



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

SEDE DE JUIGALPA

JOFIE ACUÑA CRUZ

Trabajo de Tesis

Diseño de agroecosistemas, macrofauna presente y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018

Autor

Br. Álvaro Reynaldo Gómez López

Asesor(es)

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 DE JUIGALPA

JOFIEL ACUÑA CRUZ

Trabajo de Tesis

Diseño de agroecosistemas, macrofauna presente y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018

Autor

Br. Álvaro Reynaldo Gómez López

Asesor(es)

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. Álvaro José Noguera Talavera
Presidente

Ing. Juan José Oporta López
Secretario

Ing. José Antonio Vargas Pasos
Vocal

Lugar y Fecha: Juigalpa 24 de abril del 2021

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a nuestro Señor Jesucristo por darme las fuerzas, la sabiduría, la salud y el deseo de seguir adelante hasta lograr mi objetivo de escalar un peldaño más profesionalmente.

Seguidamente, dedico esta tesis para optar al grado de ingeniero agrónomo a mi familia, a mi Padre Manuel de Jesús Gómez Jirón, a mi Madre Catalina López Cabrera, a mis hermanos MSc Holman Gómez López, Ing. Mirian Gómez López, Lic. Zayda Gómez López, a mis sobrinas Keyling, Fajardo Gómez, Joseline Fajardo Gómez, Marbellys Fajardo Gómez.

Dedico esta tesis a mis amigos Bertha Leonor Rivas, Edwin Mauricio Espinoza Fernández, Néstor Luis González Ruiz, Juan Noel Castro Guzmán, Silvio José Valdez Morales y Germán Calero Oporta, quienes me apoyaron día a día a no dar paso atrás, ni para tomar impulso; siempre estuvieron dándome ímpetus, palabras de aliento y sacar fuerzas de flaquezas en los momentos más difíciles, fueron mi bastión para lograr mi objetivo de llegar a ser un profesional.

AGRADECIMIENTO

De todo corazón quiero agradecer especialmente a Dios sobre todas las cosas, a mis Padres Manuel de Jesús Gómez Jirón y Catalina López Cabrera; a mis hermanos MSc. Holman Gómez López, Ing. Mirian Gómez López, Lic. Zayda Gómez López y a mis sobrinas Keyling, Fajardo Gómez, Joseline Fajardo Gómez, Marbellys Fajardo Gómez.

También, agradezco a mis amigos Bertha Leonor Rivas Edwin Mauricio Espinoza Fernández, Néstor Luis González Ruiz, Noel Castro Guzmán, Silvio José Valdez Morales y German Calero Oporta.

Agradezco a los productores Julio Cesar Martínez Varela y su esposa quien me dio alojamiento en su casa para poder realizar mi tesis, al productor Reynaldo Galeano Reyes quien me apoyo con su agroecosistema para realizar la recopilación de los datos para mi tesis.

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Nacional Agraria (UNA) y a todos mis maestros, quienes compartieron sus conocimientos, tiempo y paciencia.

Agradezco a mis asesores: Dr. Dennis José Salazar Centeno, Ing. MSc Leonardo José García Centeno, y al Ing. MSc Hugo René Rodríguez González.

Manifiesto mi agradecimiento al Ing. Juan Carlos Fernández, quién me apoyó para ingresar al grupo de tesis de Rio San Juan.

Finalmente, exteriorizo mi gratitud a la Universidad Nacional Agraria. A todas las personas e instituciones que he nombrado, les doy infinitas gracias por hacer este sueño realidad.

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. Diseños y manejos de la biodiversidad	4
3.2. Caracterización de agroecosistemas cacaoteros	4
3.3. Caracterización de agroecosistemas con café	5
3.4. Caracterización de agroecosistemas con ganado bovino	6
3.5. Caracterización de agroecosistemas con granos básicos	6
3.6. Indicadores de calidad del suelo	7
3.7. Indicadores biológicos	8
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	11
4.1. Ubicación y periodo del estudio	11
4.1.1. Clima del municipio de San Carlos	12
4.1.2. Suelo del municipio de San Carlos	12
4.1.3. Vegetación del municipio de San Carlos	12
4.2. Diseño metodológico	12
4.2.1. Grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad	13

4.2.2.	Determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo	14
4.2.3.	Identificación taxonómicamente de macrofauna edáfica	16
4.2.4.	Análisis de datos	17
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5.1.	Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas	18
5.1.1.	Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva	18
5.1.2.	Manejo y conservación del suelo	20
5.1.3.	Manejo y conservación del agua	22
5.1.4.	Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos	23
5.1.5.	Diseño y manejo de la biodiversidad auxiliar	24
5.1.6.	Estado de los elementos de la biodiversidad asociada	26
5.1.7.	Coefficientes del manejo de la biodiversidad	27
5.2.	Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad de los suelos de los agroecosistemas	33
5.2.1.	Indicadores físicos de los suelos de los agroecosistemas	33
5.2.2.	Indicadores químicos de los suelos de los agroecosistemas	36
5.2.3.	Indicador biológico de los suelos de los agroecosistemas	39
5.2.4.	Comparación de los indicadores de calidad de los suelos de los agroecosistemas	41
5.3.	Identificación taxonómica de la macrofauna, su diversidad alfa, beta y funcionalidad	47
5.3.1.	Diversidad alfa de la macrofauna	47
5.3.2.	Diversidad beta de la macrofauna	49
5.3.3.	Funcionalidad de la macrofauna	50
VI.	CONCLUSIONES	55
VII.	RECOMENDACIONES	56

VIII.	LITERATURA CITADA	57
IX.	ANEXOS	66

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Lotes de los agroecosistemas La Palma (LP) y El Recuerdo (ER), San Agustín, Los Chiles, Nicaragua, 2017-2018	13
2	Componentes, indicadores y fórmula para calcular el componente y el Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB)	14
3	Nivel de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en el agroecosistema	14
4	Categorización de la presencia de materia orgánica (MO) en el suelo	15
5	Categorías de valoración de los parámetros del suelo evaluados según García (2017)	15
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	16
7	Categorías de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), saturación de bases (SB) y del número de lombrices de tierra por metro cuadrado	16
8	Características físicas y químicas de las parcelas o lotes en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan	42
9	Disponibilidad de nutrientes (Kg ha^{-1}) en los agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan	43
10	Valores promedios de las características químicas de los cuatro agroecosistemas evaluados, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan	46
11	Roles funcionales de las familias taxonómicas de macrofauna identificadas en dos agroecosistemas con cacao (La Palma y El Recuerdo), en Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, 2019	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Ubicación de los agroecosistemas en estudio (La Palma y El Recuerdo) en la comunidad San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	11
2	Diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr), en dos agroecosistemas con cacao, San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	19
3	Manejo y conservación del suelo (MCS) en dos agroecosistema con cacao, San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	21
4	Manejo y conservación de agua (MCA) en dos agroecosistema con cacao, San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	22
5	Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr) en dos agroecosistema con cacao, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	24
6	Diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	25
7	Estado de los elementos de la biodiversidad asociada (EBAs) en dos agroecosistema con cacao, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	27
8	Coeficientes de manejo de la biodiversidad (CMB) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018	32
9	Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema La Palma, propietario Reynaldo Galeano Reyes, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	34
10	Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema El Recuerdo, propietario, Julio Cesar Martínez Varela, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018.	35
11	Comparación de los indicadores físicos, químicos y biológicos de los dos agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.	44
12	Perfiles de diversidad Renyi que caracterizan las familias de macrofauna en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, Rio San Juan, 2019.	48
13	Disimilitud de Bray-Curtis para las familias de macrofauna en dos agroecosistema con cacao Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, 2019.	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Lista de árboles frutales, energéticos y maderables en los agroecosistemas La Palma (LP) y El Recuerdo (ER), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018	69
2	Identificación de macrofauna utilizando estereoscopio en el Laboratorio de la Universidad Nacional Agraria Sede Juigalpa, 2019-2020	70

RESUMEN

Las evaluaciones de los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad y salud del suelo en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz son fundamentales para el rediseño agroecológico de los agroecosistemas. El objetivo de la presente tesis consistió en evaluar los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Los Chiles, San Carlos; para lo cual se implementaron diferentes métodos: la encuesta, observación directa, laboratorio de entomología y estadística descriptiva. Los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo son poco complejos, sus principales indicadores de calidad físico limitantes del suelo son la profundidad y la textura, las principales limitaciones químicas están relacionadas con la disponibilidad de los nutrientes del suelo y la materia orgánica; las poblaciones de lombrices por metro cuadrado superaron los 100 individuos, que representa un indicador biológico idóneo. En ambos agroecosistema, la diversidad alfa de la macrofauna y su abundancia fueron muy similares. Se identificaron 13 familias taxonómicas en el agroecosistema El Recuerdo y 12 en el agroecosistema La Palma, con 272 y 291 individuos, respectivamente, compartieron diez familias, y la familia Lumbricidae es la más abundante y dominante. La macrofauna desempeña siete funciones comunes: detritívoros, fitófago, depredadores, microvivoros-defoliadores, omnívoros, ingenieros del suelo y polinizadores. Los hematófagos se reportaron en el agroecosistema El Recuerdo, mientras que los saprófagos se identificaron en el agroecosistema La Palma. Las funciones detritívoras, omnívoras e ingenieros del suelo son las que se realizan con mayor frecuencia.

Palabras clave: macroinvertebrados, agroecología, biodiversidad, manejo, índices

ABSTRACT

Evaluations of the design and management of biodiversity, macrofauna and indicators of quality and soil health in the buffer zone of the Indio Maíz Biological Reserve are fundamental for the agroecological redesign of agroecosystems. The objective of this thesis consisted in evaluating the designs and management of biodiversity, macrofauna and indicators of quality and soil health in two agroecosystems with cacao (*Theobroma cacao* L.) in Los Chiles, San Carlos; for which different methods were implemented: the survey, direct observation, entomology laboratory and descriptive statistics. The designs and management of the biodiversity of the La Palma and El Recuerdo agroecosystems are not very complex, their main physical quality indicators limiting the soil are depth and texture, the main chemical limitations are related to the availability of soil nutrients and organic matter; the worm populations per square meter exceeded 100 individuals, which represents an ideal biological indicator. In both agroecosystems, the alpha diversity of the macrofauna and its abundance were very similar. 13 taxonomic families were identified in the El Recuerdo agroecosystem and 12 in the La Palma agroecosystem, with 272 and 291 individuals, respectively, sharing ten families, and the Lumbricidae family is the most abundant and dominant. Macrofauna perform seven common functions: detritivores, phytophagous, predators, microvivoros-defoliators, omnivores, soil engineers, and pollinators. Hematophages were reported in the El Recuerdo agroecosystem, while saprophages were identified in the La Palma agroecosystem. Detritivore, omnivorous, and soil engineering functions are most frequently performed.

Keywords: macroinvertebrates, agroecology, biodiversity, management, indices

I. INTRODUCCIÓN

“Nicaragua es un país eminentemente agropecuario, cuenta con una gran cantidad de recursos naturales y diversidad de ambientes agroclimáticos que permiten la explotación de diversos rubros tanto agrícolas como pecuarios, donde se encuentran diferentes sistemas de producción” (Castrillo y Castro, 2009, p. 12).

La posición geográfica de Nicaragua, “le otorga condiciones favorables para el desarrollo de la biodiversidad, por ser una zona de transición de clima tropical a clima subtropical en donde convergen distintos rangos de distribución de especies mundialmente importantes” (MARENA, 2014, p. 14).

“La degradación del ambiente y el uso irracional de los recursos naturales, constituyen uno de los principales problemas a resolver por los investigadores contemporáneos” (Sabtini, Wilson, Muzzachiodi y Dorsch, 1999, p. 8).

“El clima cambiará y debido a nuestra falta de conocimiento podemos contar ... con eventos naturales extremos... Además de las sorpresas en los eventos de perturbación, existe mucha incertidumbre en la reacción de los sistemas ecológicos al contexto ecológico futuro” (Lugo, 2001, p. 484).

“El cacao necesita de tres años para comenzar su producción y se puede cultivar en cualquier tipo de suelo desde franco arenosos hasta arcillas pesadas. Cuando utilizamos el cacao en nuestras parcelas aseguramos la protección de nuestro recurso suelo” (Estrada, Romero y Moreno, 2011, p. 1).

“Para lograr un manejo sostenible del recurso suelo es necesario correlacionar las propiedades físicas, químicas y biológicas ya que entre ellas se presenta una Interdependencia directa y, por ende, no se pueden tomar como propiedades aisladas” (Ramírez, 1997, 5 p.).

En la literatura se han abordado varias características para el uso de un determinado grupo taxonómico como bioindicador. “Los invertebrados que integran la macrofauna del suelo manifiestan algunos de estos rasgos, lo cual justifica su utilización como indicadores biológicos” (Cabrera, 2012, p. 350).

“En las comunidades de invertebrados existen especies que debido a su intensa acción mecánica y a su relación eficaz con la microflora, determinan la abundancia y la actividad de los organismos que no poseen esas aptitudes” (Jiménez, Decaens, Thomas y Lavelle, 2003, p. 5).

La presente investigación está fundamentada en estudios previos sobre diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de suelo en agroecosistemas con cacao, café, ganadería y granos básicos, en la zona del pacífico, central, norte y la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (Salazar et al. 2017a, p. 10; Salazar et al. 2017b, p. 10; Salazar et al. 2017c, p. 11; Díaz, 2019, p. 4).

Existen dudas en los productores y profesionales afines a las actividades agropecuarias sobre la utilidad que tienen investigaciones de este tipo porque a nivel general siempre esperan resultados tangibles económicos. Si hicieramos una valoración económica de la contribución propositiva realizada por la macrofauna en términos de funciones para la productividad, se entendería que de suprimir estas funciones es probable que la productividad decaiga en gran proporción. En la realidad se requiere de múltiples procesos biológicos en los que está involucrada la macrofauna en simbiosis con los cultivos para obtener productos. No se puede conocer a ciencia cierta que organismos están contribuyendo a este proceso a menos que se realice investigaciones que caractericen estas relaciones.

El problema de los agroecosistemas actualmente existentes en toda Nicaragua es que desarrollan una serie de actividades a diario sin medir las relaciones que tiene la biota presente en la cadena de procesos desarrollados para producir. Acciones de manejo repetidas incrementan la degradación de suelos en forma progresiva resultando en una reducción del hábitat para organismos endémicos de zonas como Río San Juan.

Resultados sobre impacto que tiene la actividad agrícola sobre la macrofauna en el departamento de Río San Juan, específicamente en la comunidad San Agustín, Los Chiles, no se han publicado. Con la presente tesis se evaluaron los diseños y manejos de la biodiversidad, macrofauna e indicadores de calidad y salud del suelo en dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

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

2.2 Objetivos específicos

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

III. MARCO DE REFERENCIA

“El área total del país son aproximadamente 130 mil km², de estos, 11 mil km² son tierras arables, 53 mil km² son praderas y pasturas, y 27 mil km² son bosques” (Tijerino, 2008, p. 17). Para optimizar la producción de nuestro país se requieren de diseños de agroecosistemas más eficientes en términos de productividad y funcionalidad.

3.1. Diseños y manejos de la biodiversidad

“En los agroecosistemas se desarrollan funciones más allá de lo productivo. Hoy se reconoce la funcionalidad ecosistémico, socioeconómica y cultural. Esta forma de comprender los agroecosistemas no es solo una construcción conceptual, sino además una forma de abordaje metodológico” (Melo, 2015, p. 1).

El estudio de los agroecosistemas “ha sido abordado desde diferentes marcos teóricos y propuestas metodológicas que reconocen la complejidad del tema por los múltiples factores y variables biofísicas, ecológicas, culturales, ambientales, sociales y económicas que inciden sobre la arquitectura y funcionamiento de ellos” (De los Ríos et al. 2004, p. 1469).

Diseñar y manejar la biodiversidad requiere estudios y sistematización de procesos dentro de la actividad agrícola. Toda unidad productiva agropecuaria es considerada un sistema con componentes que pueden ser evaluados desde su biología (Rodríguez et al. 2017a, p. 20; 2017b, p. 21 y 2017c, p. 19). Existen metodologías como la de Vázquez (2013, p. 33) que estudian y caracterizan sistemas para obtener resultados descriptivos que son útiles para diferentes zonas agroecológicas donde puede desarrollarse el cultivo de cacao con excelentes resultados (Díaz, 2019, p. 17).

3.2. Caracterización de agroecosistemas cacaoteros

“Los sistemas agrícolas que incluyen cacao constituyen ejemplos de sistemas sostenibles de producción, porque la explotación comercial de esta planta es factible con pocos daños al ambiente; es una de las pocas opciones agrícolas para el trópico húmedo bajo” (Phillips y Krauss, 2002, p. 1).

El cacao en Nicaragua requiere temperaturas que oscilen entre 22 y 27° C y necesita cantidades de lluvia entre los 1500 y 3500 mm/año, con al menos 150 mm por mes. Los suelos aptos para este cultivo van desde los arcillosos hasta los francos arenosos. Las arcillas tienen la facilidad de absorber agua dentro

de su estructura cristalina. Los suelos arenosos, aunque poseen buen espacio poroso para la penetración de raíces, carecen de buena retención de agua, razón por la cual no son recomendados para la siembra de cacao en lugares con períodos secos. (Arvelo, González, Maroto, Delgado y Montoya, 2017, 27 p.)

“La temperatura y la lluvia son los aspectos ambientales que pueden limitar las zonas aptas para el desarrollo del cultivo, ya que estos son considerados los factores climáticos críticos para su desarrollo” (Johnson, Bonilla y Agüero, 2008, p. 11).

“El cacao es una planta que se desarrolla bajo sombra. La humedad relativa puede contribuir a la propagación de algunas enfermedades del fruto. Estas exigencias climáticas han hecho que el cultivo de cacao se concentre en tierras bajas tropicales” (ANACAFE, 2004, p. 4).

3.3. Caracterización de agroecosistemas con café

“El rol de una finca de café, era solo producir café, sin entender que en esa finca también se debería producir agua limpia, mantener el suelo sano, almacenar dióxido de carbono (CO₂) y proteger la biodiversidad” (Soto, 2017, p. 3).

Alulima (2012) afirma que “El café es un cultivo muy emblemático a nivel mundial que ha tomado mucho auge en los últimos años ... la producción de café agroecológico es una alternativa para muchas familias campesinas” (p. 1).

En Nicaragua “no se consigue producir todo el café que sería posible. El problema radica, básicamente, en el uso de una tecnología atrasada, además de por la falta de asistencia técnica en cuanto a los análisis de los suelos ...” (Cuadras, 2009, p. 12).

En plantaciones de café “la temperatura y la precipitación son dos factores del clima que inciden significativamente en el cultivo. Adicionalmente, se deben seleccionar lotes donde las condiciones físicas y químicas del suelo favorezcan un desarrollo sano y vigoroso del cultivo” (SOLIDARIDAD, 2009, p. 10).

El estudio realizado en Colombia por Suárez, Rodríguez y Durán (2014) con cultivo de café encontraron que “a través del análisis de varianza multivariado, prueba de Hotelling, se encontraron diferencias ($P < 0.001$) para pH, Ca, Mg, Na, saturación de bases (SB), Al, P, Zn, K, Mn, M.O y B entre los tipos de suelos” (p. 342).

“Las investigaciones en curso se interesan en las características agronómicas de los cafetos y en el eventual impacto de la técnica sobre el medio ambiente. Los productores familiares de café poseen pequeñas parcelas muy diversificadas con rendimientos muy bajos” (CIRAD, 2002, p. 5).

3.4. Caracterización de agroecosistemas con ganado bovino

En Centroamérica “el sector ganadero ocupa el 25% de la superficie de tierra, con degradación de pasturas estimado entre 50%-80% y representa aproximadamente el 14% de las emisiones de gases de efecto invernadero” (FAO, 2017, p. 10).

“El departamento de Chontales es uno de los pilares en la actividad ganadera del país. De este territorio sale el 20 % de toda la producción nacional de leche fluida y el 30 % de los derivados lácteos” (Espinoza y Urbina, 2016, p. 2).

“La ganadería, como cualquier otra actividad económica, requiere una mejor utilización de los factores de producción —tierra, trabajo y capital— para desarrollar sistemas de producción más intensivos, de mayor productividad y a la vez sostenibles” (Marín y Paiz, 2017, p.11).

“La producción cacaotera y la ganadería bovina pueden coexistir dentro de los agroecosistemas. El estudio desarrollado por (Larragán, 1958) demostró que la mazorca de cacao, un residuo en las plantaciones, puede ser utilizada en raciones para la alimentación de ganado bovino incrementando su peso vivo” (p. 27).

“Es muy importante tener animales que aporten alimentos, ganancias, abono y fuerza de trabajo para la agricultura. Las leguminosas y gramíneas dan al suelo proteína, energía, vitaminas y minerales en la alimentación de los animales” (MAGAP, 2009, p. 11).

“Los negocios verdes son aquellos donde se aplican innovaciones que generan beneficios al medio ambiente, contribuyen a la mitigación, impulsan la conservación y renovación de los recursos” (Milán, Escobedo y Reyes, 2017, p. 27).

3.5. Caracterización de agroecosistemas con granos básicos

“El cultivo de granos básicos tiene el potencial de producir alimento de excelente calidad, ofrecer buena rentabilidad, generar empleo y ser orientado hacia pequeños y medianos productores” (Berrios, Bermúdez y Torres, 2008, p. 5).

“Los granos básicos (maíz, frijol, sorgo y arroz) son la dieta fundamental de la población nicaragüense, la cultura de sus ciudadanos está muy arraigada a cultivos como el maíz, del cual se derivan una serie de alimentos típicos” (INATEC, 2018, p. 1).

“La producción de granos básicos (maíz y frijol particularmente), sufrió en los años setenta una acusada relegación hacia las tierras de frontera agrícola, debido al avance de la agricultura agro exportadora que ocupó las tierras del Pacífico” (García y Plata, 2015, p. 14).

“El grano se ha cultivado históricamente en función de la dieta alimenticia básica del nicaragüense, constituida por maíz, frijol y arroz. Otros países centroamericanos también son consumidores de frijol, particularmente los vecinos: El Salvador y Costa Rica” (Paz, Flores y Delmelle, 2007, p. 4).

“Aunque en Nicaragua cada año se realizan grandes esfuerzos por aumentar las áreas de siembras de los principales rubros agrícolas, sobre todo en cultivos de granos básicos, aún persisten problemas de eficiencia técnica y productividad en el desempeño de estos rubros” (López, 2017, p. 1).

“Es urgente desarrollar acciones que garanticen el mejoramiento de la productividad de los granos básicos, así como su adaptación ante el Cambio Climático, que evidentemente seguirá afectando estos cultivos con mayor intensidad en el futuro” (INPRHU, 2020, p. 3).

“Los granos básicos constituyen la base fundamental de la alimentación de la población nicaragüense y es además una fuente importante de empleo en el campo. En esta actividad participan la casi totalidad de los pequeños productores del país” (Tijerino, Vega y Bone, 2008, p.15).

3.6. Indicadores de calidad del suelo

“Los indicadores son un grupo de mediciones u observaciones definidos por investigadores que por experiencia reconocen dichos datos como relevantes y sirven de referencia para evaluar cierto sistema o recurso.” (Saab, 2012, p. 17).

El análisis de la calidad de los suelos requiere la verificación de indicadores. Afanador et al (2019) “Los valores mayores del índice de calidad correspondieron al policultivo, guadales y cultivo de café. Se concluye que el uso de variables como la densidad aparente, pH, son indicadores relevantes que permiten evaluar adecuadamente la calidad edáfica en agroecosistemas” (p. 35).

“La materia orgánica es una variable de calidad establecida en suelos agrícolas, cambia lentamente y se precisan de muchos años para que se produzcan cambios medibles en un suelo debido al manejo” (Ochoa, Hinojosa, Gómez y García, 2007, p. 4).

3.8. Indicadores biológicos

Dentro de los indicadores biológicos encontramos a la macrofauna ésta “por acción de la ingestión y deyección del suelo, contribuyen a la conformación de estructuras macro-agregadas resistentes. Los macro-invertebrados mezclan los residuos orgánicos, producto de la ingestión y la deyección, al excavar madrigueras para transportar suelo a la superficie” (Pashanasi, 2001, p. 1).

“El suelo tiende a un estado de equilibrio tras un lento proceso de formación denominada edafogénesis. En estas condiciones el suelo se encuentra cubierto por una vegetación que le aporta una cantidad progresiva de materia orgánica y nutriente” (Vargas, 2010, p. 1).

“Los indicadores biológicos propuestos 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” (Bautista, Etchevers, Del Castillo y Gutiérrez, 2004, p.95).

En un estudio desarrollado por Toresani, et al. (2009) evidenciaron que “el sistema de siembra directa con cultivo de cobertura presentó la mayor actividad biológica indicando que el aporte de carbono de los cultivos es el factor más estimulante de la actividad biológica del suelo” (p. 77).

Karlen et al. (1997) destacan que:

“El suelo sostiene el crecimiento y diversidad de plantas y animales aportando el medio físico, químico y biológico para los intercambios de agua, aire, nutrientes y energía, regula la distribución del agua entre la infiltración y escorrentía y regula el flujo de agua y solutos, incluyendo nitrógeno, fósforo, pesticidas y otros nutrientes y compuestos disueltos en el agua, almacena y modera la liberación de los nutrientes de los ciclos de las plantas y otros elementos, actúa como filtro para proteger la calidad del aire, agua y otros recursos, es el apoyo de estructuras, filtra, amortigua, degrada, inmoviliza y detoxifica sustancias orgánicas e inorgánicas.”

FAO (2020) menciona que:

“Las principales características del suelo que se consideran como indicadores de su salud se designan, la disponibilidad de nutrientes, la facilidad de trabajarlo, la disponibilidad de oxígeno para las raíces, la capacidad de retención de nutrientes, la toxicidad, la salinidad y las condiciones de enraizamiento”.

“Los indicadores de la calidad de suelo se conciben como una herramienta de medición que debe ofrecer información sobre las propiedades, los procesos y las características. Estos se miden para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado” (Astier et al. 2002).

Doran y Parkin, (1994) expresan que:

“El concepto de calidad del suelo está relacionado con las funciones y el uso del mismo, siendo atributo de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, por tanto, la calidad de suelo es la capacidad del mismo de funcionar con su ecosistema y su uso, sustentando la productividad biológica, la calidad del ambiente, la salud de las plantas, animales y la población.”

Rucks et al. (2004) describe 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.”

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación y periodo del estudio

El estudio sobre los diseños y manejos de la biodiversidad, la macrofauna e indicadores de calidad del suelo se desarrolló en dos agroecosistemas (La Palma y El Recuerdo) con cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicados en la comunidad San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, en periodo del 2017-2018 (figura 1).

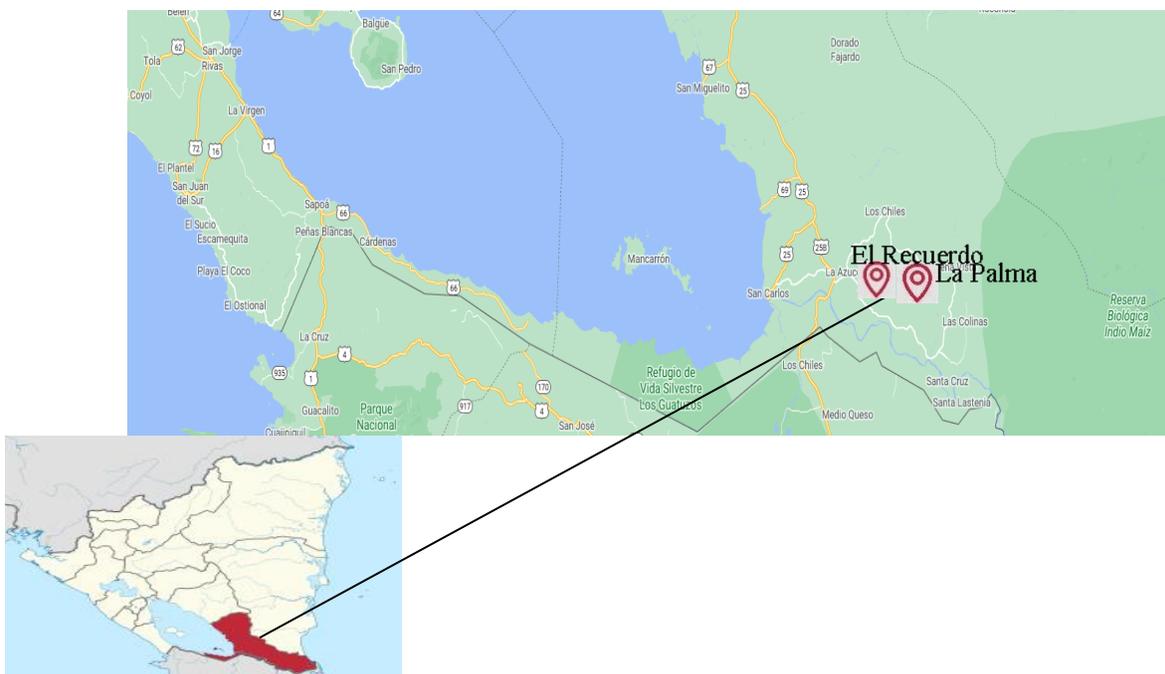


Figura 1. Ubicación de los agroecosistemas en estudio (La Palma y El Recuerdo) en la comunidad San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

Un Agroecosistema es La Palma, propiedad del productor Reynaldo Galeano Reyes, su perímetro es de un área de 25.2 ha (Cuadro 2). Este se localiza en las siguientes coordenadas 11°14'51.94" latitud Norte y 84°33'19.99" O longitud Oeste, cuya altitud sobre el nivel del mar (msnm) es de 85 m. Los rubros principales de este agroecosistema son cacao, granos básicos y ganadería bovina extensiva.

El segundo agroecosistema es El Recuerdo, propiedad del productor Julio Cesar Martínez Varela, cuya área es de 17.5 ha.

Éste se localiza en las siguientes coordenadas 11°14'53.16'' latitud N y 84°33'34.13'' longitud O, a una altitud de 65 msnm. Al igual que al agroecosistema anterior, los rubros de mayor ingreso económico son cacao, granos básicos y ganadería bovina extensiva.

4.1.1 Clima del municipio de San Carlos

El clima predominante es Tropical de Selva Monzónica y Tropical de Selva. El período seco dura de 1 a 4 meses. La temperatura media anual varía de 28 a 33°C y la precipitación pluvial anual entre los 2,000 y 2,400 mm (Alcaldía Municipal de San Carlos, 2004, p. 1).

4.1.2. Suelo del municipio de San Carlos

“San Carlos, pertenece a un tipo de suelo ondulado, son suelos muy arcillosos, plásticos y adhesivos, durante la época seca se resquebrajan, tienen un color gris oscuro, permanecen mojados la mayor parte del año, su manejo es más difícil” (ENACAL, 1996, p.2).

4.1.3. Vegetación del municipio de San Carlos

San Carlos presenta condiciones de bosque en las comunidades cercanas al municipio. “Estos bosques han sido explotados desde la parte final del siglo XIX, pero fue aproximadamente desde el año de 1936, que se explotaron con mayor intensidad y siempre en forma selectiva” (Alcaldía Municipal de San Carlos, 2004, p. 1).

4.2. Diseño metodológico

El estudio desarrollado según Hernández, Fernández y Baptista (1991) es del tipo transeccional, no experimental, descriptivo correlacional (p. 30).

Para subdividir los agroecosistema en lotes se consideró características del terreno como: pendiente, vegetación, cultivos anuales, cultivos perennes, ganado y pastos. Ambos agroecosistemas se subdividieron en cuatro lotes o parcelas, lo que se expresa en el cuadro

1.

Cuadro 1. Lotes de los agroecosistemas La Palma (LP) y El Recuerdo (ER), San Agustín, Los Chiles, Nicaragua, 2017-2018

Lote o parcela	Agroecosistemas	
	La Palma (LP)	El Recuerdo (ER)
I	Pasto natural (4.4 ha)	Granos básicos (2.8 ha)
II	Cacao (0.5 ha)	Pasto mejorado (4.9 ha)
III	Pasto mejorado (7.2 ha)	Pasto natural (9.45 ha)
IV	Granos básicos (13.1 ha)	Cacao (0.35 ha)
Total ha	25.2	17.5

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

La complejidad en los agroecosistemas se estudia de forma gradual. Es un proceso de caracterización donde los indicadores se armonizan para evaluados uno o varios agroecosistemas y obtener referentes comparables. Los elementos que integran el diseño fueron estudiados usando la metodología de Vázquez (2013) “La biodiversidad se considera esencial en el proceso de reconversión de los sistemas de producción agropecuaria y en la resiliencia al cambio climático” (p. 33). En el cuadro 2 se indican los componentes en estudio, una vez analizados estos componentes el resultado debe ser categorizado según una escala para el Coeficiente del Manejo de la Biodiversidad (Cuadro 3).

La biodiversidad productiva se refiere a la biota introducida que se planifica, se cultiva o se cría con fines económicos (Vázquez, Matienzo y Griffon, 2011, p. 155).

La biodiversidad productiva es la biota introducida que se planifica y se cultiva o cría con fines económicos, donde se incluyen los indicadores sobre tipos y diversidad de rubros productivos y la complejidad de sus diseños y manejos; también la procedencia y origen del material genético que se utiliza (Vázquez et al. 2011, p. 128).

Cuadro 2. Componentes e indicadores necesarios para obtener el Coeficiente de Manejo de la Biodiversidad (CMB)

Componentes	Indicadores
Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva (DMBPr)	18
Manejo y conservación del suelo (MCS)	7
Manejo y conservación del agua (MCA)	5
Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr)	5
Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu)	15
Elementos de la biodiversidad asociada (EBAs)	14
Total	64

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

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

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

El suelo puede ser evaluado en sus propiedades observando la profundidad del suelo (cm, densidad aparente (gcm^{-3}), porosidad (%), infiltración (cmh^{-1}), pH y textura a través del tacto (García, 2015, p. 18). La materia orgánica se puede medir de forma cualitativa cuando reacciona con agua oxigenada (cuadro 4).

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

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

Todos los resultados obtenidos por cada parámetro se comparan con los valores categorizados en el cuadro 5. Las categorías van de 1-5 dependiendo del resultado se realiza un análisis y se clasifican.

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

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

Se recolectaron muestras de suelo en forma aleatoria dentro de cada lote por agroecosistema descrito en el cuadro 1. Estas fueron obtenidas a 20 cm de profundidad, etiquetadas y llevadas al Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria. Los métodos utilizados en el laboratorio para la obtención de resultados pueden ser consultados en el cuadro 6.

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

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

Todas las muestras fueron tomadas a 20 cm de profundidad

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

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

Categorías	Parámetros o indicadores del suelo		
	CIC	Saturación de bases	Lombrices por metro cuadrado
1	< 10	<20	Menos de 16
2	10 – 20	21-35	16 a 32
3	21 – 35	36- 45	33 a64
4	36 – 45	46 - 85	65 a 96
5	> 45	> 86	Más de 99

4.2.3. Identificación taxonómicamente de macrofauna

La recolección de macrofauna fue hecha utilizando la metodología de Anderson y Ingram (1993, p. 44). La extracción de monolitos se realizó en cinco puntos por lotes profundizando hasta 30 cm. Los organismos fueron extraídos en el sitio y colocados en frascos conteniendo alcohol etílico al 75%.

Las muestras recolectadas se trasladaron al Laboratorio de Multiuso de la Universidad Nacional Agraria Sede Juigalpa. Utilizando estereoscopio (Mitutoyo, Model #377-974A), se detallaron sus características morfológicas para ser clasificados identificados desde Phylum hasta familia. Para la identificación se utilizaron claves taxonómicas de diferentes literaturas como Coto (1998), Andrews, McGavin (2000), Coronado y Márquez (1991), Mendoza y Gómez (2006), Caballero y Matute (1989), Cabezas (1996), Ayala y Monterroso (1998,) y Cabrera (2014).

4.2.4. Análisis de datos

El análisis a los diseños y manejos de los agroecosistemas se hacen graficas del tipo radial. Las propiedades fisicoquímicas se expresan en cuadros y gráficos del tipo AMEBA. La presencia de macrofauna se interpreta con gráficos de líneas, índices de diversidad de Renyi y disimilitud de Bray-Curtis.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

El diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad se realizó en dos agroecosistemas (La Palma y El Recuerdo) con cacao en la comunidad San Agustín, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, cuyo propósito consistió en determinar el grado de complejidad de la biodiversidad de cada agroecosistema, mediante metodología de Vázquez (2013, p. 34).

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

5.1.1. Diseños y manejos de los elementos de la biodiversidad productiva

En el agroecosistema La Palma, el valor del componente de los diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr), es superior (2.48); debido a que de los dieciocho indicadores (figura 2), cinco de ellos alcanzan el valor óptimo (4), y cuatro indicadores tienen un valor de 3, tres indicadores tienen el valor de 2 y seis valores tienen el valor de 1.

El Productor, Reynaldo Galeano Reyes, ha integrado más de tres tipos de rubros productivos vegetales y animales con una diversidad de especies de cultivos tales como pasto natural (Retana) y pasto mejorado Mombaza (*Brizantha*), cacao (*Theobroma cacao L.*), frijol, (*Phaseolus vulgaris L.*) maíz (*Zea mays L.*), 18 especies de árboles maderables, cuyas funciones son forestales y representan un activo para el agricultor. En el agroecosistema se identificaron un total de diez especies de árboles frutales (Cuadro 1a). Tiene cerdos, aves de corral (gallinas criollas, guineas, patos y chumpipes), ganado bovino y porcinos, con el 46 por ciento de su área con diseños silvopastoriles (árboles dispersos en los potreros).

El origen de los pies de cría y de las razas es, generalmente, propio; y tiene autosuficiencia de alimento para los animales de crianza. En el agroecosistema El Recuerdo, el valor del componente de los diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr), es inferior (2.13); cuatro de los 18 indicadores están en su valor óptimo (4), tres de ellos alcanzan un valor de 3, dos de ellos alcanzan el valor de 2 y nueve valores alcanza el valor de 1.

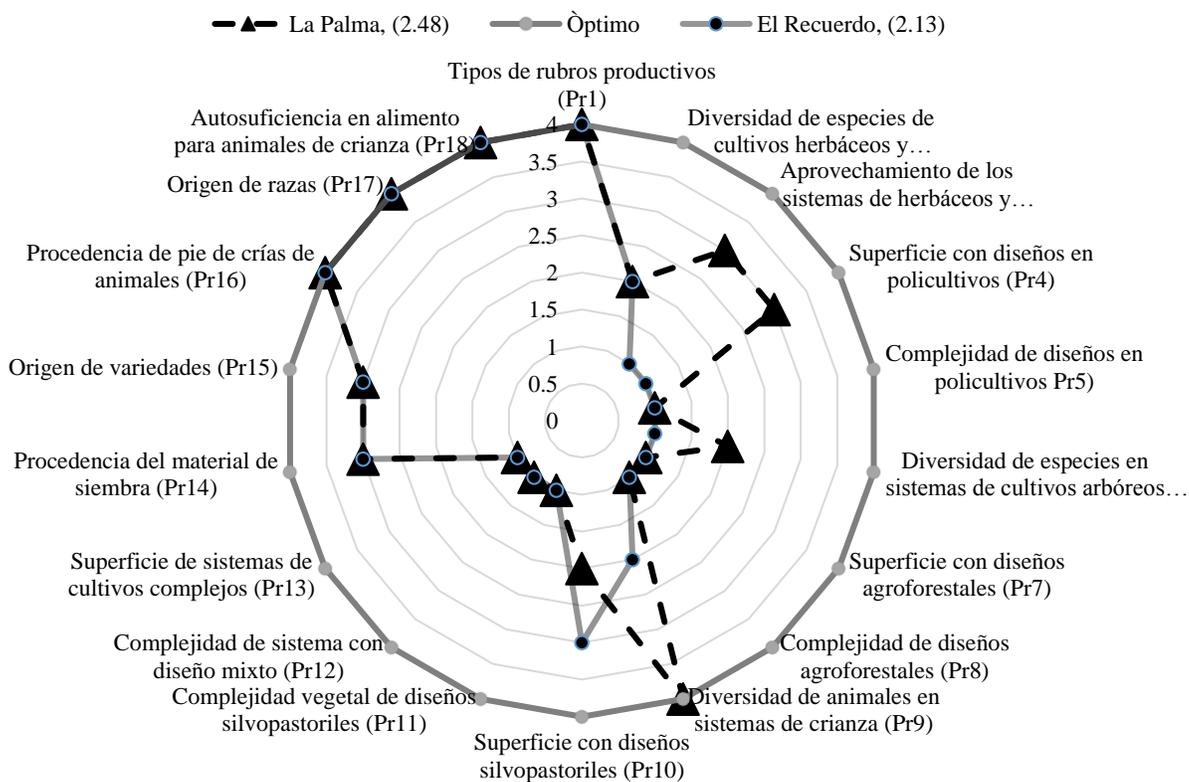


Figura 2. Diseños y manejos de la biodiversidad productiva (DMBPr), en dos agroecosistemas con cacao, San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

En el agroecosistema se cultiva cacao (*Theobroma cacao* L.), frijol, (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.), pastos natural, pasto mejorado y se identificaron 15 especies de árboles maderables (Cuadro 1a), cuyas funciones son forestales y 11 especies de árboles frutales (Anexo 1), cuya función es abastecer de frutas para el consumo familiar. Igual que el otro agroecosistema, tiene cerdos, aves de corral (gallinas criollas), ganado bovino y porcinos, con el 82 % de su área con diseños silvopastoriles (árboles dispersos en los potreros). El origen de los pies de cría y de las razas es, generalmente, propio; y tiene autosuficiencia de alimento para los animales de crianza.

5.1.2. Manejo y conservación de suelo

Las técnicas de conservación de suelo y agua son aquellas actividades que se ejecutan para evitar las pérdidas de los suelos por causa de la erosión, son muy diversas y deben ser seleccionadas en función de: la pendiente del terreno, del largo de ellas, de la vegetación existente en cada lugar y del costo; además, obedecen a tres principios fundamentales; primero favorecer la cobertura vegetal del suelo, segundo mejorar la infiltración del agua y tercero reducir o evitar que ella escurra sobre la superficie (INIA, 2003, p. 21).

En el agroecosistema El Recuerdo, el componente de manejo y conservación de suelo obtuvo un valor de 1.67, mientras que este valor, en el agroecosistema La Palma es de 1.89 (Figura 3). En ambos agroecosistemas, en más del 50% de su área se hace laboreo mínimo del suelo, dado que los pastizales y las siembras de granos básicos se realizan con espeque o macana, que contribuye a que los indicadores cinco y siete de este componente alcancen el valor óptimo (4). La siembra de granos básicos se realiza en un sistema de rotación, pero éste no es planificado y sin ningún diseño. La superficie para la rotación con granos básicos es mayor en el agroecosistema La Palma, que le representa el 52.9% de su superficie (Cuadro 1), alcanzando este indicador el valor de tres. Ninguno de los propietarios de estos agroecosistemas incorpora fuentes de biomasa al suelo, a pesar que ellos disponen de las excretas del ganado bovino. Por consiguiente, es fundamental que ambos agricultores se capaciten para que elaboren de las excretas de los rumiantes sus fertilizantes sólidos y líquidos.

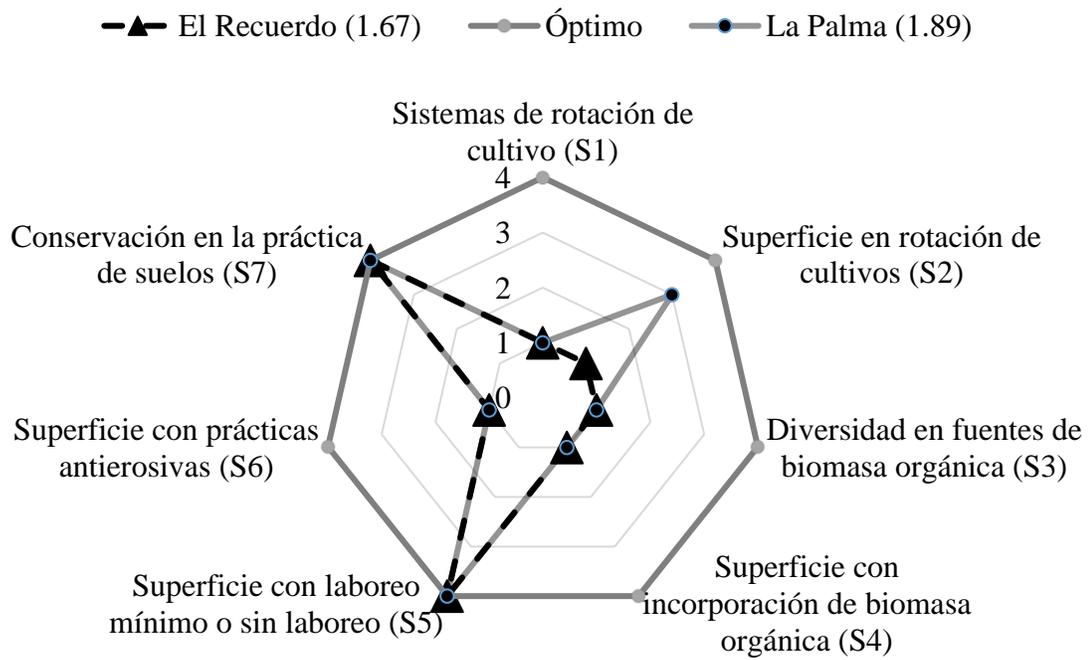


Figura 3. Manejo y conservación del suelo (MCS) en dos agroecosistema con cacao, San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

5.1.3. Manejo y conservación del agua

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

En ambos agroecosistemas se determinó el mismo valor (1.43) para el componente de manejo y conservación de agua (Figura 4). No existen superficies con sistemas de riego y por consiguiente sistemas de drenaje, no hay un manejo del drenaje y sistemas de drenaje, pero ambos agricultores disponen de un pozo y fuentes de agua natural (riachuelo) para el abastecimiento de este vital líquido para uso agropecuario. No obstante, es recomendable realizar zanjas de drenaje en las zonas que el agua pluvial se encharca.

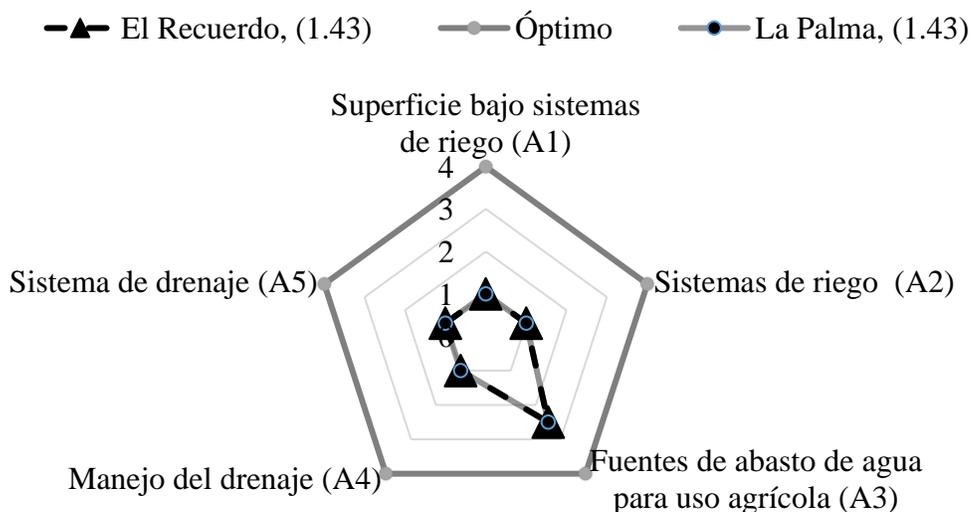


Figura 4. Manejo y conservación de agua (MCA) en dos agroecosistema con cacao, San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

La evaluación de las prácticas de conservación y manejo del agua requiere de indicadores más detallados, sea mediante estudios específicos o sistematizando experiencias de productores u otros agricultores, ya que ésta tiene múltiples efectos sobre la biodiversidad en el agroecosistema. En el sector productor se ha desarrollado una cultura de conservación y explotación sustentable de los recursos.

En general, se observan prácticas de manejo inadecuadas de los suelos, los cultivos y el agua; la erosión y el desperdicio de agua caracterizan la mayor parte del territorio de la entidad; incluso, se han abandonado y destruido muchas obras de conservación de suelos que se hicieron en décadas pasadas en lugar de mantenerlas y rehabilitarlas (CCRECRL, 2009, p. 11).

5.1.4. Manejos de las intervenciones sanitarias en rubros productivos

El manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos se refiere a productos y técnicas para reducir la incidencia de organismos nocivos a las plantas cultivadas y los animales de crianza, y para fortalecer su crecimiento y desarrollo. Los indicadores utilizados consideran la reducción de intervenciones, la integración de productos biológicos y de éstos, los que se obtienen en el propio agroecosistema (Vázquez et al. 2011, p. 161).

En ambos agroecosistemas se determinó el mismo valor (1.0) para el componente manejos de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (Figura 5). Ninguno de los agricultores ha reducido el número de intervenciones sanitarias en los rubros productivos vegetales y animales, pero expresaron que han bajado las dosis de aplicación por problemas económicos. Son muy dependientes de insumos externos como desparasitantes, vitaminas, fertilizantes, insecticidas y herbicidas, que es típico de un manejo convencional.

El uso indiscriminado de estos insumos, contribuye a la contaminación de las fuentes de agua y al deterioro de la biodiversidad a lo interno y externo del suelo. Desde la óptica agroecológica, se trata de ser lo menos dependiente de insumos externos sintéticos y producir en el agroecosistemas alternativas biológicas para los rubros productivos agrícolas y pecuarios.

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 (Yong, 2010, p. 7).

Sin embargo, ambos agricultores no realizan intervenciones biológicas en ambos rubros productivos, por lo que es urgente considerar estos resultados para capacitar a estos agricultores en la elaboración de insumos biológicos para que en un futuro sean autosuficientes y no dependan mucho de insumos externos, que los hará adquirir autonomía tecnológica.

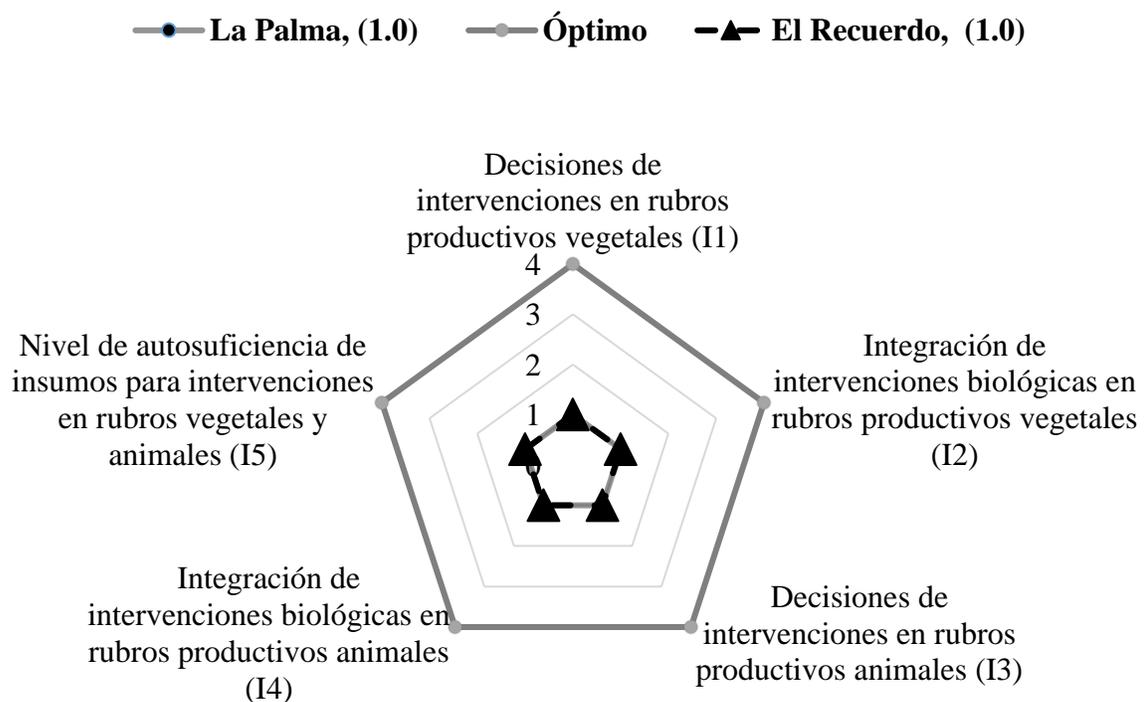


Figura 5. Manejo de las intervenciones sanitarias en rubros productivos (MISRPr) en dos agroecosistema con cacao, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

5.1.5. Diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar

La biodiversidad auxiliar es la vegetación no cultivada que habita naturalmente o se introduce, que se maneja para influir positivamente sobre el resto de la biodiversidad.

La vegetación auxiliar en un agroecosistema puede estar integrada por cortinas rompe vientos, cerca viva perimetral e internas, arboledas, ambientes seminaturales, corredores ecológicos internos y barreras vivas laterales e intercaladas en los agroecosistemas. Se considera la estructura de los elementos que la integran, así como la complejidad de los diseños y manejos que se realiza (Vázquez et al. 2011, p.156).

La Figura 6 muestra el estado de los elementos de los diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar. El agroecosistema La Palma obtuvo un valor de 2.41, mientras que el agroecosistema El Recuerdo es de 2.09. En ambos agroecosistemas, hay un manejo de los ambientes seminaturales (riachuelos) porque están forestado (AU8) y con más de cinco especies de árboles (AU9). También, en las arboledas hay una diversidad estructural con más de cinco especies (AU11) y se realizan podas a la cerca perimetral (AU12) que está constituida por más de tres especies (AU13).

En el agroecosistema La Palma existe un pequeño bosque que en conjunto con las cercas vivas y los árboles dispersos en los potreros funcionan como corredor ecológico con más de tres especies (AU6 y AU7.)

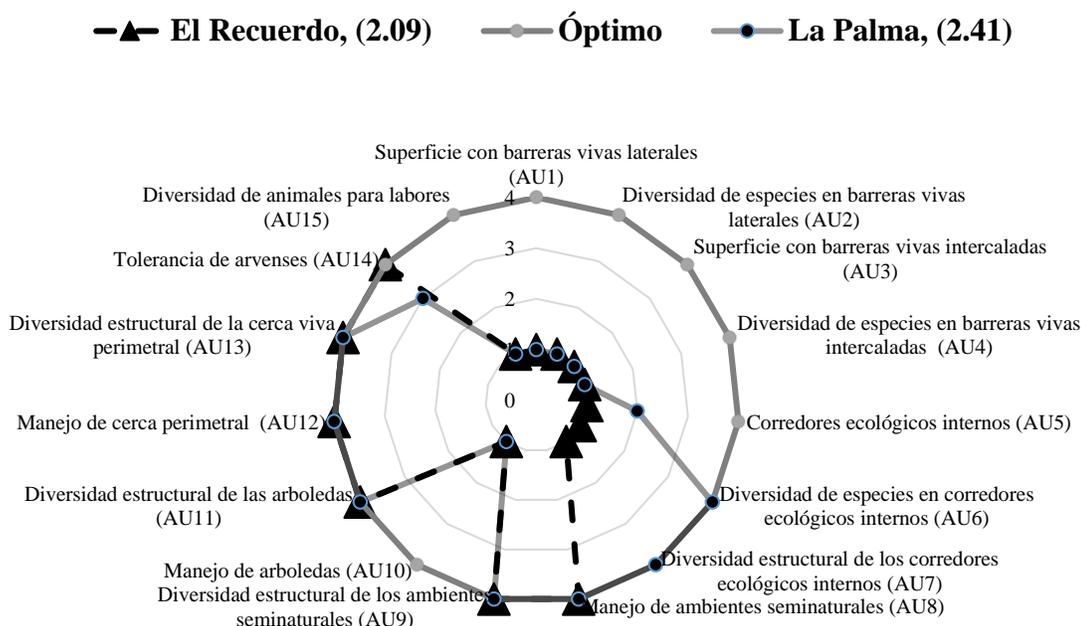


Figura 6. Diseños y manejos de la biodiversidad auxiliar (DMBAu) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

Los diseños y manejos de la vegetación auxiliar pueden contribuir a múltiples funciones como, por ejemplo, la cerca viva perimetral, que mediante su diseño agroecológico puede lograrse entre 10-15 funciones (Vázquez, 2013, p.35).

En la agricultura de sistemas de producción y las bases agroecológicas, la biodiversidad constituye un recurso natural esencial que se puede diseñar, planificar, y manejar por el propio agricultor para favorecer su conservación y los procesos ecosistémicos que contribuyan a la eficiencia del sistema de producción (Vázquez, 2014, p. 38).

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

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. La biodiversidad asociada u organismos que influyen de manera directa, positiva o negativa, sobre el desarrollo fisiológico y la defensa de las plantas cultivadas (Vázquez et al. 2011, p. 159).

La figura 7 muestra el estado de los elementos de la biodiversidad asociada. El agroecosistema El Recreo obtuvo un valor de 2.88, mientras que éste en el agroecosistema La Palma es de 2.63. En ambos agroecosistemas se constató que hay menos de 25% de incidencia de nematodos de las agallas (AS3), al arrancar una muestra al azar de 10 plantas de frijol y examinar sus raíces; así mismo, la incidencia de organismos nocivos en los cultivos establecidos al momento de aplicar esta metodología fue inferior al 25% (AS4). Se constataron más de cuatro familias de macrofauna (AS13) y más de 100 lombrices por metro cuadrado (AS14). También, se observaron tres organismos polinizadores (abejas, murciélagos y la mosquita *Forcipomyia*).

El agroecosistema La Palma obtuvo el valor óptimo en el indicador incidencia de arvenses (AS1), dado que, al momento de aplicar esta metodología, los respectivos lotes tenían menos de un 25% de enmalezamiento. Por lo general, este agroecosistema fue menos valorado en el resto de los indicadores de este componente.

Martínez y Vázquez, (2013) ejemplifica que la diversidad y población o intensidad con que se manifiestan algunos elementos, pueden servir como referencia, sobre todo los que son organismos nocivos, sus reguladores naturales y la macrofauna del suelo, que pueden considerarse como representativos por su nivel de interacción con los rubros productivos (p. 67).

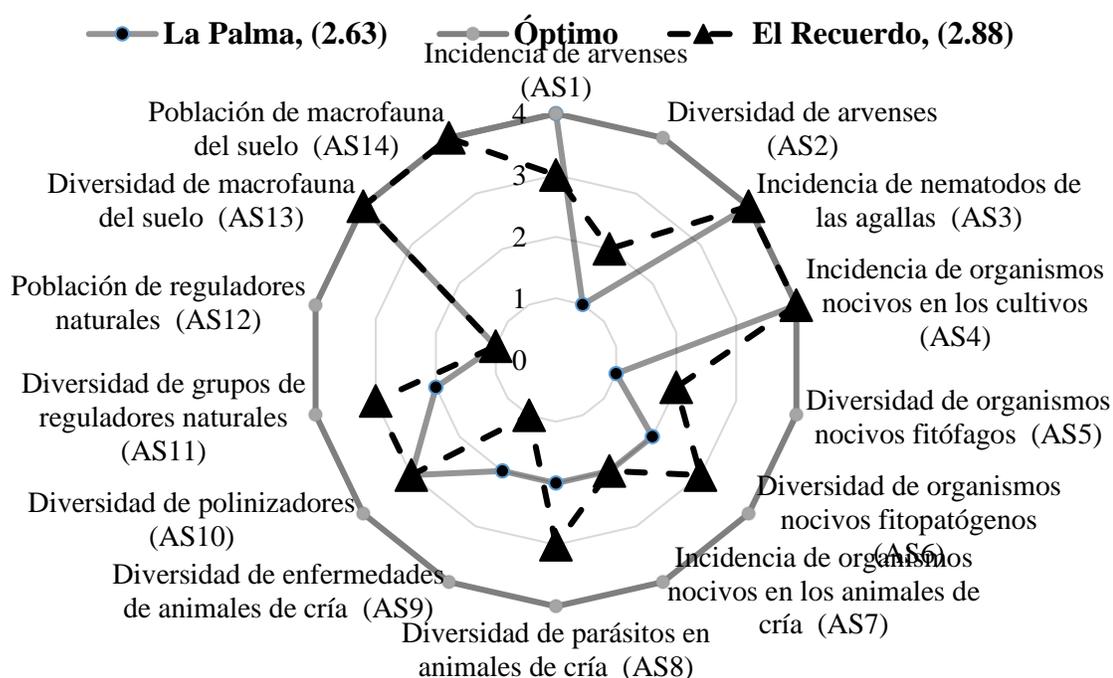


Figura 7. Estado de los elementos de la biodiversidad asociada (EBAs) en dos agroecosistema con cacao, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

5.1.7. Coeficientes de manejo de la biodiversidad

El coeficiente del manejo de la biodiversidad permite clasificar al agroecosistema respecto a la complejidad alcanzada de sus diseños y manejos de la biodiversidad.

A partir de esa información elaborar un plan de reconversión, que permita a mediano y largo plazo complejizarlo y alcanzar agroecosistemas resilientes y que contribuyan a la soberanía alimentaria, tecnológica y energética.

Rodríguez et al. (2017a p. 21; 2017b, p.19 y 2017c, p. 22) realizaron diagnósticos para determinar el grado de complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en diferentes zonas agroecológicas y agroecosistemas.

En la zona del pacífico, estos autores determinaron que los diseños y manejos de la biodiversidad de agroecosistemas con granos básicos (75 a 468 msnm) y un período lluvioso de seis meses (1200 a 2000 mm año⁻¹), pueden ser poco complejos y medianamente complejos, por ser éstos de agricultura familiar, a pequeña escala (2.1 a 9.1 ha), con diferentes grados de diversificación. En Boaco, en la zona de transición intermedia (360 m), y un período lluvioso de ocho meses (1200 a 2000 mm*año), en agroecosistemas con ganado bovino, a mediana escala (13 y 19.3 ha), los diseños y manejos de la biodiversidad pueden ser poco complejos y complejos, mientras que en Matagalpa y Condega, en la zona de transición alta (850 a 1200 m), y un período lluvioso de ocho meses (850 a 2400 mm año⁻¹), en agroecosistemas con café, a pequeña y mediana escala (3.5 a 39.2 ha), los diseños y manejos de la biodiversidad pueden ser poco complejos, medianamente complejos y complejos, debido a que éste es un sistema agroforestal.

Díaz (2019) de terminó la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en agroecosistemas con cacao localizados en la zona de transición de la reserva de la biosfera de BOSAWAS, Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN), municipio de Siuna. El clima de esta región, según la clasificación Köpen, es tropical monzónico, con temperaturas promedio de 26°C y precipitaciones superiores a los 2,000 mm anuales, con un período seco aproximado de 2 a 3 meses. Estos agroecosistemas poseen diseños y manejos de la biodiversidad medianamente complejo y poco complejo. En estas condiciones agroecológicas existen agricultores que promueven el paradigma agroecológico, pero hay otros que aplican agrotóxicos sintéticos propios del paradigma convencional, que es preocupante por ser una zona de transición (p.28).

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

El “coeficiente de manejo de la biodiversidad” del agroecosistema La Palma tiene un valor de 1.97 (Figura 8), que indica que es un agroecosistema con diseños y manejo de la biodiversidad “poco complejo”.

Este agroecosistema se caracteriza por integrar más de tres tipos de rubros productivos vegetales (Pasto natural, pasto mejorados, cacao, frijol y maíz), se identificaron 18 especies de árboles forestales y 10 de árboles frutales; y animales (Cerdos, gallinas, patos, chumpipes y ganado bovino).

El manejo y conservación de suelo y agua es deficiente porque no hay curvas a nivel, barreras vivas o muertas y obras de sistemas de drenaje, pero en más del 50% de su área se hace laboreo mínimo del suelo, dado que los pastizales y las siembras de granos básicos se realizan con espeque o macana, no incorpora fuentes de biomasa al suelo, a pesar de que dispone de excretas del ganado bovino, no cuenta con superficies con sistemas de riego y por consiguiente con sistemas de drenaje, no hay un manejo del drenaje y sistemas de drenaje, pero dispone de un pozo y fuentes de agua natural (riachuelo) para el abastecimiento de este vital líquido para uso agropecuario.

El agricultor es muy dependiente de insumos externos (desparacitantes, vitaminas, fertilizantes, insecticidas y herbicidas), que es típico de un manejo convencional. Hay un manejo de los ambientes seminaturales (riachuelos) porque están reforestando con más de cinco especies de árboles. También, en las arboledas hay una diversidad estructural con más de cinco especies y se realizan podas a la cerca perimetral que está constituida por más de tres especies.

El agroecosistema El Recuerdo refleja un valor del “coeficiente de manejo de la biodiversidad” de 1.87 (Figura 8), que lo clasifica como un agroecosistema con diseños y manejos de su biodiversidad “poco complejo”, que se identifica por integrar más de tres tipos de rubros productivos vegetales (Pasto natural, pasto mejorado, cacao, maíz y frijol).

Se identificaron 15 especies de árboles forestales y 11 especies de árboles frutales; y animales (Cerdos, aves de corral y ganado bovino), En más del 75% de su superficie hay árboles dispersos, la procedencia de los pies de cría y las razas es propia y garantiza la autosuficiencia de alimentos para los animales de cría.

El manejo y conservación de suelo y agua es deficiente porque no hay curvas a nivel, barreras vivas o muertas y obras de sistemas de drenaje, pero en más del 50% de su área se hace laboreo mínimo del suelo, dado que los pastizales y las siembras de granos básicos se realizan con espeque o macana, no incorpora fuentes de biomasa al suelo, a pesar de que dispone de excretas del ganado bovino, no cuenta con superficies con sistemas de riego y por consiguiente con sistemas de riego.

Dispone de un pozo y fuentes de agua natural (riachuelo) para el abastecimiento de este vital líquido para uso agropecuario, es muy dependientes de insumos externos (desparasitantes, vitaminas, fertilizantes, insecticidas y herbicidas), que es típico de un manejo convencional. Hay un manejo de los ambientes seminaturales (riachuelos) porque están reforestando con más de cinco especies de árboles.

También, en las arboledas hay una diversidad estructural con más de cinco especies y se realizan podas a la cerca perimetral que está constituida por más de tres especies. Se identificaron tres especies de polinizadores (mosquita del cacao, avispa y murciélagos) y más de cinco familias taxonómicas de la macrofauna edáfica, cuyas poblaciones son bajas.

El agroecosistema La Palma refleja un valor del “coeficiente de manejo de la biodiversidad” de 1.95 (Figura 8), que lo clasifica como un agroecosistema con diseños y manejos de su biodiversidad “poco complejo”, que se identifica por integrar más de tres tipos de rubros productivos vegetales (Pasto natural, pasto mejorado, cacao, maíz y frijol), se identificaron 16 especies de árboles maderables y 10 de frutales; y animales (Cerdos, aves de corral y ganado bovino), En más del 75% de su superficie hay árboles dispersos, la procedencia de los pies de cría y las razas es propia y garantiza la autosuficiencia de alimentos para los animales de cría.

El manejo y conservación de suelo y agua es deficiente porque no hay curvas a nivel, barreras vivas o muertas y obras de sistemas de drenaje, pero en más del 50% de su área se hace laboreo mínimo del suelo, dado que los pastizales y las siembras de granos básicos se realizan con espeque o macana, no incorpora fuentes de biomasa al suelo, a pesar de que dispone de excretas del ganado bovino, no cuenta con superficies con sistemas de riego y por consiguiente con sistemas de riego, no obstante, dispone de un pozo y fuentes de agua natural (riachuelo) para el abastecimiento de este vital líquido para uso agropecuario, es muy dependientes de insumos externos (desparacitantes, vitaminas, fertilizantes, insecticidas y herbicidas), que es típico de un manejo convencional.

Hay un manejo de los ambientes seminaturales (riachuelos) porque están reforestando con más de cinco especies de árboles. Se identificaron tres especies de polinizadores (mosquita del cacao, avispas y murciélagos) y más de cinco familias taxonómicas de la macrofauna edáfica, cuyas poblaciones son bajas, pero se cuantificaron más de 16 lombrices por metro cuadrado.

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

Regiones agroecológicas con agroecosistemas con diseños y manejos de su biodiversidad complejos y altamente complejos por sus distribuciones y arreglos permiten disponer de mayor alimento, estabilidad ante variaciones climáticas y un equilibrio en sus agroecosistemas. Estos agroecosistemas presentan interacciones entre los elementos de la biodiversidad que lo componen y estas relaciones determinan en gran medida la salud del mismo (Altieri y Nicholls, 2000, p. 14). Mientras más complejos son los agroecosistemas mayor estabilidad presentan y pueden llegar a ser sostenible desde la dimensión o criterio socio-político-cultural, económico y agroambiental y garantizar la soberanía alimentaria, tecnológica y energética.

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

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

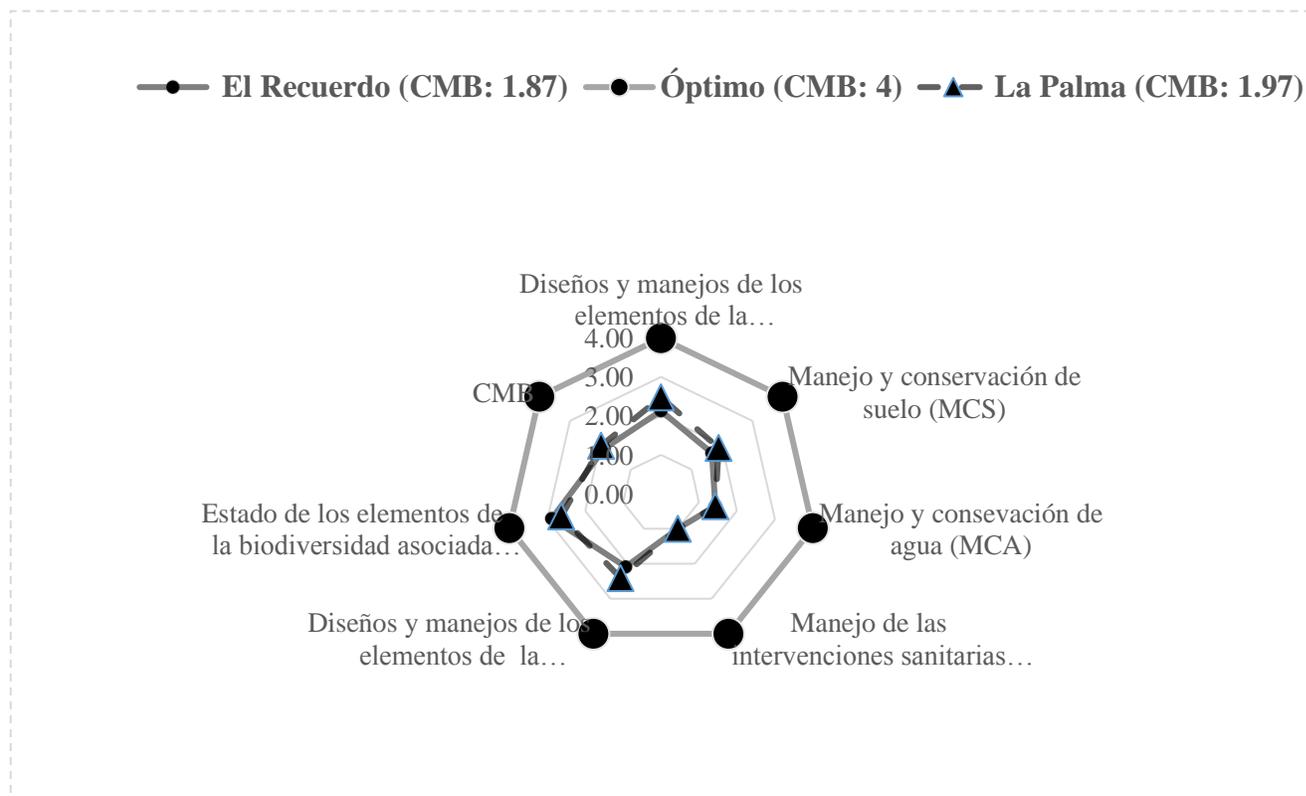


Figura 8. Coeficientes de manejo de la biodiversidad (CMB) en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018.

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

El suelo es la materia sobre la que se desarrollan diversidad de especies de plantas y es el hábitat para organismos de origen animal, en el ocurren una serie de procesos que fueron evaluados a través de indicadores durante todo el presente estudio, haciendo referencia a diversas propiedades.

5.2.1. Indicadores físicos de los suelos de los agroecosistemas

La figura 9 muestra el comportamiento de los parámetros o indicadores físicos evaluados del suelo, por categoría, en el agroecosistema La Palma. La profundidad varió entre 34 y 94 cm (Categorías 2 y 3). De las cuatro parcelas del agroecosistema (Cuadro 8), dos presentan buena profundidad (67 y 94 cm), de modo que existen buenas condiciones para el desarrollo radicular de los pastizales y los granos básicos. En todas las parcelas, la textura es arcillosa (Categoría 1), que se corresponde con los altos valores de porosidad total en las parcelas (Categorías 3 y 4). También, los resultados de estos parámetros se corresponden con el parámetro infiltración, que es relativamente lenta ($2 - 6 \text{ cm ha}^{-1}$) en tres parcelas, excepto la de pasto natural, cuya infiltración es la idónea, que oscila entre 6.1 y 12.0 cmh^{-1} .

Las parcelas con baja infiltración podrían tener esa limitante, si las precipitaciones superaran las medias locales, pero a su vez, aunque se trata de suelos arcillosos, las arcillas que predominan no son plásticas (Tipo 1:1 y óxidos), lo que de alguna manera facilita un poco la infiltración. En las parcelas con cacao y pasto natural, la infiltración es favorecida por la profundidad de los suelos que corresponden a 94 y 67 cm respectivamente.

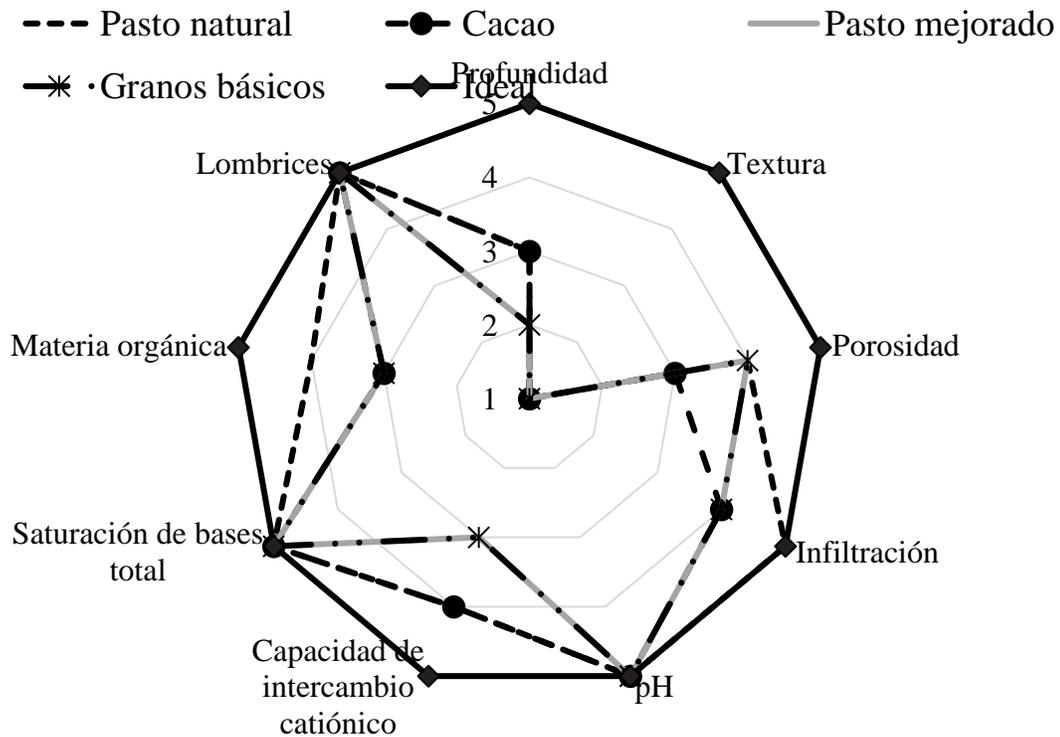


Figura 9. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema La Palma, propietario Reynaldo Galeano Reyes, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

En figura 10 se expresan las categorías de los indicadores físicos evaluados en el agroecosistema El Recuerdo. La profundidad del suelo varía entre 50 y 86 cm (Categorías 2 a 3, cuadro 8). Las cuatro parcelas del agroecosistema presentan profundidad aceptable, de modo que ofrece buenas condiciones para el desarrollo radical de los pastos y granos básicos, pero no para el cacao, dado que este cultivo requiere para un óptimo desarrollo de su raíz pivotante, una profundidad de suelo superior a 120 cm. Adicionalmente, la parcela con cacao es la menos profunda (50 cm) en este agroecosistema, que en ocasiones ha facilitado la caída de árboles, cuando se presentan fuertes vientos, ya que la roca madre se encuentra bastante superficial. Este cultivo no es recomendado para esta parcela porque su suelo no le permite desarrollar bien su sistema radical.

En todas las parcelas, la textura de los suelos es arcillosa (Categoría 1), que se corresponde con los altos valores de porosidad total en las cuatro parcelas del agroecosistema, que oscilan entre 56 y 69%. También, los resultados de estos parámetros se corresponden con los parámetros de infiltración, que es relativamente lenta (De 2 a 6 cm ha⁻¹).

Esta característica de baja infiltración podría ser limitante, si las precipitaciones superaran las medias locales, pero a su vez, anqué se trata de suelos arcillosos y franco arcillosos, las arcillas que predominan no son plásticas (Tipo 1:1 y óxidos), que de alguna manera facilita un poco la infiltración, y se evitan periodos de inundación prolongados. Las parcelas con cacao, con granos básicos y con pasto natural pudieran tener más limitantes con la infiltración debido a una menor profundidad de los suelos, que es de 50, 66 y 69 cm respectivamente (Cuadro 9).

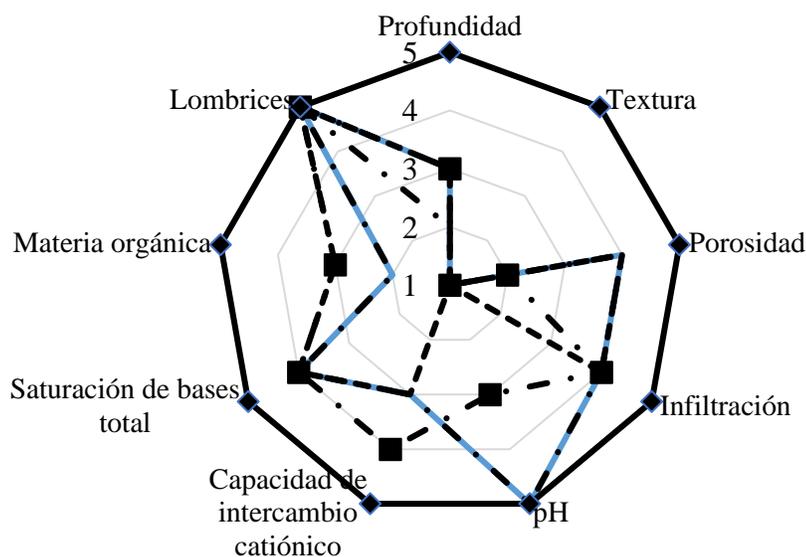
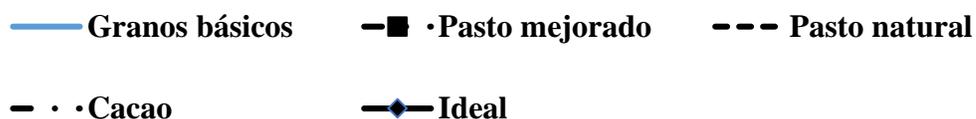


Figura 10. Categorías de los parámetros o indicadores de calidad de suelo evaluados en el agroecosistema El Recuerdo, propietario, Julio Cesar Martínez Varela, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2017-2018.

5.2.2. Indicadores químicos de los suelos de los agroecosistemas

De acuerdo con USDA (2020): 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 (p. 1).

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.

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

En el cuadro 8 se muestran las características químicas del agroecosistema La Palma. Los valores de pH en las parcelas evaluadas se clasifican como ligeramente ácido (6.25 y 6.53). Todas las parcelas o lotes de este agroecosistema alcanzaron la máxima categoría, que es ideal e indica que este factor no debe afectar la disponibilidad de los nutrientes (Figura 9). No obstante, los análisis de suelo (Cuadro 8) muestran que los niveles de fósforo disponible son extremadamente bajos (0.60 a 1.14 ppm) y no satisfacen los requerimientos de los cultivos menos exigentes a este elemento, por lo que su aplicación debe ser de importancia en esas parcelas. Los valores de potasio (K) disponible variaron entre 0.28 y 0.47 meq 100 g de suelo. Aunque estos valores son indicadores de contenidos medios de potasio, las condiciones de clima y la disponibilidad de otros elementos con los que guarda relaciones antagónicas pueden provocar deficiencias de este elemento.

En este agroecosistema, el parámetro químico pH no es limitante (Cuadro 8 y figura 9), y éste influye grandemente en la disponibilidad de todos los nutrientes, aun así, la deficiencia de fósforo que se presente no dependerá, exclusivamente, del pH, si no de la baja cantidad disponible en las parcelas. Las deficiencias de potasio en las parcelas o lotes se deberán, no a la cantidad presente en el suelo (que se considera media), sino al antagonismo con las altas cantidades de calcio en las parcelas.

Los contenidos de las bases calcio (Ca) y magnesio (Mg) se clasifican entre óptimos y altos, y están acordes a los valores de pH encontrados. La relación intercatiónica entre estos elementos es adecuada para Ca/Mg (Intervalo adecuado de la relación es de 5 y 25). Sin embargo, las relaciones intercatiónicas de estos elementos con relación al 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, se pueden presentar (como se había señalado anteriormente) deficiencias de este último, en los cultivos establecidos, con excepción de la parcela con granos básicos, que a pesar de estar en el rango establecido (3.5-15) se encuentra muy cercano al límite superior con probabilidad de que exista deficiencia de potasio en esos cultivos.

De acuerdo con la clasificación de suficiencia, los valores de potasio en las parcelas en estudio podrían disponer de 314 kilogramos de potasio disponible, lo que para granos básicos es suficiente, no obstante, los altos contenidos de Ca y Mg bloquean la absorción de ese elemento. En el Cuadro 9 se presentan las cantidades de nutrientes disponibles para los cultivos establecidos en este agroecosistema, en kilogramos por hectárea.

Los parámetros de saturación de bases son consideradas altas (Figura 2, categorías 5) y está influenciada por la alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos y por los contenidos de materia orgánica.

En la parcela con pasto natural, el contenido de materia orgánica (MO) alcanzó la categoría 4 y las parcelas con cacao, con granos básicos y con pasto mejorado obtuvieron la categoría 3 (Figura 9). La parcela con el nivel más bajo de materia orgánica fue la de granos básicos, que es debido a que el agricultor aplica, intensivamente, agroquímicos sintéticos.

La parcela de pasto mejorado es afectada por la poca profundidad del suelo (34 cm, cuadro 8) y la pendiente, que facilita la erosión hídrica, por lo que urge implementar obras de conservación de suelo y agua, y de drenaje de las aguas pluviales. Una estrategia de manejo para mejorar la disponibilidad de fósforo y potasio es la aplicación suficiente de estos elementos.

En el agroecosistema el Recuerdo, los valores de pH en las parcelas evaluadas (Cuadro 8), variaron entre muy ácido y ligeramente ácido (5.20 a 6.11). Los valores más altos de pH correspondieron a las parcelas con cacao y con granos básicos (6.11 y 6.09). El 50 % de las áreas de este agroecosistema alcanzaron categoría tres (Figura 10), que indica que este factor puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes, y se evidencia en los valores de contenidos de fósforo, ya que en todas las parcelas presentan deficiencia de este elemento (Cuadro 8 y 9). También, se pudo notar que los contenidos de potasio (K) disponible variaron entre 0.07 y 0.28 meq 100 g de suelo, siendo estos valores indicadores de baja disponibilidad de este nutrimento. La única parcela con valor adecuado de potasio fue precisamente la parcela con cacao, que presentó el pH más alto.

Los contenidos de las bases calcio (Ca) y magnesio (Mg) están acordes a los valores de pH encontrados, y la relación intercатиónica entre estos elementos es adecuada (Intervalo adecuado entre 2 y 5). Sin embargo, las relaciones intercатиónicas de estos elementos en relación con el 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, ocasionada probablemente por una alta lixiviación de este elemento, existe alta probabilidad de que se presenten continuamente deficiencias de potasio en los cultivos establecidos. En el Cuadro 9 se presentan las cantidades de los nutrimentos del que las plantas pueden disponer por cada parcela evaluada.

En este agroecosistema, los contenidos de materia orgánica (MO) obtuvieron las categorías 2 y 3 (Figura 10), que representan contenidos bajo y medio. La categoría más alta corresponde a la parcela con pasto natural y pasto mejorado, y se debe a que estas parcelas reciben constantemente adiciones de estiércol por los animales que a diario permanecen en ella. En la parcela con cacao, ésta presentó la categoría más baja de MO, a pesar de ser un cultivo perenne, pero solamente tiene 5 años de estar establecido.

Otra categoría baja de MO pertenece a la parcela con granos básicos, que se atribuye a la aplicación de agroquímicos para controlar las arvenses y a la exposición de los restos vegetales a factores climáticos de la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz, principalmente, la temperatura, las precipitaciones y a la humedad relativa. En este agroecosistema las parcelas con pasto, que son las que tienen el pH más bajo, podrían requerir de la aplicación de cal solo si los contenidos de aluminio son mayores a 1.0 meq 100 g de suelo. Su uso de cualquier manera deberá ser cuidadoso y no llevar a valores más altos las relaciones inter catiónicas con el potasio.

5.2.3. Indicador biológico de los suelos de los agroecosistemas

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 (Karlen et al. 1997, p. 5).

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), y con la estación y las especies involucradas (SQI, 1999, p. 38). Se considera poblaciones de lombrices de tierra adecuadas, cuando los agroecosistemas poseen más de 100 individuos m^{-2} (SQI, 1999, p. 45). Estas altas poblaciones por lo general aumentan la actividad microbiológica y mejoran la fertilidad química y las características físicas de éste. Este resultado debe considerarse en el plan de reconversión de ambos agroecosistemas.

La figura 9 muestra los resultados de la categorización de la presencia de lombrices por metro cuadrado en cada parcela del agroecosistema La Palma. Según los resultados, todas las parcelas se categorizaron con el mayor valor (5), que indica que se contabilizaron más de 99 lombrices por metro cuadrado, que es lo idóneo (SQI, 1999, p. 50). No obstante, las parcelas con pasto mejorado y granos básicos obtuvieron entre 8 y 10 % más lombrices en comparación a las otras dos parcelas. Este comportamiento se vio favorecido probablemente por los mayores contenidos de materia orgánica en esas parcelas.

Crespo (2013) afirma 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 (p. 332).

Este proceso incrementa el contenido de nutrientes soluble. Drake y Hom (2007, p. 174) manifiestan que el tracto gastrointestinal de las lombrices actúa como un bioreactor, que es la razón por la cual altas poblaciones de lombrices en el suelo es un indicador de la presencia de una biomasa bacteriana-fúngica beneficiosa (Byzov et al. 2009, p. 363).

Ríos (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. 47). 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, 1997, p. 6, Brown et al. 2000, p. 5). 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 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 microbianos que aumentan el crecimiento de las plantas, o a la posibilidad de la producción directa de sustancias promotoras del crecimiento (Ríos, s.f., p. 9).

En la figura 10 se muestran los resultados de la categorización de la presencia de lombrices por metro cuadrado en cada parcela del agroecosistema El Recuerdo.

Según los resultados, todas las parcelas lograron la mayor categoría (5), que significa que se contabilizaron más de 99 lombrices por metro cuadrado, que es lo idóneo (SQI, 1999, p. 8). No obstante, las parcelas con granos básicos y pasto mejorado obtuvieron entre 21 y 13 % más lombrices en comparación a las otras dos parcelas, respectivamente. Este comportamiento se vio favorecido probablemente por los mayores contenidos de materia orgánica y la profundidad en esas parcelas.

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 las categorías con que se clasificaron estos indicadores en los agroecosistemas, Las Palmas y El Recuerdo, siguen las mismas tendencias en seis de los nueve parámetros. Solo se diferenciaron en el pH, capacidad de intercambio catiónico y la saturación de basa total, siendo La Palma la que alcanzó mayores categorías en estos tres últimos parámetros. No obstante, se observa que indicadores como la profundidad, la textura y la materia orgánica son las mayores limitantes que tienen los suelos de ambos agroecosistemas.

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

Característica física		Características químicas								Total de	Relaciones intercatiónicas			Encalado
	Parcela o lote	Prof.	MO	pH	P	K	Ca	Mg	CIC	SB	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ton ha ⁻¹
		cm	%	H ₂ O	ppm	meq g ⁻¹ de suelo			%					
La Palma	Pasto natural	67							39.1					No necesario
			3.69	6.36	1.14	0.47	28.6	7.52	9	93.5	3.8	61.0	16.0	No necesario
	Cacao	94							36.0					No necesario
			3.23	6.25	0.83	0.28	25.6	6.53	6	90.0	3.9	91.6	23.3	No necesario
	Pasto mejorado	34												No necesario
		2.66	6.53	2.98	0.33	22.0	6.3	31.1	27.2	92.2	3.5	66.8	19.1	No necesario
	Granos básicos	48												No necesario
			2.35	6.49	0.60	0.37	20.7	4.89	3	95.5	4.2	56.1	13.2	No necesario
El Recuerdo	Granos básicos	66							17.2					No necesario
			2.04	6.09	0.78	0.09	9	6.94	2	75.9	2.5	1	77.1	No necesario
	Pasto mejorado	86							13.9					No necesario
			2.13	5.75	0.12	0.07	3	5.4	3	53.2	2.6	0	77.1	necesario
			69							30.7				*2.87/**1.
	Pasto natural		2.54	5.20	0.24	0.18	11.8	5.17	3	55.8	2.3	65.6	28.7	67
		50							11.9					No necesario
	Cacao		1.33	6.11	0.06	0.28	6	4.24	6	63.9	2.8	42.7	15.1	necesario
Rango de valores ideales de las relaciones intercatiónicas											2 a 5	5 a 25	3.5 a 15	

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

Agroecosistemas	Parcela	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
		(Kg ha ⁻¹)				
La Palma	Pasto natural	73.8	5.2	439.9	2,992.4	16,004.6
	Cacao	64.6	3.8	262.1	2,598.4	14,325.8
	Pasto mejorado	53.2	13.6	308.9	2,506.9	12,311.2
	Granos básicos	47.0	2.7	346.3	1,945.8	11,583.7
El Recuerdo	Granos básicos	40.8	3.6	84.2	2,761.6	9,675.5
	Pasto mejorado	42.6	0.5	65.5	2,148.8	7,795.2
	Pasto natural	50.8	1.1	168.5	2,057.2	6,603.3
	Cacao	26.6	0.3	262.1	1,687.2	6,692.8

En los dos agroecosistemas, la profundidad de sus suelos permite que la raíz pivotante del cacao penetre entre 34 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 alcanzo las categorías de 3, en ambos agroecosistemas. 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.

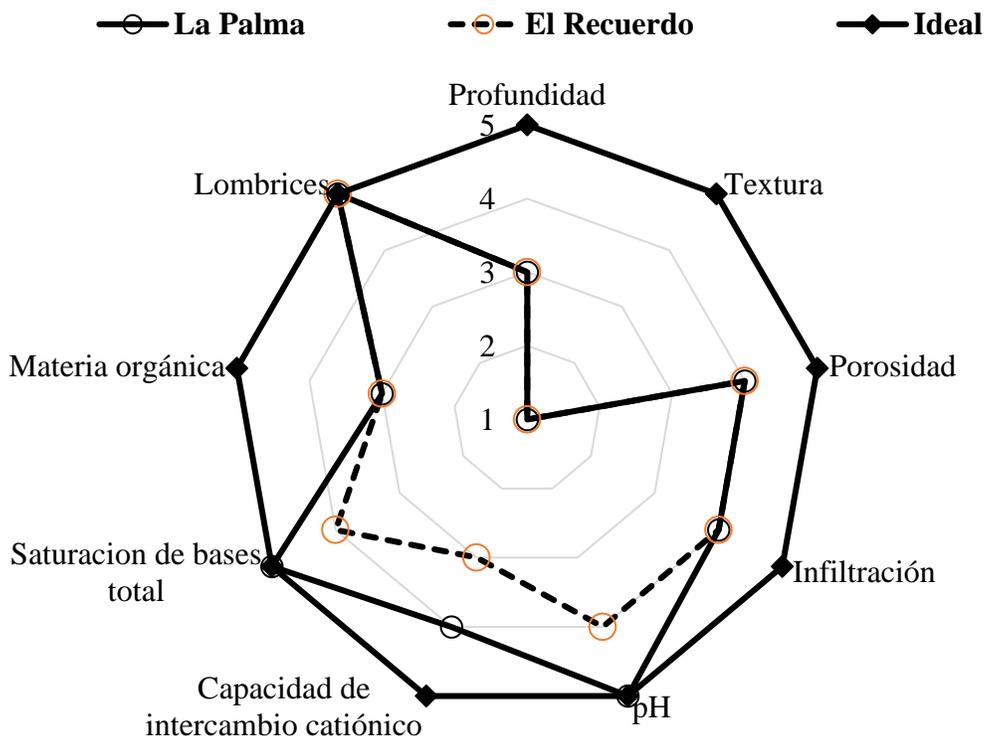


Figura 11. Comparación de los indicadores físicos, químicos y biológicos de los cuatro agroecosistemas, Los Chiles, San Carlos, Río San Juan, Nicaragua, 2018.

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.

Desde el punto de vista químico, el pH varía entre 5.20 y 6.53 (Cuadro 8), en los cuales se adaptan una gran variedad de cultivos. La única parcela, en que el pH justifica la práctica de encalado es la de pasto natural en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 8), porque ésta tiene el pH más bajo (5.20) y un % SBT (% de saturación de bases total) de 55.8% (Cuadro 8). En este caso, la práctica de encalado se vuelve necesaria en esa parcela, solo si las cantidades de aluminio (Al^{+3}) presente llegaran a provocar toxicidad en el cultivo, y con esa información (%SBT y Al) y las de las relaciones intercatiónicas, se puede seleccionar la fuente más apropiada de cal [cal agrícola pura o carbonato de calcio ($CaCO_3$), cal viva u oxido de calcio (CaO), cal muerta o hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$), carbonato de calcio y carbonato de magnesio o cal dolomítica ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$)] y calcular la dosis más ajustada de cal para el encalado ($ton\ ha^{-1}$); dado que solamente con saber el %SBT y Al^{+3} de cada lote, el agricultor tiene el conocimiento para tomar la decisión de encalar (pH inferior a 5.2 y SBT% <85%). Si se toma la decisión de encalar, el PRNT (Poder Relativo de Neutralización Total) de los materiales calcáreos descritos no debe ser inferior a 80%. Con el encalado se regula el pH del suelo, se favorece la disponibilidad de Ca, Mg, K y P y se reduce la solubilización de elementos tóxicos para las plantas como el Al, Fe y Mn (Pohlan, Salazar y Torrico, 2020, p. 215). La labor de encalado debe realizarse al inicio de la época lluviosa y tres o cuatro semanas posteriores se aplica el primer abonamiento edáfico. En esta parcela o lote, está práctica debe realizarse con carbonato de calcio o cal agrícola pura, para lo cual se necesitan $2.87\ tonha^{-1}$, pero si se aplica oxido calcio o cal viva se demanda $1.67\ ton\ ha^{-1}$, ambas fuentes con un PRNT de 85%.

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 por cada parcela o lote en cada agroecosistema para implementar un uso y una gestión del suelo acorde a cada situación.

En los cuatro agroecosistemas, las principales limitaciones químicas están relacionadas con la disponibilidad de los nutrientes del suelo. El fósforo, por ejemplo, es pobre en todos los 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 8 y 9), pero las probabilidades de posibles deficiencias de este elemento son mayores en el agroecosistema El Recuerdo, porque presentan 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 agroecosistemas 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 cuatro agroecosistemas evaluados, Los Chiles, San Carlos, Rio 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)					g			
La Palma	2.98	6.41	1.39	0.36	6.31	3	24.2	33.4	92.8	3.85	68.88	17.90
El Recuerdo	2.01	5.79	0.30	0.16	5.44	5	13.7	31.2	62.2	2.55	124.8	49.50

En los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo, las poblaciones de lombrices por metro cuadrado (Figura 11) alcanzaron la categoría más alta (5) favorecido probablemente por la profundidad del suelo de estos agroecosistemas. En ambos agroecosistemas, las poblaciones de lombrices de tierra superaron los 100 individuos por metro cuadrado, que representa un indicador biológico idóneo.

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

La fauna del suelo es un recurso natural potencial de uso sostenible en sistemas de producción agrícola y ganaderos. “El estudio de los patrones de diversidad y el funcionamiento de agroecosistemas son necesarios para comprender y manejar su perturbación” (Zaldívar, Pérez, Fernández y Licea, 2007, p. 76). La diversidad de la macrofauna en el presente estudio se analizó con método de alfa y beta. Para la identificación se utilizó literatura y estereoscopio (Anexo 2).

Moreno (2001) afirma que “la diversidad biológica en comunidades naturales y modificadas se le conoce como diversidad alfa y a la tasa de cambio en la biodiversidad entre distintas comunidades se le denomina diversidad beta” (p. 21).

5.3.1. Diversidad alfa de la macrofauna

En el agroecosistema El Recuerdo se registraron 272 organismos, que pertenecen a cinco clases taxonómicas (Arachnida, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda e Insecta), 12 órdenes (Araneae, Blattodea, Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Ixodida, Julida, Lepidoptera, Haplotaxida, Opiliones, Orthoptera, Pulmonata) y 13 familias (Cosmetidae, Formicidae, Geotrupidae, Gryllidae, Ixodidae, Julidae, Lumbricidae, Nymphalidae, Pentatomidae, Scarabaeidae, Termitidae, Tettigoniidae y Theridiidae).

La macrofauna del suelo incluye los invertebrados que viven, dentro del suelo o inmediatamente sobre él. Éstos invertebrados (lombrices de tierra, termites, hormigas, milpiés, ciempiés, arañas, etc.) pueden incluir más de un millar de especies en un sólo ecosistema (Brown et al. 2000, p. 1).

En el agroecosistema La Palma se constataron 291 individuos, que integran cinco clases taxonómicas (Arachnida, Clitellata, Diplopoda, Gastropoda e Insecta), 11 órdenes (Araneae, Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Julida, Lepidoptera, Haplotaxida, Opiliones, Orthoptera, Pulmonata y Scorpiones) y 12 familias (Buthidae, Cosmetidae, Formicidae, Geotrupidae, Gryllidae, Julidae, Labiduridae, Lumbricidae, Nymphalidae, Pentatomidae, Tettigoniidae y Theridiidae).

Las poblaciones de la macrofauna de ambos agroecosistemas son muy bajas en comparación con las reportadas por Rodríguez, Vargas, et al. (2017, p. 45) y Rodríguez, Aguilera, et al. (2017, p. 40) en agroecosistemas de café y granos básicos. Estos resultados se atribuyen a las perturbaciones que los agricultores han realizado en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Indio Maíz para establecer cultivos y la crianza de ganado bovino, las aplicaciones de agrotóxicos y a la poca capacidad de estos suelos de retención de humedad.

Los agroecosistemas El Recuerdo y La Palma presentan resultados muy parecidos según el análisis alfa de diversidad Renyi (Figura 12). Las líneas se colocan en paralelo a lo largo de los valores de alfa siendo superior el agroecosistema El Recuerdo por un desempeño casi insignificante por encima del agroecosistema La Palma.

En ambos agroecosistemas, la familia con mayor número de representantes y la más dominante es la Lumbricidae con 178 individuos en el agroecosistema La Palma y 161 en el agroecosistema El Recuerdo, que representan el 55.3 y 65.4 por ciento de sus abundancias, respectivamente. Desde la perspectiva agroecológica, es positivo que esta familia se manifieste como la más dominante. Otras familias con una dominancia inferior son Formicidae y Julidae.

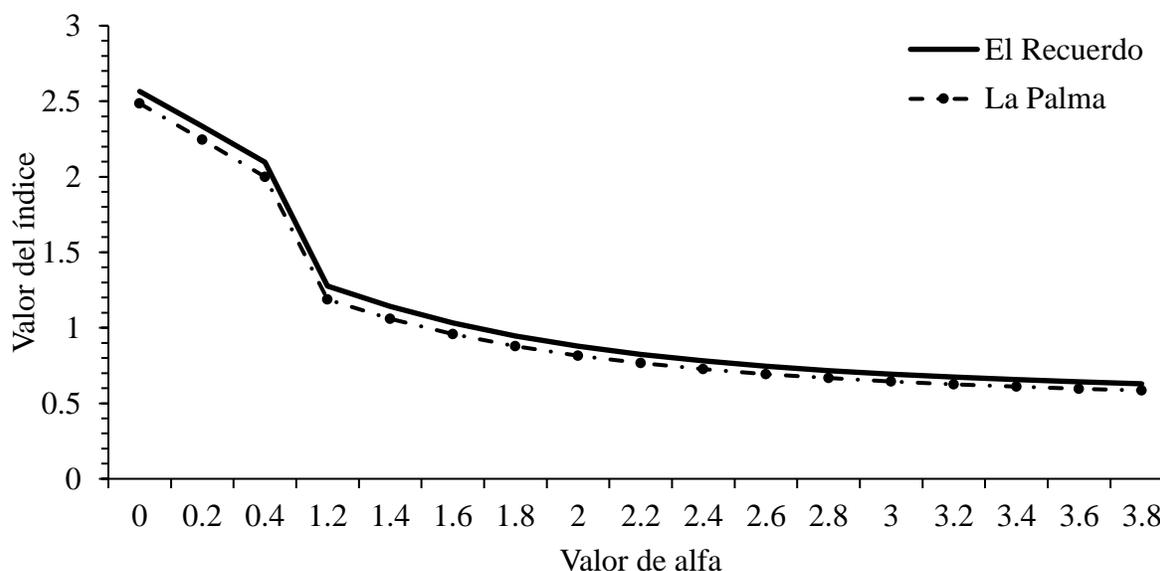


Figura 12. Perfiles de diversidad Renyi que caracterizan las familias de macrofauna en dos agroecosistemas con cacao, Los Chiles, Rio San Juan, 2019.

5.3.2. Diversidad beta de la macrofauna

En ambos agroecosistemas (La Palma y El Recuerdo) se identificaron diez familias taxonómicas comunes, cuya disimilitud de Bray-Curtis es en mayor proporción baja (Figura 13). La familia Pentatomidae obtuvo una disimilitud alta y presentó una mayor abundancia en el agroecosistema La Palma. En dos agroecosistemas con similar condición ambiental encontrar familias disimiles evidencia gestión humana diferente.

Andrade y Castro (2012) consideran que “la crisis de la biodiversidad en la frontera de ocupación del territorio se manifiesta con el agotamiento de los recursos. La no sostenibilidad de los recursos biológicos está determinada por la imposibilidad de hacer gestión de los ecosistemas” (p. 58).

Las familias Theridiidae, Cosmetidae, Geotrupidae, Julidae, Nymphalidae, Lumbricidae Tettigoniidae representan porcentajes similares en ambos agroecosistemas, por lo que su índice de Bray-Curtis oscila entre 0.7 y 0.97, esto indica que sus disimilitudes son bajas. De estas familias comunes, la Lumbricidae es la más abundante y dominante. Estas poblaciones de la familia Lumbricidae son consideradas óptimas, porque superan los 100 individuos por metro cuadrado.

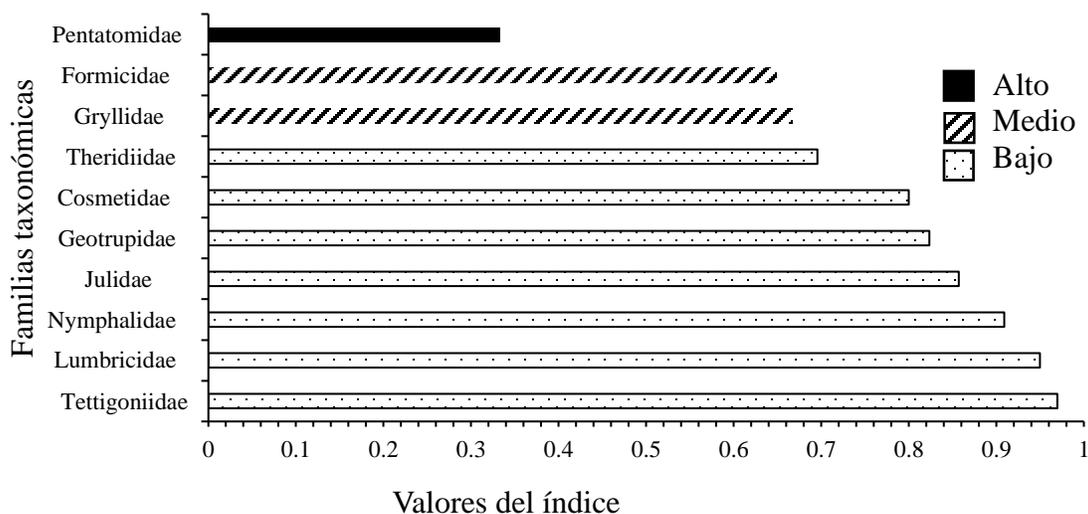


Figura 13. Disimilitud de Bray-Curtis para las familias de macrofauna en dos agroecosistema con cacao Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, 2019.

5.3.3. Funcionalidad de la macrofauna

“La conservación de la biodiversidad ha adquirido importancia como factor para la sostenibilidad de la vida y la producción agraria, pone en relieve las repercusiones que pueden producir los cambios en la biodiversidad al comprometer las funciones del ecosistema” (Velázquez, 2010, p. 32).

La macrofauna desempeña siete funciones comunes para los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo: detritívoros, fitófagos, depredadores, microvivoros-defoliadores, omnívoros, ingenieros del suelo y polinizadores. Los hematófagos se reportaron en el agroecosistema El Recuerdo, mientras que los saprófagos se identificaron en el agroecosistema La Palma, cuya importancia referente a la abundancia total registrada es minúscula. Las funciones detritívoras, omnívoras e ingenieros del suelo son las que se realizan con mayor frecuencia (Cuadro 11).

Detritívoro

En ambos agroecosistemas, los detritívoros están muy bien representados por las familias Geotrupidae, Julidae y Lumbricidae. Las familias Scarabaeidae y Termitidae se comportan como detritívoros, únicamente, en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 11). El número de individuos que desempeñan esta función es de 203 en el agroecosistema La Palma y 198 en el agroecosistema El Recuerdo, esto los posiciona como uno de los grupos funcionales más importantes en ambos agroecosistemas.

El grupo funcional de los detritívoros, abarca gran parte de los invertebrados que habitan en el interior del suelo (endógeos) y en su superficie (epígeos). Estos últimos, son los principales encargados de triturar los restos vegetales y animales (Cabrera et al. 2017, p. 256).

Fitófago

Las familias taxonómicas que desempeñan esta función son cinco, cuyas poblaciones son 24 individuos en el agroecosistema La Palma y 37 en el agroecosistema El Recuerdo. En ambos agroecosistemas las familias que sobresalen son Tettigoniidae, Pentatomidae y Nymphalidae. Otras familias que realizan esta función son la Gryllidae y la Scarabaeidae (Cuadro 11).

Cuadro 11. Roles funcionales de las familias taxonómicas de macrofauna identificadas en dos agroecosistemas con cacao (La Palma y El Recuerdo), en Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, 2019

Familia	Detritívoro (n°)		Fitófago (n°)		Depredador (n°)		Hematófago (n°)		Microvívoro-defoliador (n°)		Saprófago (n°)		Omnívoro (n°)		Ingeniero del suelo (n°)		Polinizador (n°)		
	LP*	ER**	LP	ER	LP	ER	LP	ER	LP	ER	LP	ER	LP	ER	LP	ER	LP	ER	
Buthidae					2														
Cosmetidae					3	2							3	2					
Formicidae									25	12			25	12	25	12			
Geotrupidae	7	10																	
Gryllidae			1	2															
Ixodidae								1											
Julidae	18	24																	
Labiduridae					2						2		2						
Lumbricidae	178	161									178	161	178	161	178	161			
Nymphalidae			5	6														5	6
Pentatomidae			2	10															
Scarabaeidae		2		2															
Termitidae		1																1	
Tettigoniidae			16	17															
Theridiidae					15	8													
Total	203	198	24	37	22	10	0	1	25	12	180	161	208	175	203	173	5	6	

*LP: Agroecosistema La Palma; **ER: Agroecosistema El Recuerdo.

En un estudio llevado a cabo por Valenciaga y Mora (2007) recolectaron 29 especies diferentes de artrópodos que conviven en agroecosistemas de pastizales, de estos, 20 especies de insectos presentaron un hábito alimentario para el consumo de plantas (fitófagos) destacándose el orden Hemiptera (p. 291). Pentatomidae es una familia perteneciente al orden Hemiptera encontrado con mayor abundancia dentro del agroecosistema El Recuerdo.

Depredadores

Este grupo funcional está representado por las familias Buthidae, Cosmetidae, Labiduridae y Theridiidae, cuya abundancia es de 22 individuos en el agroecosistema La Palma y 10 en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 11). En ambos agroecosistemas Theridiidae es la que mejor representa a este grupo funcional con 15 individuos en el agroecosistema La Palma y ocho en el agroecosistema El Recuerdo.

Los depredadores si no encuentran una presa consumen otra. Se caracterizan por búsquedas de presas como respuesta funcional, esta es una medida de la capacidad los depredadores de adaptar su actividad en función del número de presas disponibles (Salas y Salazar, 2003, p. 31).

En agroecosistemas medianamente complejos se cuenta con mayor cantidad de depredadores, promoviendo mejor control natural de organismos fitófagos. Si la flora es abundante y diversa se garantiza una mayor diversidad de fitófagos convirtiéndose en alimento para depredadores (Rodríguez, Vargas, et al. 2017, p. 54).

Hematófagos

Esta función es exigua y únicamente la realiza la familia Ixodidae con un solo representante en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 11).

Las garrapatas duras son ectoparásitos hematófagos de la familia Ixodidae. Estos ácaros han sido considerados siempre como agentes disruptores de los sistemas ganaderos, en los que se les reconoce como causantes de pérdidas económicas y productivas (Polanco y Ríos, 2016, p. 81).

Microvívoros-defoliadores

Los microvívoros desfoliadores están representados únicamente por la familia Formicidae con 25 individuos en el agroecosistema La Palma y 12 en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 11).

Los defoliadores producen daños diversos, pero las consecuencias de ellos son similares. La familia Formicidae que pertenece al orden Hymenoptera atacan plantas de teca (*Tectona grandis* L.) y otras especies arbóreas. Generalmente cortan trozos de hojas relativamente grandes (Arguedas, 2006, p. 4).

Saprófagos

Esta función la desempeña la familia Labiduridae y Lumbricidae. La abundancia de esta última sumada a la primera acumuló un total de 180 individuos saprófagos en el agroecosistema La Palma, obteniendo el mejor resultado (Cuadro 11).

Los desechos en la naturaleza son la fuente de alimento para una inconmensurable cantidad de seres vivos. Estos organismos son los responsables de impulsar y regular el flujo de energía. A estos organismos los conocemos como descomponedores o saprófagos (INECOL y CONACYT, 2019, p. 1).

Omnívoros

Los omnívoros son otro grupo funcional que están muy bien representados en ambos agroecosistemas con 208 individuos en el agroecosistema La Palma y 175 en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 11). Las familias taxonómicas Cosmetidae, Formicidae y Lumbricidae realizan esta función en ambos agroecosistemas y la familia Labiduridae solo fue encontrada en el agroecosistema La Palma.

Las hormigas son organismos omnívoros, poco selectivos, que consumen todo tipo de material vegetal o animal. Vive bajo piedras, palos y otros detritos en ambientes más o menos desprovistos de vegetación boscosa. Hábito nocturno. Machos y hembras son omnívoros (Lema, 2016, p. 60).

Ingeniero del suelo

En la macrofauna presente se encuentran como grupo los ingenieros del suelo con 203 individuos en el agroecosistema La Palma y 173 en el agroecosistema El Recuerdo, cuyas familias son Formicidae y Lumbricidae (Cuadro 11).

Es muy importante en los suelos agrícolas, el caso de los Haplotaxida (lombrices de tierra) se califican como "organismos ingenieros del suelo" junto a hormigas y termitas influyen significativamente en la diversidad y la actividad (Alonso, 2015, p. 21).

Polinizadores

Los integrantes adultos de la familia Nymphalidae se pueden desempeñar como polinizadores y están representados por cinco individuos en el agroecosistema La Palma y seis en el agroecosistema El Recuerdo (Cuadro 11).

La biodiversidad agrícola se entiende a menudo como los recursos fitogenéticos, los ecosistemas agrícolas cuentan con más diversidad de organismos que contribuyen a su productividad y sostenibilidad. Entre ellos los polinizadores aseguran la formación de frutos o semillas (FAO, 2008, p. 3).

VI. CONCLUSIONES

Los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas La Palma y El Recuerdo son poco complejos, en ambos agroecosistemas, la topografía es irregular, siendo más pronunciada en el agroecosistema la palma, los principales indicadores de calidad físico limitantes del suelo son la profundidad y la textura, que no los hacen aptos para cultivos perennes porque tienen la capacidad de profundizar su raíz pivotante más de un metro. Las principales limitaciones químicas están relacionadas con la disponibilidad de los nutrimentos del suelo y la materia orgánica, En ambos agroecosistemas, las poblaciones de lombrices por metro cuadrado superaron los 100 individuos, que representa un indicador biológico idóneo.

En ambos agroecosistema, la diversidad alfa de la macrofauna y su abundancia fueron muy similares. Se identificaron 13 familias taxonómicas en el agroecosistema El Recuerdo y 12 en el agroecosistema La Palma, con 272 y 291 individuos, respectivamente. En los agroecosistemas se identificaron diez familias taxonómicas comunes, cuya disimilitud es alta, media y baja. Las familias Formicidae y Pentatomidae tienen una disimilitud alta y la Gryllidae media. La familia Lumbricidae es la más abundante y dominante, cuyas poblaciones son consideradas idóneas. En ambos agroecosistemas, la macrofauna desempeña siete funciones comunes: detritívoros, fitófago, depredadores, microvivoros-defoliadores, omnívoros, ingenieros del suelo y polinizadores. Los hematófagos se reportaron en el agroecosistema El Recuerdo, mientras que los saprófagos se identificaron en el agroecosistema La Palma, cuya abundancia total registrada es minúscula. Las funciones detritívoras, omnívoras e ingenieros del suelo son las que se realizan con mayor frecuencia.

VII. RECOMENDACIONES

En ambos agroecosistemas se debe aplicar abonos orgánicos para que mejore la porosidad e infiltración del agua, la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases.

Adicionalmente, es necesario construir obras de drenajes en zonas de encharcamiento.

Ambos agricultores deben implementar un plan de reconversión agroecológica en cada agroecosistema, que integre áreas con diferentes agroecosistemas agroforestales, tales como, agrosilvicultura (Árboles con cultivos anuales y semiperennes), agrosilvopastoriles (Árboles, cultivos y ganado) y silvopastoriles (Cercas vivas multiestrato perimetrales e internas, árboles dispersos en los potreros, bancos de proteínas y las cortinas rompovientos) 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 como abonos orgánicos sólidos y líquidos para aprovechar los estiércoles, y para el manejo sanitario de la biodiversidad productiva vegetal y animal.

VIII. LITERATURA CITADA

- Afanador Barajas, L. N., Coca Peña, D. A., Vargas Giraldo, A. F., Bautista Murcia, M. F., Mendoza Hernández, A., & Vallejo Quintero, V. E. (2019). Evaluación de la calidad de los suelos en agroecosistemas de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos. *Colombia Forestal*, 23(1), 35-50. Recuperado el 24 de Febrero de 2021, de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/14856/15439>
- Alcaldía Municipal de San Carlos, Río San Juan. (2004). Plan de Inversiones Municipal Multianual. Recuperado el 30 de Septiembre de 2020, de Manfut.org: <http://www.manfut.org/juan/plandesarrollo.html>
- Alonso Nuñez, B. (2015). *Biodiversidad, materia orgánica y estructura del suelo: Ciencia, Técnica e Ingeniería*. Universidad de Burgos. Burgos, España: Escuela Politécnica Superior. Recuperado el 13 de Septiembre de 2020, de http://riubu.ubu.es/bitstream/10259/5009/1/Alonso_N%C3%BA%C3%B1ez.pdf
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2000). Agroecología, teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Altieri, M.A. Y Nicholls, C.I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. Colombia.
- Alulima C., M. (2012). Alternativas agroecológicas para el manejo del café (*Coffea arabica*). Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 3 de Marzo de 2021, de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3251/1/TESIS.pdf>
- ANACAFE (Asociación Nacional del Café). (2004). Cultivo de cacao. Ciudad de Guatemala, Guatemala: ANACAFE. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Cultivo-de-Cacao.pdf>
- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods* (Segunda ed.). Wallingford, Inglaterra: CAB Internacional.
- Andrade, G. I., & Castro, L. G. (30 de Junio de 2012). Degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad continental en Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, XVI(30), 53-71. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4021796.pdf>
- Andrews, K.L; Caballero, R; Matute, D. 1989. Guía para el estudio de órdenes y familias de insectos de Centroamérica. Cuarta edición. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 1- 179p.

- Arguedas, M. (2006). Clasificación de tipos de daños producidos por insectos forestales. *Kurú*, 3(8), 1-6. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123385.pdf>
- Arvelo Sánchez, M. Á., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao. San José, Costa Rica: IICA. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6181/1/BVE17089191e.pdf>
- Astier, C.M., Mass-Moreno, M. y Etchevers, B.J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5): 605-620, <file:///C:/Users/RonaldPC/Downloads/214-Texto%20del%20art%C3%ADculo-214-1-10-20180808.pdf>.
- Ayala, JE.; Monterroso, LE. (1998). Aspectos básicos sobre la biología de la gallina ciega. El salvador. Guatemala.
- Bautista, A; Etchevers, J.; Del Castillo, R.F y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores.
- Ecosistemas 13 (2): 90-97, <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>
- Berrios Lindo, M. E., Bermúdez Gutiérrez, Y. R., & Torres Moreno, A. L. (2008). Elaboración de Plan de Negocio adecuado para Cooperativas Agrícolas productoras y comercializadoras de Granos Básicos, en el municipio de León, en el período comprendido de Enero 2008 a Enero 2012. León: UNAN.
- Blake, G., and K. Hartge. (1986). Particle density. pp: 377-382. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2nd ed. ASA and SSSA. Madison WI. v.1.
- Brown, G.G., Barois, I. and 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. *Europe Journal of Soil Biology*. 36: 177-198.
- Brown, G. G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J. C., Bueno, J., . . . Rodríguez, C. (Diciembre de 2000). *Researchgate*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de Diversidad y rol funcional de la macrofauna en los ecosistemas tropicales mexicanos: https://www.researchgate.net/publication/26504394_Diversidad_y_rol_funcional_de_la_macrofauna_edafica_en_los_ecosistemas_tropicales_mexicanos
- Byzov, B.A., Nechitaylo, T.Y.; Bumazhkin, A.V. and Kurakov, A.V. (2009). Culturable microorganisms from the earthworm digestive tract. *Microbil*. 78: 360.
- Cabezas Melara, F.A. 1996. Introducción a la entomología. Trillas, S.A. México.
- Cabrera Dávila, G. C. 2014. La macro fauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo. Cuba: Rufford. Recuperado

de:<http://www.rufford.org/files/Manual%20Pr%C3%A1ctico%20Sobre%20la%20Macrofauna%20del%20Suelo.pdf>

- Cabrera, G. (2012). La macrofauna como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 35(4), 346-363. Recuperado el 09 de Febrero de 2021, de <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n4/pyf01412.pdf>
- Cabrera Dávila, G., Socarrás Rivero, A. A., Hernández Vigoa, G., Ponce De León Lima, D., Menéndez Rivero, Y. I., & Sánchez Rendón, J. A. (2017). Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 118-126.
- Castrillo Baldizón, J. J., & Castro, M. J. (2009). Potencial productivo de la finca San Martín, Samulali-Matagalpa propiedad de Infancia Sin Fronteras, 2009. UNAN. Managua: UNAN. Recuperado el 26 de Enero de 2021, de <https://repositorio.unan.edu.ni/7055/1/6578.pdf>
- CCRECRL (Comisión Coordinadora para la Recuperación de la Cuenca del Río Lerma). (2009). Manual de conservación de suelo y agua. México. Recuperado de: <http://cuencalerma.edomex.gob.mx/sites/cuencalerma.edomex.gob.mx/files/files/Manuales/Manual%20de%20Conservaci%C3%B3n%20de%20Suelo%20y%20Agua.pdf>
- CIRAD (Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo. (2002). *Café en CIRAD*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: ANACAFE. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de <https://agritrop.cirad.fr/531610/1/Caf%C3%A9%20en%20CIRAD.pdf>
- Coronado, R & Márquez, A. 1991. *Introducción a la entomología. Morfología y taxonomía de los insectos*. Limusa. México.
- Coto A, D. 1998. *Estados inmaduros de insectos de los órdenes coleóptera, díptera y lepidóptera. Manual de reconocimiento*. Turrialba. Costa Rica.
- Cuadras, S. (2009). *Forum del café*. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de El café de Nicaragua: https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-39_cafe_nicaragua.pdf
- Crespo, G. (2013). Funciones de los organismos del suelo en el ecosistema pastizal. *Revista cubana de Ciencia Agrícola*, 47 (4): 229 – 234. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193029815001>.
- De los Ríos Cardona, J. C., Gallego Zapata, A. F., Vélez Vargas, L. D., Agudelo Otalvaro, J. I., Toro Restrepo, L. J., Lema Tapias, Á. d., & Acevedo Arango, L. I. (2004). Caracterización y evaluación de agroecosistemas a escala predial un estudio de caso: Centro Agropecuario Cotove. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57(2), 2467-2490. Recuperado el 9 de Febrero de 2021, de

- http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-28472004000200008&script=sci_abstract&tlng=es
- Díaz Torrez, K.,R (2019). Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Siuna, Nicaragua.127 p.Sonco Suri, R. 2013. Estudio de la diversidad alfa y beta en tres localidades de un bosque montano en la región de Maddi, la Paz-Bolivia. (Tesis de grado). Universidad mayor de San Andrés. Recuperado de: http://www.mobot.org/PDFs/research/madidi/Sonco_2013_Thesis.pdf.
- Drake. H.L.; Hom, M.A. (2007). As the worm turns: the earthworm gut as transient habitat for soil microbial biomes. *Ann. Rev. Microbil.* 61: 169.
- ENACAL. (1996). Caracterización Municipal de San Carlos. Recuperado el 30 de Septiembre de 2020, de Ficha municipal:
<http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Rio%20San%20Juan/SanCarlos.html>
- Espinoza Baltodano, J. A., & Urbina Contreras, E. B. (2016). Buenas Prácticas Pecuarias del Ganado Bovino en Nicaragua. Managua, Nicaragua: UNAN. Recuperado el 11 de Febrero de 2019, de <https://repositorio.unan.edu.ni/2826/7/17005.pdf>
- Estrada Miguel, W. J., Romero Castellano, X. G., & Moreno Peraza, J. A. (2011). Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas. San Salvador, El Salvador: CATIE. Recuperado el 09 de Febrero de 2021, de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2015/12/Estrada_et_al_Guia_Tecnica_Cacao.pdf
- FAO. (2008). *Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura*. Roma, Italia: FAO. Recuperado el 13 de Septiembre de 2020, de <http://www.fao.org/3/a-be104s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (29 de Noviembre de 2017). FAO.org. Recuperado el 11 de Febrero de 2021, de Estrategia Regional de Ganadería Sostenible: <http://www.fao.org/3/I8976ES/i8976es.pdf>
- FAO [Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación] (2020). *Salud Global del Suelo. Indicadores de la Salud del Suelo*. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/evaluacion-de-los-indicadores-globales-de-la-salud-del-suelo/salud-global-del-suelo/es/>
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2004. Guía sobre prácticas de conservación de suelos. La Lima Cortes Honduras.

<http://www.ecologia.edu.mx/inecol/index.php/es/component/content/article/17-ciencia-hoy/1007-escarabajos-estercoleros-los-tractores-del-suelo>

- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 2003. Métodos y prácticas de conservación de suelo y agua. Rancagua Chile, Boletín N° 103, 132 P.
- Jiménez, J. J., Decaens, T., Thomas, R. J., & Lavelle, P. (2003). La macrofauna del suelo: Un recurso natural aprovechable pero poco conocido. Cali, Colombia: CATIE. Recuperado el 09 de Febrero de 2021, de http://ciat.library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/arado_natural.pdf
- Johnson, J. M., Bonilla, J. C., & Agüero Castillo, L. (2008). Manual de manejo y producción del cacaoero. León, Nicaragua. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01J71.pdf>
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of America J. 61(1): 4-10, <https://pdfs.semanticscholar.org/a0f7/fd8e56f86acdc596aa86364b49610deb2550.pdf>.
- Larragán, A. (1958). La cáscara de cacao en el engorde de bovinos. Turrialba: CATIE. Recuperado el 15 de Marzo de 2021, de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/2654>
- Lavelle, P. (1997). Diversity of soil fauna and ecosystem function. Boil. Int. 33: 3-16.
- Lema Veloz, N. C. (2016). *Determinación de la macrofauna en distintos usos de suelo en tres agroecosistemas de la comunidad de Naubug*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 13 de Septiembre de 2020, de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/5419/1/TESIS%20MACROFAUNA.pdf>
- López González, Á. S. (2017). Análisis de la medición de granos básicos en Nicaragua. UNAN. Matagalpa: FAREM. Recuperado el 15 de Febrero de 2021, de <https://ageconsearch.umn.edu/record/275415/files/Lopez-Gonzalez%20Alvaro.pdf>
- Lugo, A. E. (2001). El manejo de la biodiversidad en el siglo XXI. Interciencia, 26(10), 484-490. Recuperado el 08 de Febrero de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/339/33906111.pdf>
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca). (2009). La granja integral. Quito, Ecuador. Recuperado el 11 de Febrero de 2021, de <https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/MANUAL-GRANJA-INTEGRAL.pdf>

- MARENA (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales). (2014). V Informe Nacional de Biodiversidad. Managua: MARENA. Recuperado el 01 de Febrero de 2021, de <https://www.cbd.int/doc/world/ni/ni-nr-05-es.pdf>
- Marín López, Y., & Paiz Salgado, F. (2017). Dinámica de los procesos de intensificación ganadera en Nicaragua. Managua, Nicaragua: UCA. Recuperado el 11 de Febrero de 2021, de <http://repositorio.uca.edu.ni/3841/1/CI-56.pdf>
- Martínez, A.; Vázquez, L. 2013. Características de la colindancia de cultivos en tres sistemas agrícolas convencionales y su relación con la incidencia de insectos nocivos y reguladores naturales (en línea). Fito sanidad. Vol. 17(2). 1-73p. Consultado el 02 mar. 2017. Disponible en:https://www.researchgate.net/profile/Luis_L_Vazquez_Moreno/publication/286646807_Andres_Martinez_y_Luis_L_Vazquez_Caracteristicas_de_la_colindancia_de_cultivos_en_tres_sistemas_agricolas_convencionales_y_su_relacion_con_la_incidencia_de_insectos_nocivos_y_reguladores_naturales_Fit/links/566cde6a08aea0892c4ff715.pdf.
- Melo Zipacon, W. F. (2015). Caracterización de agroecosistemas bajo el enfoque de multifuncionalidad de la agricultura. El caso del sistema agroforestal familiar "Finca Montemariana" en Bolívar (Colombia). La Plata: Congreso Latinoamericano de Agroecología La Plata Argentina 2015. Recuperado el 9 de Febrero de 2021, de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/52655/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=En%20los%20agroecosistemas%20se%20desarrollan,a%20bordaje%20metodo%20C3%B3gico%20para%20caracterizar%20agroecosistemas.
- Mc Lean, E.O. 1982. Soil and Lime Requirement. *En*: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. *Agronomy* 9:199-224.
- McGavin G.C. (2000). *Manual de identificación. Insectos. Arañas y otros Artrópodos terrestres*. Barcelona. Universidad de Cambridge. Ed. Omega, S.A.
- Mendoza Hernández, F; Gómez Sousa, J. 2006. *Entomología General. Pueblo y educación*.
- Milán Rojas, L., Escobedo Alcántara, J. C., & Reyes González, J. A. (2017). 2do Foro Ganadería Sustentable de Montaña. México D.F.: CONANP. Recuperado el 11 de Febrero de 2021, de <https://www.giz.de/en/downloads/giz2018-es-forum-landwirtschaft.pdf>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (Primera ed.). Zaragoza, España: CYTED. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Ochoa, V., Hinojosa, B., Gómez Muñoz, B., & García Ruiz, R. (2007). Actividades enzimáticas como indicadores de calidad del suelo en agroecosistemas ecológicos. *Iniciación a la Investigación*, 2(1), 1-10. Recuperado el 24 de Febrero de 2021, de <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/ininv/article/view/251/233>

- Olsen, S.R.; Cole; Watanabe C.V. y Dean. L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. of Agric. Circ. 939.
- Pashanasi, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 12, 1-2. Recuperado el 9 de Febrero de 2021, de <https://core.ac.uk/download/pdf/228472346.pdf>
- Paz Mena, T., Flores, S., & Delmelle, G. (2007). Informe de cadena de frijol rojo en Nicaragua. Managua: NITLAPAN. Recuperado el 22 de Febrero de 2021, de <https://www.nitlapan.org.ni/wp-content/uploads/2015/04/InfCadenaFrijol.pdf>
- Phillips, W., & Krauss, U. (2002). Biblioteca Orton. Recuperado el 09 de Febrero de 2021, de Investigaciones recientes del CATIE sobre agroecosistemas de cacao: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2624/Investigaciones_recientes_del_CATIE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pohlan, J.H; Salazar Centeno, D.J y Torrico Albino, J.C. (2020). Manual para el cacaocultor de cacao fino y de aroma: diagnóstico, monitoreo y auditoría de buenas prácticas agrícolas (BPA) y de buenas prácticas de manufacturas (BPM) mediante la metodología del sistema de semáforo (sdS). Shaker Verlag, Alemania, 256 p. ISBN: 978-3-8440-7245-5
- Polanco Echeverry, D. N., & Ríos Osorio, L. A. (Enero-Abril de 2016). Aspectos biológicos y ecológicos de las garrapatas duras. *Corpoica*, 17(1), 81-95. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v17n1/v17n1a08.pdf>
- Ramírez Carvajal, R. (1997). Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Santafé de Bogotá, Colombia. Recuperado el 09 de Febrero de 2021, de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>
- Ríos, Y. (s.f.). Importancia de las lombrices en la agricultura, http://www.rapaluruaguay.org/organicos/Importancia_lombrices_agricultura.pdf.
- Rodríguez González, H. R., González Merlo, L. H., Herrera Moncada, H. J., Vargas Urbina, J. E., Laguna Ramírez, M. J., López Montenegro, G., & Medina Acuña, R. I. (2017a). Diagnósticos de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas. En D. J. Salazar Centeno, L. J. García Centeno, H. R. Rodríguez González, C. Arsenio Calero, M. A. Morales Navarro, & L. O. Valverde Luna, Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con café (*Coffea arabica* L.) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua (págs. 20-33). Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN.
- Rodríguez, H.R; Aguilera, Y.J; Pilarte; M de A; Herradora, Y de A; Galeano, M.N; García, O.G y Cáceres, C.A. 2017b. Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas. En: Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. 2017. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con granos

- básicos en Driamba y dos en Chinandega, Nicaragua. PP: 21-33. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58a.pdf>.
- Rodríguez, H.R; Chavarría, B.R; Martínez, J.A; Rocha, D.J. (2017b). Diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad de los agroecosistemas. En: Salazar, D.J; García, L.J; Rodríguez, H.R; Calero, C.A; Morales, M.A y Valverde, L.O. 2017c. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las lagunas, Boaco, Nicaragua. PP: 19-24. Consultado en: <http://cenida.una.edu.ni/documentos/NF08U58ev.pdf>.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., y Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. *Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58102915/propiedades_fisicas_del_suelo.pdf?1546460788
- Saab Arrieche, R. A. (2012). Evaluación de la calidad del suelo, en el sistema productivo orgánico La Estancia, Madrid, Cundinamarca, 2012. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 24 de Febrero de 2021, de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8990/AbiSaabArriecheRosa2012.pdf?sequence=1>
- Sabttini, R. A., Wilson, M. G., Muzzachiodi, N., & Dorsch, A. F. (1999). Guía para la caracterización de agroecosistemas del Centro-Norte de Entre Ríos. *Revista Científica Agropecuaria*, 3, 7-19. Recuperado el 26 de Enero de 2021, de http://ns1.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes%20Anteriores/Vol%20Ante%203/rca_3_pdf/3_7_19.pdf
- Salas Araiza, M. D., & Salazar Solis, E. (2003). Importancia del uso adecuado de agentes de control biológico. *Acta Universitaria*, 13(1), 29-35. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/416/41613104.pdf>
- Salazar Centeno, D., J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Arsenio Calero, C. Morales Navarro, M. A. & Valverde Luna, L. O. (2017a). Evaluación Agroecológica de dos agroecosistemas café (*coffea arabica* L) en San Ramón y dos en Condega, Nicaragua. Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN. 92 p.
- Salazar Centeno, D., J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Arsenio Calero, C. Morales Navarro, M. A. & Valverde Luna, L. O. (2017b). Evaluación Agroecológica de dos agroecosistemas con ganado bovino en Las Lagunas, Boaco, Nicaragua. Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN. 74 p.

- Salazar Centeno, D., J., García Centeno, L. J., Rodríguez González, H. R., Arsenio Calero, C. Morales Navarro, M. A. & Valverde Luna, L. O. (2017c.). Evaluación Agroecológica de dos agroecosistemas con granos básicos en Diriamba y dos en Chinandega, Nicaragua. Managua, Nicaragua: Grupo SEVEN. 82 p.
- SOLIDARIDAD. (2009). Sistema de Mejoramiento Continuo en la Producción de Café. Utrecht, Holanda: Irish Aid. Recuperado el 11 de Febrero de 2021, de <https://digital-library-drupal.s3.sa-east-1.amazonaws.com/library-content/cisproductividad.compressed.pdf>;
- Soto, G. (2017). Breve introducción a la agroecología y la producción sostenible de café. En FAO, Memorias de los talleres de agroecología y roya del café en Mesoamérica y República Dominicana (págs. 3-4). Roma, Italia. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de <http://www.fao.org/3/a-i7697s.pdf>
- SQI (Soil Quality Institute). (1999) Guía para la Evaluación de la Calidad del Suelo, USDA. p 82.
- Suárez Salazar, J. C., Rodríguez Burgos, E., & Duran Bautista, E. H. (2014). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. Acta Agronómica, 64(4). doi:<http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n4.44641>
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. *En*: A.L. Page, R.H. Miller y D.R. Keeney (eds) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. 2nd ed. Agronomy 9:159-165.
- Tijerino Verdugo, A. C., Vega Rojas, C., & Bone Pantoja, J. (2008). Cadenas productivas. Managua, Nicaragua: UNCTAD. Recuperado el 15 de Febrero de 2021, de <https://unctadcompal.org/wp-content/uploads/2017/03/Nicaragua-Sector-Granos-Basicos.pdf>
- Tijerino, A. C. (2008). Alza en el precio de los alimentos. Managua, Nicaragua: FUNIDES. Recuperado el 15 de Febrero de 2021, de https://funides.com/wp-content/uploads/2019/09/Alza_en_el_precio_de_los_alimentos.pdf
- Toresani, S., Bonel, B., Ferreras, L., Magra, G., Dickie, M. J., Galarza, C., & Faggioli, V. (2009). INTA EEA Oliveros. Recuperado el 2 de Marzo de 2021, de Indicadores biológicos, físicos y químicos del suelo en sistemas de labranza y fertilización: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-indicadores_biologicos_quimicos_del_suelo.pdf
- USDA [United State Department of Agriculture]. (2020). *Indicadores de calidad de suelo. Indicadores químicos y funciones del suelo.* <http://s3-us-west->

2.amazonaws.com/treefruit.wsu.edu/wp-content/uploads/2020/03/30113345/Ind-Cal-Suelo-Quimicos_02-17-20.pdf

- Valenciaga, N., & Mora, C. (2007). Una nota sobre los insectos fitófagos que conviven en áreas de pastizales altamente invadidas de espartillo (*Sporobolus indicus*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(3), 291-293. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017693017.pdf>
- Vargas Machuca, R. N. (17-19 de Noviembre de 2010). Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Recuperado el 2 de Marzo de 2021, de Indicadores Biológicos para la Evaluación de la Calidad de los Suelos: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/2.-Rogelio-Nogales.-Indicadores-biologicos.pdf>
- Velázquez Milla, D. (Octubre de 2010). La función de la biodiversidad para la existencia de agua en el ecosistema y en el agroecosistema. *LEISA*, 26(3), 32-35. Recuperado el 12 de Septiembre de 2010, de <http://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol26n3.pdf>
- Vázquez, L. 2013. Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. *Agroecología*, 8 (1): 33-42. Consultado en: <http://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182951/152441>
- Vázquez L, L. (2014). Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), Habana, Cuba
- Vázquez L, L.; Matienzo Brito, Y. 2010. Metodología para la caracterización rápida de la diversidad biológica en las fncas, como base para el manejo agroecológico de plagas. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), Ministerio de la Agricultura. Habana, CU. 1 - 4 p
- Vázquez, L.L; Matienzo, Y y Griffon, D. 2011. Diagnóstico participativo de la biodiversidad en agroecosistemas en transición agroecológica. En Simposio Agroecosistemas y biodiversidad: taxonomía y manejo. III Congreso Latinoamericano de Agroecología. Oaxtepec, Morelos, México.
- Walkley, A. y Black, I.A. 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil. Sci.* 37:29-38
- Yong A. 2010. La biodiversidad florística en los sistemas agrícolas. *Cultivos Tropicales* (en línea). vol.31 (4): p 1-13. Consultado 25 abr. 2017. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-5936201000040001

Zaldívar, N., Pérez, B. E., Fernández, Y., & Licea, L. (Abril-Junio de 2007). Macrofauna en tres sistemas ganaderos. *Centro Agrícola*, 34(2), 75-79. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V34-Numero_2/cag152071548.pdf

IX. ANEXOS

Anexo 1. Lista de árboles frutales, energéticos y maderables en los agroecosistemas La Palma (LP) y El Recuerdo (ER), San Agustín, Los Chiles, San Carlos, Rio San Juan, Nicaragua, 2018

Nombre común	Nombre científico	Familia	LP	ER
Aguacate	<i>Persea americana</i> L.	Percea	x	x
Almendro	<i>Prunus dulcis</i>	Rosaceas	x	x
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King.	Meliaceae	x	x
Cedro Macho	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	x	x
Cedro Real	<i>Cedrus odorata</i> L.	Meliaceae	x	x
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> L.	Malvaceae	x	
Chaperno	<i>Lonchocarpus yoroensis</i> Standl.	Fabaceae	x	x
Chaperno	<i>Lonchocarpus yoroensis</i> Standl.	Fabaceae	x	x
Chilamate	<i>Ficus insípida</i> Willd	Moraceae	x	x
Coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	x	x
Elequeme	<i>Erythrina fusca</i> Lour	Fabaceae	x	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	x
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae	x	x
Guanábana	<i>Annona muricata</i> L.	Annonaceae	x	x
Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L	Mirtáceas		x
Guayabo Negro	<i>Hesperomeles ferruginea</i> Pers.	Rosaceae	x	x
Jiñocuabo	<i>Bursera simaruba</i> L. Sarg.	Burceraceae	x	x
Laurel	<i>Laurus nobilis</i> L.	Fagaceae	x	x
Limón	<i>Citrus × limón</i> L	Rutaceae	x	x
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i> Jacq.	Fagaceae	x	x

Anexo 1. Continuación ...				
Mandarina	<i>Citrus x tangerina</i> L.	Rusaceae	x	x
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	x	x
Naranja	<i>Citrus X sinensis</i> L.	Rutaceae	x	x
Naranja	<i>Citrus X sinensis</i> L.	Rutaceae	x	x
Pera	<i>Pyrus communis</i> L.	Rusaceae	x	
Roble	<i>Quercus robur</i> L.	Fagaceae	x	x
Toronja	<i>Citrus x paradisi</i> L.	Rusaceae	x	x
Total de especies árboles frutales			10	11
Total de especies de árboles forestales			18	15

Anexo 2. Identificación de macrofauna utilizando estereoscopio en el Laboratorio de la Universidad Nacional Agraria Sede Juigalpa, 2019-2020

