estelí. En ambas localidades los agroecosistemas eran colindantes (San Ramón, La espadilla y La Vecina; Condega: Linda Vista y El Milagro de Dios). Las reflexiones de esta publicación relacionadas con las metodologías que se aplicaron en este estudio son las siguientes:

Los agroecosistemas Linda Vista y El Milagro de Dios se localizan en un área de reserva, en Los Alpes, El Bramadero, Condega, Estelí. El primero se categorizó con diseños y manejos de su biodiversidad medianamente complejos (mc) y se gerencia bajo principios agroecológicos El agroecosistema, El Milagro de Dios, con diseños y manejos de su biodiversidad pocos complejos (pc) se gerencia bajo el paradigma o enfoque convencional.

El agroecosistema más complejo es La Espadilla en San Ramón, Matagalpa, se gerencia bajo el paradigma o modelo agroecológico. El agroecosistema La Vecina se gerencia bajo el paradigma o enfoque convencional.

De los cuatro agroecosistemas con café analizados, en dos de ellos, La Espadilla (complejo) en San Ramón, Matagalpa y Linda Vista (medianamente complejo) en Condega, Estelí, se ha implementado una serie de prácticas agroecológicas, pero éstas no son suficientes para alcanzar, en plenitud, el paradigma agroecológico, debido a que en ambos agroecosistemas se necesita fortalecer indicadores agroambientales, económicos y socio-político-cultural para que en el futuro se consideren auténticos referentes nacionales, mesoamericanos y latinoamericanos de sistemas de producción agroecológicos. No obstante, hay que resaltar que ambos productores (Vicente Padilla y Julio Cesar Muñoz Peralta) están organizados y comprometidos con el paradigma de producción agroecológico, lo que ha permitido que ambos agroecosistemas estén en el tránsito hacia la sostenibilidad y la resiliencia.

Los resultados demostraron que independientemente del grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en el agroecosistema (medianamente complejo vs complejo, poco complejo vs medianamente complejo) y si la fertilización es orgánica o sintética, ésta última debe satisfacer las necesidades nutricionales del sistema agroforestal con café, independientemente si el cafetal está produciendo, en desarrollo o en recepo, para lo cual es fundamental garantizar un manejo responsable de los nutrientes bajo los principios de la 4R..

Es decir, cada parcela (independientemente de sus características) debe ser manejada cumpliendo el concepto de “mantención de la fertilidad natural del suelo”, cada manejo debe lograr salvaguardar la fertilidad del suelo reponiendo todo lo que sale del sistema. Cuando a una parcela se le incorpora materia orgánica, y los niveles de nutrientes en ésta

no son los suficientes para reponer lo que sale del agroecosistema, éste se agotara paulatinamente.

En ambos agroecosistemas que se gerencia bajo el paradigma agroecológico (La Espadilla (complejo) en San Ramón, Matagalpa y Linda Vista (medianamente complejo) en Condega, Estelí), las familias taxonómicas de la macrofauna edáfica fueron más rica, con una mejor uniformidad, menor dominancia y mejor equidad, cuyas poblaciones fueron mayores. Estos agroecosistemas poseen, comparativamente, diseños y manejos de su biodiversidad más complejos, en los que se identificaron más especies de plantas arbóreas, las que ofertan un menú más variado a la macrofauna edáfica fomentando sus poblaciones. En los cuatro agroecosistemas, la macrofauna edáfica desempeña las funciones de: detritívoros, fitófagos, depredadores y omnívoros. Únicamente en los agroecosistemas en Condega, Estelí, se registraron familias taxonómicas que desarrollan la función de microvívoros (Salazar Centeno, et al., 2017a, p. 33, 78 y 79).

3.5.3. Evaluación agroecológica de agroecosistemas con ganado bovino

La evaluación agroecológica de agroecosistemas con ganado bovino se realizó en Las Lagunas, Boaco. Ambos agroecosistemas eran colindantes (Buena Vista y San Juan). Las reflexiones de esta publicación relacionadas con las metodologías que se aplicaron en este estudio son las siguientes:

El agroecosistema Buena Vista es caracterizado como un agroecosistema con diseños y manejos de su biodiversidad complejos y se gerencia bajo el paradigma agroecológico. Esto se manifestó 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 agroecosistema San Juan es categorizado como un agroecosistema con diseños y manejos de su biodiversidad poco complejos y se gerencia bajo el paradigma convencional. Esto se exteriorizó 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, Juan José García, 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. 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 debe 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 caracterizó 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.

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 (mulch, hojarascas 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 microbiología 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 Centeno D. J., et al., 2017b, p. 64-65).

3.5.4. Evaluación agroecológica de agroecosistemas con granos básicos

La evaluación agroecológica de agroecosistemas con granos básicos se realizó en Diriamba, y Chinandega. En ambas localidades los agroecosistemas eran colindantes (Diriamba: El Chipote y El Manantial; Chinandega: Santa María y Santa Rosa). Las reflexiones de esta publicación relacionadas con las metodologías que se aplicaron en este estudio son las siguientes:

De los cuatro agroecosistemas con granos básicos analizados, en dos de ellos, El Chipote (medianamente compleja) en Diriamba y Santa María (poco compleja) en Chinandega, se ha implementado una serie de prácticas agroecológicas, pero éstas no son suficientes para alcanzar, en plenitud, el paradigma agroecológico, debido a que en ambos agroecosistemas se necesita fortalecer indicadores agroambientales, económicos y sociopolítico-cultural para que en el futuro se consideren verdaderos referentes nacionales de sistemas de producción agroecológicos. No obstante, hay que resaltar que ambos productores son promotores agroecológicos calificados, están organizados y comprometidos con el paradigma de producción agroecológico, lo que ha permitido que ambos agroecosistemas estén en el tránsito hacia la sostenibilidad y la resiliencia. Por consiguiente, estos productores deben hacer un rediseño agroecológico de sus agroecosistemas considerando los resultados de estas investigaciones para complejizar los diseños y manejos de la biodiversidad, mejorar los indicadores agroambientales, económicos y socio-político-culturales con la finalidad de lograr, a mediano y largo plazo, la soberanía alimentaria, energética y tecnológica.

Agroecosistemas con granos básicos, con el mismo nivel de complejidad de sus diseños y manejos de su biodiversidad pueden ser gerenciados con diferentes paradigmas productivos, como es el caso de las fincas Santa María y Santa Rosa en Chinandega; y El Manantial en Diriamba, que fueron caracterizadas por sus diseños y manejos de su biodiversidad como fincas poco complejas. La agricultora de la finca Santa María gerencia su agroecosistema bajo el paradigma o modelo agroecológico, mientras que el agricultor del agroecosistema Santa Rosa lo hace bajo el paradigma convencional. El agricultor del agroecosistema El Manantial realiza una gerencia combinando ambos paradigmas o modelos.

Las menores pérdidas de N, P y K se determinaron en los agroecosistemas, en los se ha implementado prácticas agroecológicas (El Chipote y Santa María), pero es necesario un rediseño agroecológico y garantizar con precisión las fuentes (¿Qué aplicar?), las cantidades (¿Cuánto aplicar?), las forma de aplicación (¿Cómo aplicarlo?) y el momento de aplicar (¿Cuándo?) los nutrientes mediante fertilizantes orgánicos (sólidos y líquidos) enriquecidos con microorganismos de montaña y/o harina de roca para el crecimiento y

desarrollo de los cultivos, de modo que los balances de estos nutrientes sea cero año con año (en equilibrio) y así conservar sosteniblemente la calidad y fertilidad, a largo plazo, del recurso suelo. En la estrategia deben incluirse el asocio y/o barbechos con leguminosas arbustivas e incorporarlos, de modo que aumenten las ganancias de N en el sistema y el mejoramiento general de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

En los agroecosistemas El Chipote (medianamente compleja) y El Manantial (poco compleja), en Diriamba, tienen a las familias Lumbricidae (lombrices) y Theridiidae (arañas) con alta disimilitud, indicando que ambas fincas son disimiles en la presencia de dichas categorías taxonómicas, por condiciones de manejo diferidas. Ambas familias se presentaron en mayor proporción en la finca El Chipote. La sensibilidad al manejo por parte de ambas familias presentes en estos agroecosistemas donde el agroecosistema “medianamente complejo” supera al “poco complejo” implica la pérdida del desempeño de funciones depredadoras y detritívoras en el agroecosistema El Manantial.

En el agroecosistema Santa María se implementan prácticas para la conservación y restitución de suelos que no necesariamente aumentan la materia orgánica disponible para la macrofauna. El compost incorporado en este agroecosistema es un tipo de abono que mejora las características del suelo, siendo un material ya procesado, que deja un menor aporte en términos de fuente alimenticia para la macrofauna del suelo. En el agroecosistema Santa Rosa se presentó una mayor diversidad de macrofauna a causa del rubro ganadero y sus aportes directos con estiércol fresco en el suelo, proporciona más alimento para la diversidad de organismos edáficos. El agroecosistema Santa María tiene un mayor número de árboles, pero su diversidad de especies es menor en comparación al agroecosistema Santa Rosa generándose, en este último, influencia sobre los posibles nichos ecológicos formados en cada una de las áreas arborizadas de la finca.

La familia Carabidae (escarabajos) tiene funciones depredadoras que ayudan a controlar las poblaciones de múltiples organismos nocivos. Una menor presencia en el agroecosistema Santa María, en Chinandega, resultó en una alta disimilitud según el índice de Bray-Curtis. Los carábidos por naturaleza les gusta vivir en suelos con incorporación de estiércol fresco porque son depredadores y dentro de su lista de presas

están las larvas del orden díptera, en este caso las larvas de moscas que se desarrollan en el estiércol del ganado bovino presentes en el agroecosistema Santa Rosa. El estiércol fresco estimula el aumento de poblaciones de carábidos en Chinandega, que son muy importantes para la agroecología. Esto demuestra la importancia del componente animal bovino en los agroecosistemas con granos básicos para garantizar la presencia de escarabajos en los agroecosistemas, pero el área de éstos y las condiciones agroclimáticas son fundamentales para su crianza (Salazar Centeno D. J., et al., 2017c. p. 72-74).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación y fechas de estudio

La evaluación de la calidad de suelo y macrofauna invertebrada en dos diseños y manejos de la biodiversidad con agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.), se realizó en San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, entre el período comprendido de 2017 al 2018. En las figuras 1 y 2 se muestra la ubicación de los dos agroecosistemas, cuyos nombres son Los Reyes y Los Mangos, con su respectivo croquis.

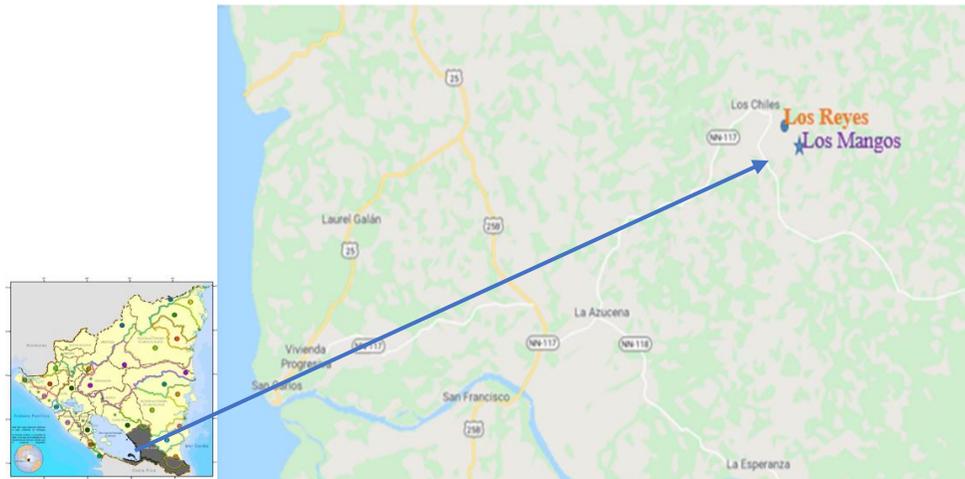


Figura 1. Ubicación de los agroecosistemas en estudio (Los Reyes y Los Mangos) en la comunidad San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

4.1.1. Clima del municipio de San Carlos

El clima del municipio de San Carlos está catalogado de monzónico tropical, con una temperatura que oscila entre los 25° y 26' C., con precipitación anual que varía entre los 2,000 y 2,400 mm. La zona tropical lluviosa sin período seco corto, cubre las cuencas de los ríos Sábalos, Tule y Camastro abarca los alrededores de San Carlos, el período seco va de 1 a 4 meses (EcuRed [Enciclopedia cubana en la red], 2019, párr. 14-15).

4.1.2. Suelo del municipio de San Carlos

En el municipio predominan tres grupos de suelos: Suelos arcillosos, negros, pesados, con problemas de drenaje, distribuidos en el litoral noroccidental del Lago Cocibolca; Suelos arcillosos, amarillentos y rojizos, kaoliníticos formados en las rocas del Terciario Suelos

orgánicos pantanosos distribuidos en las zonas bajas del litoral meridional en las proximidades de Papaturro.

Los Ordenes de suelos identificados, son los siguientes: Molisoles (42.62 Km², 3.15%), Vertisoles (191.43 Km² y 14.18%), Alfisoles (209.72 Km², 15.53%), Ultisoles (375 Km², 27.7%), Entisoles (198.01 Km², 14.66%), Inceptisoles (232.01 Km², 17.18%), Histosoles (101.45 Km², 7.60%) (PIMM [Plan de Inversión Municipal Multianual], 2002)

El sitio San Carlos en términos de uso y cobertura del suelo muestra un nivel de alteración significativo en su cobertura natural. Dicha transformación es explicada fundamentalmente por la presencia y expansión de pastos (52.7% del área) destinados a la ganadería. Esa situación obliga a plantear el conjunto de soluciones (políticas, jurídicas, institucionales, financieras, tecnológicas) que detengan el proceso de deterioro que se evidencia (IPS [Instituto de políticas para la Sostenibilidad], 2004, p. 14).

4.1.3. Vegetación del municipio de San Carlos

La situación forestal local es crítica. En el municipio no existen bosques para la explotación comercial debido a que fueron exterminados para dar paso a las actividades ganaderas y de producción de granos básicos. Los pocos rodales existentes protegen áreas accidentadas y riberas de ríos destacándose especies arbóreas como guarumo, poroporo, ceiba, cedro real, poponjoche, elequeme, guabo, espavel, guapinol, roble, cortez, sangregado, jabillo y papaturro. Los bosques latifoliados densos están reducidos a pequeñas áreas no mayores de 50 hectáreas por lo general, ubicadas en la parte colindante al municipio de El Castillo (PIMM, 2002).

4.2. Diseño metodológico

El tipo de investigación de la evaluación de la calidad de suelo y macrofauna invertebrada en dos diseños y manejos de la biodiversidad con agroecosistemas con cacao en Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, corresponde a un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), cuyo alcance es descriptivo y correlacional y con un diseño no experimental del tipo transeccional o transversal para lo cual se aplicaron diferentes metodologías.

En el enfoque mixto de una investigación se combinan tanto el enfoque cuantitativo como el cualitativo. En el alcance descriptivo se especifican propiedades, características y rasgos importantes del fenómeno que se analiza y se describen tendencias de un grupo o población,

mientras que en el alcance de una investigación correlacional se asocian variables mediante un patrón para un grupo o población. El diseño de investigación no experimental transeccional o transversal se caracteriza por la recolección de datos en un único momento (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, p. 3 -119). La metodología utilizada en ambos agroecosistemas se aplicó en un único momento, sin manipulación de variables que es típico del diseño no experimental.

Los agroecosistemas se subdividieron en lotes o parcelas considerando pendiente, vegetación, cultivos anuales, cultivos perennes, ganado y pastos, lo que se expresa en el cuadro 1. Los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes se subdividieron en cuatro lotes o parcelas (Figura 2, Cuadro 1).

Cuadro 1. Agroecosistemas en estudio Los Chiles, municipio de San Carlos Río San Juan

Lote o parcela	Agroecosistemas	
	Los Reyes	Los Mangos
I	Cacao (0.5 ha)	Granos básicos y yuca (3 ha)
II	Bosque 1 (1 ha)	Cacao (1 ha)
III	Pasto natural (22.5 ha)	Pasto mejorado (2.5 ha)
IV	Bosque 2 (0.5 ha)	Pasto natural (3 ha) Casa (0.5 ha)
Total	25 ha	10 ha

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 Moreno, (2013, p. 34-38), que tiene seis indicativos, 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.

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

La determinación de las características o indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo para valorar su calidad 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}) (Anexo 1), materia orgánica (MO) a través del efecto de agua oxigenada al 30% y categorizarla según el cuadro 4, pH mediante cinta y textura a través del tacto. Para que el campesino pueda, en un futuro, ir evaluando su agroecosistema, se utilizaron métodos de campo debidamente calibrados elaborado por García Centeno (2017, p. 9-28).

Cuadro 2. Componentes, indicadores, fórmulas y coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB) (Vázquez Moreno, 2013, p. 34-38)

Indicativos	Indicadores	Fórmula	CMB
Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva (DMBPr)	18	$\text{DMBPr} = \Sigma (2\text{Pr}1 + \text{Pr}2 + 2\text{Pr}3 + \text{Pr}4 + \text{Pr}5 + \text{Pr}6 + \text{Pr}7 + \text{Pr}8 + \text{Pr}9 + \text{Pr}10 + \text{Pr}11 + 3\text{Pr}12 + \text{Pr}13 + \text{Pr}14 + \text{Pr}15 + \text{Pr}16 + \text{Pr}17 + 2\text{Pr}18) / 23$	Coficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB)
Manejo y conservación del suelo (MCS)	7	$\text{MCS} = \Sigma (2\text{S}1 + \text{S}2 + \text{S}3 + 2\text{S}4 + \text{S}5 + \text{S}6 + \text{S}7) / 9$	
Manejo y conservación del agua (MCA)	5	$\text{MCA} = \Sigma (\text{A}1 + \text{A}2 + 2\text{A}3 + 2\text{A}4 + \text{A}5) / 7$	
Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr)	5	$\text{MISRPr} = \Sigma (\text{I}1 + 2\text{I}2 + \text{I}3 + 2\text{I}4 + \text{I}5) / 7$	
Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu)	15	$\text{DMBAu} = \Sigma (2\text{Au}1 + \text{Au}2 + 2\text{Au}3 + \text{Au}4 + 3\text{Au}5 + \text{Au}6 + \text{Au}7 + 2\text{Au}8 + \text{Au}9 + 2\text{Au}10 + \text{Au}11 + \text{Au}12 + \text{Au}13 + 2\text{Au}14 + \text{Au}15) / 22$	
Elementos de la biodiversidad asociada (EBAs)	14	$\text{EBAs} = \Sigma [\text{As}1 + \text{As}2 + \text{As}3 + \text{As}4 + \text{As}5 + \text{As}6 + \text{As}7 + \text{As}8 + \text{As}9 + \text{As}10 + 2\text{As}11 + \text{As}12 + 2\text{As}13 + \text{As}14] / 16$	
		$\text{CMB} = \Sigma (\text{DMBPr} + \text{MCS} + \text{MCA} + \text{MISRPr} + \text{DMBAu} + \text{EBAs}) / 6$	
6	64		1

Cuadro 3. Nivel de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en el agroecosistema (Vázquez Moreno, 2013, p. 38)

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)

Cuadro 4. Categorización de la presencia de materia orgánica (MO) en el suelo (García Centeno, 2017, p 25)

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 calcular la porosidad del suelo.

Adicionalmente se tomó una muestra de suelo por lote, al azar, a una profundidad de 20 cm, para un total de cuatro muestras por agroecosistema, a las que se les determinaron macro y micro elementos (Anexo 2), 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 intercатиónicas y el porcentaje de saturación de bases (SB).

Cuadro 5. Categorías de valoración de los parámetros del suelo evaluados según (García Centeno, 2017, p. 28)

Categorías	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

Finalmente se consideró el número de lombrices de tierra por metro cuadrado. En el cuadro 6 se observan los parámetros evaluados en el laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Nacional Agraria sobre las muestras recolectadas, la profundidad del muestreo, los métodos empleados en el laboratorio con su respectiva fuente. Los valores 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 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 descritos en Díaz Torres, 2019, p. 10)

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 modificado.	Instituto Colombiano
Cu (ppm)	Medición en absorción atómica.	Agropecuaria, ICA (1989)
Zn (ppm)		
Mn (ppm)		
CIC	Método del acetato de amonio, NH ₄ OAc, pH 7.0 1N	USDA (1996)
Textura	Bouyucu	Blake y Hartge (1986)

*: Todas las muestras fueron tomadas a 20 cm de profundidad.

Cuadro 7. Categorías de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB) y del número de lombrices de tierra por metro cuadrado descritas en Díaz Torres, 2019, p. 10)

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 a64
4	36 - 45	46 – 85	65 a 99
5	> 45	> 86	Más de 99

4.2.3. Determinación de la diversidad alfa, beta y funcionabilidad de la macrofauna invertebrada edáfica

La determinación de la diversidad alfa, beta y funcionabilidad de la macrofauna invertebrada en los dos agroecosistemas con cacao, se llevó a cabo utilizando la metodología de muestreo del Tropical Soil Biology and Fertility Programme 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 20 muestras por agroecosistema, con distanciamiento de cinco metros entre monolitos (Anexo 3), obtenidos en zigzag 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 (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 la Universidad Nacional Agraria Sede Juigalpa para su respectiva identificación (Anexo 4). 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 Stereo Microscop serie SZM y se detallaron sus características morfológicas para ser clasificados taxonómicamente desde Phylum hasta familia.

Para la identificación taxonómica se utilizaron claves taxonómicas de diferentes literaturas como McGavin, (2000, p. 1-129), Cabrera-Dávila (2014, p. 9-21), Nájera Rincón & Souza (2010, P. 14-58) y Maes (2007, p. 14-496). 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 Moreno, (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 cuadros y gráficos de araña o ameba.

La determinación de la diversidad alfa, beta y funcionabilidad de la macrofauna invertebrada edáfica se presenta en cuadros de frecuencia. Con los datos de la diversidad alfa y beta de la macrofauna invertebrada 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 Anaya, 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.

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. Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas

El diagnóstico de los diseños y manejo de la biodiversidad se realizó en dos agroecosistemas con cacao comunidad San Agustín, Los Chiles, Río San Juan, Nicaragua, cuyo propósito consistió en determinar el grado de complejidad de la biodiversidad que en cada agroecosistema los agricultores han planificado y gestionado, mediante metodología de Vázquez Moreno (2013, p. 34-38)

En Nicaragua, se han publicados resultados de la aplicación de la metodología de Vázquez Moreno (2013, p. 34-38) en diferentes zonas agroecológicas y agroecosistemas con 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. Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva

Vázquez, Matienzo y Griffon, (2011) conceptualizan a la “biodiversidad productiva como la biota introducida que se planifica y se cultiva o se cría con fines económicos” (Vázquez Moreno, 2013, p. 34).

El valor del componente de los diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr), es superior en el agroecosistema Los Mangos 2.91 (figura 2); debido a que, de los dieciocho indicadores, cinco de ellos alcanzan el valor óptimo (4) y siete indicadores tienen un valor de tres. El agricultor del agroecosistema Los Mangos, el señor Ángel Alberto Martínez Sánchez, ha integrado más de tres tipos de rubros productivos vegetales y animales (Pr₁) con una diversidad de especies de cultivos herbáceos y arbustivos (Pr₂) tales como cacao (*Thebroma cacao* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), frijol, (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.), pastos (mejorado y natural), y siete especies de árboles frutales (Anexo 5), cuyas funciones son de aprovisionamiento alimentario y el excedente para la venta, un sistema agroforestal con cacao, árboles dispersos en los potreros y cercas vivas. También, se identificaron 18 especies arbóreas maderables (Cuadro 1a) para autoconsumo y venta; y ganado bovino de doble propósito.

El agroecosistema Los Mangos cuenta con sistemas agroforestales en el 65 % del área con más de cuatro especies (Pr₇ y Pr₈) de árboles dispersos (Frutales, maderable y energéticas) en los potreros (2.5 ha con pasto mejorado y 3 ha con pasto natural) y de sombra en el cacaotal (1 ha). Produce al menos el 70% del material de siembra para los granos básicos (Pr₁₄). El origen de las variedades vegetales y de las razas para los animales domésticos es de al menos el 60% propia (Pr₁₅, Pr₁₆ y Pr₁₇) y es autosuficiente en alimentos para la crianza de animales (Pr₁₈).

En el agroecosistema Los Reyes el valor del componente de los diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr), es de 2.09 (figura 2). Cinco de los 18 indicadores están en su óptimo valor (4) y dos de ellos alcanza un valor de 3. En el agroecosistema están establecidos dos sistemas agroforestales: Uno de cacao (0.5 ha) bajo sombra, muy pequeño; y 22.5 ha con Retana (pasto natural) con pocos árboles dispersos, donde se alimenta el ganado bovino de doble propósito. En ambos agroecosistemas agroforestales se identificaron siete especies forestales (Cuadro 1a); que son utilizados para sombra permanentes, leña, madera y cercas vivas, que representa un activo para el agricultor, el señor Victorino Reyes Ramírez; y 3 especies frutales (Anexo 5); éstas últimas son para autoconsumo. Produce el 100% del material del pasto Retana en el agroecosistema (Pr₁₄ y Pr₁₅). La procedencia de los pies de cría y el origen de las razas para los animales bovinos es de al menos el 60% propia (Pr₁₆ y Pr₁₇), y es autosuficiente en alimentos para la crianza de animales (Pr₁₈).

Ambos agroecosistemas se localizan en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz, por lo que es perentorio que sus propietarios complejicen los diseños y manejos de la biodiversidad para optimizar los sinergismos de la biodiversidad a lo interno y externo del suelo y que estos agroecosistemas resisten más a los embates del cambio climático y que sean más resilientes. En Centro América y México, se ha evidenciado que el impacto de huracanes es menor en agroecosistemas diversificados con cultivos de cobertura, sistemas intercalados, sistemas agroforestales con café, sistemas silvopastoriles y policultivos; por consiguiente, estos agroecosistemas son más resilientes a los efectos causados por el cambio climático, en comparación con agroecosistemas simplificados como los monocultivos (Altier & Nicholls, 2013, p. 10-11). Por otra parte en:

la transición de la agricultura de sistemas convencionales a sostenibles sobre 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, Matienzo, & Griffon, 2014, p. 151).

—▲· Los Reyes (2.09) — Óptimo —●— Los Mangos (2.91)

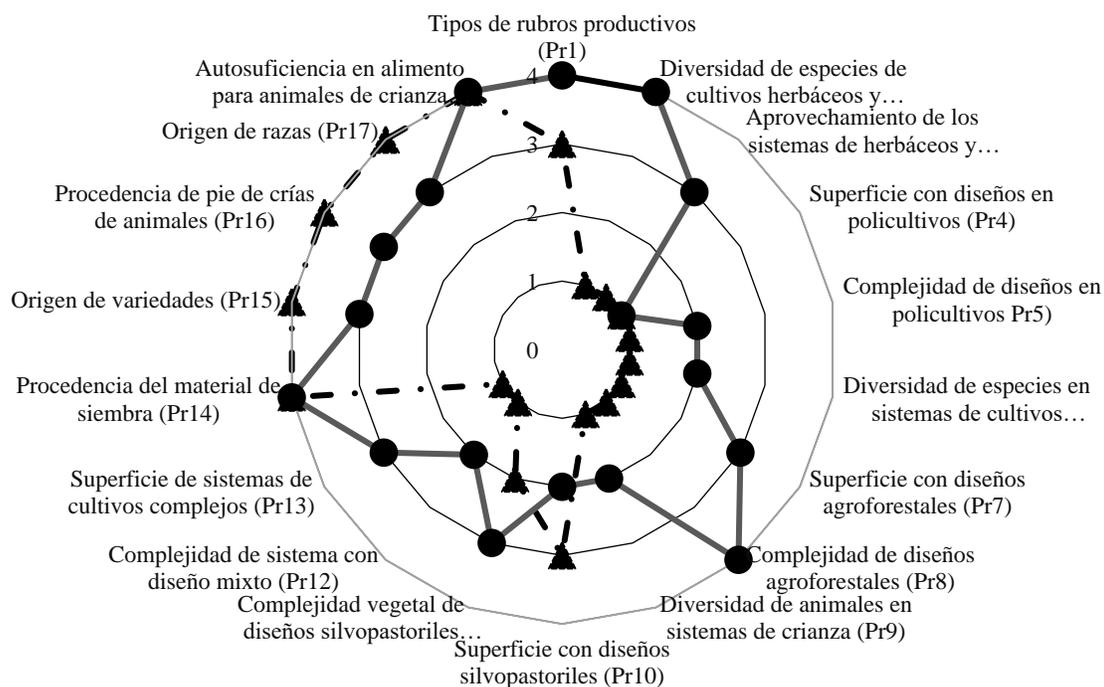


Figura 2. Diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

5.1.2. Manejo y conservación del suelo

El manejo y conservación del suelo 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, se mejoran los rendimientos de los cultivos. Existen muchas técnicas o prácticas de conservación de suelos que son sencillas, de relativo bajo costo, de fácil aplicación y de aceptación por los agricultores; entre ellas están: • La siembra de plantas de coberturas y abonos verdes. • El uso de estiércol y aboneras orgánicas. • La labranza conservacionista o labranza mínima. • Los sistemas agroforestales. • La siembra en curvas a nivel o siembra al contorno. • Las barreras vivas. • Las barreras o muros de piedra. • Las terrazas individuales. Existen otras prácticas de conservación que tienen mayor eficiencia en el control de la erosión y por tanto dan mayor protección al suelo, pero son de costo más elevado y requieren condiciones especiales para su construcción; entre ellas están: • Zanjales de ladera. • Terrazas angostas. • Terrazas de banco (FHIA [Fundación Hondureña de Investigación Agrícola], 2011, p. 1-2).

La Figura 3 muestra los indicadores del componente manejo y conservación del suelo (MCS), cuyos valores son 1.78 en el agroecosistema Los Mangos y 1.67 en el agroecosistema Los Reyes. Solamente en el agroecosistema Los Mangos se siembran granos básicos y yuca, que se rotan, pero sin estar planificado o diseñado (S₁). Esta área representa el 30% de su superficie, obteniendo una valoración de 2 (S₂).

En ambos agroecosistemas, no se incorpora biomasa, a pesar que se dispone de suficiente estiércol de ganado bovino para elaborar abonos orgánicos (S₃ y S₄), pero se dejan sobre el terreno la biomasa vegetal que resulta de las chapodas. El laboreo del suelo que realizan, ambos agricultores, es mínimo y sólo utilizan implementos de conservación de suelo (espeque, macana y piocha), que son los indicadores de este componente que alcanzaron el valor óptimo (S₅ y S₇). De los valores registrados para el componente de manejo y conservación de suelo, en ambos agroecosistemas, se puede concluir que es deficiente, pues los propietarios de estos agroecosistemas no realizan prácticas anti erosivas como curvas a nivel, barreras vivas y muertas. Estos resultados son preocupantes porque en esta zona agroecológica el período lluvioso dura de ocho nueve meses durante el año y si no se gestiona el suelo adecuadamente se puede degradar rápidamente, lo que influirá negativamente en el crecimiento de los vegetales.

Altier & Nicholls (2013) plantean que:

La adición de grandes cantidades de materia orgánica de forma regular basada en estiércol animal, compost, hojarasca, cultivos de cobertura, rotación de cultivos que aportan grandes cantidades de residuos, etc., es una estrategia clave utilizada por muchos agricultores para mejorar la calidad del suelo. El manejo de la materia orgánica está en el centro de todos los esfuerzos por crear tierras saludables con buena actividad biológica y buenas características físicas y químicas. Para garantizar la resiliencia de los sistemas agrícolas, la materia orgánica juega un papel supremamente importante, ya que mejora la capacidad de retención de agua del suelo, haciéndolo más resistente a las sequías, mejorando su capacidad de infiltración y evitando que sus partículas sean transportadas con el agua durante lluvias intensas (p.13).

-▲- Los Reyes (1.67) **—** Óptimo **●** Los Mangos (1.78)

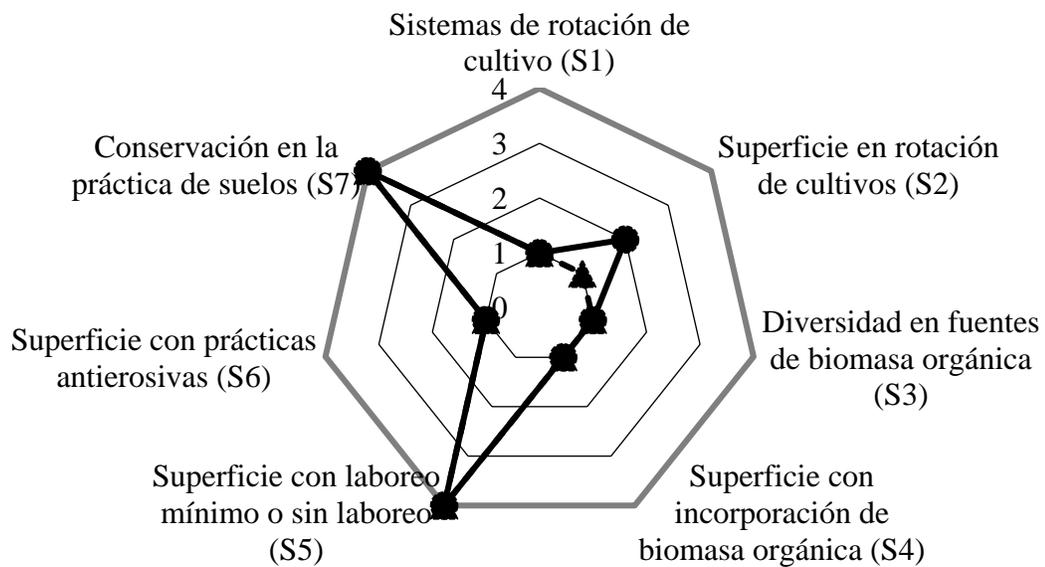


Figura 3. Manejo y conservación del suelo (MCS) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

5.1.3. Manejo y conservación del agua

El agua es un recurso natural renovable y es fundamental para garantizar la biodiversidad, la seguridad alimentaria e hídrica para los seres humanos y los vegetales. Adicionalmente, este

recurso natural es muy afectado por los embates del cambio climático, que afecta en gran medida a los agroecosistemas centroamericanos.

Ante los efectos del cambio climático en la región, que agudiza la escasez del recurso hídrico, la inseguridad alimentaria y la pobreza rural y urbana se ha intensificado la utilización de prácticas agrícolas para una mejor conservación del agua y del suelo, así como la búsqueda de opciones tecnológicas destinadas a captar agua de cualquier origen, y utilizarla en la agricultura o ganadería, para el consumo humano. Existen algunas buenas prácticas agronómicas, agroecológicas o tecnologías para el manejo sostenible de suelos que favorecen la conservación *in situ* del agua, éstas reflejan la importancia de constituir un enfoque integral en la conservación del suelo y agua, así como de los otros elementos del entorno ecosistémico natural. (FAO 2013 P.26. Dentro de las tecnologías más efectivas y apropiadas en la región de Centroamérica se pueden destacar las siguientes: a. Riego mediante construcción de labranza en surco o zanja, b. Acequias de retención e infiltración de agua, c. El rastrojo como mulch, d. Captación de agua con camellones de piedra siguiendo las curvas de nivel, e. Captación y retención de agua en terrazas amplias e individuales para árboles frutales o forestales, f. Reforestación o regeneración natural de recargas hídricas, g. La agroforestería o arboles dentro de la parcela (ejemplo Quesungual) como fuente para brindar cobertura en el suelo, h. Uso de barreras vivas: vetiver y otras en cercas vivas, i. Uso de cultivos de cobertura como las leguminosas, j. Captación de agua por bacheo (Martinez Guzman, 2013, p. 21-27).

En la figura 4 se muestran los indicadores del componente manejo y conservación del agua (MCA). En ambos agroecosistemas, el manejo y conservación del agua alcanzó un valor de 0.7. En ambos agroecosistemas, no existen superficies bajo sistemas de riego (A_1) y por lo tanto sistemas de riego (A_2), ni manejo del drenaje (A_4) y por consiguiente sistemas de drenaje (A_5), cuyos indicadores su valor es cero. En ambos agroecosistemas, la fuente de abasto de agua para uso agrícola es natural por medio de un caño que atraviesa el agroecosistema y de un pozo, que le adjudica una valoración de 2.5, según la metodología de Vázquez Moreno (2013, p. 36). De acuerdo con los resultados de los indicadores de este componente se puede afirmar que, en ambos agroecosistemas, el manejo y conservación del agua es deficiente. El agua dreña de forma natural y dada las características edafoclimáticas de la zona de transición de la Reserva de Biológica de Indio Maíz, ubicada en este departamento, es perentorio que en ambos

agroecosistemas se implementen obras de manejo del drenaje del agua pluvial y obras de conservación de suelo y agua para reducir la erosión causadas por las precipitaciones.

El suelo constituye la matriz engendrada de la vida en los ecosistemas terrestres, el agua representa su sangre. La conjunción armónica de estos factores se debe mantener y preservar, de lo contrario, viene la degradación y el desequilibrio. Para alentar al productor a llevar a cabo acciones que protejan y mejoren la fertilidad de sus suelos, es muy importante mencionar que lo básico para realizarlas, es contar con su propia voluntad, a la cual se le puede acompañar con una herramienta sencilla, como lo es un pico y una pala para realizar sus obras de conservación. La conservación del suelo y del agua, como apoyo al agricultor, demandan de agrónomos con conocimiento de causa para interpretar las pendientes y los tipos de suelos, así mismo para instrumentar las prácticas que deben realizarse. Este apoyo también es recomendable aplicarlo cuando se trate de la plantación de árboles, para formar las cortinas rompevientos que moderen los efectos de la erosión eólica (CCRECRL [Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerna], 2009, p. 30-31).

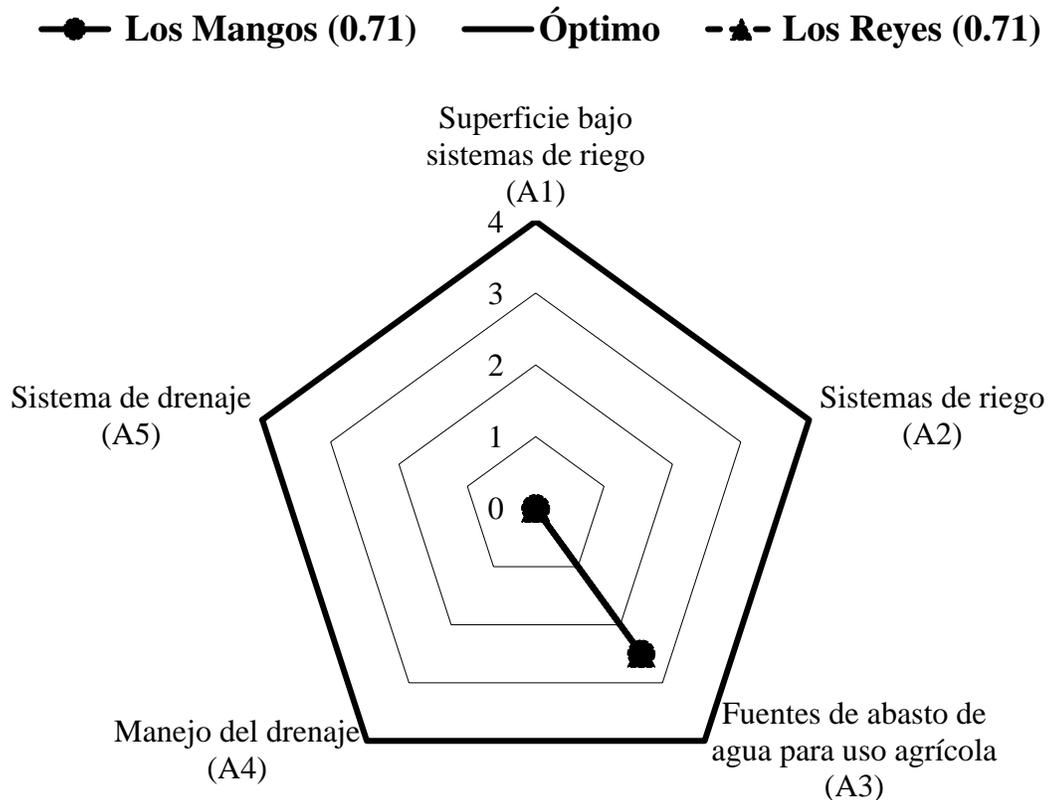


Figura 4. Manejo y conservación del agua (MCA) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

5.1.4. Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos

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

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

En ambos agroecosistemas, el valor del manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos es de 0.29 (Figura 5). Los agricultores no utilizan insumos biológicos en sus intervenciones sanitarias en los rubros productivos vegetales y animales (I₂ y I₄). Cada año

realizan el mismo número de intervenciones sanitarias con agrotóxicos sintéticos (herbicidas, urea, fertilizante completo, desparasitantes y vitaminas). Esto conduce a que estos campesinos sean muy dependientes de estos insumos sintéticos (herbicidas, urea, fertilizante completo, desparasitantes y vitaminas), propio de un manejo convencional. Desde la perspectiva agroecológica, lo ideal es ser cada vez menos dependientes de insumos externos, cuya finalidad es alcanzar la soberanía tecnológica. El uso indiscriminado de estos agrotóxicos contribuye a contaminar las fuentes de agua del agroecosistema y de la cuenca; a reducir la diversidad biológica en el suelo, la de los ríos y riachuelos. Por consiguiente, es fundamental, capacitar a estos agricultores para que elaboren insumos biológicos y los aplique a rubros productivos vegetales y animales y de esta forma ser cada vez ser menos dependientes de los agroquímicos sintéticos.

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).

-▲- Los Reyes (0.29) — Óptimo ● Los Mangos (0.29)

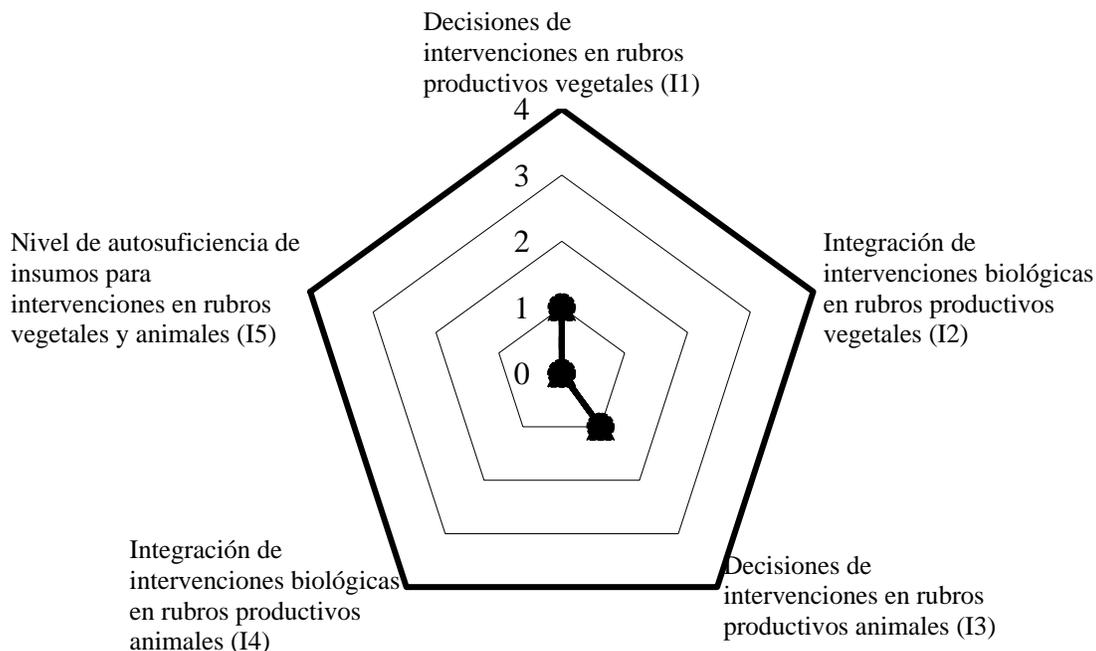


Figura 5. Manejo de las interacciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

5.1.5. Diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar

La biodiversidad auxiliar es que:

se toma en cuenta la vegetación no cultivada que habita naturalmente o se introduce, se maneja para influir positivamente sobre el resto de la biodiversidad. La vegetación auxiliar en SPA [Sistemas de Producción Agropecuaria] puede estar integrada por la cortina rompe vientos, cerca viva perimetral e internas, arboledas, ambientes seminaturales, corredores ecológicos internos y barreras vivas laterales e intercaladas en los campos. 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).

En la figura 6 se muestran los valores de los indicadores del componente diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar. En el agroecosistema Los Reyes, este componente alcanzó un valor de 1.09. Sólo un indicador se valoró como óptimo (4), que es la diversidad estructural de la cerca viva perimetral (AU₁₃). Este agroecosistema, la cerca viva perimetral cuenta con tres especies

arbóreas: jiñocuabo, (*Bursera simarub* L.) roble (*Quercus robur* L.) y madero negro (*Gliricidia sepium* Jacq.).

En el agroecosistema Los Mangos, el diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar obtuvo un valor de 1.14. Este agroecosistema cuenta con más del 70% con cerca perimetral, con tres especies arbóreas (Madero negro, *Gliricidia sepium* Jacq.; elequeme, *Erythrina fusca* Lour. y jiñocuavo, *Bursera simarub* L.), que se podan (AU₁₂ y AU₁₃).

Ambos campesinos disponen de tres bestias (AU₁₅) para las labores del agroecosistema. Estos resultados conducen a afirmar que es perentorio hacer un adecuado diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar, en ambos agroecosistemas, para complejizarlo, lo que debe estar en un plan para el rediseño agroecológico de éstos. Por consiguiente, los agricultores deben estar claros al implementar el plan para el rediseño agroecológico de sus agroecosistemas que:

Las plantas que integran la vegetación auxiliar crecen espontáneamente o son fomentadas, generalmente en superficie o sitios del sistema de producción donde no se practica la agricultura o se requieren para otras actividades. De lo que se trata es de aprovechar su existencia, fomentarla y manejarla, para favorecer sus servicios ecológicos.

La vegetación auxiliar ofrece diversos servicios ecológicos, como los siguientes:

- Barrera física (antierosiva, insectos, semillas de arvenses, esporas de microorganismos, emanaciones tóxicas, corrientes de vientos fuertes, entre otros).
- Sitios de refugio y multiplicación de polinizadores y reguladores naturales de organismos nocivos.
- Corredor ecológico de la biodiversidad.
- Repelencia a organismos nocivos.
- Conservación y mejora de la fertilidad del suelo (Vázquez, et al., 2012, p. 17).

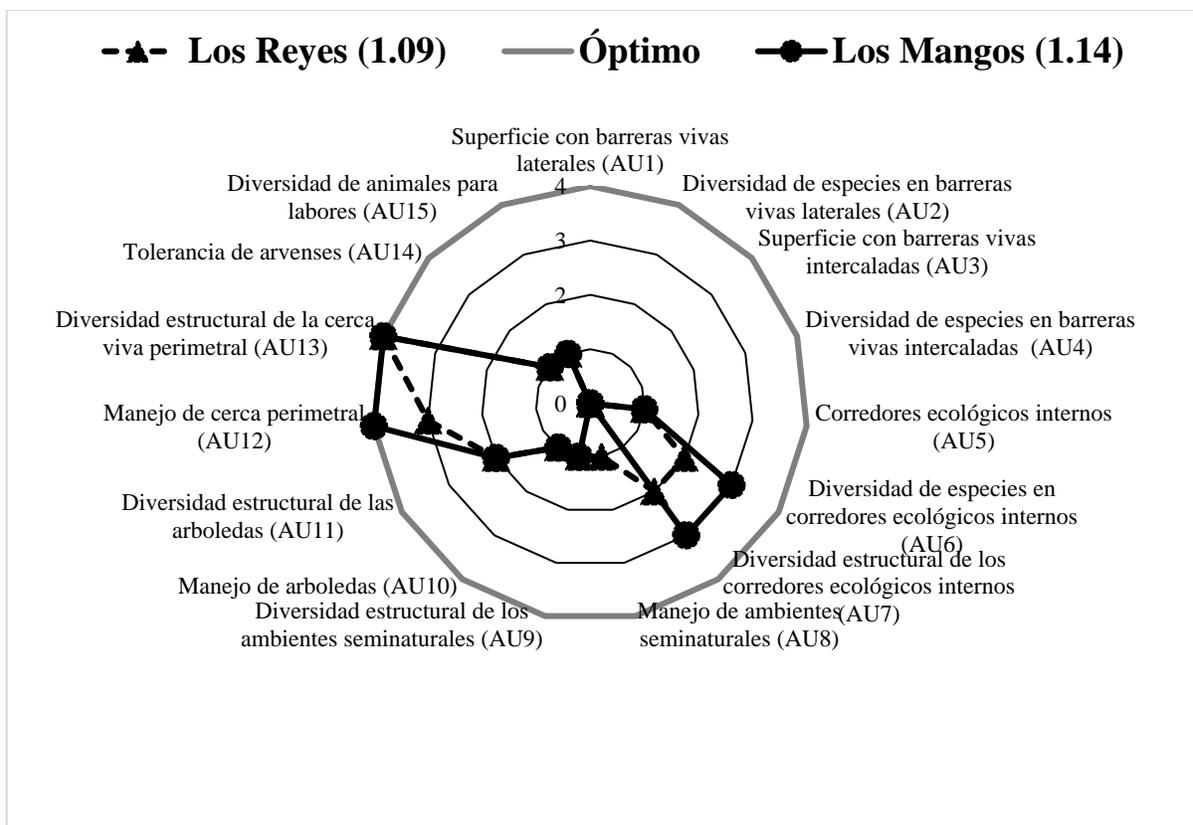


Figura 6. Diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar (DAMBAu) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

5.1.6. Estado de los elementos de la biodiversidad asociada

La biodiversidad asociada son los organismos, sean 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. Se considera la incidencia y diversidad de los grupos que pueden ser observados con facilidad. (Vázquez Moreno, 2013, p. 36-40).

El agroecosistema Los Mangos, el estado de los elementos de la biodiversidad asociada obtiene un valor de 2.50. De los catorce indicadores, cuatro de ellos están en su valor óptimo (4). En el agroecosistema Los Reyes, éste logra un valor de 2.25, y cumple solo con cuatro indicadores en su valor óptimo.

El agricultor del agroecosistema Los Mangos aprovecha la presencia de las arvenses por la diversidad que tiene como una forma de protección del suelo en tiempo de descanso, sobre todo

en el área para cultivar granos básicos y yuca, que es hábitats o alimento para muchos organismos de la macrofauna edáfica. En ambos agroecosistemas, los mismos indicadores alcanzaron el valor óptimo (S₄, S₇, S₁₃ y S₁₄), hay poca incidencia de organismos nocivos en cultivos y animales. La macrofauna edáfica está integrada por más de diez familias taxonómicas y se contabilizaron más de 16 lombrices por metro cuadrado. Los organismos polinizadores que se pudieron observar son abejones, abejas y mariposas.

Vázquez, Matienzo, & Griffon (2014) constataron en un diagnóstico participativo de la biodiversidad en fincas en transición agroecológica que la biodiversidad asociada es un componente muy difícil de evaluar y entender integralmente por parte de los agricultores debido a que:

incluye a los organismos convencionalmente considerados como beneficiosos (polinizadores, reguladores naturales, biota epífita, biota rizosférica, entre otros) y los clasificados como nocivos (plagas y enfermedades); pero paulatinamente los agricultores comprendieron que los nocivos forman parte de las relaciones coevolutivas con sus plantas hospedantes y sus reguladores naturales, solo que las tecnologías convencionales contribuyen a considerarlos como malos debido a que se elevan sus poblaciones y nocividad consecuentes. Al respecto hubo un entendimiento que resulta necesario tolerar bajas poblaciones de estos organismos que actúan como fitófagos, fitoparásitos y fitopatógenos, y considerarlos como elementos de la biodiversidad asociados a las plantas, al igual que el resto (p. 160).

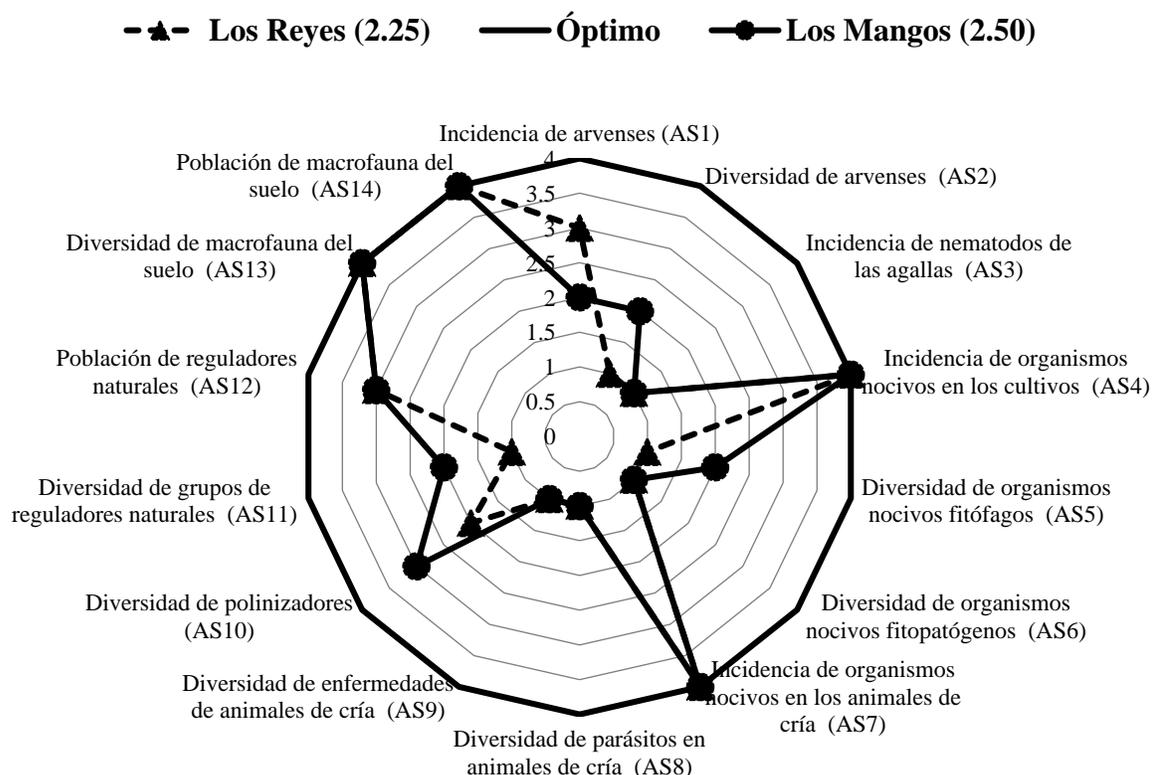


Figura 7. Estado de los elementos de la biodiversidad asociada (EBAs) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

5.1.7. Coeficiente del 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 elaborar un plan de reconversión, que permita a mediano y largo plazo complejizarlo y alcanzar la soberanía alimentaria, tecnológica y energética.

La figura 8 muestra el resultado del coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB) de dos agroecosistemas en los que se ha integrado un sistema agroforestal con cacao, que se localizan en Los Chiles Río San Juan. Donde las precipitaciones oscilan entre 1800 y 3000mm por año con altitudes entre 50 y 65msnm.

En el agroecosistema Los Mangos el coeficiente de manejo de la biodiversidad tiene un valor de 1.56, esto indica que es clasificado como agroecosistema con diseños y manejos de su biodiversidad poco complejo.

Este agroecosistema es caracterizado porque el agricultor, el señor Ángel Alberto Martínez Sánchez, ha integrado más de tres tipos de rubros productivos vegetales y animales, con una diversidad de especies de cultivos herbáceos (granos básicos, yuca, bananos) y arbustivos (cacao y frutales), siete especies de árboles frutales, 18 especies de arbóreas maderables y energéticas, que son un activo para el agricultor; aves de corral y ganado bovino.

El agroecosistema cuenta con sistemas agroforestales en el 65 % del área con más de cuatro especies de árboles dispersos en los potreros (2.5 ha con pasto mejorado y 3 ha con pasto natural) y de sombra en el cacaotal (1 ha). Produce al menos el 70% del material de siembra para los granos básicos.

El origen de las variedades vegetales y de las razas para los animales es de al menos el 60% propia y es autosuficiente en alimentos para la crianza de animales. El manejo y conservación del suelo es deficiente, pues no realiza prácticas anti erosivas como curvas a nivel, barreras vivas y muertas y no se incorpora biomasa al suelo. También, el manejo y conservación del agua es deficiente.

No existen superficies bajo sistemas de riego y por lo tanto sistemas de riego, ni manejo del drenaje y por consiguiente sistemas de drenaje, por lo que el agua drena de forma natural. La fuente de abasto de agua para uso agrícola es natural por medio de un caño que atraviesa el agroecosistema y de un pozo. No utiliza insumos biológicos en sus intervenciones sanitarias en los rubros productivos vegetales y animales y es muy dependiente de agrotóxicos sintéticos (herbicidas, urea, fertilizante completo, desparasitantes y vitaminas), propio de un manejo convencional. Disponen de tres bestias para las labores del agroecosistema y es perentorio hacer un adecuado diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar.

El agroecosistema Los Reyes refleja un valor del “coeficiente de manejo de la biodiversidad” de 1.35, que lo clasifica como agroecosistema con diseños y manejos de su biodiversidad “poco complejo. Este agroecosistema es caracterizado porque el agricultor, el señor Victorino Reyes Ramírez, ha establecido dos sistemas agroforestales: uno de cacao (0.5 ha) bajo sombra

y pasturas naturales de Retana (22.5 ha) con pocos árboles dispersos, donde se alimenta el ganado bovino de doble propósito.

Se identificaron tres especies de árboles frutales para autoconsumo y siete especies de árboles, que son utilizados para sombra permanentes, leña, madera y cercas vivas, que representa un activo para el agricultor. La procedencia de los pies de cría y el origen de las razas para los animales es de al menos el 60% propia y es autosuficiente en alimentos para la crianza de animales.

El manejo y conservación del suelo es deficiente, pues no realiza prácticas anti erosivas como curvas a nivel, barreras vivas y muertas y no se incorpora biomasa al suelo, pero el laboreo del suelo es mínimo. Así mismo, el manejo y conservación del agua es deficiente. No existen superficies bajo sistemas de riego y por lo tanto sistemas de riego, ni manejo del drenaje y por consiguiente sistemas de drenaje, por lo que el agua drena de forma natural.

La fuente de abasto de agua para uso agrícola es natural por medio de un caño que atraviesa el agroecosistema y de un pozo. No utiliza insumos biológicos en sus intervenciones sanitarias en los rubros productivos vegetales y animales y es muy dependiente de agrotóxicos sintéticos (herbicidas, urea, fertilizante completo, desparasitantes y vitaminas), propio de un manejo convencional.

Disponen de tres bestias para las labores del agroecosistema y es perentorio hacer un adecuado diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar. Hay poca incidencia de organismos nocivos en cultivos y animales. La macrofauna edáfica está integrada por más de diez familias taxonómicas y se contabilizaron más de 16 lombrices por metro cuadrado. Los organismos polinizadores que se pudieron observar son abejones, abejas y mariposas.

Para lograr que estos agroecosistemas garanticen una producción sostenible es fundamental un:

balance apropiado de suelos, cultivos, nutrientes, luz solar, humedad y de las sinergias entre organismos existentes. El agroecosistema es productivo cuando este balance y las condiciones óptimas prevalecen y cuando las plantas cultivadas son resistentes para tolerar el estrés y la adversidad. Con un agroecosistema vigoroso, adaptable y lo

suficientemente diversificado para recuperarse una vez que el estrés haya pasado se pueden superar alteraciones eventuales. Ocasionalmente, puede que sea necesario usar medidas más directas (por ejemplo, insecticidas botánicos, fertilizantes alternativos, etc.) para controlar plagas, enfermedades específicas o problemas del suelo, pero la agroecología prevé las directrices para un manejo cuidadoso de manera de no dañar permanentemente el agroecosistema (Altieri & Nicholls, 2000, p. 46).

Mientras más complejos son los agroecosistemas son multifuncionales, 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.

Para alcanzar la sostenibilidad y soberanía alimentaria, tecnológica y energética, en ambos agroecosistemas, urge que sus propietarios implementes un plan de reconversión para complejizar sus 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, ya que en ambos ni un componente o indicativo de los manejos y diseños de la biodiversidad llega a su valor óptimo. Por la zona agroecológica en la que se localizan estos agroecosistemas es fundamental integrar diferentes tipos de agroecosistemas agroforestales como: cercas vivas perimetrales e internas multiestratos, sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles; árboles en franjas intercalados con cultivos anuales (Agrosilvicultura), sistemas forestales multipropósitos (Plantaciones de bosque con plantas nativas), rodales

compactos, aunado con diferentes bancos de proteína.

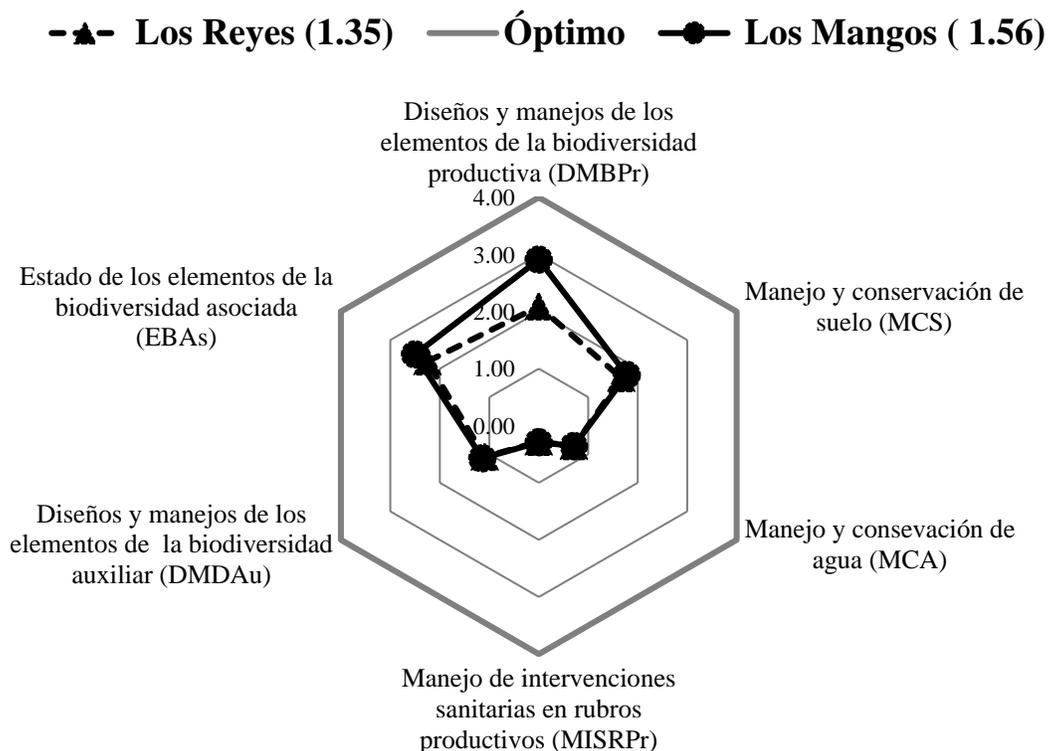


Figura 8. Coeficiente de manejo de la biodiversidad (CMB) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

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. Precisamente, el tránsito hacia la agricultura ecológica significa que los sistemas agrícolas y de producción agropecuaria deben convertirse en sistemas diversificados, en que se logra una mayor complejidad de la diversidad biológica y por tanto un incremento sostenido de los servicios ecológicos” (Vázquez y Matienzo, 2010, p. 4).

Por otra parte, los bienes y servicios ecológicos que brindan la biodiversidad productiva, auxiliar y asociada, cuyos diseños y manejos de esa biodiversidad son complejos y altamente complejos, contribuyen a que esos agroecosistemas sean multifuncionales, y que en éstos se gesten bienes y servicios que tienen un impacto directo o indirecto sobre el bienestar de las familias

campesinas o agricultoras y la sociedad en su conjunto. Cotler-Ávalos & Lazos-Chavero (2019) destacan que los agroecosistemas multifuncionales responden a un amplio rango de factores ambientales, sociales, institucionales, culturales, políticos y económicos (p. 555).

5.2. Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad de los suelos de los agroecosistemas

El suelo es un recurso finito, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana. En cuanto componente fundamental de los recursos de tierras, del desarrollo agrícola y la sostenibilidad ecológica, es la base para la producción de alimentos, piensos, combustibles y fibras y para muchos servicios ecosistémicos esenciales. Sin embargo, pese a que es un recurso natural muy valioso, a menudo no se le presta la debida atención. (...). La degradación de los suelos es causada por usos y prácticas de ordenación de la tierra insostenibles y por fenómenos climáticos extremos resultantes de diferentes factores sociales, económicos y de gobernanza. (...). El fomento del manejo sostenible de los suelos puede contribuir a la salud de los suelos y, de este modo, a los esfuerzos de erradicación del hambre y la inseguridad alimentaria y a la estabilidad de los ecosistemas. Existe una necesidad urgente de detener la degradación de la tierra en sus diferentes formas y establecer marcos para sistemas de manejo sostenible de los suelos (FAO, 2015, p. 1-2).

“El deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos como resultado del uso agrícola ha sido observado prácticamente en la totalidad de las Tierras cultivadas” (Wilson & Sasal, 2017, p. 23), por lo que los indicadores de calidad de suelo comprenden variables o “componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad, o salud, del suelo, deberán ser medidos todos los parámetros” (SQI, 2000, p. 1). Estos indicadores son utilizados como una herramienta para identificar áreas con problema, buscando estimaciones realistas de producción y monitoreando cambios en la calidad ambiental, relacionado al manejo agrícola.

La categorización de los indicadores físicos, químico y biológicos de suelos y representada en graficas radiales o de araña permite identificar, fácilmente, a nivel de parcela o lote cuáles son los indicadores que presentan mayores limitantes, y a su vez definir las estrategias a seguir para su mejoramiento.

5.2.1. Indicadores físicos de los suelos de los agroecosistemas

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura, México), (2017) resalta que los indicadores o propiedades físicas de un suelo son:

el resultado de la interacción que se origina entre las distintas fases del mismo (suelo, agua y aire) y la proporción en la que se encuentran cada una de estas. La condición física de un suelo determina su capacidad de sostenimiento, facilidad para la penetración de raíces, circulación del aire, capacidad de almacenamiento de agua, drenaje, retención de nutrientes, entre otros factores (p. 1).

Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill, (2004) aseveran que:

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (p. 2).

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

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 (p. 93).

En ambos agroecosistemas, los parámetros físicos del suelo analizados son la profundidad (cm), la textura, porosidad (%) e infiltración del agua (cmh^{-1}). En la figura 9 se muestra las categorías

de los parámetros físicos del suelo del agroecosistema Los Reyes. La profundidad del suelo varía entre 30 y 51 cm (Cuadro 8), de modo que éstas alcanzaron categorías entre 2 y 3, siendo ésta la principal limitante para el cultivo de cacao establecido en este agroecosistema, dado que cacao necesita suelos de al menos 150 cm de profundidad para desarrollar a plenitud su raíz pivotante, que es de anclaje.

La textura de los suelos alcanzó las categorías 4 y 5, que son consideradas como buenas desde el punto de vista agrícola, que se corresponde con los buenos valores alcanzados en la porosidad y en la velocidad de infiltración. La textura franca y franca arcillosa de los suelos, favorecen una buena aireación, una buena retención de agua y una buena infiltración, lo que ayuda a evitar posibles encharcamientos de los suelos aun cuando las precipitaciones son abundantes.

En términos generales y de acuerdo con la categorización de los parámetros evaluados, la principal limitante física de los suelos en el agroecosistema Los Reyes, es la poca profundidad (30 a 50 cm, cuadro 8) que, a su vez, limita su uso a cultivos con sistema de raíces poco profundas.

La figura 10 muestra las categorías de los parámetros físicos del suelo en el agroecosistema Los Mangos. La profundidad del suelo varía entre 27 a 99 cm (Cuadro 8). De las cuatro parcelas del agroecosistema, el de pasto natural presenta la categoría más alta (3), que corresponde a la de mayor profundidad (99 cm, cuadro 8), de modo que existen buenas condiciones para el desarrollo de pastizales. La parcela con granos básicos es la que presenta menos profundidad 27 cm, por lo que es necesario implementar obras de conservación de suelos y agua para evitar pérdidas de suelos durante el período lluvioso. Estas obras de conservación de suelos y agua pueden ser barreras vivas y barreras muertas en curvas a nivel.

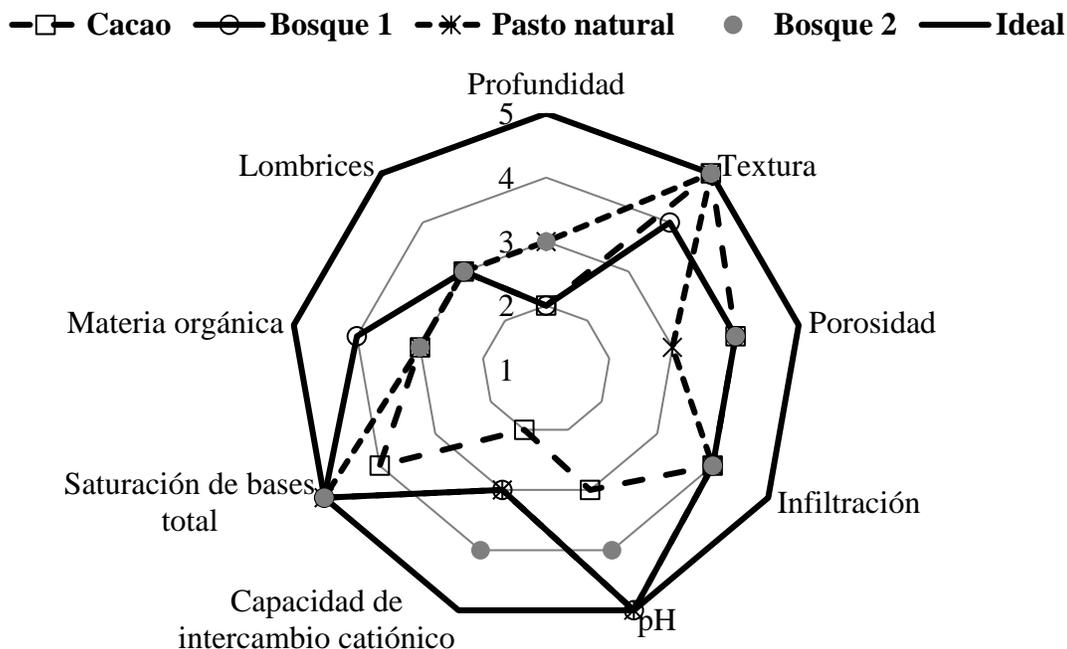


Figura 9. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Los Reyes, propietario Victorino Reyes Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

En este agroecosistema, la textura varió entre arcilloso y franco arcilloso, las texturas son más variables que en los otros agroecosistemas antes evaluados. Las texturas determinadas se corresponden con los altos valores de porosidad de los suelos, en todas las parcelas. También, los resultados se correspondieron con el parámetro infiltración, ya que todas las parcelas alcanzaron la categoría 4, cuya infiltración oscila entre 2 y 6 cmh^{-1} . De acuerdo con los criterios antes descritos, esos suelos no deberían tener problemas de almacenamiento de agua, ni encharcamiento por períodos largos de tiempo, pues esto último es favorecido por la textura de los suelos. El encharcamiento podría presentarse si la velocidad de infiltración fuese superada por las medias locales de precipitaciones, pero a su vez, aunque, se trata de suelos arcillosos y franco arcillosos, las arcillas que predominan no son plásticas (Tipo 1:1 y óxidos), que de alguna manera facilita un poco la infiltración.

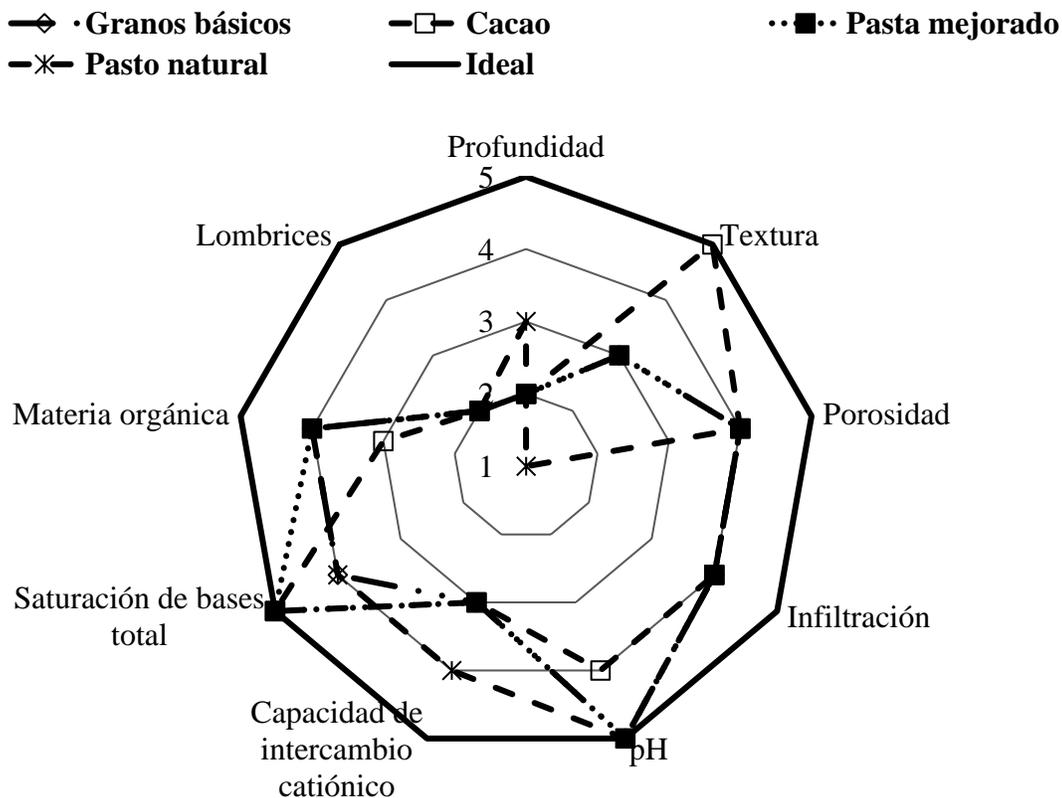


Figura 10. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema Los Mangos, propietario Ángel Martínez Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

5.2.2. Indicadores químicos de los suelos de los agroecosistemas

USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos), (2020) menciona que:

Diferentes indicadores químicos comúnmente usados se relacionan con las funciones básicas respectivas que éstos miden; estas funciones básicas incluyen: (1) promoción de la biodiversidad y productividad, (2) filtración, moderación, degradación y desintoxicación de materiales orgánicos e inorgánicos, (3) control de la regulación y partición del flujo de agua y de solutos, (4) ciclo del carbono y nutrientes, y (5) proporcionar estabilidad física para las plantas y animales, así como, el soporte de estructuras asociadas a los hábitats humanos.

Los componentes químicos y las propiedades del suelo afectan muchas reacciones y procesos que ocurren en el ambiente del suelo; por ejemplo, el pH del suelo controla la solubilidad y movilidad de metales pesados como Al, Fe, Mn, Cu, y Zn, y nutrientes como el fósforo y también controla la toxicidad de muchos metales pesados. El pH también afecta el porcentaje de saturación, la capacidad buffer del suelo, la capacidad de intercambio catiónico (CEC), y propiedades biológicas como el crecimiento de microbios y diversidad (bacterias, excepto especies acidófilas, son muy sensibles a bajos pH, en contraste con los hongos). Así como los indicadores físicos y biológicos, los indicadores químicos son sensibles al manejo del suelo y a desordenes naturales. Las prácticas de labranza (ejemplo, labranza continua, labranza de conservación, y enmiendas orgánicas e inorgánicas) pueden cambiar los niveles de la reacción del suelo (pH), como nitratos, carbono orgánico total COT, y contenido de fósforo. (p. 1).

Dentro de los indicadores químicos evaluados en este estudio están: el pH del suelo, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio de cationes y la saturación de sus bases. Estos indicadores nos muestran una radiografía amplia de la situación nutritiva de los suelos.

El manejo del agroecosistema influye sobre el pH del suelo y éste es un parámetro que determina disponibilidad de nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales o si existen elementos solubles tóxicos (Aluminio y manganeso) para ellos, por lo que el conocimiento del pH del suelo contribuye al diagnóstico de problemas nutricionales para las plantas (Rivera, Sánchez, & Domínguez, 2018, 102).

El pH define la actividad química, biológica y la disponibilidad de minerales del suelo, los mejores rangos de pH para la agricultura están entre los 6.0 y 7.5 (SQI, 2000, p. 63). Éste a su vez es un reflejo de las condiciones climática bajo las que forma el suelo y del tipo de arcilla que predomina. El pH también influye en la disponibilidad de los nutrientes que se encuentran en el suelo. La materia orgánica por su parte, sus contenidos están asociados al clima, cantidad y tipo de vegetación, su descomposición en el suelo también es afectada por el pH y el nivel de humedad del suelo, la materia orgánica mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la saturación de bases.

En el agroecosistema Los Reyes, los valores de pH (Cuadro 8), variaron entre ácido y ligeramente alcalino (5.93 y 7.24), cuyas categorías variaron de 3 a 5 (Figura 10). Eso indica

que hay una variación en todos los suelos evaluados. Estas variaciones también se pueden observar en los contenidos de fósforo de las parcelas, correspondiéndose la parcela con pH más alto, a la de mayor contenido de fósforo (Cuadro 8). En términos de disponibilidad, debe decirse que la cantidad de fósforo, en ninguno de los suelos, es capaz de satisfacer las necesidades de este elemento a los cultivos, de modo que las aplicaciones de fósforo vía fertilizantes en estos suelos se vuelven más que necesarias.

También, los valores de la disponibilidad del potasio (K) oscilaron entre 0.20 y 0.51 meq 100 g de suelo, que se corresponde con cantidades disponibles entre 187 y 477 kg de K ha⁻¹ (Cuadro 8 y 9), siendo estos valores indicadores de baja disponibilidad de este nutrimento en tres de las cuatro parcelas evaluadas. La única parcela con el valor más alto de potasio fue precisamente la parcela con pasto natural (0.51 meq / 100 g), cuya disponibilidad satisface los requerimientos de cultivos con baja demanda de este elemento.

En este agroecosistema, la relación de las bases calcio (Ca) y magnesio (Mg) está acorde a los valores de pH encontrados (Cuadro 8). Puede notarse que cuanto más alto es el pH mayor es la cantidad de estos elementos en el suelo. La relación inter catiónica entre estos elementos es adecuada (Rango adecuado 2 a 5). Solamente, las parcelas con pasto natural y bosque 2, los valores altos de calcio pueden provocar una muy probable deficiencia de magnesio. También, las relaciones inter catiónicas de estos elementos (Ca y Mg) con relación al potasio se encuentran fuera de los rangos ideales indicando que por los altos valores de Ca y Mg y por los bajos valores de K podría presentarse deficiencia de este último en los cultivos. De las cuatro parcelas evaluadas, la con pasto natural es la única donde la probabilidad de deficiencia de K por exceso de Mg no se presente, pero la provocada por exceso de Ca es inevitable. Por tanto, el uso de estos elementos (Ca y Mg) en estos suelos debe ser de uso restringido y muy cuidadoso.

La deficiencia de potasio es una tarea por resolver, ya que las parcelas donde se presenta este problema son las parcelas destinadas a la producción y el potasio es necesario para garantizar la calidad de las almendras en el cacao. El Cuadro 10 presenta la disponibilidad de los nutrientes en las parcelas de este agroecosistema.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la saturación de bases están acordes a las condiciones de pH de los suelos, las condiciones climáticas y al tipo de mineral que normalmente predomina en esos tipos de suelo (Tipo 1:1 y óxidos). Puede notarse (Cuadro 8)

que estos dos parámetros evaluados (CIC y pH) son mayores en la parcela donde se determinó la mayor cantidad de materia orgánica.

En el agroecosistema Los Mangos, los valores de pH (Cuadro 8) variaron entre ligeramente ácido (6.1) y ligeramente alcalino (7.14). Tres de las cuatro parcelas alcanzaron la categoría 5 y una categoría 4 (Figura 10), que son suelos aptos para la mayoría de los cultivos.

En todas las parcelas, los contenidos de fósforo son muy pobres, por lo que la aplicación de este nutriente es de suma importancia para los cultivos (Cuadro 8 y 9). También, los análisis de suelo mostraron que las parcelas con pasto mejorado y con pasto natural presentan contenidos pobres de potasio (K), por lo que una deficiencia de este nutriente (K), en los cultivos, en estas parcelas, es altamente probable, así mismo en la parcela con granos básicos y cacao, que aunque presentan contenidos un poco más altos, estos valores se encuentran en el límite inferior de suficiencia, por lo que las aplicaciones de este elemento tendría una alta probabilidad de respuesta de la mayoría de los cultivos. Las cantidades de nutrientes disponibles en este agroecosistema se muestran en el cuadro 9.

Los contenidos de las bases calcio (Ca) y magnesio (Mg) están acordes a los valores de pH encontrados, y su relación intercaciónica es adecuada (Intervalo adecuado entre 2 y 5). Sin embargo, las relaciones intercaciónicas de estos elementos con el potasio se encuentran fuera de los rangos ideales, que indica que por los altos valores de Ca y Mg y por los bajos valores de K, existe una alta probabilidad de que se produzca una deficiencia más marcada de este elemento por los excesos de los otros. De las cuatro parcelas del agroecosistema, solo la parcela con granos básicos presentó un valor dentro del rango normal, (13.2), lo que se debió a los menores contenidos de magnesio, quizás producto de la lixiviación de este, la que se puede ver favorecida por el tipo de cultivo que se establece en la parcela (granos básicos) y por las precipitaciones altas de la zona.

En este agroecosistema, los valores de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos se corresponden con las condiciones de suelo y el clima bajo el que éstos se han formado. Eso explica porque las saturaciones de bases, en las parcelas se clasificaron en las categorías 3 y 4 lo que también evidencia que el proceso de pérdida de nutrientes por lixiviación es proporcional a los contenidos de las bases de cambio. 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 (p. 114).

La materia orgánica (MO) alcanzó las categorías 3 y 4 (Figura 10), que son contenidos entre medio y alto. Es bastante lógico que el valor más alto de MO les haya correspondido a las parcelas con pastos y con granos básicos. Este último cultivo no es perenne, pero se le dejaban los rastrojos de cosecha y los de las chapias. En la parcela con cacao, aunque éste es un cultivo perenne, tiene solamente 3 años y medio años de estar establecido.

5.2.3. Indicador biológico de los suelos de los agroecosistemas

Karlen, et al. (1997) señalan que los indicadores biológicos de la calidad del suelo para la función de sostener el crecimiento de las plantas podrían incluir parámetros como la biomasa microbiana y/o la respiración, asociaciones de micorrizas, comunidades de nematodos, enzimas, o perfiles de ácidos grasos. Los indicadores biológicos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, 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 (p. 7)

El suelo alberga la cuarta parte de la diversidad biológica del planeta. Hay literalmente miles de millones de microorganismos tales como bacterias, hongos y protozoos en el suelo. Las **lombrices de tierra** constituyen uno de los organismos más importantes del suelo, especialmente en ecosistemas productivos debido a su influencia en la composición de materia orgánica, desarrollo de la estructura del suelo y el ciclo de nutrientes.

Los indicadores biológicos propuestos por Bautista Cruz, Etchevers Barra, Del Castillo, & Gutiérrez, (2004) “integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos” (p. 95). 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. “Las poblaciones de éstas pueden variar con las características del sitio (disponibilidad de nutrientes y condiciones del suelo), con la estación y las especies involucradas” (SQI, 2000, p. 73). Se considera poblaciones de lombrices de tierra adecuadas,

cuando en los suelos de los agroecosistemas poseen más de 100 individuos m^{-2} . Estas altas poblaciones por lo general aumentan la actividad microbial y mejoran la fertilidad química y las características físicas (agregación y porosidad) de éste (SQI, 2000, p. 73). Este resultado debe considerarse en el plan de reconversión de ambos agroecosistemas.

El suelo alberga la cuarta parte de la diversidad biológica del planeta, es uno de los ecosistemas más complejos de la naturaleza y uno de los hábitats más diversos de la tierra. En el suelo conviven miles de millones de organismos tales como bacterias, hongos, nematodos, protozoos, artrópodos y las raíces de las plantas, que representan diferentes niveles tróficos (FAO, 2015b, p.1-3). Las **lombrices de tierra** constituyen uno de los organismos más importantes del suelo, especialmente en ecosistemas productivos debido a su influencia en la composición de materia orgánica, desarrollo de la estructura del suelo y el ciclo de nutrientes.

En la Figura 9 se muestran los resultados de la categorización de la presencia de lombrices por metro cuadrado en cada parcela del agroecosistema Los Reyes. La población de lombrices en este agroecosistema varió entre 33 y 64 lombrices m^2 , lo que desde el punto de vista de la calidad de los suelos es considerada baja. De acuerdo con esos valores alcanzaron la categoría 3 (Figura 9). Las poblaciones de las lombrices de tierra pueden variar con las características del sitio (disponibilidad de nutrientes y condiciones del suelo), y con la estación y las especies involucradas (SQI, 2000, p. 73). Se considera poblaciones de lombrices de tierra adecuadas, cuando los agroecosistemas poseen al menos 100 individuos m^{-2} (SQI, 2000, p. 73), que no es el caso de este agroecosistema.

Ríos S (s.f.) reconoce que, en los agroecosistemas, las lombrices influyen en la descomposición de la materia orgánica, en el desarrollo de la estructura del suelo y el ciclo de nutrientes o ciclos biogeoquímicos (p. 49). En el suelo causan importantes modificaciones físicas (galerías, hoyos y depósitos de excrementos) modificando el ambiente para otros organismos y alterando la disponibilidad de hábitats y alimentos para otros animales y las plantas (Lavelle, 1996, p. 7-8); Brown, Barois, & Lavelle, 2000, p. 179-181). Generalmente incrementan la mineralización del carbono en el suelo, también la pueden disminuir al contribuir a la formación de agregados estables en los cuales el carbono es protegido de futuras descomposiciones, y sus excretas contienen elevadas cantidades de nitrógeno orgánico.

Las lombrices generalmente promueven la aireación y porosidad a través de la formación de madrigueras y al incrementar la proporción de grandes agregados en el suelo, y sus efectos son especialmente importantes en suelos con estructura pobre. Al aumentar la tasa de infiltración de agua, las lombrices pueden reducir la pérdida de suelo. Los efectos benéficos de las lombrices sobre el crecimiento de las plantas se pueden deber al incremento en la disponibilidad de nutrientes y agua, mejoramiento de la estructura del suelo, estimulación de microorganismos o formación de productos microbiales que aumentan el crecimiento de las plantas, o a la posibilidad de la producción directa de sustancias promotoras del crecimiento (hormonas) (Ríos, s.f., p. 49)

Crespo (2013) resalta que las lombrices desempeñan importantes funciones en el manejo de la fertilidad del suelo, y lo realizan por medio de sus materiales fecales y de las secreciones de su cuerpo, que estimulan el crecimiento de los vegetales y mejora la calidad del suelo. Ellas digieren el suelo, material orgánico y microorganismos a través de su sistema digestivo, en la medida que remueven el suelo. Este proceso incrementa el contenido de nutrientes soluble. Suelos con un buen número de lombrices es indicativo de una buena masa bacteriana-fúngica beneficiosa (p. 330-331).

En la figura 10 se muestran los resultados de la categorización de la presencia de lombrices por metro cuadrado en cada parcela del agroecosistema Los Mangos. En todas las parcelas, las lombrices por metro cuadrado alcanzaron la categoría de 2, cuyas poblaciones oscilan entre 16 y 32 individuos por metro cuadrado, estas poblaciones son consideradas bajas y su poca abundancia pudiera estar asociada a la poca profundidad de los suelos y contenidos medios de materia orgánica (Cuadro 8).

Dentro de la estrategia de manejo de este agroecosistema, debe considerarse el uso de enmiendas orgánicas o incorporación de biomasa de cultivos o árboles para aumentar la materia orgánica de los suelos y con ello favorecer el incremento del número de lombrices por metro cuadrado. Puede notarse en la misma figura, que, aunque la materia orgánica alcanzó categorías entre 3 y 4, éstos se clasifican de contenidos medios a bajos de materia orgánica.

5.2.4. Comparación de los indicadores de calidad de los suelos de los agroecosistemas

Al comparar los indicadores evaluados de calidad de los suelos entre los agroecosistemas (Figura 11), se observa que en el agroecosistema Los Reyes, la textura del suelo es ideal, cuya categoría es 5. No obstante, indicadores como la profundidad y la materia orgánica del suelo son las mayores limitantes que tienen ambos agroecosistemas. En los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes, la profundidad y las poblaciones de lombrices por metro cuadrado en el suelo son indicadores de calidad de sus suelos limitantes, que alcanzaron las categorías 2 y 3, respectivamente.

En los dos agroecosistemas, la profundidad de sus suelos permite que la raíz pivotante del cacao penetre entre 42 y 94 cm (Cuadro 8), y este indicador de calidad de suelo es muy limitante para el desarrollo pleno de la raíz pivotante del cacao. En base a estos resultados, el cacao debe ser suprimido de estas parcelas y sustituirlo por otro cultivo cuyo sistema radicular se desarrolle bien en estas profundidades de suelo.

La materia orgánica alcanzó las categorías de 3 y 4 (Figura 11), siendo la mejor en el agroecosistema Los Mangos. Estos resultados demuestran que la materia orgánica del suelo requiere un manejo más adecuado que incluya la incorporación de ésta al suelo, lo que tendría un efecto muy positivo en los suelos de estos agroecosistemas.

Así mismo, con estos resultados se puede aseverar que la simple representación del comportamiento de los indicadores de calidad de los suelos de un agroecosistema en una gráfica de ameba o radial permite identificar muy fácilmente los parámetros o indicadores más limitantes y a partir de ese conocimiento diseñar e implementar una estrategia de gestión del agroecosistema con principios de la agroecología para mejorarlos y de esa manera contribuir a construir un sistema alimentario a nivel local, nacional e internacional, que se fundamente en la equidad, la participación y la justicia social, que además de ser sostenible ayude también a restablecer y a mejorar los servicios ecosistémicos para el bienestar de la sociedad, en general, y en particular el de las familias campesinas o agricultoras.

Cuadro 8: Características físicas y químicas de las parcelas o lotes en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan

Característica física		Características químicas								Total de SB %	Relaciones intercatiónicas			Encalado Ton ha ⁻¹
Parcela o lote	Prof. cm	MO %	pH H ₂ O	P ppm	K meq g ⁻¹ de suelo	Ca	Mg	CIC	Ca/Mg		Ca/K	Mg/K		
Los	Granos básicos	27	3.2	6.1	0.0	0.2	10.26	2.63	24.66	53.1	3.9	51.3	13.2	No necesario
Mangos	Cacao	46	3.04	7.14	3.89	0.25	21.61	7.14	28.89	100.4	3.0	86.4	28.6	No necesario
	Pasto mejorado	39	2.93	6.51	2.69	0.08	21.9	7.57	33.49	88.2	2.9	273.8	94.6	No necesario
	Pasto natural	99	3.31	6.16	0.48	0.03	20.42	8.69	37.54	77.6	2.3	680.7	289.7	No necesario
Los	Cacao	42	3.59	5.93	0.96	0.3	7.88	6.76	18.77	79.6	1.17	26.27	22.53	No necesario
Reyes	Bosque 1	30	3.9	6.21	0.60	0.23	9.49	6.96	21.16	78.8	1.36	41.26	30.26	No necesario
	Pasto natural	51	2.87	5.98	1.32	0.51	19.30	6.10	26.13	99.2	3.16	37.84	11.96	No necesario
	Bosque 2	50	4.52	7.24	4.36	0.20	39.53	11.33	36.62	139.4	3.49	197.65	56.65	No necesario
Rango de valores ideales de las relaciones intercatiónicas										2 a 5	5 a 25	3.5 a 15	No necesario	

Cuadro 9. Disponibilidad de nutrientes (Kg ha^{-1}) en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan

Agroecosistemas	Parcela	N	P_2O_5	K_2O	MgO	CaO
		(Kg ha^{-1})				
Los Mangos	Granos básicos	64.0	-	187.2	1,046.5	5,741.5
	Cacao	60.8	17.8	234.0	2,841.1	12,093.0
	Pasto mejorado	58.6	12.3	74.9	3,012.3	12,255.2
	Pasto natural	66.2	2.2	28.1	3,457.9	11,427.0
Los Reyes	Cacao	71.8	4.4	280.8	2,689.9	4,409.6
	Bosque 1	78.0	2.7	215.3	2,769.5	5,310.6
	Pasto natural	57.4	6.0	477.4	2,427.3	10,800.3
	Bosque 2	90.4	20.0	187.2	4,508.4	22,121.0

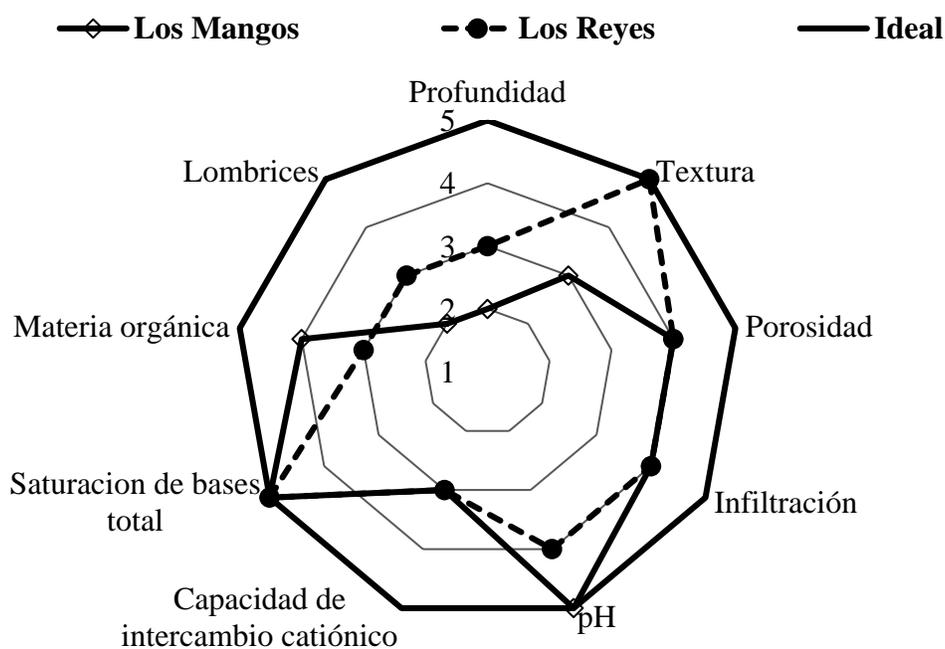


Figura 11. Comparación de los indicadores físicos, químicos y biológicos de los cuatro agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018.

Desde el punto de vista químico, el pH varía entre 5.93 y 7.24 (Cuadro 9), en los cuales se adaptan una gran variedad de cultivos. En el cuadro 10 se presentan los promedios de los parámetros químicos por agroecosistema, aunque desde el punto de vista práctico no es adecuado, solo se promediaron para una fácil comparación de los agroecosistemas. Lo ideal es que se evalúen los parámetros o indicadores de calidad del suelo por cada parcela o lote en cada agroecosistema para implementar un uso y una gestión del suelo acorde a cada situación.

En los dos agroecosistemas, las principales limitaciones químicas están relacionadas con la disponibilidad de los nutrimentos del suelo. El fósforo, por ejemplo, es pobre en los dos agroecosistemas de modo que las aplicaciones de este elemento serán indispensables y las cantidades dependerán de la exigencia del cultivo de este elemento.

En ambos agroecosistemas, los contenidos de potasio (K), son bajos (Cuadro 9 y 11), pero las probabilidades de posibles deficiencias de este elemento son mayores en el agroecosistema Los Mangos, porque presenta valores más bajos que los considerados de suficiencia de este nutrimento. Los valores más altos de las relaciones intercationicas Ca/K y Mg/K corresponden al agroecosistema antes mencionado, esto significa que en este agroecosistema la deficiencia de potasio será más marcada, de modo que para evitarlas se necesitaran altas aplicaciones de este elemento. Tampoco significa que el otro agroecosistema esté bien en relación con esos parámetros, pero la necesidad de potasio a aplicar en este agroecosistema será menor.

Los contenidos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) se consideran adecuados y se corresponden con la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y la saturación de las bases. La disponibilidad de estos elementos es suficiente hasta para los cultivos más exigentes.

Cuadro 10. Valores promedios de las características químicas de los dos agroecosistemas evaluados, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan

Agroecosistema	MO (%)	pH	P	K	Mg	Ca	CIC	%SB	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
		H ₂ O	(ppm)	(meq/100 g de suelo)							
Los Mangos	3.12	6.48	1.77	0.14	6.51	18.55	31.15	79.83	3.03	273.0	106.5
Los Reyes	3.72	6.34	1.81	0.31	7.79	19.05	25.67	99.26	2.30	75.76	30.35

En ambos agroecosistemas, Los Reyes y Los Mangos, las poblaciones de lombrices por metro cuadrado (Figura 11) no superaron la categoría 3, probablemente por los suelos, en estos agroecosistemas. En ambos agroecosistemas, las poblaciones de lombrices de tierra no superaron los 100 individuos por metro cuadrado, que representa un indicador biológico no idóneo.

5.3. Identificación taxonómica de la macrofauna, su diversidad alfa, beta y funcionalidad

La recolección de organismos de macrofauna requiere de un proceso de muestreo, envase y etiquetado en campo e identificadas en el Laboratorio de la Sede Juigalpa. Este proceso permitió obtener la diversidad y abundancia a nivel clase, órdenes y familias de la macrofauna presente en cada agroecosistema. El análisis que se aplicó a los resultados fue de dos tipos de diversidad: alfa y beta. Martella, et al., (2012) definen que “la diversidad alfa es la diversidad de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje” (p. 72).

5.3.1. Diversidad alfa de la macrofauna invertebrada

Los Mangos y Los Reyes son agroecosistemas pertenecientes a la comunidad San Agustín, Los Chiles, Río San Juan. En el agroecosistema Los Mangos se registraron 116 individuos, pertenecientes a cuatro clases taxonómicas (Clitellata, Diplopoda, Gastropoda e Insecta), siete órdenes (Coleoptera, Haplotaxida, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Orthoptera y Pulmonata) y seis familias (Formicidae, Gryllidae, Julidae, Lumbricidae, Nymphalidae y Tenebrionidae). Mientras que en el agroecosistema, Los Reyes se registraron 182 individuos, pertenecientes a 5 clases (Arachnida, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda e Insecta), ocho órdenes (Haplotaxida, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Opiliones, Orthoptera, Pulmonata y Spirostreptida) y ocho familias (Cosmetidae, Formicidae, Gryllidae, Julidae, Lumbricidae, Nymphalidae, Scelionidae y Spirostreptidae).

Sans (2007) en su artículo sobre la diversidad de los agroecosistemas afirma que el funcionamiento de los agroecosistemas propone el diseño de modelos de gestión agraria basados en un enfoque más ligado al medioambiente y socialmente más sensible, centrados no únicamente en la producción, sino también en la estabilidad ecológica (p. 44).

El análisis del tipo alfa propuesto por Renyi genera curvas comparativas entre agroecosistemas (Figura 12). Si alfa es igual a cero nos muestra la riqueza de los agroecosistemas; en ese punto Los Reyes es superior con dos familias taxonómicas por encima del agroecosistema Los Mangos. Si alfa se observa cercano a 1, la curva del agroecosistema Los Reyes decae en el eje y indicando inferioridad en términos de uniformidad; este comportamiento de la curva de Renyi se atribuye a la similitud que adopta según Shannon–Weaver en ese punto de la curva. Cuando alfa está en 2 el perfil se comporta inversamente a la dominancia de Simpson y posiciones más hacia la derecha de alfa representan equidad de Berger-Parker; en ambos casos se observa mejor el agroecosistema Los Mangos.

Rodríguez González, et al. (2017) realizaron un estudio para comparar dos agroecosistemas en términos de riqueza, uniformidad, dominancia y equidad de los invertebrados del suelo. Al utilizar perfiles de Renyi el agroecosistema manejado con enfoque agroecológico llamado El Chipote presentó una curva de diversidad superior por encima del agroecosistema El Manantial (p. 40).

El análisis de Renyi permite generar una gráfica de las diversidades. “Las curvas que presentan valores de Renyi por encima de la mediana en todod los órdenes [o en el taxon correspondiente] son más diversas. Las entropías de Renyi dan información fundamental a los índices de diversidad” (Camara Artigas & Porto de Lima, 2015, p. 257).

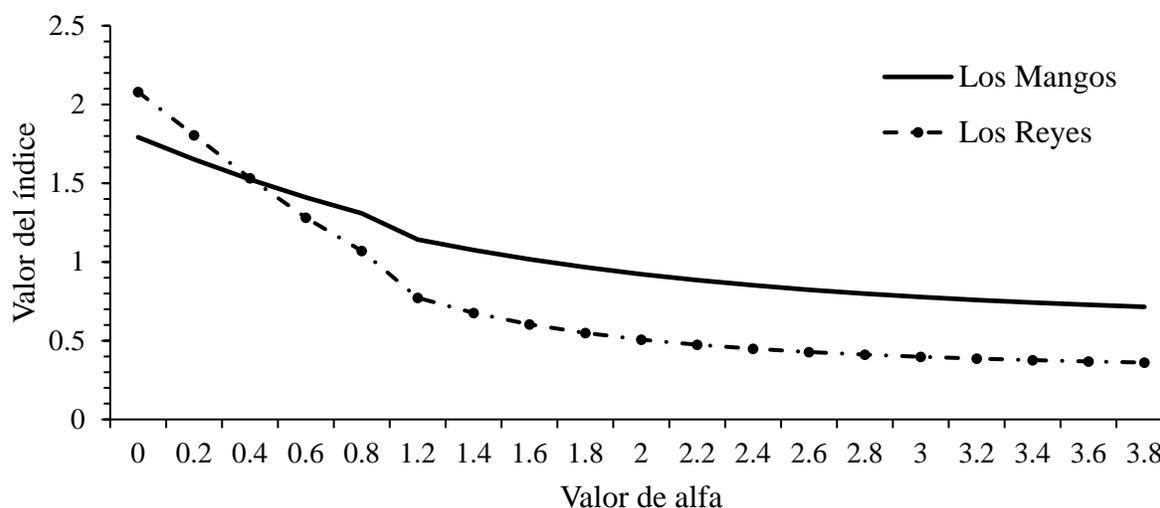


Figura 12. Índice de biodiversidad alfa (Renyi) para las familias taxonómicas de la macrofauna en dos agroecosistemas con cacao (Los Mangos y Los Reyes), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018.

Los Reyes obtuvo un resultado negativo en el perfil de Renyi porque en este agroecosistema viven un mayor número de individuos pertenecientes a la familia Lumbricidae. Organismo beneficioso para el agricultor.

5.3.2. Diversidad beta de la macrofauna invertebrada

Los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes presentan cinco familias taxonómicas idénticas de la macrofauna, cuya disimilitud es alta, media y baja (Figura 13). Nymphalidae es una familia taxonómica de mariposas que es considerada una plaga para ciertos cultivos. Esta familia fue observada en alta disimilitud. Gryllidae, Formicidae y Julidae son familias observadas con disimilitud baja.

Las larvas de *Dione juno huascuma* de la familia Nymphalidae son de tipo oligófagas, es decir, pueden alimentarse de un grupo de plantas de la misma familia, en este caso de la familia Passifloraceae (Sánchez y Rivas, 2008). El cultivo de la calala es de importancia comercial y pertenece a la familia la Passifloraceae.

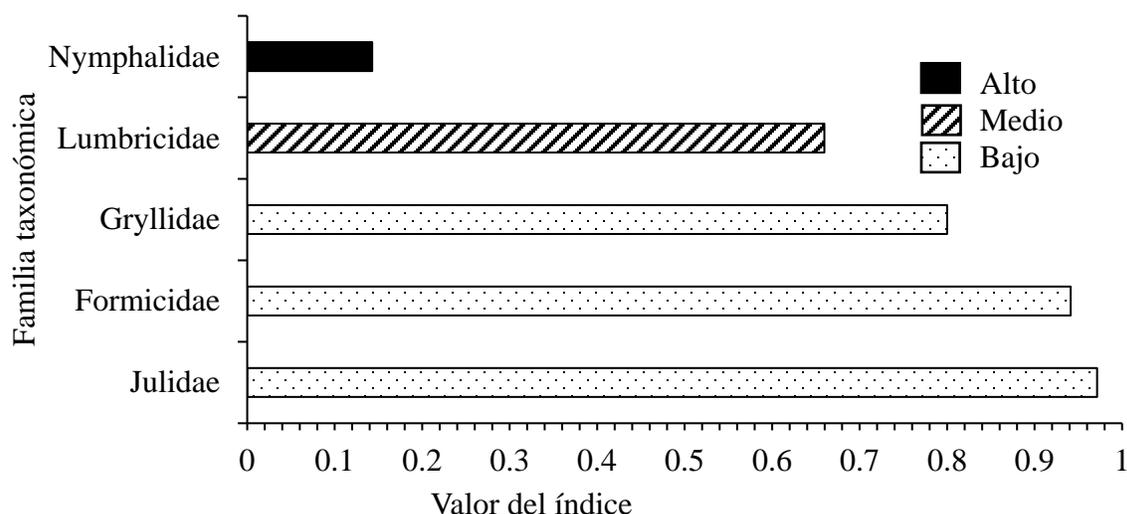


Figura 13. Índice de disimilitud Bray-Curtis para las familias de macrofauna en dos agroecosistemas con cacao (Los Mangos y Los Reyes), Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019.

En el agroecosistema Los Mangos se observó mayor abundancia de individuos pertenecientes a la familia Nymphalidae, generando la disimilitud (Figura 13). Este agroecosistema presenta en su diseño: pasto mejorado, potrero natural, árboles frutales dispersos y cultivo de cacao en

sistema agroforestal; estas son condiciones hospederas para la multiplicación de individuos de la familia Nymphalidae (Anexo 5).

La familia Lumbricidae presenta disimilitud media. El agroecosistema Los Reyes se destacó por ostentar una abundancia de individuos pertenecientes a Lumbricidae duplicando la cantidad observada en el agroecosistema Los Mangos, siendo esta familia de importancia para el funcionamiento del sistema. Las familias Gryllidae, Formicidae y Julidae tienen una disimilitud baja; se observa que para estas poblaciones ambos agroecosistemas son muy similares (Figura 13).

El suelo sostiene una red trófica compleja cuyo funcionamiento resulta en el reciclaje de la materia orgánica. Las lombrices participan en la descomposición de materia orgánica a través de los procesos asociados al paso a través de sus intestinos (Domínguez, Aira y Gómez, 2009).

Rodríguez, Vargas, et al. (2017) al aplicar el análisis beta de disimilitud según Bray-Curtis encontraron que de las 13 familias taxonómicas presentes en dos agroecosistemas tres se observaron entre las categorías intermedias y altas; una de ellas era Formicidae.

En los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes esa misma familia (Formicidae) se comportó con disimilitud baja, es decir, en ambos sistemas su incidencia es similar (Figura 13).

5.3.3. Funcionalidad de la macrofauna invertebrada

La macrofauna es una parte importante en el sistema edáfico. Estos organismos realizan funciones indispensables como la descomposición de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes y control biológico en la edafofauna; y puede ser considerada como indicadores biológicos de la calidad de los suelos y su estado de conservación (Romero Cruz, 2017, p. 16-17)

En ambos agroecosistemas (Los Mangos y Los Reyes) las funciones de la macrofauna edáfica comunes fueron: detritívoros, fitófagos, omnívoro, microvívoro-defoliador, ingenieros del suelo y polinizadores (Cuadro 11). El agroecosistema Los Reyes presentó organismos desempeñando dos funciones adicionales; depredadores y parasitoides.

Detritívoro

El grupo funcional detritívoros está representado en ambos agroecosistemas por las familias Julidae y Lumbricidae. La familia Tenebrionidae está presente solamente en el agroecosistema

Los Mangos y la familia Spirostreptidae se encuentra únicamente en el agroecosistema Los Reyes. La riqueza de ambos agroecosistemas es de tres familias. Lumbricidae se destacó con mayor abundancia en el agroecosistema Los Reyes (Cuadro 11)

Rodríguez, Chavarría, et al. (2017) determinaron que las prácticas agroecológicas benefician más a unas especies que a otras influyendo en el desbalance poblacional. El aumento de disponibilidad de materia orgánica permite condiciones propicias para que macroinvertebrados como la lombriz de tierra sean dominantes (p. 37).

Los milpiés (Julida: Familia Julidae; Spirostreptida: Familia: Spirostreptidae) “se alimentan principalmente de material vegetal en descomposición; pero una hipótesis alterna sostiene que el blanco de su alimentación no es el material vegetal, sino los microorganismos presentes en él, como bacterias y hongos” (Cupul Magaña, 2011, p. 16). En un estudio realizado por Hernández, Pietrosevoli, Faría, Palma y Canelón (2009) alimentaron individuos de la familia Lumbricidae con compost de estiércol bovino y fibra de fruto de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) para utilizar la función detritívora de esta familia y convertir esta materia en abono de calidad.

Castro Tovar, Pérez, & López-Colón (2011) confirman que las larvas y los adultos de individuos pertenecientes a la familia Tenebrionidae se alimentan de materia orgánica en descomposición, ya sea de origen animal o vegetal (p. 120).

Cuadro 11. Roles funcionales de las familias taxonómicas de macrofauna identificadas en dos agroecosistemas con cacao y ganado bovino (Los Mangos y Los Reyes), en Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, 2019.

Familia	Grupo Funcional															
	Detritívoro (n°)		Fitófago (n°)		Omnívoro (n°)		Depredador (n°)		Parasitoide (n°)		Microvívoro-defoliador (n°)		Ingeniero del suelo (n°)		Polinizador (n°)	
	LM*	LR**	LM	LR	LM	LR	LM	LR	LM	LR	LM	LR	LM	LR	LM	LR
Cosmetidae						3		3								
Formicidae					9	8					9	8	9	8		
Gryllidae			3	2												
Julidae	18	17														
Lumbricidae	63	128			63	128							63	128		
Nymphalidae			13	1											13	1
Scelionidae										7						
Spirostreptidae		1														
Tenebrionidae	1		1													
Total	82	146	17	3	72	139	0	3	0	7	9	8	72	136	13	1

Agroecosistema: *Los Mangos (LM); **Los Reyes (LR)

Fitófagos

Los integrantes de este grupo fueron la familia Gryllidae, Nymphalidae y Tenebrionidae. Las primeras dos están presentes en ambos agroecosistemas (Los Mangos y Los Reyes) la tercera solo está presente en el agroecosistema Los Mangos.

Existe una gran diversidad de insectos en sistemas de pasturas. Entre ellas los grillos, abundan y son consistentemente plagas en las pasturas. Viven en madrigueras durante el día. De noche cortan las plántulas de leguminosa por encima del suelo (Acosta, Pardo, Durán, Gualdrón, & Soto, 1997, p. 66).

De Vries (1987) afirma que los hábitos alimenticios de la familia Nymphalidae según el comportamiento del adulto pueden ser de dos tipos; un primer grupo que se alimenta del néctar de las flores y otro se alimenta de frutas en descomposición, exudados de las plantas y excrementos de mamíferos (Santos, Iserhard, Teixeira, & Romanowski, 2011, p. 254). Durante su estado larval esta familia se alimenta de las hojas de cultivos.

Las larvas de Coleoptera: familia Tenebrionidae son insectos que causan severos daños en las plantas de maíz, destruyen las raíces y dañan el tallo. Las infestaciones masivas son responsables por el vuelco de las plantas al debilitar el sistema radical (Granados, 2001, p. 81).

Omnívoros

El grupo funcional de omnívoros fue representado por las familias Formicidae y Lumbricidae ambas encontradas en los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes. La familia Cosmetidae fue observada solo en el agroecosistema Los Reyes (Cuadro 11).

En el estudio de la diversidad de la comunidad de Opiliones (Arachnida) en la Reserva Comunal Amarakaeri; Madre de Dios realizado por Coronel Quispe (2019) destaca que los Opiliones (familia: Cosmetidae) “no tienen un estómago capaz de succionar sus alimentos, por lo tanto, deben masticarlos ingiriendo pequeñas partículas. Por lo tanto, están expuestos a los parásitos y más aún cuando su hábito alimenticio es omnívoro” (p. 12). Las hormigas pertenecientes a la familia Formicidae se comportan como organismos omnívoros (Cabrera-Dávila, 2014, p. 8). Las lombrices de tierra pertenecen al grupo funcional de omnívoros (Huerta, Brown, & Bautista, 2011, p. 451).

Depredadores

El agroecosistema Los Reyes fue el único en presentar depredadores (Opiliones: Familia Cosmetidae). Lucio Palacio & Chamé Vázquez (2013) afirman que “la acción depredadora y degradadora que cumplen los opiliones los dota de importancia para cultivos y áreas naturales” (p. 202).

Parasitoides

Bernal (2007) define al parasitoide “a todo insecto que en estado larvario es parásito de otro artrópodo, el huésped (hospedero o anfitrión), mientras que en estado adulto vive libremente. A diferencia del parásito, el parasitoide en la mayoría de los casos termina matando al huésped” (p. 62-63). Los integrantes de la familia Scelionidae son considerados parasitoides de *Diatraea sp*; insecto considerado plaga barrenador de la caña de azúcar y del maíz (Zumbado Arrieta & Azofeifa Jiménez, 2018). En el presente estudio el parasitoide de la familia Scelionidae se encontró, únicamente, en el Agroecosistema Los Reyes (Cuadro 11).

Microvívoro-defoliador

Las hormigas son un grupo de organismos que trabajan en equipo, al hacerlo defoliar cultivos como los frutales y otros; también se alimentan de hongos. La familia Formicidae a la que pertenecen las hormigas fue encontrada tanto en el agroecosistema Los Mangos como en Los Reyes.

Las hormigas de la casta de las obreras se encargan de transportar hojas al nido en gran cantidad en algunos casos resulta ser un problema considerándolas plaga por defoliar cortando hojas de árboles importantes, generando pérdidas económicas (Alva Huaccha & Ruiz Lozano, 2005, p. 61-62).

Ingenieros del suelo

Las lombrices, termitas y hormigas se distinguen de los macroinvertebrados del suelo por:

producir una gran variedad de estructuras órgano-minerales: deyecciones, nidos, montículos, macrosporos, galerías y cámaras. Las estructuras que producen han sido llamadas “estructuras biogénicas” y que representan sitios en que ocurren algunos procesos pedológicos fundamentales, como la estimulación de la actividad microbiana,

la formación de estructuras del suelo, la dinámica de la MO [Materia orgánica], y el intercambio de agua y gas en el suelo (Jiménez, Decaens, Thomas, & Lavelle, 2003, p. 4).

Las hormigas (Familia: Formicidae) pueden tener un lado malo defoliando y uno bueno mejorando las propiedades del suelo. En este grupo se adicionan las lombrices (Familia: Lumbricidae). Ambas familias fueron identificadas en ambos agroecosistemas siendo superior su abundancia en el agroecosistema Los Reyes en comparación al agroecosistema Los Mangos (Cuadro 11).

Los ingenieros del suelo involucran grupos consumidores de materia orgánica como las lombrices (Haplotaxida) y las termitas (Blattodea); tienen definida su función en el ecosistema y causan un efecto sobre la transformación de las propiedades del suelo (Durán y Suárez, 2013). Las hormigas y las termitas reducen la compactación de los suelos circundantes a sus madrigueras (Jiménez, Decaens, Thomas, & Lavelle, 2003, p. 4).

Polinizadores

Jirón-Porras & Hedström (1985) hicieron observaciones de insectos polinizadores que visitan las flores en el cultivo de mango, dentro de los visitantes más comunes se encontró que el 33 % de ellos pertenecían a dos familias: Nymphalidae y Lycaenidae. La familia Nymphalidae fue identificada en mayor proporción dentro del agroecosistema Los Mangos, llamado así por la presencia de árboles de mango dentro del agroecosistema (p. 269).

VI. CONCLUSIONES

Los agricultores de los agroecosistemas Los Mangos y Los Reyes han implementados diseños y manejos de la biodiversidad poco complejos y lo gestionan bajo el paradigma convencional.

En ambos agroecosistemas, el principal indicador de calidad físico limitante es la profundidad del suelo, que no es apta para cultivos que tienen la capacidad de profundizar su raíz pivotante más de un metro. En ambos agroecosistemas, la materia orgánica es el principal indicador químico limitante, que influye sobre la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la saturación de bases. En ambos agroecosistemas las poblaciones de lombrices de tierra no son idóneas, es decir inferiores a 64 individuos por metro cuadrado.

En ambos agroecosistemas, la diversidad alfa de la macrofauna edáfica fue muy similar. Se identificaron siete familias taxonómicas en el agroecosistema Los Mangos y ocho en el agroecosistema Los Reyes, con 116 y 182 individuos, respectivamente. En ambos agroecosistemas, las funciones de la macrofauna edáfica fueron: detritívoros, fitófagos, omnívoro, microvívoro-defoliador, ingenieros del suelo y polinizador. Las funciones de depredadores y parasitoides se presentaron en el agroecosistema Los Reyes. En ambos agroecosistemas, las familias Lumbricidae y Julidae 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.

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

En ambos agroecosistemas se deben implementar obras de conservación de suelos y agua, tales como: zanjas de drenaje en zonas de encharcamiento, curvas a nivel y barreras vivas o muertas.

Los propietarios de estos agroecosistemas deben capacitarse para elaborar insumos biológicos para aprovechar los estiércoles.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta, A. E., Pardo, O., Durán, C. V., Gualdrón, R., & Soto, G. (1997). *Establecimiento de pasturas en suelos ácidos de Colombia*. Colombia: CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Obtenido de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/Digital/SB197.E8V.3_Capacitaci%C3%B3n_en_tecnolog%C3%ADa_de_producci%C3%B3n_de_pastos.pdf
- Almada, M. S., Szwarc, D., Vitti, D., Masin, C., & Cruz, M. S. (2019). Macrofauna edáfica: potencial indicador en suelos con producción algodonera. *Voces y Ecos*, 30-33. Obtenido de https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_revista_voces_y_ecos_nro_41_0.pdf
- Altier, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. 7-20. Obtenido de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921/152421>
- Altieri, M. A. (1999). El Agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. En M. A. Altieri, *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable* (pág. 338). Montevideo: Nordan-Comunidad. Obtenido de https://www.icia.es/icia/download/Agroecolog%C3%ADa/Material/Agricultura_sustentableII.pdf
- Altieri, M., & Nicholls, C. I. (2000). Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable. En M. Altieri, & C. Nicholls, *Enfoque agroecológico para el desarrollo de sistemas de producción sustentables para los campesinos andinos* (pág. 250). Obtenido de [file:///D:/Cacao%202021/Literatura%20cacao%202021/Dise%C3%B1o%20biodiversidad%20\(5\)/Agoecolog%C3%ADa%20TeoriayPracticapar%20Altieri%202000.pdf](file:///D:/Cacao%202021/Literatura%20cacao%202021/Dise%C3%B1o%20biodiversidad%20(5)/Agoecolog%C3%ADa%20TeoriayPracticapar%20Altieri%202000.pdf)
- Alva Huaccha, E., & Ruiz Lozano, P. (2005). *Estudio ambiental del efecto desfoliador y su alteración etológica del *atta sp.* (Hormiga) en el distrito de Moyobamba, departamento de San Martín- Perú*. Moyobamba, Perú: Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, Tesis ingeniero ambiental. Obtenido de file:///C:/Users/addis/Downloads/TP_IAMB_00017_2005.pdf
- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods (Segunda ed.)*. Wallingford, Inglaterra: CAB Internacional. UK. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/John_Ingram5/publication/232141777_Tropical_Soil_Biology_and_Fertility_A_Handbook_of_Methods/links/589b556592851c942dda326/Tropical-Soil-Biology-and-Fertility-A-Handbook-of-Methods.pdf
- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., & Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 605-620. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236511.pdf>
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., Del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97. Obtenido de [file:///C:/Users/addis/Downloads/572-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1080-1-10-20120930%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/addis/Downloads/572-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1080-1-10-20120930%20(1).pdf)
- Bernal, J. S. (2007). Biología, Ecología y Etología de Parasitoides. En L. A. Rodríguez-del-Bosque, & L. A. Arredondo-Bernal, *Teoría y Aplicación del Control Biológico* (pág. 303). Sociedad Mexicana de Control Biológico. Obtenido de file:///C:/Users/addis/Downloads/Bernal_07BiologaEcologayEtologadeParasitoides.pdf

- Bertinaria, F. (2015). Agricultura di piccola scala in Centro America: valutazione della sostenibilità di sistemi agricoli agroecologici. *Tesis de Maestría, Universidad de Torino*, 71. Torino, Italia.
- Bignell, D. E., Constantino, R., Csuzdi, C., Karyanto, A., Konaté, S., Louzada, J., . . . Zanetti, R. (2012). Macrofauna. En F. M. Moreira, E. J. Huising, & D. E. Bignell, *Manual de biología de suelos tropicales: muestreo y caracterización de la biología bajo el suelo* (pág. 350). México: Instituto Nacional de Ecología. Obtenido de http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/217/667_2012_Manual_biologia_suelos_tropicales.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Brown, G. G., Barois, I., & Lavelle, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Bio*(36), 178-198. Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_57-58/010024175.pdf
- Cabrera Dávila, G., & López Iborra, G. M. (2018). Caracterización ecológica de la macrofauna edáfica en dos sitios de bosque siempreverde en El Salón, Sierra del Rosario, Cuba. *Bosque*, 39(3), 363-373. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v39n3/0717-9200-bosque-39-03-00363.pdf>
- Cabrera-Dávila, G. d. (2014). *Manual practico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba*. Obtenido de <https://docplayer.es/8347137-Manual-practico-sobre-la-macrofauna-edafica-como-indicador-biologico-de-la-calidad-del-suelo-segun-resultados-en-cuba.html>
- Camara Artigas, R., & Porto de Lima, V. R. (2015). Análisis comparado de la biodiversidad de formaciones vegetales tropicales y subtropicales. *OKARA: Geografia em debate*, 248-260. Obtenido de file:///C:/Users/DRCE87~1.DEN/AppData/Local/Temp/26736-57535-2-PB.pdf
- Castro Tovar, A., Pérez, T., & López-Colón, J. I. (2011). *Leptoderis collaris* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera, Tenebrionidae, Pimeliinae, Elenophorini) capturado en el Complejo del Romeral Antequera, Málaga, Andalucía). *ARQUIVOS ENTOMOLÓXICOS*, 5, 119-123. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/267268532_Leptoderis_collaris_Linnaeus_1767_Coleoptera_Tenebrionidae_Pimeliinae_Elenophorini_capturado_en_el_Complejo_del_Romeral_Antequera_Malaga_Andalucia
- CCRECRL (Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerna). (2009). *Manual de conservación de suelo y agua*. México. Obtenido de <http://www.edomexico.gob.mx/Cuenca/doc/pdf/Manual-Conservacion-Suelo-y-Agua.pdf>
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical)-TSBF(Tropical Soil Biology and Fertility Program). (s.f.). Protocolo de muestreo para la macrofauna del suelo. Obtenido de https://suelosandinos.files.wordpress.com/2015/09/ciat-tsbflac-procedimiento_muestreo-macrofauna_suelo-jun-2011.pdf
- Coronel Quispe, B. R. (2019). *Estudio de la diversidad de la comunidad de Opiliones (Arachnida) en la Reserva Comunal Amarakaeri; Madre de Dios*. Cusco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Tesis de biología. Obtenido de http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/5018/253T20190802_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cotler-Ávalos, H., & Lazos-Chavero, E. (2019). La multifuncionalidad de agroecosistemas en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, Méxicp. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 513-537. Obtenido de file:///C:/Users/addis/Downloads/MultifuncionalidaddeagroecosistemasCuixmalaCotlerLazos.pdf
- Crespo, G. (2013). Funciones de los organismos del suelo en el ecosistema de pastizal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(4), 329-334. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193029815001.pdf>
- Cupul Magaña, F. G. (2011). Los miriápodos Los miriápodos Moisés HERRERA. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 18(83), 15-17. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/294/29420070003.pdf>
- Díaz Torres, K. R. (2019). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Siuna, Nicaragua. *Universidad Nacional Agraria, tesis de maestría*, 115. Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/3870/1/tnf08d542e.pdf>
- EcuRed (Enciclopedia cubana en la red). (2019). <http://www.ecured.cu>. Obtenido de Enciclopedia cubana en la red: [https://www.ecured.cu/San_Carlos_\(Nicaragua\)](https://www.ecured.cu/San_Carlos_(Nicaragua))
- Estrada-Herrera, I. R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz Suárez, J. J., Navarro-Garza, H., & Etchevers-Barra, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *AGROCIENCIA*, 51(8), 813-831. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2015). El suelo un recurso no renovable: su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible. Obtenido de file:///D:/Cacao%202021/Literatura%20cacao%202021/Suelo%205.2/Suelo-recurso-no-renovable-FAO-2015.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2015b). Suelos y su biodiversidad: los suelos albergan una cuarta parte de la biodiversidad de nuestro planeta. 4. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4551s.pdf>
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. (2011). *Guía sobre prácticas de conservación de suelos / Proyecto Promoción de Sistemas Agroforestales de Alto Valor con Cacao en Honduras*. La Lima, Cortés, Honduras. Obtenido de http://www.fhia.org.hn/downloads/guia_conservacion_de_suelos.pdf
- García Centeno, L. J., Suárez González, G. F., Gámez García, N. E., Mejía Ocampo, A. S., Urbina Ruíz, D. I., López Montenegro, G., & Medina Acuña, R. I. (2017). Balance aparente de nutrientes y caracterización de propiedades físicas y químicas del suelo. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. 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* (pág. 90). Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- García Centeno, L. J. (2017). *Manual: Metodologías de campo para determinar la profundidad, la densidad aparente, materia orgánica e infiltración del agua en el suelo*. managua, Nicaragua: Grupo SEVEN Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf>
- García Centeno, L. J., Hodgson Lacayo, M. M., Martínez Guzmán, V. P., & Rocha Espinoza, J. D. (2017). Balance aparente de nutrientes y caracterización de propiedades físicas y

- químicas del suelo. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua* (pág. 72). Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- García Centeno, L., Blandón Vivas, M. L., Blandón Vivas, W. A., Alemán Patterson, M. A., López Mairena, Y. O., García López, O. G., & Cáceres Gutiérrez, C. I. (2017). Balance aparente de nutrientes y evaluación de propiedades físicas y químicas del suelo. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. e. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & O. L. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Condega, Nicaragua* (pág. 77). Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269125071001.pdf>
- Gómez Anaya, J. A. (2008). Ecología de los ensamblajes de larvas de Odonatos (Insecta) y su uso potencial como indicadores de calidad acológica en la sierra de Coalcimán, Michoacán, México. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, tesis doctoral*, 291. Hidalgo, Mexico. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/15734/Ecologia%20de%20los%20ensamblajes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Granados, G. (2001). Insectos del maíz. En R. L. Paliwal, *El Maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Roma: FAO. Obtenido de <file:///D:/Cacao%202021/Literatura%20cacao%202021/Suelo%205.2/FAO%202011.pdf>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Mcgraw Hill. Obtenido de <file:///F:/Cacao%202021/Literatura%20cacao%202021/Mat%20y%20met/Hern%C3%A1ndez%20Sampieri%20et%20al%202010.pdf>
- Huerta, E., Brown, G. G., & Bautista, F. (2011). Macroinvertebrados del suelo y lombrices de tierra. En F. Bautista Zuñiga, *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (pág. 770). México D.f., México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <file:///C:/Users/addis/Downloads/00-ACompletoMuestreo.pdf-A1.pdf>
- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). (2017). *Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.* Obtenido de www.inatagri.com:https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas
- IPS (Instituto de políticas para la Sostenibilidad). (2004). *Programa de Pago por Servicios Ambientales para el desarrollo y la conservación de la Reserva de Biosfera del Sureste de Nicaragua*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARENA). Obtenido de http://www.aecid.org.ni/wp-content/uploads/2014/02/1269880824_Informe-final-PSA-San-Carlos.pdf
- Jiménez, J. J., Decaens, T., Thomas, R. J., & Lavelle, P. (2003). La macrofauna del suelo: Un recurso natural aprovechable pero poco conocido. En J. J. Jiménez, & R. J. Thomas, *El Arado Natural: Las Comunidades de Macroinvertebrados del Suelo en las Sabanas*

- Neotropicales de Colombia* (pág. 444). Cali: CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Obtenido de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/arado_natural.pdf
- Jirón-Porras, L. F., & Hedström, I. (1985). Pollination ecology of mango (*Mangifera indica* L.) (Anacardiaceae) in the neotropical region. *Ecología de la polinización del mango (Mangifera indica L.) (Anacardiaceae) en la región neotropical. Turrialba*, 35(3), 269-277. Obtenido de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=oet.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=003029>
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J*, 4-10. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/a0f7/fd8e56f86acdc596aa86364b49610deb2550.pdf>
- Lavelle, P. (1996). Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. *Biology International* (33), 3-16. Obtenido de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.491.2284&rep=rep1&type=pdf>
- Leyva Galán, Á., & Lores Pérez, A. (2012). Nuevos índices para evaluar la agrobiodiversidad. *Agroecología*, 109-115. Obtenido de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/171061>
- Lucio Palacio, C. R., & Chamé Vázquez, D. (2013). Opiliones: las arañas que no son arañas. En M. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Chiapas, *La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado*. Chiapas, México. Obtenido de file:///C:/Users/addis/Downloads/Lucio-PalacioCham-Vzquez2013Opiliones_lasaraasquenonaraas.pdf
- Maes, J. M. (2007). *Identificación y clasificación de insectos en la Reserva Natural Datanlí-El Diablo*. León, Nicaragua: MARENA. Obtenido de <http://www.bionica.info/biblioteca/InsectosDatanli2007.pdf>
- Martella, M. B., Trumper, E. V., Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). Manual de Ecología: Evaluación de la biodiversidad. *Reduca (Biología). Serie Ecología*, 71-115. Obtenido de <file:///C:/Users/DRCE87~1.DEN/AppData/Local/Temp/917-1115-1-PB.pdf>
- Martinez Guzman, M. A. (2013). *Tecnologías para el uso sostenible del agua: una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático*. Tegucigalpa, Honduras. Obtenido de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/Tecnologias_para_el_uso_sostenible_del_agua.pdf
- McGavin, G. C. (2000). *Manual de identificación: insectos, arañas y otros artrópodos terrestres*. Barcelona: Editorial Omega, SA.
- Nájera Rincón, M. B., & Souza, B. (2010). *Insectos benéficos: guía para su identificación*. Uruapan: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Obtenido de https://www.academia.edu/8795502/Insectos_Ben%C3%A9ficos_Gu%C3%ADa_para_su_Identificaci%C3%B3n?pls=RHCNeDDgd
- Navarrete Segueda, A., Vela Correa, G., López Blanco, J., & Rodríguez Gamin, M. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 29-37. Obtenido de <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>

- Orozco Aguilar, L., & López Sampson, A. (2016). *Colección de esquinas técnicas para la mejora productiva del cacao*. Managua, Nicaragua. Obtenido de https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/esquinas_tecnicas_de_cacao.pdf
- Ortiz Gamino, D., & Ortiz Ceballos, Á. I. (2018). Belleza extravagante y funcionalidad: lombrices de tierra. *Biodiversitasw*(138), 12-16. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Angel_I_Ortiz-Ceballos/publication/325320585_Belleza_extravagante_y_funcionalidad_Lombrices_de_tierra/links/5b058d54a6fdcc8c25228f24/Belleza-extravagante-y-funcionalidad-Lombrices-de-tierra.pdf
- PIMM (Plan de Inversión Municipal Multianual). (2002). *Plan de Desarrollo Municipal de San Carlos Río San Juan*.
- Platas-Rosado, D. E., Vilaboa-Arroniz, J., González-Reynoso, L., Severino-Lendechy, V. H., López-Romero, G., & Vilaboa-Arroniz, I. (2017). Un análisis teórico para el estudio de los agroecosistemas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 395-399. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93953814017>
- Ríos S, Y. (s.f.). 47-52. Obtenido de http://www.rapaluruaguay.org/organicos/Importancia_lombrices_agricultura.pdf
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *RIC*, 101-105. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/234019718.pdf>
- Rodríguez González, H. R., Aguilera Quiroz, Y. J., Pilarte Morraz, M., Herradora Gutiérrez, Y., Galeano Altamirano, N. M., García López, O. G., & Cáceres Gutiérrez, C. I. (2017c). Diagnóstico 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. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua* (pág. 79). Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- Rodríguez González, H. R., Aguilera Quiroz, Y. J., Pilarte Morraz, M., Herradora Gutiérrez, Y., Galeano Altamirano, N. M., García López, O. G., & Cáceres Gutiérrez, C. I. (2017). Macrofauna del suelo y su funcionalidad. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua*. Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- Rodríguez González, H. R., Chavarría Díaz, B. R., Martínez Arauz, J. A., & Rocha Espinoza, J. D. (2017). Macrofauna del suelo y su funcionalidad. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua* (pág. 72). Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- Rodríguez González, H. R., Chavarría Díaz, B. R., Martínez Arauz, J. A., & Rocha Espinoza, J. D. (2017b). Diagnóstico 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. A. Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua* (pág. 71). Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://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). Diagnóstico 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. A. 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* (pág. 90). Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Rodríguez González, H. R., Vargas Urbina, J. E., Laguna Ramírez, M. J., González Merlo, L. H., Herrera Moncada, H. J., López Montenegro, G., & Medina Acuña, R. I. (2017). Macrofauna del suelo y su funcionalidad. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. A. 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* (pág. 90). Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Romero Cruz, D. D. (2017). *Evaluación de la macrofauna en el suelo de las chacras familiares en la comunidad Fakcha llakta*. Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7137/1/03%20RNR%20247%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Montevideo, Uruguay: UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. Obtenido de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Calero, C. A., Morales Navarro, A. M., & Valverde Luna, L. O. (2017a). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (Coffea arabica L.) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua*. Managua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ea.pdf>
- Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Calero, C. A., Morales Navarro, M. A., & Valverde Luna, L. O. (2017b). *Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua*. Managua: Grupo SEVEN Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>
- Salazar Centeno, D. J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Calero, C. A., 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 Nicaragua. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>
- Sánchez, V. H., Iglesias, C., & Zambrano, J. L. (2019). Diagnóstico y prospectiva de la cadena de valor del cacao en América Latina y El Caribe. En H. V. Sánchez, J. L. Zambrano, & C. Iglesias, *La cadena del valor del cacao en América Latina y El Caribe* (pág. 99). Quito, Ecuador. Obtenido de https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_CACAO_linea_base.pdf
- Sans, F. X. (2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas*, 44-49. Obtenido de <file:///C:/Users/DRCE87~1.DEN/AppData/Local/Temp/137-Texto%20del%20art%C3%ADculo-268-1-10-20120922.pdf>
- Santos, J. P., Iserhard, C. A., Teixeira, M. O., & Romanowski, H. P. (2011). Fruit-feeding butterflies guide of subtropical Atlantic Forest and Araucaria Moist Forest in State of

- Rio Grande do Sul, Brazil. *Biota Neotrop.*, 11(3), 253-274. Obtenido de : <http://www.biotaneotropica.org.br/v11n2/en/abstract?article+bn01311032011>
- SQI (Instituto de Calidad de Suelos). (2000). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Argentina. Obtenido de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). (2020). Indicadores de calidad del suelo: indicadores químicos y funciones del suelo. 4. Obtenido de http://s3-us-west-2.amazonaws.com/treefruit.wsu.edu/wp-content/uploads/2020/03/30113345/Ind-Cal-Suelo-Quimicos_02-17-20.pdf
- Vázquez Moreno, L. L., & Matienzo Brito, Y. (2010). *Metodología para la caracterización rápida de la diversidad biológica en las fincas, como base para el manejo agroecológico de plagas*. La Habana, Cuba. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/287214736_Metodologia_para_la_caracterizacion_rapida_de_la_diversidad_biologica_en_las_fincas_como_base_para_el_manejo_agroecologico_de_plagas
- Vázquez Moreno, L. 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. Obtenido de <file:///C:/Users/DRCE87~1.DEN/AppData/Local/Temp/182951-Texto%20del%20art%C3%ADculo-665021-1-10-20130923.pdf>
- Vázquez, L. L., Matienzo, Y., & Griffon, D. (2014). Diagnóstico participativo de la biodiversidad en fincas en transición agroecológica. *Fitosanidad*, 18(3), 151-162. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209143451003.pdf>
- Vázquez, L., Matienzo Brito, Y., Simonett, J. A., Veitía Rubio, M., Paredes Rodríguez, E., & Fernández González, E. (2012). Contribución al diseño agroecológico de sistemas de producción urbanos y suburbanos para favorecer procesos ecológicos. *Agricultura Orgánica*, 18(3). Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/3_contrib_diseno_y_manejo_agroec_sist_prod_agricultura_organica-sem_agroec.inta_cnia-112016.pdf
- Vilaboa Arroniz, J. (2018). La ganadería doble propósito desde una visión agroecosistémica. *Agro productividad*, 9-15. Obtenido de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/489>
- Von Bertalanffy, L. (1976). *Teoría general de sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Mexico: Fondo de Cultura Económica. Obtenido de https://cienciasyparadigmas.files.wordpress.com/2012/06/teoria-general-de-los-sistemas_-fundamentos-desarrollo-aplicacionesludwig-von-bertalanffy.pdf
- Wilson, M. G., & Sasal, M. C. (2017). Aplicación de indicadores de calidad de suelo para el monitoreo agroambiental. En G. M. Wilson, *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina* (pág. 293). Ediciones INTA. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/manual_ics_final.pdf
- Yong, A. (2010). La biodiversidad florística en los sistemas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 31(4), 10. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000400012
- Zumbado Arrieta, M. A., & Azofeifa Jiménez, D. (2018). *Guía básica de entomología: insectos de importancia agrícola*. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/H10-10951.pdf>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Medición de infiltración en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua



Anexo 2. Recolección de muestras para realizar análisis químicos del suelo en los agroecosistemas Los Reyes (LR) and Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua



Anexo 3. Extracción de monolitos para la identificación de macrofauna en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua



Anexo 4. Identificación morfológica de macrofauna recolectada en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua



Anexo 5. Lista de árboles frutales, energéticos y maderables en los agroecosistemas Los Reyes (LR) y Los Mangos (LM), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua

Nombre común	Nombre científico	Familia	LM	LR
Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.	Persea	x	
Almendro	<i>Prunus dulcis</i> Mill	Rosaceas	x	
Cacao	<i>Theobroma cacao</i> L.	Malvaceae	x	x
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Meliaceae	x	
Cedro macho	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.).	Meliaceae	x	
Cedro real	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	x	
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> L.	Malvaceae	x	
Chaperno	<i>Lonchocarpus yoroensis</i> Standl.	Fabaceae	x	
Chilamate	<i>Ficus insípida</i> will.	Moraceae	x	X
Coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	x	
Elequeme	<i>Erythrina fusca</i> Lour.	Fabaceae	x	x
Espavel	<i>Anacardium excelsum</i> Bertero & Balb. ex Kunth.	Anacardiaceae	x	
Guaba	<i>Inga edulis</i> Mart.	Leguminosae	x	
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae	x	x
Guayabo negro	<i>Hesperomeles ferruginea</i> Pers.	Rosaceae	x	
Jiñocuabo	<i>Bursera simarub</i> L.	Burceraceae	x	
Laurel	<i>Laurus nobilis</i> L.	Fagaceae	x	x
Limón	<i>Citrus limon</i> L.	Rutaceae	x	
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> Jacq.	Fagaceae	x	x
Mandarina	<i>Citrus x tangerina</i> L.	Rusaceae	x	
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	x	x
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> L.	Rutaceae	x	x
Ojoche	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Moraceae	x	
Pera	<i>Pyrus communis</i> L.	Rusaceae	x	
Roble	<i>Quercus robur</i> L.	Fagaceae	x	x
Total de forestales			18	7
Total de frutales			7	3