

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS

CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROFORESTAL; SAN MIGUEL HUITÉ,
ZACAPA
TESIS DE GRADO

NERY JOSÉ ALDANA VARGAS
CARNET 20511-10

ZACAPA, OCTUBRE DE 2017
CAMPUS "SAN LUIS GONZAGA, S. J" DE ZACAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS

CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROFORESTAL; SAN MIGUEL HUITÉ,
ZACAPA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
NERY JOSÉ ALDANA VARGAS

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN
CIENCIAS HORTÍCOLAS

ZACAPA, OCTUBRE DE 2017
CAMPUS "SAN LUIS GONZAGA, S. J" DE ZACAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

LIC. LUIS ALEJANDRO ARGUETA CERMEÑO

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. PEDRO ARNULFO PINEDA COTZOJAY

MGTR. RODOLFO ESTUARDO VÉLIZ ZEPEDA

ING. SERGIO ALEJANDRO MANSILLA JIMÉNEZ

Zacapa, octubre de 2017

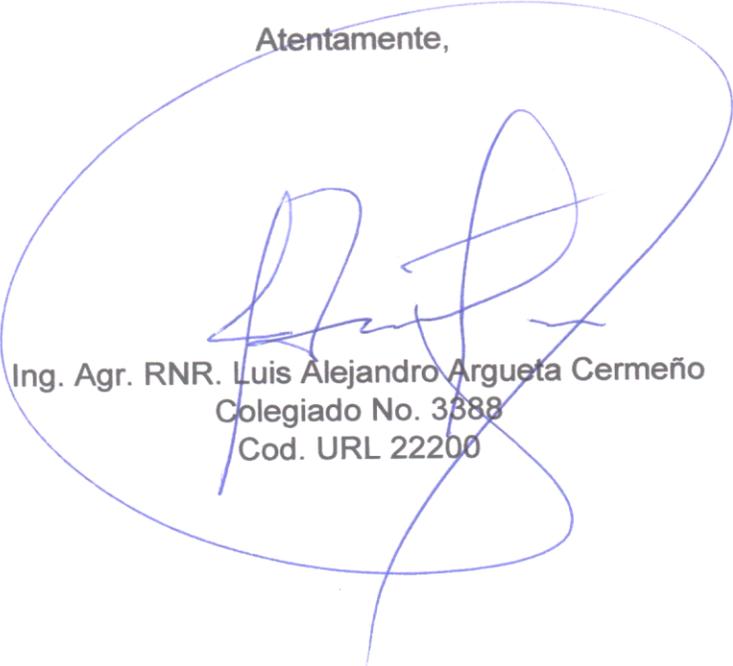
Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Nery José Aldana Vargas, carné 20511-10, titulada: "Caracterización de sistemas de producción agroforestal; San Miguel, Huité, Zacapa".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Agr. RNR. Luis Alejandro Argueta Cermeño
Colegiado No. 3388
Cod. URL 22200



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante NERY JOSÉ ALDANA VARGAS, Carnet 20511-10 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS, del Campus de Zacapa, que consta en el Acta No. 06135-2017 de fecha 28 de septiembre de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROFORESTAL; SAN MIGUEL HUITÉ, ZACAPA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO en el grado académico de LICENCIADO EN CIENCIAS HORTÍCOLAS.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 2 días del mes de octubre del año 2017.



MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios por darme la vida, sabiduría y fortaleza para desarrollarme académicamente.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, por ser parte de mi formación.

Ing. Luis Alejandro Argueta Cermeño, por su asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Técnico Forestal de la municipalidad de Huité, Zacapa, Marinel Sánchez, por brindarme el apoyo necesario para desarrollar la presente investigación.

Ing. Mario Raúl Leiva Sosa, por su apoyo, asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

DEDICATORIA

A:

Dios: Por darme sus infinitas bendiciones, fortaleza y sabiduría para superar las distintas etapas de mi vida, iluminando en todo momento mí camino por la senda del bien.

Mis padres: María Eugenia Vargas Aldana y Nery Everardo Aldana Morales, a quienes amo mucho, por darme todo su amor, su apoyo incondicional en todo momento y por nunca permitirme darme por vencido.

Mi familia: Abuelos, tíos, primos, que han contribuido con sus consejos a lo largo de mi camino académico.

Mis Amigos: Por su apoyo, compañía y amenizar cada uno de los momentos compartidos durante el tiempo de estudio.

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes	3
2.2 Estudios previos relacionados con el tema	4
2.3 La agroecología un método de base sustentable	8
2.4 La agroforestería: una estrategia de producción agroecológica.....	9
2.5 Factores para la caracterización de un Sistema Agroforestal (SAF)	9
2.5.1 Clasificación de los Sistemas Agroforestales	9
2.5.1.1 Clasificación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)	9
2.5.1.2 Clasificación del Instituto Nacional de Bosques (INAB)	10
2.5.2 Pedregosidad superficial del suelo	11
2.5.3 Profundidad efectiva del suelo	13
2.5.4 Textura del suelo	14
III. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	16
IV. OBJETIVOS.....	19
4.1 General.....	19
4.2 Específicos	19
V. METODOLOGÍA	20
5.1 Localización del trabajo	20
5.2 Sujeto y/o unidades de análisis	22
5.2.1 Sistemas Agroforestales (SAF).....	22
5.2.2 Factores caracterizados.....	22
5.2.2.1 Factores generales.....	22
5.2.2.2 Factores fisiográficos	23
5.2.2.3 Factores edáficos	23
5.3 Tipo de investigación.....	24

5.4	Instrumentos.....	24
5.4.1	Cinta métrica.....	24
5.4.2	Clinómetro	24
5.4.3	Pintura en aerosol.....	24
5.4.4	Boletas para llenado de datos en campo.....	25
5.4.5	Receptor GPS.....	25
5.4.6	Balanza de reloj colgante.....	25
5.4.7	Barreno para toma de muestras de suelo.....	25
5.4.8	Guía para determinación de la textura del suelo.....	25
5.4.9	Hojas de cálculo.....	25
5.5	Procedimiento	26
5.5.1	Fase de gabinete inicial	26
5.5.1.1	Población de interés.....	26
5.5.1.2	Base de datos	26
5.5.1.3	Diseño de la muestra	27
5.5.1.3.1	Calculo de la muestra	27
5.5.1.3.2	Selección de la muestra.....	28
5.5.1.3.3	Forma y Tamaño de la parcela de muestreo.....	28
5.5.2	Fase de campo	28
5.5.2.1	Identificación de lugar	28
5.5.2.2	Establecimiento de las parcelas.....	29
5.5.2.3	Toma de datos	29
5.5.3	Fase de gabinete final.....	30
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
6.1	Tipo de Sistema Agroforestal	33
6.2	Especies agrícolas	34
6.3	Densidad de siembra de las especies agrícolas	36
6.4	Especie forestal.....	39
6.5	Densidad de siembra de la especie forestal.....	41
6.6	Rendimiento del cultivo agrícola.....	43
6.7	Elevación sobre el nivel del mar.....	45

6.8	Pendiente promedio	47
6.9	Pedregosidad superficial	48
6.10	Profundidad del suelo	50
6.11	Textura del suelo	52
6.12	Cuadro resumen del análisis de correlación y valor de significancia.....	53
6.13	Capacidad de uso de la tierra del área muestreada	55
6.14	Contribución de los Sistemas Agroforestales con la seguridad alimentaria y nutricional	55
6.15	Recomendaciones y lineamientos para el Establecimiento de Sistemas Agroforestales en el corredor seco de Guatemala	56
VII.	CONCLUSIONES	61
VIII.	RECOMENDACIONES	62
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
	ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de la profundidad del suelo	14
Cuadro 2. Clasificación USDA de los suelos según su textura.....	15
Cuadro 3. Base de datos de SAF según registros del INAB.....	27
Cuadro 4. Escala para interpretar el coeficiente de correlación de Karl Pearson	31
Cuadro 5. Matriz de datos.....	32
Cuadro 6. Tipo de SAF por parcela	33
Cuadro 7. Especies agrícolas encontradas	35
Cuadro 8. Densidad de siembra de las especies agrícolas encontradas	37
Cuadro 9. Especie forestal encontrada.....	39
Cuadro 10. Densidad de siembra de la especie forestal encontrada.....	41
Cuadro 11. Rendimiento del cultivo agrícola obtenido.....	44
Cuadro 12. Elevación en msnm de cada parcela	46
Cuadro 13. Pendiente promedio de cada parcela muestreada.....	47
Cuadro 14. Pedregosidad superficial de cada parcela muestreada.....	49
Cuadro 15. Profundidad del suelo de cada parcela muestreada	51
Cuadro 16. Textura del suelo de cada parcela muestreada	52
Cuadro 17. Resumen de los resultados de correlación y valor de significancia	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del municipio de Huité, Zacapa.....	20
Figura 2. Especies agrícolas encontradas	35
Figura 3. Densidad de siembra encontrada en Frijol	36
Figura 4. Densidad de siembra encontrada en Maicillo	37
Figura 5. Densidad de siembra encontrada en Maíz	38
Figura 6. Densidad de siembra de la especie forestal encontrada	43
Figura 7. Rendimiento del cultivo agrícola obtenido	44
Figura 8. Elevación en msnm de cada parcela	46
Figura 9. Pendiente promedio de cada parcela muestreada	48
Figura 10. Pedregosidad superficial de cada parcela muestreada	50
Figura 11. Profundidad del suelo de cada parcela muestreada.....	52

CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROFORESTAL; SAN MIGUEL, HUITÉ, ZACAPA

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue caracterizar los sistemas de producción agroforestal de la aldea San Miguel, municipio de Huité, Zacapa. El análisis se realizó por medio de una investigación de tipo descriptiva, mostrando de manera cuantitativa y cualitativamente los factores caracterizados. Se relacionaron los sistemas con el rendimiento del cultivo y se presentan una serie de recomendaciones y lineamientos para el establecimiento de sistemas agroforestales en el corredor seco de Guatemala. La caracterización fue efectuada por medio de muestreo en 21 parcelas verificando 11 factores en cada una de ellas, siendo las unidades de análisis los sistemas agroforestales. Las conclusiones obtenidas fueron que en los sistemas agroforestales hay algunos factores que son constantes como el tipo de SAF, siendo árboles en asocio con cultivos anuales, especie forestal utilizada que es madrecaao. Las especies agrícolas encontradas fueron maíz, frijol y maicillo, siendo el maicillo que mostró mejores rendimientos. Las recomendaciones para los agricultores de subsistencia e infra-subsistencia del corredor seco del país son: establecer sistemas agroforestales con el asocio de la especie forestal madrecaao y la especie agrícola maicillo utilizando las recomendaciones y lineamientos para el establecimiento de sistemas agroforestales en el corredor seco de Guatemala desarrollados a través de la presente investigación.

AGROFORESTRY PRODUCTION SYSTEMS CHARACTERIZATION SAN MIGUEL, HUITÉ, ZACAPA

SUMMARY

The objective of the research was to characterize the agroforestry production systems of the village of San Miguel, township of Huité, Zacapa. The analysis has carried out by means of a research of descriptive type, showing in quantitative and qualitative way the characterized factors. The systems were related to the yield of the crop and a series of recommendations and guidelines for the establishment of agroforestry systems in the Dry Corridor of Guatemala. The characterization were carried out by means of sampling in 21 plots verifying 11 factors in each one of them, the units of analysis being agroforestry systems. The conclusions obtained were that in the agroforestry systems there are some factors that are constant as the type of SAF, being trees in association with annual crops, used forest species that is mother of cocoa tree. The agricultural species found were maize, beans and sorghum, being sorghum that showed better yields. The recommendations for the subsistence and subsistence farmers of the country's dry corridor are to establish agroforestry systems with the association of the mother forest species and the sorghum agricultural species using the recommendations and guidelines for the establishment of agroforestry systems in the dry Guatemala developed through the present investigation.

I. INTRODUCCIÓN

A partir del año 1970 los sistemas agroforestales se han convertido en una herramienta para la lucha contra la inseguridad alimentaria y una buena práctica de adaptación al cambio climático al reducir los impactos negativos de los cambios de uso de la tierra, principalmente de vegetación natural a usos más intensivos (Rincones, 2016).

Los sistemas agroforestales están constituidos por la asociación de árboles o arbustos con cultivos agrícolas o pastos, contribuyendo de manera que permiten al agricultor diversificar la producción en sus terrenos y obtener de manera asociada alimento, frutos, madera, leña, plantas medicinales, ornamentales, forrajes y otros productos y sub productos agrícolas y forestales. De la misma manera causa un impacto sumamente positivo en la conservación del suelo y biodiversidad del área entre otros beneficios ecosistémicos.

En Guatemala instituciones como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Red Nacional por la Soberanía Alimentaria en Guatemala (REDSAG), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), el Instituto Nacional de Bosques (INAB), la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SESAN) promueven los sistemas agroforestales o sistemas integrales de producción campesina sostenible, con un enfoque de seguridad alimentaria, generación de ingresos, sostenibilidad ecológica y un aporte a la adaptación al cambio climático.

Durante los años del 2006 al 2013 en el departamento de Zacapa se han perdido en promedio 374 hectáreas anuales de cobertura forestal (INAB, 2013). En contraste con el contexto nacional y aunado a las altas tasas de deforestación el departamento por ser parte del corredor seco es particularmente vulnerable a los efectos del cambio climático (MAGA, 2013). Estas situaciones agravan la precaria seguridad alimentaria y nutricional que padecen alrededor de 30 mil productores agropecuarios de infra subsistencia y subsistencia que ven afectadas sus cosechas, su economía y su seguridad alimentaria. Por medio de la cooperación internacional (Holanda), INAB y algunos gobiernos locales,

con el objetivo de disminuir esta situación y tomando en cuenta el programa de incentivos forestales PINPEP, a partir del año 2007 se comienzan a establecer sistemas agroforestales en los municipios con mayor vulnerabilidad al cambio climático y con alto índice de inseguridad alimentaria del departamento de Zacapa.

En este contexto, es importante resaltar los beneficios que han generado los sistemas agroforestales para aquellos vecinos del departamento de Zacapa y en particular para los del municipio de Huité que los han implementado, principalmente combinan el maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) con especies arbóreas de madrecaao (*Gliricidia sepium*), aripín (*Caesalpinia velutina*) y zapotón (*Swietenia humilis*).

Es importante señalar que ha habido un incremento en la implementación de estos sistemas y que cada productor le proporciona un manejo muy propio, basado en sus experiencias y criterio personal, recopilar la información de manejo y sus resultados es sumamente valioso pues dicha información podría utilizarse como marco de referencia para reproducir y/o mejorar experiencias conforme el área de sistemas agroforestales crezca en la región o en otras partes del país.

El presente estudio plantea la caracterización de los sistemas agroforestales en la aldea San Miguel, del municipio de Huité, departamento de Zacapa, en el año 2015, realizando una comparación entre las distintas formas de manejo y los rendimientos agrícolas.

Los resultados se utilizarán como insumo para proponer recomendaciones técnicas encaminadas a obtener beneficios óptimos en los sistemas agroforestales; contribuyendo además con INAB presentándole esta investigación como una herramienta para los usuarios del programa PINPEP, donde podrán tomar en cuenta los datos recabados para elegir el mejor arreglo y combinación, al momento de establecer su sistema agroforestal.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Según el MAGA (2013) entre los años 2011 al 2014 se produjo en Guatemala una reducción de alrededor del 10 % en los índices de desnutrición crónica y aguda. En el caso específico de la desnutrición crónica ha variado desde un 58% a un 48% durante el periodo comprendido de diciembre 2012 hasta diciembre 2013.

Además de los beneficios en términos de seguridad alimentaria, los sistemas agroforestales también han contribuido a disminuir la presión al bosque natural en el tema de obtención de leña, ya que de ellos se extrae la cantidad necesaria para el consumo familiar (INAB, 2013).

En este sentido, FAO señala que la cobertura arbórea puede ejercer una considerable influencia moderando algunos factores climáticos y del suelo para que estos puedan contribuir de manera positiva en los cultivos agrícolas.

La magnitud de los beneficios depende de la cantidad de árboles. Un árbol aislado plantado en medio de los cultivos sólo puede ejercer un efecto menor y localizado. Cuanto más se parezca el sistema a un monte cerrado, por su estructura de cobertura y por el espacio entre los árboles, mayores efectos benéficos tendrá sobre la humedad y la temperatura (FAO, 2013).

En la aldea San Miguel a partir del año 2006 se inició con la implementación de sistemas agroforestales, de esta manera se ha logrado aprovechar los beneficios económicos del programa "PINPEP" a cargo del INAB, dichos sistemas se han implementado de distintas maneras, por lo que se tiene una gran diversidad de los mismos (INAB, 2013).

2.2 Estudios previos relacionados con el tema

Robledo (2003) en su tesis titulada **“PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN ÁREAS CRÍTICAS DE LAS CUENCAS GENERADORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA MARÍA LINDA Y LOS ESCLAVOS, GUATEMALA”** se propuso determinar un mecanismo de pago de servicios ambientales en los sistemas agroforestales en áreas priorizadas de las cuencas María Linda y Los Esclavos.

Como producto de su investigación llegó a importantes conclusiones, dentro de las cuales se pueden resaltar las siguientes:

- La identificación de las áreas críticas en las dos cuencas, demuestra fielmente la degradación de las mismas a lo que deberá priorizarse para el establecimiento de los sistemas agroforestales de acuerdo a la designación o categoría de priorización desde Prioritaria, Alta prioridad y Muy alta prioridad, tanto para los sistemas agroforestales con frutales como para los sistemas agroforestales con maderables, para efectos de estudio.
- Con la implementación de los sistemas agroforestales se protegerán los bosques y se dará un uso adecuado al suelo con base a su capacidad, así como se evitará el sobre uso del suelo, el cual está incrementando los niveles de erosión.
- El Mecanismo de compensación será comprendido como el instrumento de política del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación y del Ministerio de Energía y Minas, el cual estará apoyado en el marco financiero, jurídico e institucional, por lo que se hace necesario la disponibilidad del dinero a través de un fideicomiso para el pago de los servicios ambientales que demuestre la transparencia hacia los pequeños y medianos agricultores.
- El pago de servicios ambientales incentivará e integrará a los pequeños y medianos agricultores para la implementación de los sistemas agroforestales, obteniendo así, un incremento de la cobertura boscosa de las dos cuencas y reduciendo el nivel de erosión que llega a los embalses, así como la generación de divisas para los agricultores.

Recomendó el pago de servicios ambientales a sistemas productivos sostenibles, ya que combinan producción y conservación a la vez. Así mismo recomendó el establecimiento de sistemas agroforestales para disminuir los niveles de sedimentación de los embalses para producir una mejor y mayor cantidad de agua y energía eléctrica.

También recomendó la implementación de sistemas agroforestales para la recuperación de los bosques y las zonas vulnerables de erosión, con lo que también se lograr recuperar las áreas degradadas a la vez que se evita el avance la frontera agrícola. (Robledo Hernández, 2003)

Castañeda. (1999 y 2000) realizó estudio de caso titulado: **“CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO DE LA RESERVA DE BIOSFERA SIERRA DE LAS MINAS (RBSM), DISTRITO MOTAGUA, DURANTE LOS AÑOS 1999 Y 2000”**

La investigación planteó los siguientes objetivos específicos:

- Identificar y categorizar los diferentes tipos de sistemas agroforestales existentes en las zonas de amortiguamiento del Distrito Motagua, de la RBSM.
- Describir los componentes agrícolas y forestales utilizados en los sistemas agroforestales categorizados.
- Definir las áreas promedio de utilización para cada tipo de sistemas agroforestales identificados.
- Ubicar los tipos de sistemas agroforestales por sub cuenca, altitud sobre el nivel del mar y zona específica de amortiguamiento de la RBSM.

Dentro de los resultados de interés se puede mencionar:

- El estudio de caracterización de sistemas agroforestales en las zonas de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas, Distrito Motagua, desarrollada durante los años 1,999 y 2,000, generó información de alta importancia para la definición de alternativas de producción agroforestal en estas zonas, como parte de la estrategia de mitigación de la presión ejercida por las poblaciones aledañas

hacia los recursos naturales de la RBSM. A continuación se presentan y discuten los principales resultados, basados en los objetivos y las variables de estudio planteados.

- El primer resultado obtenido, lo constituye la identificación y categorización de los diferentes sistemas agroforestales localizados en las dos zonas de amortiguamiento presentes en el Distrito Motagua (de uso sostenido y de amortiguamiento), lo cual permite contar con pleno conocimiento de las alternativas de manejo agroforestal con que se cuenta en cada una de las zonas y su relación en cuanto a los objetivos y productos de cada uno de estos sistemas con los objetivos de manejo establecidos
- La mayor cantidad de sistemas agroforestales fueron encontrados en la zona de amortiguamiento, lo cual fue previsible desde el principio del estudio, debido a que esta es la zona de manejo de la RBSM con mayor número de poblaciones y más alejada de la zona núcleo. Por el contrario, en la zona de uso sostenido, que cuenta con menor número de poblaciones fueron correspondientemente un menor número de parcelas bajo sistemas agroforestales. (Castañeda, 2000)

Benavides (2013) realizó la tesis de grado en Ecuador titulada: **“EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO Y APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS EN EL CEYPSA, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”**.

La investigación está basada en el análisis problemático ambiental producto de la actividad agrícola, se realizó en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, su objetivo fue evaluar los sistemas agroforestales (SAF's) existentes en el Centro de Experimentación y Producción Salache (CEYPSA), para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.

Los Objetivos en la investigación fueron:

- Evaluar los sistemas agroforestales en el CEYPSA, Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
- Diagnosticar el nivel de incidencia de malas prácticas agroforestales en el CEYPSA mediante la observación de campo.
- Evaluar los sistemas agroforestales existentes en el CEYPSA.
- Elaborar un plan de manejo y aprovechamiento de los recursos agroforestales en el CEYPSA.

Las recomendaciones de la investigación fueron:

- Que para los linderos y cercas vivas se les de manejo al componente arbóreo, entre las práctica de manejo recomendables son las podas de formación y sanidad orientadas al fortalecimiento del árbol así mismo las podas de producción dirigidas a obtener productos en forma sustentable.
- En los sistemas silvopastoriles implementar nuevos árboles para los linderos ya que en la actualidad existe un gran índice de mortalidad porque no se les ha proporcionado un manejo y cuidado apropiado para las especies arbóreas, entre las recomendadas hacia la inclusión son Tilo, Chilca y Aliso.
- Que se considera necesario la inclusión de árboles dispersos en los potreros o más conocido como silvopasturas, para la implementación de árboles se propone a la especie Acacia porque ayuda en el aporte de múltiples beneficios ecológicos.
- El manejo de terrazas propuesto que ayudará a la recuperación y conservación del suelo con actividades como la incorporación de nutrientes al suelo colocando tierra negra, abono orgánico, aserrín para la retención de humedad, adicionalmente a estas actividades de manejo también se recomienda reestructurar las terrazas ya que en la actualidad se halla casi perdiendo su forma y dimensiones, para que la conservación del suelo sea mejorada es mejor si las terrazas cubren toda la superficie de la montaña.
- Que la plantación de los bosques mixtos de especies nativas sean netamente ecológico, ambiental que ayude a la recuperación y conservación del suelo

erosionado en la parte alta de los predios de una Universidad y de la misma seguir fomentando la implantación de bosquetes nativos para que exista una cobertura vegetal y evitar riesgos ambientales como erosión hídrica y eólica por medio de la incidencia de fuertes lluvias que arrastran los nutrientes como también fuertes vientos que levantan el extracto del suelo. (Benavides Fauta, 2013)

2.3 La agroecología un método de base sustentable

La agroecología se ha convertido en la disciplina que proporciona los principios ecológicos básicos para estudiar, diseñar y administrar agro ecosistemas alternativos que afectan no sólo a los aspectos ecológico-ambientales de la crisis de la agricultura moderna, sino también a los aspectos económicos, sociales y culturales. (Altieri, 1996)

El conocimiento campesino de los ecosistemas genera a menudo estrategias multidimensionales y productivas de uso del suelo que resultan con ciertas limitantes ecológicas y técnicas en la autosuficiencia alimentaria de algunas comunidades. Por eso a la agroecología se considera como una extensión, afirmación y valorización del conocimiento agrícola campesino. (Ramachandran, 1997)

Los componentes básicos de un agro ecosistema sustentable con visión agroecológica, incluyen:

- (1) una cubierta vegetal como medida eficaz para la conservación de suelo y agua.
- (2) una fuente constante de materia orgánica por medio del suministro constante de estiércol y compost y la promoción de la actividad biótica del suelo;
- (3) mecanismos de reciclaje de nutrientes por medio de la rotación de cultivos, la integración de la ganadería y los cultivos, y otras prácticas relacionadas;
- (4) el control de plagas por medio de un aumento en la actividad de los agentes de control biológico, obtenida mediante la introducción y/o conservación de enemigos naturales;
- (5) diversificación del agro-ecosistema en el espacio (policultivos, agroforestería, etc.) y en el tiempo (rotaciones, integración de cultivos y animales, etc.) (Altieri y Rosset, 1995, citado por Rosset, 2001).

2.4 La agroforestería: una estrategia de producción agroecológica

La diversificación es una de las principales herramientas con que cuenta la agroecología, tiene una magnitud económica y social en los sistemas agroecológicos al disminuir los riesgos, aumentar los productos para la comercialización y permitir la suficiencia alimentaria (García, 1999 citado por Ramírez, 2005). Este enfoque subraya claramente la naturaleza integrada que tiene la agroforestería.

Es un nombre colectivo que abarca todos los sistemas de uso de la tierra y prácticas que prevén la siembra deliberada de especies perennes maderables y no maderables en la misma unidad de administración agraria junto con cultivos y/o animales (Lundgren, Sepúlveda, & Edwards, 1996). Esto puede darse en función del tiempo y del espacio (Fassbender & Bornemisza, 1987).

Hablamos de árboles asociados a cultivos agrícolas (sistemas agrosilvícolas), árboles asociados a pastos y ganado (sistemas silvopastoriles) y árboles asociados a cultivos, pastos y ganado (sistemas agrosilvopastoriles) (Tratado de Cooperación Amazónica (TCA), 1994). Presentan los atributos de cualquier sistema: límites, componentes, ingresos y egresos, interacciones, una relación jerárquica con la organización de la finca y una dinámica (Montagnini, 1992).

2.5 Factores para la caracterización de un Sistema Agroforestal (SAF)

2.5.1 Clasificación de los Sistemas Agroforestales

2.5.1.1 Clasificación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

Según CATIE (2001), la complejidad de los SAF hace difícil su clasificación bajo un solo esquema. Los criterios de clasificación más frecuentes son: la estructura o función del sistema, las zonas agroecológicas donde el sistema existe o es adoptable y el escenario

socioeconómico (escalas de producción y nivel de manejo del sistema). Sin embargo estos criterios no son independientes ni excluyentes.

De manera que los sistemas agroforestales se clasifican en:

1. Sistemas Agrosilviculturales (cultivos + especies leñosas)
 - a. Agricultura migratoria con manejo del barbecho
 - b. Cultivo en plantaciones forestales y Sistema "Taungya".
 - c. Árboles para sombra de cultivos.
 - d. Árboles en parcelas de cultivo (cercas vivas, cortinas rompe vientos, árboles en linderos, o árboles dispersos).
 - e. Leñosas como soportes vivos.
 - f. Huertos caseros mixtos.
 - g. Cultivo en callejones.

2. Sistemas Silvopastoriles
 - a. Árboles o arbustos dispersos en potreros
 - b. Pastoreo en plantaciones forestales o frutales
 - c. Bancos forrajeros o bancos de proteína
 - d. Pastura en callejones

3. Sistemas Especiales
 - a. Silvoentomología (Ej. Árboles para apicultura)
 - b. Silvoacuacultura (Ej. Árboles para Piscicultura)

2.5.1.2 Clasificación del Instituto Nacional de Bosques (INAB)

El INAB en el documento "Parámetros de Evaluación de los Proyectos para su Certificación - PINPEP" reconoce los siguientes tipos de sistemas agroforestales:

- **Árboles en línea:** Incluye la asociación de árboles, cultivos y/o animales, relacionando técnicas agrícolas y ganaderas. Dentro de este sistema agroforestal se incluyen cercos vivos y cortinas rompe vientos.
- **Árboles en asocio con cultivos anuales:** Dentro de este sistema se incluyen cultivos en franjas, cultivos en callejones y barreras vivas. Incluye especies maderables, árboles de uso múltiple y árboles de “servicio” (manejados únicamente para el bien del cultivo, para fijación de nitrógeno o manejo de sombra).
- **Árboles en asocio con cultivos perennes:** Dentro de este sistema agroforestal se incluyen las combinaciones simultáneas de árboles con cultivos perennes, como: café, cacao, árboles frutales, cardamomo, xate, izote, pacayina, vainilla, etc.
- **Huertos familiares mixtos:** Son mezclas de diferentes estratos complejos de árboles, arbustos, bejucos, cultivos perennes y anuales, así como animales para generar una multitud de productos comerciales y de uso familiar que se encuentran alrededor de la viviendas.
- **Sistemas silvopastoriles:** Son asociaciones de árboles maderables y de uso múltiple con animales, con o sin presencia de cultivos. Incluyen asociaciones de árboles dispersos y árboles en línea con pastos.

2.5.2 Pedregosidad superficial del suelo

La Universidad de Extremadura, a través del área de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias (2005), define que: La pedregosidad superficial desde el punto de vista de la utilización del suelo es importante para el cultivo por su acción sobre los aperos de labranza, llegando a impedir la misma cuando su contenido es muy elevado. En las tierras vírgenes es un factor negativo porque disminuye la superficie útil para el crecimiento vegetal.

Las zonas pedregosas, desde el punto de vista de la conservación del suelo, pueden llegar a ser eficaces porque cuando la vegetación es escasa el golpeo de las gotas de agua sobre las piedras protege al suelo de la dispersión y arrastre de partículas. Las

zonas más pedregosas, del tipo hamada se forman como consecuencia de un proceso erosivo hídrico que deja solamente la piedra.

Se establecen las siguientes categorías:

1. No o muy poco pedregoso

- No interfiere la labranza.
- Las piedras cubren < 0.01 %.

2. Moderadamente pedregoso

- Interfiere en la labranza.
- No impide las labores.
- Las piedras cubren hasta un 0.1 %.
- Piedras y pedregones separados de 10 a 30 m.

3. Pedregoso

- Dificulta las labores y solo permite algunas.
- Las piedras cubren hasta un 3%.
- Piedras y pedregones separados de 1.6 a 10 m.

4. Muy pedregoso

- Impide el uso de maquinaria pesada.
- Solo maquinaria ligera o a mano.
- Las piedras cubren hasta un 15 %.
- Piedras y pedregones separados de 0.75 a 1.6 m.

5. Excesivamente pedregoso

- Impide el uso de todo tipo de maquinaria.
- Las piedras cubren hasta un 90 %.
- Piedras y pedregones separados < 0.75 m.

6. Ripioso

- Pavimentado con piedras.
- Las piedras cubren > 90 %.

2.5.3 Profundidad efectiva del suelo

León Arteta publicado por el doctor Juan José Ibañez J. (2007) nos da la siguiente descripción: La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrimentos indispensables. Tal información resulta ser de suma importancia para el crecimiento de las plantas.

Un suelo debe tener condiciones favorables para recibir, almacenar y hacer aprovechable el agua para las plantas, a una profundidad de por lo menos del susodicho metro. En un suelo profundo las plantas resisten mejor la sequía, ya que a más profundidad mayor capacidad de retención de humedad. De igual manera, la planta puede usar los nutrimentos almacenados en los horizontes profundos del subsuelo, si éstos están al alcance de las raíces. (León Arteta, 2007)

La profundidad del suelo es muy importante porque de ella depende el volumen de agua que el suelo puede almacenar para las plantas. Un suelo de textura y estructura uniforme de 0.60 m. de profundidad puede almacenar doble cantidad de agua que un suelo de 0.30 m. de profundidad y también tendrá un volumen doble para las raíces de las plantas.

Con frecuencia, a mayor profundidad mayor densidad aparente y menor porosidad de tamaño medio y grande. La raíz de la planta profundizará hasta donde las condiciones de aireación y drenaje le permitan respirar adecuadamente.

En los levantamientos de suelos-vegetación, la clasificación de la profundidad del suelo hasta la roca o estrato cementado, se explica en el siguiente cuadro (cuadro 1) en donde se indica claramente la clasificación del suelo que además fue utilizada en cada una de las parcelas muestreadas.

Cuadro 1. Clasificación de la profundidad del suelo

Clase	Profundidad (cm)	Descripción
1	0-30	Muy poco profundo
2	30-60	Somero
3	60-90	Profundidad moderada
4	90-120	Profundo
5	Mayor a 120	Muy profundo

Fuente: (adminv15)

2.5.4 Textura del suelo

Según –USDA- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, por sus siglas en inglés, define la textura del suelo como la proporción (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo. En edafología las partículas de un suelo se clasifican en elementos gruesos (tamaño de diámetro superior a 2 mm) y elementos finos (tamaño inferior a 2 mm). Estos últimos son los utilizados para definir la textura de un suelo (ver cuadro 2). Siguiendo la terminología establecida por la USDA, tenemos tres grandes rasgos de clasificación:

- Arena $2 \text{ mm} > \emptyset > 0,05 \text{ mm}$
- Limo $0,05 \text{ mm} > \emptyset > 0,002 \text{ mm}$
- Arcilla $\emptyset < 0.002 \text{ mm}$ (Textura del suelo, 2015)

La textura del suelo, varía de unos horizontes a otros, siendo una característica propia de cada uno de ellos por lo que es tan importante el análisis de los diferentes horizontes del suelo uno a uno.

Existen muchos tipos de suelos, dependiendo de la textura el tipo de suelo será.

- Suelo arenoso es ligero y filtra el agua rápidamente, tiene baja materia orgánica por lo que no es muy fértil.

- Suelo arcilloso es un terreno pesado que no filtra casi el agua, es pegajoso, plástico en estado húmedo y posee muchos nutrientes y materia orgánica
- Suelo limoso es estéril, pedregoso y filtra el agua con rapidez, la materia orgánica que contiene se descompone muy rápido.
- Suelos calcáreos: Tienen más de 40% de sales de calcio. Son de color blanquecinos y cuando se seca se agrieta, con abundante riego y abono sirven para cultivar maíz, cebada y uvas.
- Suelos humíferos: contienen más de un 60% de humus, material que absorbe y retiene el agua, controlando su filtración y son aptos para diversos cultivos. (Bazan Ortega, 2015)

Cuadro 2. Clasificación USDA de los suelos según su textura

Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	
Textura gruesa	86-100	0-14	0-10	Arenoso	Suelos arenosos
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso	
Textura moderadamente gruesa	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	Suelos francos
	23-52	28-50	7-27	Franco	
Textura media	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	Suelos francos
	0-20	88-100	0-12	Limoso	
	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	
Textura moderadamente fina	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso	Suelos arcillosos
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso	
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	
Textura fina	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	Suelos arcillosos
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA)

III. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Definición del problema y justificación del trabajo

Según el MAGA (2011), en cuanto al rendimiento promedio de maíz blanco a nivel nacional, medido por la relación entre la producción en quintales respecto de las manzanas cosechadas... para el periodo 2009-2010 fue de 30qq/mz (1.947 toneladas por hectárea).

En el municipio de Huité, departamento de Zacapa, el principal cultivo tradicional es el maíz con producciones promedio de 22,154 qq (1,438.014 toneladas) en 1,199 hectáreas y frijol con 2,493 qq (161.82 toneladas) en 357 ha con rendimientos de 18.5 y 6.98 qq (1.2 y 0.453 toneladas) respectivamente; lo cual representa el 21.58% del área total principalmente en la parte alta, que constituye la base principal de la fuente alimenticia, además este es alternado con la siembra de maicillo (*Sorghum bicolor* M.) que viene siendo utilizado por las familias en extrema pobreza, en el momento que las reservas de granos básicos finaliza. (Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Huité, Zacapa y Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial, 2010)

Considerando los datos descritos con anterioridad se establece una reducción de 1.107 toneladas/hectárea para el municipio de Huité en relación al rendimiento nacional y tomando en cuenta que la aldea San Miguel se encuentra en la parte alta del municipio (ver figura 1) y que sus pobladores dependen directamente de las cosechas obtenida principalmente de este cultivo se ven seriamente afectados a esta dinámica. Los requerimientos nutricionales básicos para una familia contemplan cereales, grasas, proteínas de origen animal y micronutrientes, tomando en cuenta los rendimientos de los cultivos agrícolas del área en estudio no se tiene un excedente para la comercialización, por lo tanto el acceso económico a los alimentos para suplir los requerimientos nutricionales básicos no se obtiene (FAO, 2010).

A partir del año 2007, impulsados por INAB en el marco del programa PINPEP un grupo de agricultores comenzaron a utilizar los sistemas agroforestales como una medida para amortiguar las deficiencias de producción. Los mismos han mejorado significativamente los rendimientos del cultivo como también diversificado las parcelas de producción, obteniendo de las mismas leña, semillas, forraje y principalmente los beneficios de los árboles sobre el suelo; sin embargo la incorporación de dichos sistemas no ha sido de una manera ordenada debido a la falta de información del tema, los agricultores utilizan distintas técnicas y metodologías para establecer los mismos, dentro de lo que podemos mencionar las distintas densidades utilizadas, esto debido al parámetro de certificación que establece INAB donde se menciona que la densidad mínima es de 200 árboles por hectárea. Por lo que podemos encontrar densidades que oscilan desde los 200 a 1500 árboles por hectárea.

Existe un vacío de información sobre la caracterización de los sistemas agroforestales que año con año se han incrementado en lugares del corredor seco de Guatemala como es el caso de la aldea san miguel, municipio de Huité, departamento de Zacapa, comunidad en donde estos sistemas han beneficiado de diferentes maneras a quienes los han incorporado en su vida productiva, en primer lugar les han generado ingresos económicos percibidos a través del PINPEP, en segundo lugar han significado una alternativa de diversificación productiva lo que supone grandes ventajas al no depender únicamente de un solo producto en un área en donde la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático agravan la situación de infra subsistencia y subsistencia de los pobladores del lugar, y, finalmente estos sistemas agroforestales son estrategias de protección ambiental y adaptación al cambio climático al mismo tiempo que generan servicios ecosistémicos de suma importancia como materia orgánica, oxígeno, fijación de carbono, protección de suelos y regulación del ciclo hidrológico entre otros.

El CATIE (2003) cita a Sánchez, K. 2001, con una investigación en Yaracuy, Venezuela con relación al almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales. Esta investigación fue llevada a cabo con el objetivo de evaluar dos sistemas agroforestales; el primero, un sistema silvopastoril compuesto de pasto estrella

(*Cynodon niemfuensis*), matarratón (*Gliricidia sepium*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*); y el segundo, un sistema agroforestal constituido de matarratón y yuca (*Manihot esculenta*). La tasa de fijación de carbono fue calculada en 124kgC/ha/año para el SSP y en 327 kgC/ha/año para el SAF.

Por todos estos beneficios y el auge que año con año han ido tomando los sistemas agroforestales, se hace sumamente necesario contar con una caracterización de los mismos, información que servirá como instrumento de consulta para mejorar estrategias institucionales y recomendaciones técnicas que potencialicen los beneficios, tal coyuntura justifica la elaboración del presente trabajo titulado: caracterización de los sistemas de producción agroforestal en la aldea San Miguel, municipio de Huité, departamento de Zacapa.

IV. OBJETIVOS

4.1 General

Caracterizar los sistemas de producción agroforestal de la aldea San Miguel, municipio de Huité, Zacapa.

4.2 Específicos

- Describir cualitativamente y cuantitativamente cada uno de los factores de la caracterización.
- Determinar la relación que existe entre cada uno de los factores de la caracterización con el rendimiento del cultivo agrícola.
- Presentar una serie de recomendaciones y lineamientos para el establecimiento de sistemas agroforestales en el corredor seco de Guatemala.

V. METODOLOGÍA

5.1 Localización del trabajo

MAPA DE UBICACIÓN ALDEA SAN MIGUEL, HUITÉ, ZACAPA

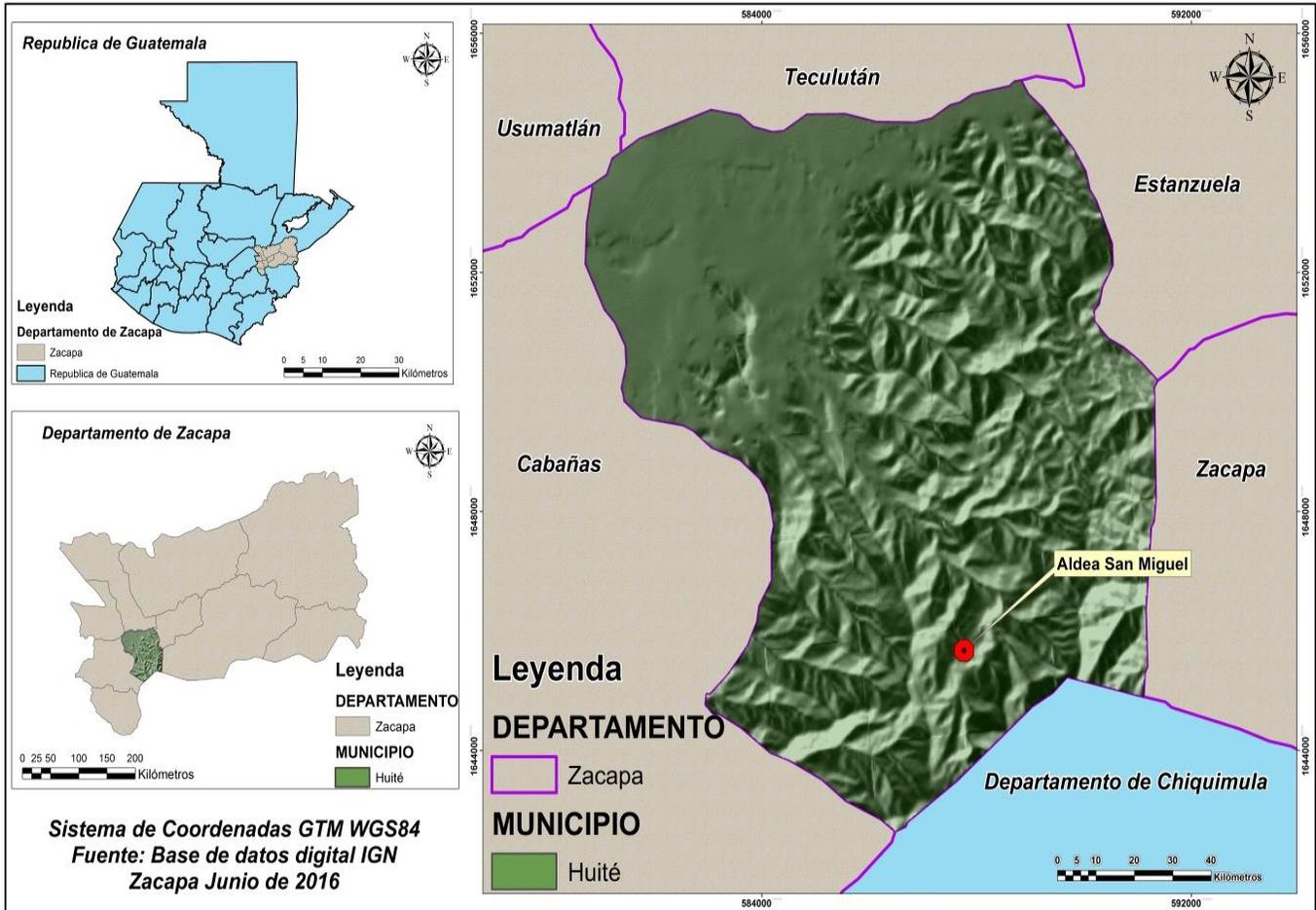


Figura 1. Mapa del municipio de Huité, Zacapa

Fuente: División Política Administrativa de Guatemala (IGN, 2016)

El municipio de Huité pertenece al departamento de Zacapa y se localiza al oeste de la cabecera departamental, entre las coordenadas geográficas: 14° 55' 03" latitud norte y 89° 43' 02" longitud oeste del meridiano de Greenwich. Se encuentra a una altitud entre 350 a 1100 msnm, su extensión territorial es de 89.12 km² (según INE, 2001); colinda al norte con los municipios de Usumatlán, Teculután y Estanzuela, al sur y al oeste con

Cabañas, al este con Estanzuela, Zacapa y Chiquimula (ver figura 1). Se ubica a 36 km de la cabecera departamental y a 130 km de la ciudad capital. (Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Huité, Zacapa y Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial, 2010)

La aldea San Miguel es jurisdicción del municipio de Huité y éste del departamento de Zacapa. La aldea en mención se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas latitud norte 14° 52' 47" y longitud oeste 89° 41' 05".

La forma de llegar al área de trabajo es partiendo de la ciudad capital sobre la CA-9 hasta el kilómetro 126 en donde se localiza la aldea Santa Cruz del municipio de Teculután, de allí se toma la carretera que conduce a la aldea La Reforma y luego al casco urbano de Huité por aproximadamente unos 6 kilómetros. Una vez ubicados en el sur de la cabecera municipal se continúa rumbo al suroeste por camino de terracería por 4 kilómetros.

Según el censo poblacional DMP 2010, la aldea San Miguel cuenta con una población de 848 habitantes, 456 hombres y 392 mujeres. Posee 3 caseríos a saber: El Amatillo, Filo del Mecate y Los Cocos (Instituto Geográfico Nacional (IGN), s.f.) (Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Huité, Zacapa y Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial, 2010)

De acuerdo al sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, el área bajo estudio se encuentra dentro de la zona de vida de Bosque Seco Subtropical (bs-S).

Geológicamente hablando el lugar corresponde al periodo Paleozoico (Pzm) con el tipo de rocas Ígneas y Metamórficas. Fisiográficamente se encuentra ubicada en la región Tierras Altas Cristalinas y el gran paisaje al que corresponde es el de Intrusivo de Chiquimula. Está localizada en la microcuenca del río Huité, que pertenece a la cuenca del Río Grande o Motagua. (MAGA, 2005)

5.2 Sujeto y/o unidades de análisis

5.2.1 Sistemas Agroforestales (SAF)

Los sistemas agroforestales investigados están ingresados al programa de incentivos PINPEP, para obtener un mayor beneficio a la economía familiar. A raíz de este programa dio inicio la diversificación de las parcelas, introduciendo el componente forestal a las mismas, lo que se ha hecho sin tomar en cuenta un modelo o método de establecimiento de los SAF, encontrándose en el campo una diversidad amplia en las características propias de cada sistema.

5.2.2 Factores caracterizados

Considerando las condiciones propias de los SAF, se cuentan con una amplia gama de factores que pueden ser objeto de caracterización; sin embargo, para efecto de la presente investigación se tomaron en cuenta únicamente aquellos que están estrechamente relacionados con ambos componentes (el agrícola y el forestal), también fueron considerados factores básicos como punto de partida para futuras investigaciones del tema. Dentro de los factores que se mencionan a continuación, únicamente el rendimiento del cultivo agrícola es tomado como dependiente ya que es el producto de mayor relevancia que los agricultores obtienen del sistema, considerando para este estudio los demás factores como independientes.

5.2.2.1 Factores generales

Estos fueron tomados en cuenta para conocer la estructura general de cada sistema y obtener la información necesaria para el análisis. Los factores generales considerados son los siguientes:

- Tipo de sistema agroforestal, utilizando para ello la clasificación de INAB.
- Especie agrícola utilizada.

- Densidad de siembra de la especie agrícola.
- Especie forestal utilizada.
- Densidad de siembra de la especie forestal.
- Rendimiento en kilogramos por hectárea del cultivo agrícola presente.

5.2.2.2 Factores fisiográficos

Este tipo de factores proporcionan datos generales relacionados con los terrenos en donde se han establecido los SAF y que de alguna manera afectan a los componentes de éstos, los factores considerados para la presente investigación fueron:

- Elevación en metros sobre el nivel del mar, la cual fue medida por medio de un receptor GPS marca Garmin modelo 60CSx.
- Pendiente promedio en porcentaje del lugar donde se encuentra ubicada la unidad de muestreo, esta fue medida por medio del método de ángulos utilizando un clinómetro marca Sunnto.
- Pedregosidad superficial, la cual se midió realizando sub-parcelas de 1 metro cuadrado dentro de cada una de las unidades de muestreo, luego se procedió a cuantificar el área superficial que se encuentra cubierta por piedras.

5.2.2.3 Factores edáficos

Estos factores están íntimamente relacionados al rendimiento de los cultivos, por lo que para la investigación en cuestión se han considerado los siguientes:

- Profundidad del suelo, la cual se midió con un barreno de toma de muestras de suelo, se tomó en cuenta la capa de suelo hasta donde logran penetrar con facilidad las raíces de las plantas.
- Textura del suelo, ésta se determinó por medio del método del tacto. (Se adjunta metodología).

5.3 Tipo de investigación

Investigación de tipo descriptivo en donde se utilizaron boletas de campo para el levantado de la información en cada una de las parcelas, luego se tabularon y analizaron, seguidamente se determinaron los factores que afectan de manera positiva la productividad del sistema agroforestal.

5.4 Instrumentos

El instrumento principal sobre el cual giró la presente investigación lo constituyó el muestreo, el cual se basa en la evaluación de los recursos a través de unidades de muestreo denominadas “Parcelas de Medición Forestal”, las cuales se establecieron de forma temporal. Para la ejecución de la investigación se utilizó el siguiente material y equipo:

5.4.1 Cinta métrica

Este instrumento fue utilizado para definir las dimensiones de las parcelas en el campo, para medir la profundidad del suelo, adicionalmente para realizar la estimación de la pedregosidad superficial.

5.4.2 Clinómetro

Se utilizó para determinar la pendiente promedio en cada una de las parcelas evaluadas, también para establecer los ángulos de 90° en cada una de las esquinas de dichas parcelas, asegurando así la veracidad en el tamaño de las mismas.

5.4.3 Pintura en aerosol

Se utilizó para identificar con un número correlativo las parcelas evaluadas en campo.

5.4.4 Boletas para llenado de datos en campo

Esta herramienta fue utilizada para plasmar la información obtenida en cada una de las parcelas realizadas, ver anexo 2.

5.4.5 Receptor GPS

Este aparato se utilizó para conocer la coordenada GTM y la altitud sobre el nivel del mar del área en donde se estableció cada una de las parcelas.

5.4.6 Balanza de reloj colgante

Este equipo fue utilizado para pesar el producto agrícola obtenido en cada una de las parcelas previamente delimitadas.

5.4.7 Barreno para toma de muestras de suelo

Esta herramienta se empleó para conocer la profundidad del suelo en algunas de las parcelas ya que en otras se utilizó los cortes de perfil que estaban presentes.

5.4.8 Guía para determinación de la textura del suelo

La forma para determinar la textura del suelo fue por medio de una guía que utiliza el “Método del Tacto”, ver anexo 3.

5.4.9 Hojas de cálculo

Mediante hojas de cálculo se vació la información recabada en las boletas, con la finalidad de facilitar el manejo de los datos (análisis, tabulación y graficación). Se utilizó un programa de procesamiento de texto para la elaboración de los documentos electrónicos.

5.5 Procedimiento

El procedimiento se realizó en tres fases, iniciando por una de gabinete donde se recolectaron todos los datos necesarios para realizar la investigación, también se calculó el tamaño de la muestra y se realizaron coordinaciones con agricultores del lugar. Seguidamente se desarrolló la fase de campo donde se procedió al levantamiento de la información en cada parcela evaluada y finalmente una fase de gabinete donde se analizaron y tabularon todos los datos obtenidos, desarrollando conclusiones y recomendaciones.

5.5.1 Fase de gabinete inicial

Esta fue la etapa en la que se planificó el trabajo que se realizó a nivel de campo, también se realizó en esta etapa la preparación y presentación del documento “propuesta” del trabajo a realizar, el cual en su debido momento fue evaluado por profesionales delegados por la Universidad Rafael Landívar para que la etapa de campo fuera realizada de la mejor manera posible.

5.5.1.1 Población de interés

Para determinar el universo de interés se tomó en cuenta todos los SAF que cuentan con las siguientes características:

- SAF inscritos en el programa de incentivos PINPEP
- Sistemas certificados por el INAB en el año 2014
- SAF que implementaron el componente agrícola en el año 2015

5.5.1.2 Base de datos

Para determinar la cantidad de SAF inscritos en el programa de incentivos PINPEP y los certificados por el INAB en el año 2014 se procedió a requerir dicha información a la sub-región III-2 de INAB ubicada en la cabecera departamental de Zacapa.

Según la base de datos del INAB (cuadro 3), existe un total de 127 sistemas agroforestales inscritos a la fecha en el programa PINPEP, de los cuales 105 fueron certificados en el año 2014.

Al momento de realizar la visita de campo al lugar para verificar el establecimiento del componente agrícola en los 105 SAF certificados en el año 2014 se encontró que solamente en 27 de ellos fue establecido el cultivo en el año 2015, razón por la cual solo estos se consideraron al momento de calcular el tamaño de la muestra.

Cuadro 3. Base de datos de SAF según registros del INAB

Clasificación	Cantidad de SAF	Área media (ha)	Área Total
Inscritos en el PINPEP	127	1.38	174.82
Certificados por INAB en 2014	105	1.37	144.40

Fuente: INAB, 2014.

5.5.1.3 Diseño de la muestra

Con base en los datos obtenidos mediante la consulta documental se procedió a realizar el cálculo de la muestra de la siguiente manera:

5.5.1.3.1 Calculo de la muestra

El número total de SAF a muestrear se determinó a través de la siguiente fórmula (Arias Lara & Peñaloza, 2014):

Fórmula para determinar el tamaño de la muestra, para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N}{1 + N(e^2)} = \frac{27}{1 + (27 * 0.1^2)} = \frac{27}{1 + (27 * 0.01)} = \frac{27}{1.27} = 21.26$$

Donde:

n = número de elementos a muestrear

N = tamaño de la población

e = error de muestreo = 10%

Al aplicar la fórmula con un 10% de error de muestreo (dicho porcentaje fue tomado por encontrarse dentro de los límites aceptados estadísticamente y acoplándose a la metodología de un muestreo y no de un censo) y realizar el procedimiento matemático respectivo dio como resultado que la muestra a considerar en el presente estudio es de 21 Sistemas Agroforestales (SAF).

5.5.1.3.2 Selección de la muestra

Conociendo la cantidad de los SAF a tomar en cuenta dentro de la población considerada, se procedió a colocarle un número a cada uno de ellos y hacer un sorteo al azar.

5.5.1.3.3 Forma y Tamaño de la parcela de muestreo

La forma que se utilizó para la toma de datos fue rectangular, ya que esta figura facilita la compensación de la pendiente en terrenos inclinados.

El tamaño de la parcela fue determinado de acuerdo al área promedio de los SAF a evaluar (0.98 hectáreas). Se tomó en cuenta la metodología de Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPM) del INAB para la evaluación de los proyectos PINPEP, en donde se indica que se debe inventariar un 5% del área total del SAF, por lo que se definió que tendría que ser de 500 m², considerando adicionalmente que el SAF más pequeño superaba esta área. Las dimensiones que se utilizaron fueron de 20 x 25 metros.

5.5.2 Fase de campo

5.5.2.1 Identificación de lugar

Teniendo la información de los SAF a evaluar, se procedió a buscar e informar al titular del proyecto, dando a conocer el objeto de la investigación, solicitando su autorización para llevar a cabo el levantamiento de datos en su terreno. En aquellos casos donde no

se encontró al poseedor o no quisieron brindar información se optó por visitar el siguiente SAF más cercano (ver anexo 5.2).

5.5.2.2 Establecimiento de las parcelas

Se procedió a constituirse en el centro del área en que se desarrolla cada uno de los SAF a muestrear. Seguidamente se establecieron los límites de la parcela, utilizando estacas visibles en sus esquineros, haciendo uso de cinta métrica y clinómetro, se trazó el eje de 25 metros sobre la curva de nivel, partiendo del centro 12.5 metros a cada lado, luego en el extremo se midió 10 metros hacia arriba y 10 metros hacia abajo para tener un total de 20 metros perpendiculares al eje, haciendo la compensación de pendiente correspondiente, conformando de esta manera una parcela de forma rectangular, luego se identificó cada una de ellas con un número correlativo, como se puede observar en la fotografía del anexo 5.3.

5.5.2.3 Toma de datos

Para realizar la toma de datos en campo se utilizó la boleta para llenado de datos en campo (anexo 2) en la cual se vació toda la información obtenida en las diferentes parcelas muestreadas. El receptor GPS marca Garmin modelo 60CSx proporcionó la coordenada GTM.

Los factores fueron determinados de la siguiente manera:

➤ Factores generales

- Por observación directa (tipo de SAF, especies agrícola y forestal) (ver anexo 5.1)
- Por medición de distanciamiento (densidad de siembra de las especies agrícolas y forestal) (ver anexo 5.4)
- Por estimación de peso (rendimiento en kilogramos por hectárea del cultivo agrícola) (ver anexo 5.6 y anexo 5.8)

➤ **Factores fisiográficos**

- Por medio del Sistema de Geo-posicionamiento Global (elevación en msnm)
- Por medición de ángulos (pendiente del terreno)
- Por medio de la metodología para la elaboración de Estudios de Capacidad de Uso de la Tierra del INAB (pedregosidad)

➤ **Factores edáficos**

- Por medición de la capa de suelo (profundidad del suelo) (ver anexo 5.7)
- Por medio del método del tacto, ver anexo 3 Guía para la determinación de la textura del suelo por medio del “Método del Tacto”. (textura del suelo) (además ver fotografía en el anexo 5.5)

5.5.3 Fase de gabinete final

Con la ayuda de computadora portátil, programa de hoja electrónica y procesador de textos, se procedió a digitalizar la información recolectada en campo, y se vació en una matriz de datos, se elaboraron los cuadros de resultados y gráficas que muestran la relación de cada factor caracterizado con el rendimiento del cultivo.

Análisis de correlación

El análisis de correlación se aplicó en los factores caracterizados para realizar comparación de los datos obtenidos, con relación al rendimiento del cultivo, verificando la correlación existente entre estos. Para este análisis se utilizó la fórmula para determinar el coeficiente de correlación desarrollada por Karl Pearson. En el cuadro 4 se describe la forma de interpretar los resultados obtenidos de la fórmula.

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

En donde:

r = coeficiente de correlación lineal

x = datos de la variable independiente

y = datos de la variable dependiente

\bar{x} = dato promedio de la variable independiente

\bar{y} = dato promedio de la variable dependiente

Cuadro 4. Escala para interpretar el coeficiente de correlación de Karl Pearson

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: Suárez Ibujes, s.f.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta la información tabulada de los datos recopilados a nivel de campo, el respectivo procesamiento e interpretación para cada uno de los factores caracterizados.

La siguiente matriz (cuadro 5) contiene de manera ordenada la totalidad de los datos recopilados en todas las parcelas muestreadas.

Cuadro 5. Matriz de datos

#	Factores										
	Tipo de SAF	Sp. Agrícola	d agrícola (p/ha)	Sp. forestal	d forestal (p/ha)	r agrícola kg/ha	Elev. msnm	Pendiente \bar{x} (%)	Pedregosidad superficial (%)	Prof. s. (cm)	Textura del suelo
1	a.a.c.a.	Maíz	20034.280	Madrecacao	625.356	64.910	845	40	20	20	Arcillo-limoso
2	a.a.c.a.	Maíz	13355.710	Madrecacao	1073.265	259.640	798	55	18	10	Arcillo-limoso
3	a.a.c.a.	Maicillo	20034.280	Madrecacao	1166.281	283.007	845	45	16	20	Arcillo-limoso
4	a.a.c.a.	Maicillo	20034.280	Madrecacao	443.616	681.554	837	45	5	30	Arcillo-limoso
5	a.a.c.a.	Maicillo	20034.280	Madrecacao	618.201	772.428	893	45	2	35	Arcillo-limoso
6	a.a.c.a.	Maicillo	20034.280	Madrecacao	666.855	636.117	883	20	5	30	Arcillo-limoso
7	a.a.c.a.	Frijol	81771.345	Madrecacao	286.204	415.424	983	50	3	12	Arcillo-limoso
8	a.a.c.a.	Frijol	37099.194	Madrecacao	890.094	576.400	1078	45	15	23	Arcillo-limoso
9	a.a.c.a.	Frijol	44520.463	Madrecacao	533.770	519.279	1031	60	30	25	Arcillo-limoso
10	a.a.c.a.	Maicillo	19874.006	Madrecacao	769.889	566.015	959	40	20	25	Arcillo-limoso
11	a.a.c.a.	Frijol	45532.194	Madrecacao	1292.211	363.496	991	50	20	30	Arcillo-limoso
12	a.a.c.a.	Maicillo	17572.926	Madrecacao	250.429	623.135	1014	45	23	35	Arcillo-limoso
13	a.a.c.a.	Maicillo	30821.309	Madrecacao	1202.057	519.279	940	35	15	23	Arcillo-limoso
14	a.a.c.a.	Maíz	6240.678	Madrecacao	801.371	259.640	847	60	18	25	Arcillo-limoso
15	a.a.c.a.	Maicillo	14310.200	Madrecacao	801.371	445.282	814	55	15	30	Arcillo-limoso
16	a.a.c.a.	Frijol	160274.240	Madrecacao	572.408	558.874	778	55	22	20	Arcillo-limoso
17	a.a.c.a.	Maíz	20034.280	Madrecacao	500.857	170.064	765	30	19	23	Arcillo-limoso
18	a.a.c.a.	Maicillo	10017.140	Madrecacao	666.855	457.615	747	70	28	20	Arcillo-limoso
19	a.a.c.a.	Maicillo	18212.592	Madrecacao	572.408	584.189	756	45	22	20	Arcillo-limoso
20	a.a.c.a.	Maicillo	12521.425	Madrecacao	429.306	586.786	692	60	20	30	Arcillo-limoso
21	a.a.c.a.	Maíz	25042.850	Madrecacao	572.408	155.784	972	30	15	35	Arcillo-limoso

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

Referencias:

= Número de parcela

p/ha = Plantas por hectárea

SAF = Sistema Agroforestal

r = Rendimiento

Sp. = Especie

kg/ha = Kilogramos por hectárea

d = Densidad

Elev. = Elevación

msnm = Metros sobre el nivel del mar

cm = centímetros

\bar{x} = Promedio

a.a.c.a. = Árboles en asocio con cultivos
anuales

% = Porcentaje

Prof. s. = profundidad del suelo

En cada factor caracterizado se observó también el rendimiento, haciendo cálculos de correlación para generar información que pueda servir como referencia para plantear hipótesis en estudios más específicos en los que se evalúe la relación del rendimiento como variable dependiente de otras variables. También se tomó en cuenta la especie agrícola en cada uno de los factores, porque la comparación entre estas no es posible dado que cada cultivo tiene características propias de rendimiento y manejo agronómico.

6.1 Tipo de Sistema Agroforestal

Cuadro 6. Tipo de SAF por parcela

Parcela	Tipo de SAF	Especie	Rendimiento kg/ha
11	Árboles en asocio con cultivos anuales	Frijol	363.496
7	Árboles en asocio con cultivos anuales	Frijol	415.424
9	Árboles en asocio con cultivos anuales	Frijol	519.279
16	Árboles en asocio con cultivos anuales	Frijol	558.874
8	Árboles en asocio con cultivos anuales	Frijol	576.4
3	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	283.007
15	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	445.282
18	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	457.615
13	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	519.279
10	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	566.015
19	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	584.189
20	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	586.786
12	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	623.135
6	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	636.117
4	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	681.554
5	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maicillo	772.428
1	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maíz	64.91
21	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maíz	155.784
17	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maíz	170.064
2	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maíz	259.64
14	Árboles en asocio con cultivos anuales	Maíz	259.64

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

El tipo de SAF encontrado en la totalidad de las parcelas muestreadas es el arreglo de árboles en asocio con cultivos anuales que obedece la clasificación según el INAB (ver cuadro 6). Los cultivos son establecidos en la época lluviosa del año, ya que no se cuenta con un sistema de riego en el lugar. Los árboles que componen el sistema agroforestal proporcionan una serie de beneficios al agricultor, ya que durante la época seca del año, éstos son desramados para aprovechar la parte leñosa e incorporar al suelo sus hojas.

No se realizó el análisis de correlación, ya que en este factor todas las parcelas evaluadas corresponden al mismo tipo de SAF, por lo que no es posible la comparación entre los resultados.

El asocio de los arboles con cultivos agrícolas anuales se realiza debido a la necesidad de los agricultores de la obtención de alimento y para cumplir con los requisitos que exige el programa PINPEP de INAB. Los árboles son plantados en línea siguiendo las curvas a nivel a un distanciamiento de 10 a 20 metros entre líneas y entre árbol de 1 a 2 metros, como promedio general. La incorporación de los árboles a las parcelas refleja una serie de beneficios, como lo es la conservación del suelo, ya que estos disminuyen en un alto grado la erosión hídrica que es muy común en el lugar debido a las altas pendientes del terreno.

6.2 Especies agrícolas

Dentro de las parcelas muestreadas se encontraron tres distintas especies agrícolas que los campesinos cultivan para su consumo: maicillo, con un 52% de frecuencia; frijol y maíz con un 24% de frecuencia cada uno (ver cuadro 7 y figura 2). Esta preferencia de los campesinos es debido a que el maicillo es más resistente a la sequía que las otras dos especies cultivadas, y, durante el año 2015 se registró un descenso en la precipitación, pues solo llovieron 563.3 mm, mientras que en los 4 años anteriores el promedio de precipitación anual fue de 988.6 mm (anexo 4).

Cuadro 7. Especies agrícolas encontradas

Especie	Parcelas	Promedio de rendimiento kg/ha
Frijol	5	486.69
Maicillo	11	559.58
Maíz	5	182.01

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

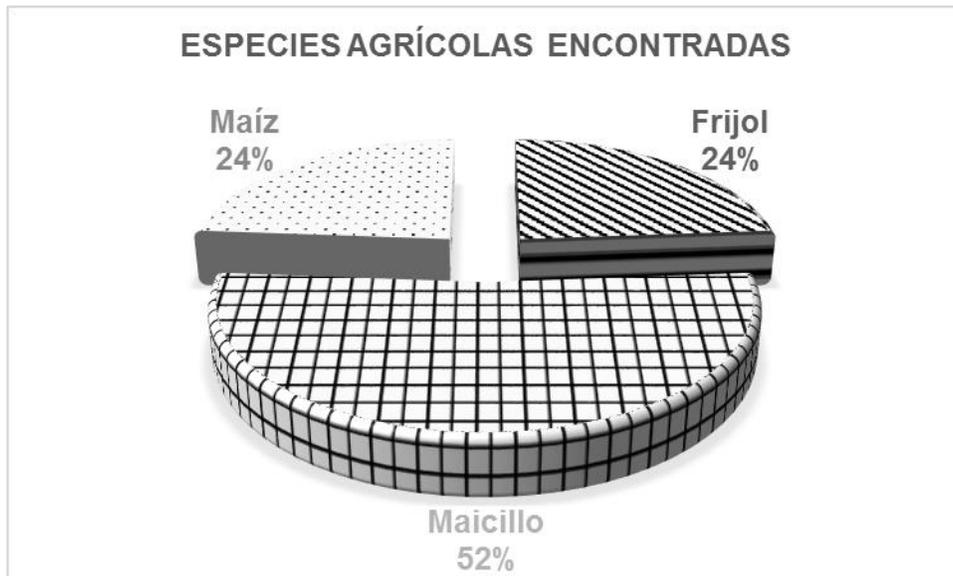


Figura 2. Especies agrícolas encontradas

Para el factor “especies agrícolas encontradas” no se realizó análisis de correlación.

Es evidente que en el año 2015, los agricultores decidieron plantar maicillo en sustitución del maíz, lo cual fue una decisión muy acertada, tomando en cuenta la baja precipitación en dicho año. El rendimiento promedio del maicillo es mayor al del maíz, esto demuestra que es una especie con mayor adaptabilidad a condiciones de sequía. Esto es un punto muy importante a favor de la seguridad alimentaria y como adaptabilidad al cambio climático. El cultivo del frijol no mostró alta variabilidad en sus rendimientos, debido a que los agricultores seleccionan cuidadosamente las áreas consideradas con mayor

humedad del suelo para plantarlo y los cuidados culturales son con mayor empeño para esta especie.

6.3 Densidad de siembra de las especies agrícolas

La densidad de siembra varía tanto entre especies como dentro de la misma especie. Para este factor caracterizado las variaciones fueron las siguientes: maicillo, entre 10,017 a 30,821 planta por hectárea, frijol de 37,099 a 160,274 plantas por hectárea, maíz de 6,241 a 25,043 plantas por hectárea, ver figuras y cuadro siguientes (figura 3, 4 y 5, y cuadro 8).

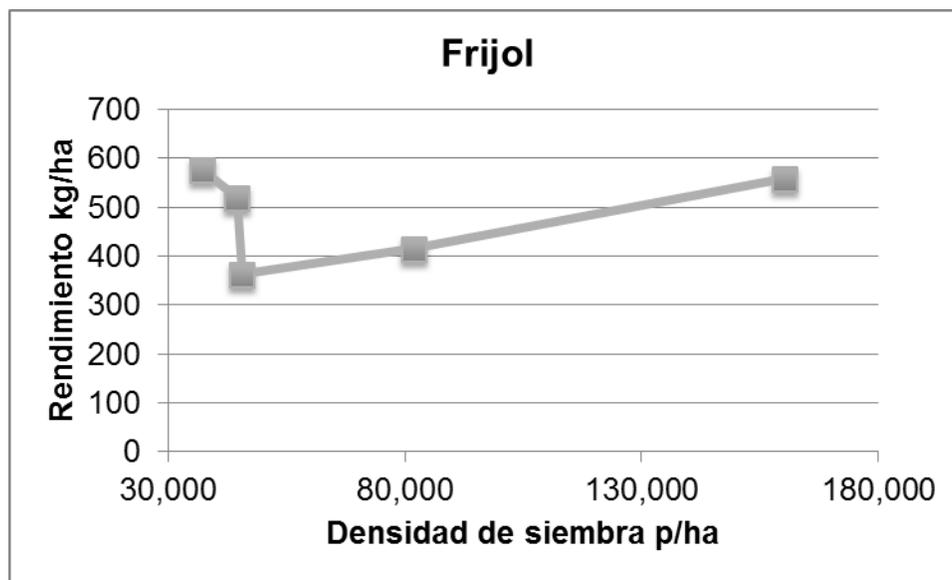


Figura 3. Densidad de siembra encontrada en Frijol

Cuadro 8. Densidad de siembra de las especies agrícolas encontradas

Parcela	Densidad agrícola (p/ha)	Especie	Rendimiento kg/ha
8	37,099	Frijol	576.400
9	44,520	Frijol	519.279
11	45,532	Frijol	363.496
7	81,771	Frijol	415.424
16	160,274	Frijol	558.874
18	10,017	Maicillo	457.615
20	12,521	Maicillo	586.786
15	14,310	Maicillo	445.282
12	17,573	Maicillo	623.135
19	18,213	Maicillo	584.189
10	19,874	Maicillo	566.015
3	20,034	Maicillo	283.007
6	20,034	Maicillo	636.117
4	20,034	Maicillo	681.554
5	20,034	Maicillo	772.428
13	30,821	Maicillo	519.279
14	6,241	Maíz	259.640
2	13,356	Maíz	259.640
1	20,034	Maíz	64.910
17	20,034	Maíz	170.064
21	25,043	Maíz	155.784

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

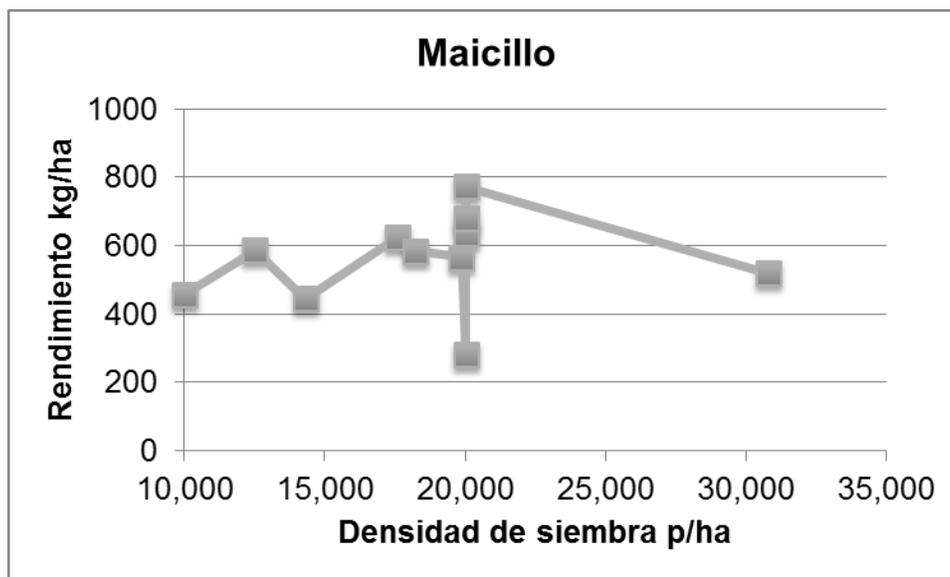


Figura 4. Densidad de siembra encontrada en Maicillo

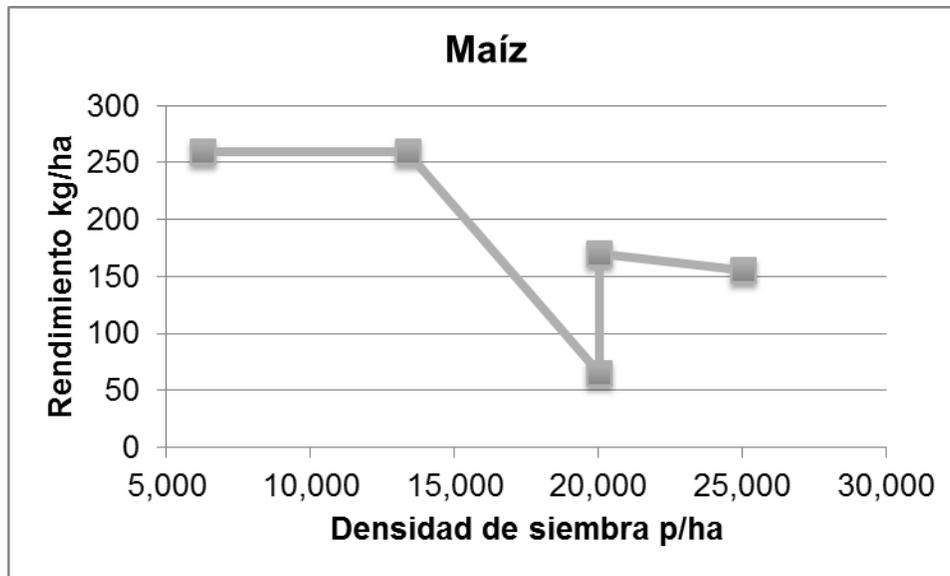


Figura 5. Densidad de siembra encontrada en Maíz

Para el factor “densidad de siembra” se realizó un análisis de correlación para cada una de las especies agrícolas encontradas y el rendimiento obtenido. Los resultados fueron los siguientes: En maíz la correlación obtenida fue de -0.72, lo que nos indica que existe una correlación negativa alta, por lo que cuando la densidad de siembra fue menor se obtuvo un mayor rendimiento del mismo. También se obtuvo un p-valor de 0.17, lo cual indica que el coeficiente de correlación no es significativo.

En el caso del maicillo el coeficiente de correlación calculado fue de 0.12, lo que nos indica que tenemos una correlación positiva muy baja, el p-valor obtenido es de 0.73 lo significa que el coeficiente de correlación no es significativo, por lo tanto se considera que en esta investigación la densidad de siembra del cultivo del maicillo no tuvo efectos sobre el rendimiento del mismo.

Con respecto al frijol, el resultado de correlación obtenido fue de 0.26, esto indica una correlación positiva baja y un p-valor de 0.67 lo que también indica que el coeficiente de correlación es no significativo por lo que se deduce que la densidad de siembra no influye sobre el rendimiento.

En la caracterización se encontró una serie de densidades de siembra de los cultivos agrícolas muy distinta, esto debido al distanciamiento de siembra entre surco y entre planta que cada agricultor utiliza.

6.4 Especie forestal

La especie forestal encontrada en la totalidad de los sistemas agroforestales muestreados fue madrecaao (*Gliricidia sepium* (Jacq.)). Se pudo observar que los arboles de la especie en mención tienen buena adaptabilidad al lugar, ya que soportan muy bien la sequía y los suelos poco profundos, características de esta zona.

A continuación (cuadro 9) se presenta la especie forestal encontrada en cada una de las parcelas:

Cuadro 9. Especie forestal encontrada

Parcela	Especie Forestal	Especie Agrícola	Rendimiento kg/ha
11	Madrecacao	Frijol	363.496
7	Madrecacao	Frijol	415.424
9	Madrecacao	Frijol	519.279
16	Madrecacao	Frijol	558.874
8	Madrecacao	Frijol	576.4
3	Madrecacao	Maicillo	283.007
15	Madrecacao	Maicillo	445.282
18	Madrecacao	Maicillo	457.615
13	Madrecacao	Maicillo	519.279
10	Madrecacao	Maicillo	566.015
19	Madrecacao	Maicillo	584.189
20	Madrecacao	Maicillo	586.786
12	Madrecacao	Maicillo	623.135
6	Madrecacao	Maicillo	636.117
4	Madrecacao	Maicillo	681.554
5	Madrecacao	Maicillo	772.428
1	Madrecacao	Maíz	64.91
21	Madrecacao	Maíz	155.784
17	Madrecacao	Maíz	170.064
2	Madrecacao	Maíz	259.64
14	Madrecacao	Maíz	259.64

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

En este factor no se realizó análisis de correlación debido a que en el 100% de los SAF muestreados corresponden la misma especie forestal.

La utilización de esta especie brinda una serie de beneficios tanto al agricultor como al terreno de cultivo, entre las que podemos mencionar la obtención de semillas forestales para su comercialización, alimento para el consumo humano como lo son las flores de este árbol, fijación de nitrógeno al suelo, ya que pertenece a la familia *Fabaceae*, este especie además posee una fácil regeneración vegetativa al ser podado y una fácil reproducción tanto sexual como asexual.

Esta especie es excelente como leña la cual se obtiene, a menudo, como subproducto de cercas vivas o árboles de sombra. El duramen se quema lentamente, produciendo buenas brasas y poco humo. Aunque no es un árbol alto, sus ramas producen mucha madera y rebrota fácilmente. Su valor calorífico es de 4,900 kcal/kg. Éste sistema ha sido impulsado por FAO y denominado cushurum (INAB, FAO/FFF, 2016).

Además esta especie se puede utilizar como forraje para ganado vacuno, cabras y ovejas, ya que sus hojas poseen un alto valor nutritivo (18% - 30% de proteína y solamente 13% - 30% de fibra) y digestibilidad (48-77%) con un bajo contenido de taninos (INAB, FAO/FFF, 2016). La variedad Vado Hondo Chiquimula de Guatemala (G3) ha llegado a tener una producción de proteína/ha/año de 4.67 toneladas. La producción total está en el rango de 60 a 125 toneladas de biomasa/ha/año (Gómez, Molina, Molina, & Murgueitio, 1990).

Walter Picado citado por Salazar (1985), hace una descripción de plantaciones por siembra directa en Guanacaste, Costa Rica, en la que evaluó el crecimiento y rendimiento de leña en una plantación de *Gliricidia sepium* de cuatro años, establecida por siembra directa en Cañas, Costa Rica, a una densidad inicial de 1,111 árboles/ha (3m x 3m). Los árboles presentaron una altura promedio de 7m y un dap promedio de 5.9cm. La producción total de biomasa seca fue de 4,805 kg/ha/año. La leña con un diámetro mínimo de 2.5cm, representó el 84% de la biomasa total; el 16% restante fue constituido

por follaje. Se obtuvo un promedio por árboles de 3,5 postes de 2,5m de longitud, lo que representa una producción de 3,890 postes por ha.

6.5 Densidad de siembra de la especie forestal

La densidad a la que fueron establecidos los árboles en los sistemas agroforestales es muy variable, ya que va desde los 250 hasta los 1292 árboles por hectárea. Específicamente para el cultivo de frijol de 286 a 1292 árboles por hectárea, en el cultivo de maicillo de 250 a 1202 árboles por hectárea y para el maíz de 501 a 1073 árboles por hectárea. A continuación se muestra (**cuadro 10**) la densidad de la especie forestal encontrada:

Cuadro 10. Densidad de siembra de la especie forestal encontrada

Parcela	Densidad Forestal arb/ha.	Especie Agrícola	Rendimiento kg/ha
7	286	Frijol	415.424
9	534	Frijol	519.279
16	572	Frijol	558.874
8	890	Frijol	576.4
11	1292	Frijol	363.496
12	250	Maicillo	623.135
20	429	Maicillo	586.786
4	444	Maicillo	681.554
19	572	Maicillo	584.189
5	618	Maicillo	772.428
18	667	Maicillo	457.615
6	667	Maicillo	636.117
10	770	Maicillo	566.015
15	801	Maicillo	445.282
3	1166	Maicillo	283.007
13	1202	Maicillo	519.279
17	501	Maíz	170.064
21	572	Maíz	155.784
1	625	Maíz	64.91
14	801	Maíz	259.64
2	1073	Maíz	259.64

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

En la figura 6 encontramos una gráfica donde se muestran los rendimientos de los diferentes cultivos agrícolas en relación con la densidad de siembra de la especie forestal.

El análisis de correlación realizado individualmente para cada una de las especies agrícolas dice que el maíz tiene una correlación de 0.69 entre la densidad de la especie forestal y el rendimiento de éste, lo que nos indica que hay una correlación positiva moderada a manera que cuando incrementa la cantidad de árboles/hectárea también así incrementa moderadamente el rendimiento del cultivo. También se obtuvo un p-valor de 0.20 el cual nos indica que la correlación obtenida no es significativa.

El maicillo por lo contrario arrojó un coeficiente de correlación de -0.64, lo que corresponde a una correlación negativa moderada, indicándonos que a manera que disminuye la cantidad de árboles/hectárea incrementa moderadamente el rendimiento de éste. Se obtuvo un p-valor de 0.03 demostrando un coeficiente de correlación significativo, por lo que en el cultivo de maicillo se encuentra estrechamente relacionado el rendimiento del cultivo agrícola con la densidad de la especie forestal.

El frijol mostró una correlación de -0.28, siendo negativa baja y un p-valor de 0.64 demostrando una correlación no significativa por lo que la densidad de árboles no afecta el rendimiento del mismo.

Los árboles presentes dentro de la parcela ejercen una considerable influencia sobre el cultivo agrícola, ya que únicamente la gran mayoría de sistemas agroforestales obtuvieron producto del cultivo agrícola, no así las parcelas sin el componente forestal.

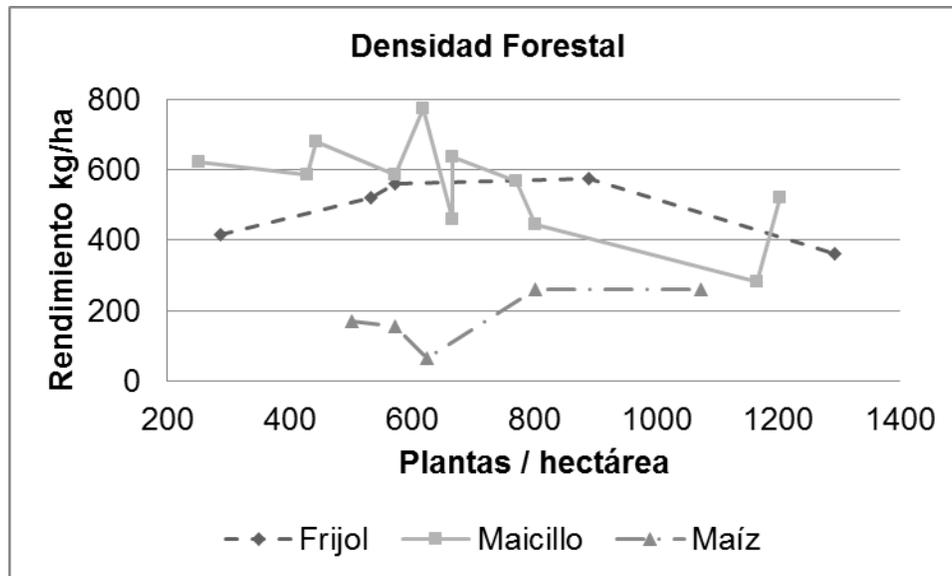


Figura 6. Densidad de siembra de la especie forestal encontrada

6.6 Rendimiento del cultivo agrícola

El producto obtenido del cultivo agrícola es el beneficio principal que nos da un sistema agroforestal, fundamentalmente en la aldea San Miguel donde los agricultores realizan estas actividades con el objetivo de obtener alimentos para su núcleo familiar. Los rendimientos promedio obtenidos de los cultivos agrícolas son: Para el frijol 486.695 kilogramos por hectárea, para el maicillo 559.583 kilogramos por hectárea y para el maíz 182.007 kilogramo por hectárea.

A continuación (cuadro 11 y figura 7) se muestra el rendimiento del cultivo agrícola en cada una de las parcelas muestreadas:

Cuadro 11. Rendimiento del cultivo agrícola obtenido

Parcela	Especie Agrícola	Rendimiento kg/ha
11	Frijol	363.496
7	Frijol	415.424
9	Frijol	519.279
16	Frijol	558.874
8	Frijol	576.4
3	Maicillo	283.007
15	Maicillo	445.282
18	Maicillo	457.615
13	Maicillo	519.279
10	Maicillo	566.015
19	Maicillo	584.189
20	Maicillo	586.786
12	Maicillo	623.135
6	Maicillo	636.117
4	Maicillo	681.554
5	Maicillo	772.428
1	Maíz	64.91
21	Maíz	155.784
17	Maíz	170.064
14	Maíz	259.64
2	Maíz	259.64

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

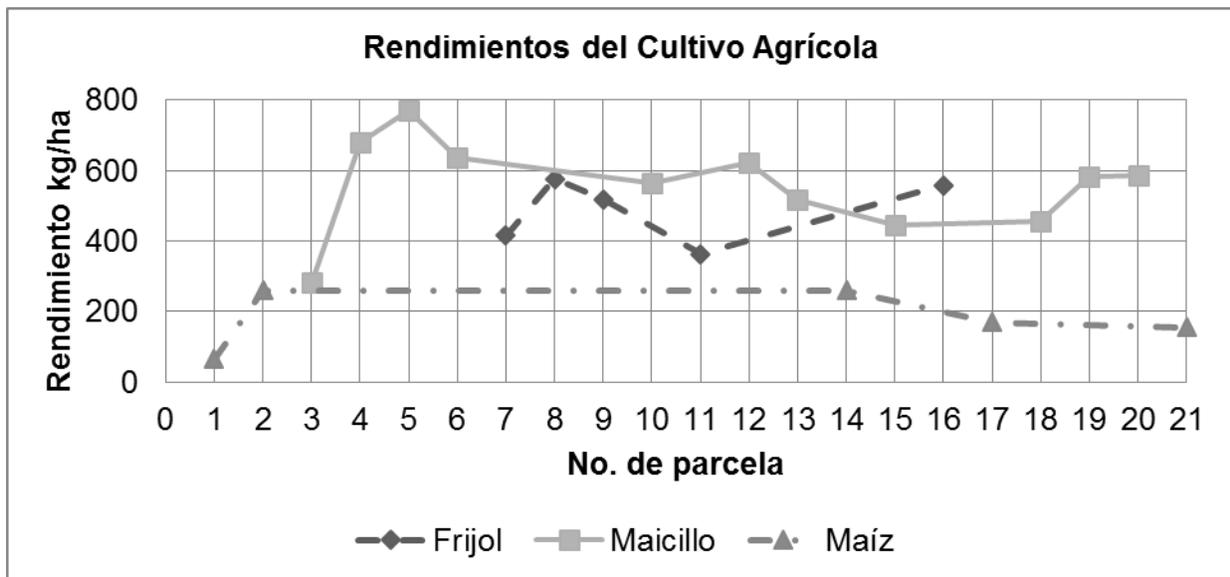


Figura 7. Rendimiento del cultivo agrícola obtenido

Para el caso del factor “rendimiento” no se realizó análisis de correlación, ya que solamente tenemos el rendimiento del cultivo en cada una de las parcelas. Tomando en cuenta los promedios de rendimiento para el municipio de Huité, según el Plan de Desarrollo Municipal 2010-2025, para el cultivo del maíz es de 840.58 kg/hectárea (12.95 quintales/manzana) y el obtenido en esta investigación fue de 181.75 kg/hectárea (2.8 quintales/manzana), lo que indica un rendimiento sumamente bajo de este cultivo en la aldea San Miguel, esto significa una amenaza considerable a la seguridad alimentaria de los campesinos y sus familias.

En el caso del cultivo de frijol el promedio para el municipio es de 317.41 kg/hectárea (4.89 quintales/manzana) y el promedio obtenido para la aldea bajo estudio fue de 486.82 kg/hectárea (7.5 quintales/manzana), lo que nos indica un rendimiento arriba de lo esperado, sin embargo las áreas aptas para este cultivo son muy escasas en el lugar, lo que también representa una amenaza a la seguridad alimentaria de los pobladores.

En cuanto al maicillo, éste tiene un rendimiento mayor al del maíz, en ambos casos el objetivo de su cultivo es el consumo humano.

6.7 Elevación sobre el nivel del mar

Al momento de realizar el muestreo de campo se pudo observar que en la comunidad los terrenos destinados a producción agroforestal se encuentran entre los 692 y 1078 msnm, esto debido a las condiciones propias del lugar, ya que se encuentran en la montaña denominada El Gigante.

A continuación se muestra (cuadro 12 y figura 8) la elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm) de cada una de las parcelas muestreadas:

Cuadro 12. Elevación en msnm de cada parcela

Parcela	Elevación msnm	Especie Agrícola	Rendimiento kg/ha
16	778	Frijol	558.874
7	983	Frijol	415.424
11	991	Frijol	363.496
9	1031	Frijol	519.279
8	1078	Frijol	576.4
20	692	Maicillo	586.786
18	747	Maicillo	457.615
19	756	Maicillo	584.189
15	814	Maicillo	445.282
4	837	Maicillo	681.554
3	845	Maicillo	283.007
6	883	Maicillo	636.117
5	893	Maicillo	772.428
13	940	Maicillo	519.279
10	959	Maicillo	566.015
12	1014	Maicillo	623.135
17	765	Maíz	170.064
2	798	Maíz	259.64
1	845	Maíz	64.91
14	847	Maíz	259.64
21	972	Maíz	155.784

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

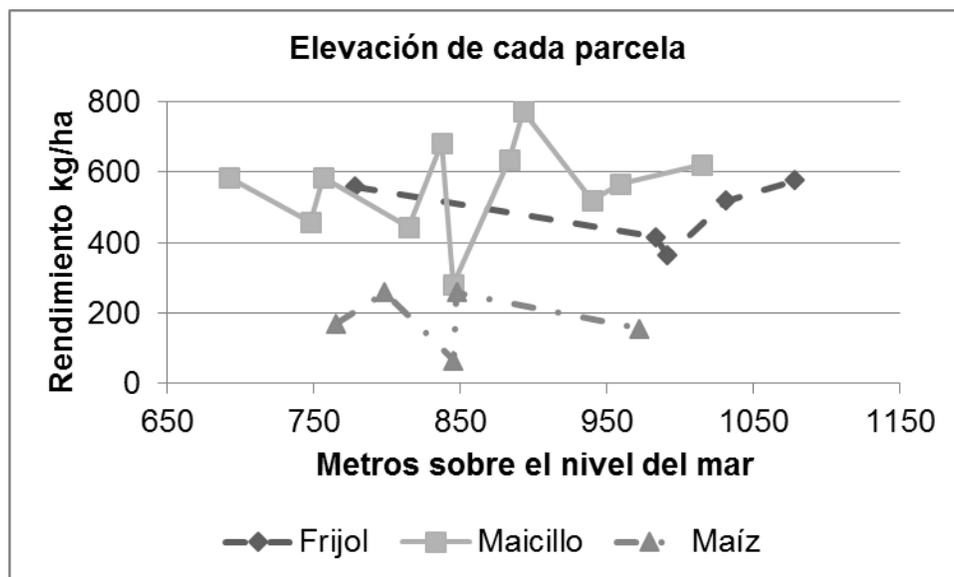


Figura 8. Elevación en msnm de cada parcela

Los resultados de correlación para el factor “elevación” y rendimiento fueron los siguientes: en el caso de maíz -0.23 con un p-valor de 0.71 lo que nos dice que hay una correlación no significativa, para el maicillo 0.21 con un p-valor de 0.54 indicando también una correlación no significativa y para el frijol -0.13 con un p-valor de 0.80 lo que también demuestra una correlación no significativa, lo anterior nos indica que para ninguna de las tres especies la elevación tiene correlación lineal con el rendimiento. Por ser cosmopolitas estas especies tienen un alto grado de adaptabilidad a las distintas altitudes sobre el nivel del mar.

6.8 Pendiente promedio

En el cuadro 13 y la figura 9, se muestra la pendiente promedio encontrada en cada una de las parcelas muestreadas.

Cuadro 13. Pendiente promedio de cada parcela muestreada

Parcela	Pendiente Promedio	Especie Agrícola	Rendimiento kg/ha
8	45%	Frijol	576.4
11	50%	Frijol	415.424
7	50%	Frijol	363.496
16	55%	Frijol	558.874
9	60%	Frijol	519.279
6	20%	Maicillo	636.117
13	35%	Maicillo	519.279
10	40%	Maicillo	566.015
3	45%	Maicillo	584.189
19	45%	Maicillo	681.554
12	45%	Maicillo	283.007
4	45%	Maicillo	772.428
5	45%	Maicillo	623.135
15	55%	Maicillo	445.282
20	60%	Maicillo	586.786
18	70%	Maicillo	457.615
21	30%	Maíz	170.064
17	30%	Maíz	155.784
1	40%	Maíz	64.91
2	55%	Maíz	259.64
14	60%	Maíz	259.64

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

Debido a que la aldea San Miguel se encuentra ubicada en una zona muy escarpada, las pendientes de los terrenos de cultivo son significativamente pronunciadas, en el presente estudio se encontró que 6 de las 21 parcelas muestreadas tienen una pendiente promedio de 45% y en un rango de 20% a 70% la totalidad de parcelas muestreadas.

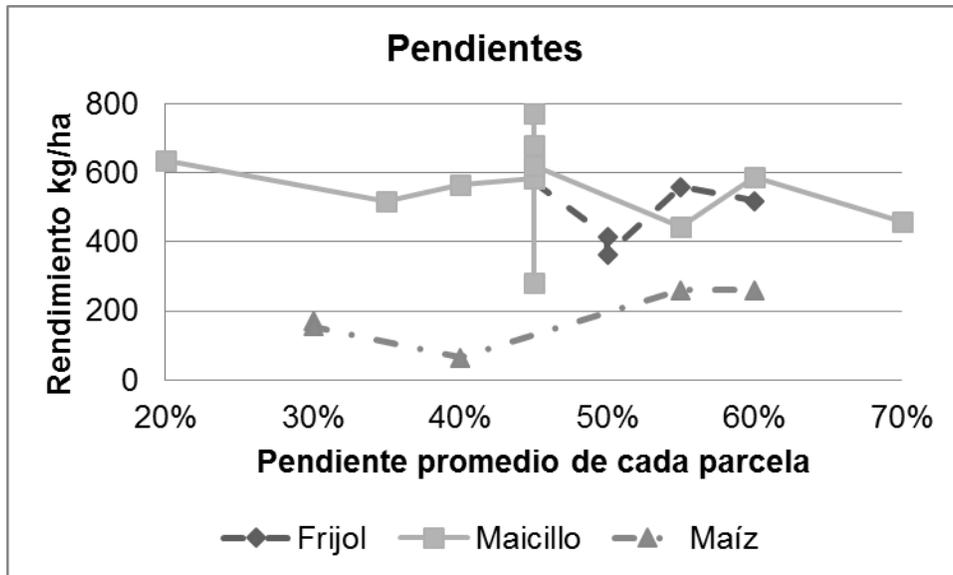


Figura 9. Pendiente promedio de cada parcela muestreada

Al aplicar el análisis de correlación a la pendiente se pudo determinar que los cultivos de maicillo y frijol son de -0.28 con un p-valor de 0.40 y 0.11 con un p-valor de 0.86 respectivamente, indicándonos una correlación no significativa, por lo que se considera que la pendiente no influye en el rendimiento, para el cultivo del maíz presento un factor de correlación de 0.68 y un p-valor de 0.21 lo que nos indica una correlación positiva moderada; sin embargo el p-valor nos demuestra que la correlación no tiene significancia.

6.9 Pedregosidad superficial

Hay una alta gama de diferencia en la pedregosidad superficial encontrada en campo al momento del muestreo en cada una de las parcelas. Se pudo observar que el afloramiento de piedras a la superficie del suelo está relacionado a las altas pendientes

del lugar, lo que produce erosión por escorrentía dando lugar a este fenómeno. El rango encontrado es de 3% a 30% de pedregosidad superficial, lo que nos indica que los terrenos van de muy pedregoso a excesivamente pedregoso. A continuación se muestra (cuadro 14 y figura 10) la pedregosidad superficial en porcentaje encontrada en cada una de las parcelas muestreadas:

Cuadro 14. Pedregosidad superficial de cada parcela muestreada

Parcela	Pedregosidad Superficial	Especie Agrícola	Rendimiento kg/ha
7	3%	Frijol	415.424
8	15%	Frijol	576.4
11	20%	Frijol	363.496
16	22%	Frijol	558.874
9	30%	Frijol	519.279
5	2%	Maicillo	772.428
6	5%	Maicillo	636.117
4	5%	Maicillo	681.554
15	15%	Maicillo	519.279
13	15%	Maicillo	445.282
3	16%	Maicillo	283.007
10	20%	Maicillo	566.015
20	20%	Maicillo	586.786
19	22%	Maicillo	584.189
12	23%	Maicillo	623.135
18	28%	Maicillo	457.615
21	15%	Maíz	155.784
2	18%	Maíz	259.64
14	18%	Maíz	259.64
17	19%	Maíz	170.064
1	20%	Maíz	64.91

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

Tomando en cuenta el análisis de correlación basado en la pedregosidad superficial, tenemos un factor de -0.27 para el maíz con un p-valor de 0.65, 0.33 para el frijol con un p-valor de 0.58 y -0.5 para el maicillo con un p-valor de 0.12, indicando que las correlaciones son no significativas, por lo que se considera que no hubo influencia de la pedregosidad sobre el rendimiento de estos cultivos, seguramente esta situación se vio afectada por el manejo del cultivo ya que generalmente la pedregosidad superficial disminuye el área efectiva para cultivar.

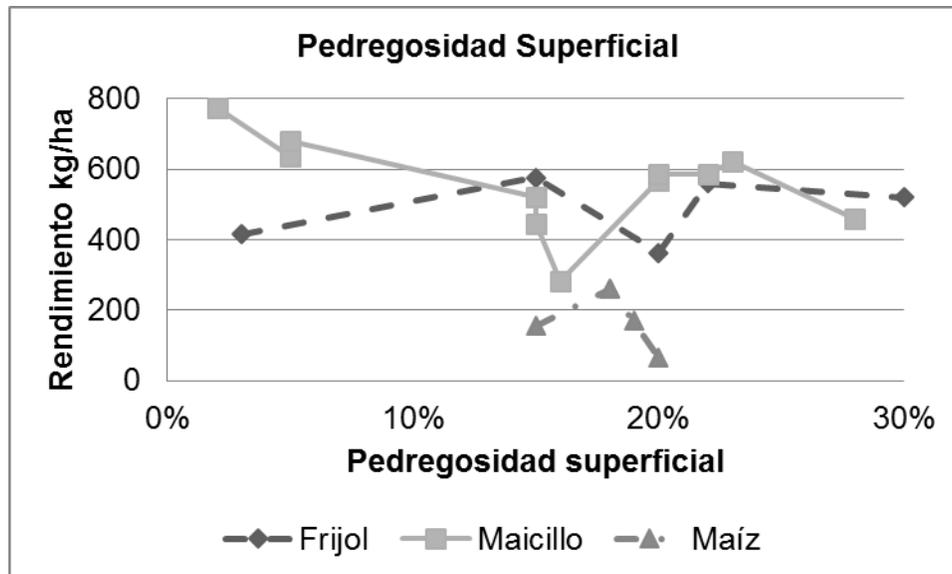


Figura 10. Pedregosidad superficial de cada parcela muestreada

Considerando los datos recabados en campo que muestran que el área tiene una clasificación de muy pedregoso a excesivamente pedregoso, no es posible la utilización de ningún tipo de maquinaria en la mayoría de los terrenos y en pocos de los casos solamente puede ser utilizada maquinaria ligera o a mano.

6.10 Profundidad del suelo

Al momento de constituirse en el lugar se observó a simple vista que la profundidad efectiva del suelo es muy baja, esto debido a factores como la alta pendiente de los terrenos, erosión por escorrentía y ausencia de labores de conservación de suelo.

También se pudo verificar en los terrenos que cuentan con sistemas agroforestales una mayor profundidad de suelo efectiva a los que tienen un sistema de producción agrícola. La profundidad efectiva del suelo en las parcelas muestreadas es de entre 10 y 35 centímetros, aunque la mayor parte se concentra entre las profundidades de 20 a 30 centímetros, lo que se describe como un suelo muy poco profundo y en 3 de las parcelas muestreadas una profundidad somera.

A continuación se muestra (cuadro 15 y figura 11) la profundidad efectiva del suelo encontrada en cada una de las parcelas muestreadas:

Cuadro 15. Profundidad del suelo de cada parcela muestreada

Parcela	Profundidad del Suelo (cm)	Especie Agrícola	Rendimiento kg/ha
7	12	Frijol	415.424
16	20	Frijol	558.874
8	23	Frijol	576.4
9	25	Frijol	519.279
11	30	Frijol	363.496
3	20	Maicillo	283.007
18	20	Maicillo	584.189
19	20	Maicillo	457.615
13	23	Maicillo	519.279
10	25	Maicillo	566.015
15	30	Maicillo	636.117
20	30	Maicillo	681.554
6	30	Maicillo	445.282
4	30	Maicillo	586.786
12	35	Maicillo	772.428
5	35	Maicillo	623.135
2	10	Maíz	259.64
1	20	Maíz	64.91
17	23	Maíz	170.064
14	25	Maíz	259.64
21	35	Maíz	155.784

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

Derivado del análisis de correlación los cultivos de maíz y frijol presentaron un coeficiente de -0.28 con un p-valor de 0.65 y -0.09 con un p-valor de 0.88 respectivamente, lo que indica una correlación no significativa, por lo que en este caso no existe correlación entre la profundidad del suelo y el rendimiento del cultivo, derivado de esto se puede mencionar que estos se adaptan de buena manera a distintas profundidades de suelo. El cultivo del maicillo presento un coeficiente de 0.68 con un p-valor de 0.02, que es una correlación significativa específicamente positiva moderada, viéndose afectado el cultivo de manera leve por los suelos poco profundos.

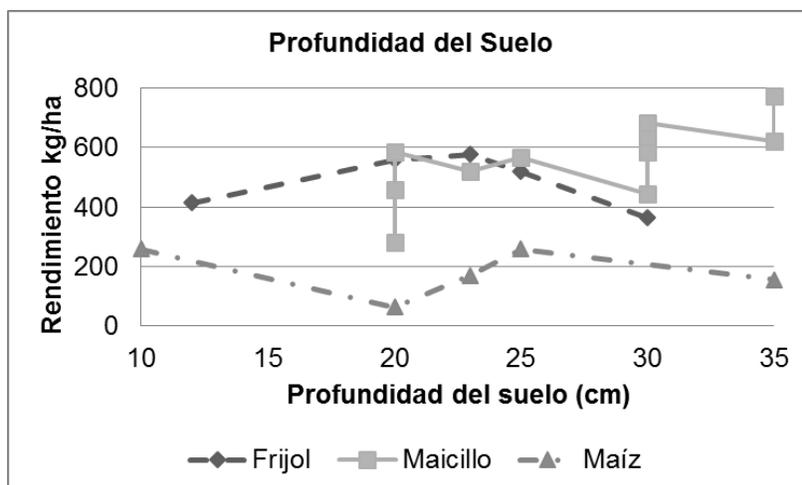


Figura 11. Profundidad del suelo de cada parcela muestreada

6.11 Textura del suelo

A continuación se muestra (cuadro 16) la textura del suelo encontrada en cada una de las parcelas muestreadas:

Cuadro 16. Textura del suelo de cada parcela muestreada

Parcela	Textura del Suelo	Especie Agrícola	Rendimiento kg/ha
11	Arcillo-limoso	Frijol	363.496
7	Arcillo-limoso	Frijol	415.424
9	Arcillo-limoso	Frijol	519.279
16	Arcillo-limoso	Frijol	558.874
8	Arcillo-limoso	Frijol	576.4
3	Arcillo-limoso	Maicillo	283.007
15	Arcillo-limoso	Maicillo	445.282
18	Arcillo-limoso	Maicillo	457.615
13	Arcillo-limoso	Maicillo	519.279
10	Arcillo-limoso	Maicillo	566.015
19	Arcillo-limoso	Maicillo	584.189
20	Arcillo-limoso	Maicillo	586.786
12	Arcillo-limoso	Maicillo	623.135
6	Arcillo-limoso	Maicillo	636.117
4	Arcillo-limoso	Maicillo	681.554
5	Arcillo-limoso	Maicillo	772.428
1	Arcillo-limoso	Maíz	64.91
21	Arcillo-limoso	Maíz	155.784
17	Arcillo-limoso	Maíz	170.064
2	Arcillo-limoso	Maíz	259.64
14	Arcillo-limoso	Maíz	259.64

Fuente: Boleta para llenado de datos en campo.

Se encontró que el suelo en que se han establecido los sistemas agroforestales tiene una serie de deficiencias para la producción agrícola como lo es el compactamiento, esto debido a la nula labranza que se realiza, derivado de las altas pendientes y pedregosidad que no lo permite. La textura de suelo encontrada en la totalidad de las parcelas de muestreo fue Arcillo-limoso.

Para este factor no se realizó un análisis de correlación, debido a que solo fue encontrada una textura del suelo que es **arcillo-limoso**, la que nos indica que son suelos pesados con muy poca infiltración de agua, cuando están húmedos se tornan plásticos y pegajosos y un contenido medio de nutrientes y materia orgánica. Por lo que se considera que no son suelos de excelente calidad pero si aptos para la producción agrícola, sin embargo, el factor de precipitación pluvial es mucho más determinante en este caso para el rendimiento de los cultivos agrícolas.

6.12 Cuadro resumen del análisis de correlación y valor de significancia

A continuación se muestra un cuadro resumen (**cuadro 17**) con los resultados obtenidos en el análisis de correlación y valor de significancia.

Cuadro 17. Resumen de los resultados de correlación y valor de significancia

Cultivo Agrícola	Factor analizado contra el rendimiento del cultivo	Factor obtenido de correlación (Pearson)	Factor obtenido de valor de significancia	Resultado
Maíz	Densidad de la especie agrícola (p/ha.)	-0.72	0.17	No Significativo
	Densidad de la especie forestal (p/ha.)	0.69	0.20	No Significativo
	Elevación m.s.n.m.	-0.23	0.71	No Significativo
	Pendiente promedio	0.68	0.21	No Significativo
	Pedregosidad superficial (%)	-0.27	0.65	No Significativo
	Profundidad del suelo (cms.)	-0.28	0.65	No Significativo
Frijol	Densidad de la especie agrícola (p/ha.)	0.26	0.68	No Significativo
	Densidad de la especie forestal (p/ha.)	-0.28	0.64	No Significativo
	Elevación m.s.n.m.	-0.13	0.83	No Significativo
	Pendiente promedio	0.11	0.86	No Significativo
	Pedregosidad superficial (%)	0.33	0.58	No Significativo
	Profundidad del suelo (cms.)	-0.09	0.88	No Significativo
Maicillo	Densidad de la especie agrícola (p/ha.)	0.12	0.73	No Significativo
	Densidad de la especie forestal (p/ha.)	-0.64	0.03	Significativo
	Elevación m.s.n.m.	0.21	0.54	No Significativo
	Pendiente promedio	-0.28	0.4	No Significativo
	Pedregosidad superficial (%)	-0.50	0.12	No Significativo
	Profundidad del suelo (cms.)	0.68	0.02	Significativo

Fuente: Resultados obtenidos de los análisis realizados

6.13 Capacidad de uso de la tierra del área muestreada

La metodología adoptada en Guatemala para determinar la capacidad de uso de la tierra es la utilizada por INAB (INAB, 1998). Donde se realiza la división del país en 7 regiones naturales. Se toman en cuenta cuatro factores, dos de ellos determinantes como lo son la profundidad del suelo y la pendiente, y dos factores modificadores que son la pedregosidad y el drenaje. En el área muestreada la profundidad promedio del suelo es de 24.8 cm, la pendiente promedio es de 46.6% y la región natural es Tierras Metamórficas, lo que nos indica una capacidad de uso de F/Fp. Aplicando los factores modificadores que son pedregosidad de 16.71%, la cual es NO LIMITANTE y drenaje NO LIMITANTE por la altas pendientes, el resultado se mantiene F/Fp (tierras forestales para producción / tierras forestales de protección), recomendando utilizar F (tierras forestales para producción). Esto demuestra el sobreuso que se le está dando al suelo, al momento de establecer cultivos agrícolas, lo cual se minimiza por medio de los sistemas agroforestales; sin embargo, no se utiliza de la manera como lo indica el estudio de capacidad de uso de la tierra (ECUT), esto debido a la necesidad de la población de establecer cultivos agrícolas, ya que son el único medio de subsistencia de las familias.

6.14 Contribución de los Sistemas Agroforestales con la seguridad alimentaria y nutricional

Como se puede observar en el anexo 4.1 y anexo 4.2, en el año 2015 se dieron bajas precipitaciones, lo que provoco pérdida o bajos rendimientos en las cosechas principalmente del maíz. “Al finalizar diciembre las familias de las Regiones Norte, Sur y Occidente manifestaron contar con reservas de maíz para 2.2, 1.9 y 1.1 meses respectivamente, mientras que las familias de la Región Oriente, reportaron que no cuentan con reservas de este grano. De igual manera a finales de diciembre las familias de las Regiones Sur y Oriente indicaron no contar con reservas de frijol para autoconsumo, mientras que en las Regiones Norte y Occidente las familias indicaron contar con reservas del grano para 2.3 y 2.6 meses respectivamente”. (Gándara, 2016)

Como se puede observar en el cuadro 11, los rendimientos de las parcelas evaluadas con sistemas agroforestales no presentaron una pérdida total de los cultivos, caso contrario a las parcelas que no cuenta con este sistema, donde se observó pérdida total del cultivo en un alto porcentaje de ellas.

Además se puede mencionar como un aporte importante la cantidad de inflorescencias producidas por la especie forestal madrecaao (*Gliricidia sepium*), las que son destinadas para el consumo humano. Expertos de la química manifiestan que es posible emplear la flor de madrecaao o cacahuanance como un alimento funcional, debido a la propiedad de neutralizar radicales libres que contribuya a reducir el riesgo de padecer algún tipo de cáncer. El mineral predominante es el hierro. (Sagastume García)

Como ya se mencionó en el numeral 6.4, esta especie tiene una alta capacidad de rebrote y recuperación, que al ser incorporada en la parcela de cultivo, esta se convierte en una fuente de leña que ayuda a suplir las necesidades energéticas para la cocción de los alimentos.

6.15 Recomendaciones y lineamientos para el Establecimiento de Sistemas Agroforestales en el corredor seco de Guatemala

De acuerdo con los resultados obtenidos y la situación observada en la zona de esta investigación y haciendo uso de los factores caracterizados aunados tanto al pensamiento analítico e intuitivo, se ha podido desarrollar las siguientes recomendaciones para que sirvan como una guía en la toma de decisiones relacionadas al establecimiento y manejo de sistemas de producción tanto en el área de estudio como en la zona aledaña que guarden condiciones similares tanto climáticas como edáficas.

Estas recomendaciones se han dirigido principalmente a los agricultores de subsistencia e infra-subsistencia del denominado corredor seco, los cuales necesitan estar preparados para cualquier eventualidad derivada del cambio climático, como lo es la sequía prolongada.

1. En las zonas del corredor seco establecer los cultivos agrícolas dentro de algún **Sistema Agroforestal (SAF)**, ya que pueden ser utilizados para la adaptación al cambio climático en el establecimiento de los sistemas productivos. El tipo de SAF utilizado y recomendado es el de **árboles en asocio con cultivos anuales**, ya que esto maximiza el uso del suelo y provee beneficios de los cultivos agrícolas anuales que proporcionan la base alimenticia a las familias, adicionalmente se obtienen los beneficios de la plantación forestal, principalmente la leña y los servicios ecosistémicos que brindan los árboles.
2. En los cultivos agrícolas existe una relación lineal entre la productividad y la disponibilidad del agua. Bajo condiciones de climas semiáridos como Zacapa, este efecto es más importante, si a su vez, se unen cultivos que son más exigentes en agua, como el caso del maíz, hace que las producciones estén directamente relacionadas con la disponibilidad de este recurso. En un contexto futuro, donde se pronostica un descenso de la disponibilidad de recursos hídricos, es necesario utilizar actividades y tomar decisiones radicales para estar preparados.

El maíz necesita por lo menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo de cultivo. Sin embargo, aun esa cantidad de lluvia no es suficiente si la humedad no puede ser almacenada en el suelo debido a la poca profundidad de éste o del escurrimiento, o si la demanda evaporativa es muy grande por las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa. (Fuentes López, 2002)

Aunque el maíz es un cultivo tradicional y arraigado en la costumbre de los guatemaltecos, por los datos anteriores y en relación con los resultados obtenidos en el presente estudio se sugiere que la especie agrícola a utilizar en los SAF sea el **maicillo (*Sorghum bicolor* M.)** ya que esta especie es un cultivo versátil que se adapta a los diferentes microclimas del país; y presenta además las siguientes ventajas:

- Puede cultivarse con tres cosechas al año desde los 0 hasta 1,500 msnm aproximadamente
- Es eficiente fotosintéticamente (C₄)
- Ciclo de producción corto 120 días aproximadamente
- Es eficiente en el uso del nitrógeno (90-100 kg/ha) y el agua (resistente a sequías)
- Es tolerante a estrés ambiental (temperaturas extremas)
- Responde a la fertilización orgánica con compost pudiéndose sembrar en áreas marginales (Rolz Asturias, 2014)

3. Con respecto a la **densidad de la especie agrícola** evaluada, los resultados no son concluyentes en una determinada densidad para cada especie. Cabe mencionar que en los SAF hay que considerar el espacio que ocupan los árboles por lo que el área disponible para la especie agrícola se ve reducida.

En el caso del **maíz** la densidad que se recomienda es la de **17,172 plantas/hectárea** (12,000 plantas/manzana); para el **maicillo** es **20,034 plantas/hectárea** (14,000 plantas/manzana), que es donde efectivamente los rendimientos para esta especie son los más altos; y para el **frijol** es de **42,930 plantas/hectárea** (30,000 plantas/manzana), que al igual que el maicillo está dentro del rango donde se obtuvo un mayor rendimiento.

4. Con relación a la **especie forestal**, la recomendada es el árbol de **madrecacao** (*Gliricidia sepium*), este árbol se encuentra naturalmente en el bosque seco subtropical, tolera una gran variedad de suelos, menos aquellos con mal drenaje interno, inclusive crece bien en suelos calcáreos. Para establecer plantaciones de esta especie puede utilizarse siembra directa que es el sistema más barato, árboles en bolsa, pseudoestacas y árboles a raíz desnuda; los arboles producidos en el vivero requieren de dos a cinco meses para ser llevados al campo. El madrecacao tiene un alto poder calorífico por lo que es utilizado como fuente de energía para los hogares rurales y posee una rápida recuperación a través de rebrotes.

5. La **densidad de la especie forestal** disminuye el área disponible para la especie agrícola, la correlación lineal con relación al rendimiento del cultivo agrícola tendría que ser negativa, dicho de otra forma, a mayor densidad de la especie forestal, menos producto agrícola. Examinando la amplia gama de densidades encontradas en la investigación de campo y considerando la baja correlación que existe entre este factor y el rendimiento agrícola, se recomienda tomar una densidad de **716 plantas/hectárea** (500 plantas/manzana), relacionado con el resultado de capacidad de uso de la tierra del lugar estudiado, con el objeto de obtener los mayores beneficios de los árboles establecidos en el sistema.

6. La topografía de Guatemala en general es muy variada con respecto a su **elevación** (msnm) y el municipio de Huité, Zacapa no es la excepción, por lo que los datos de campo coinciden con esta conformación, y no nos arrojan una correlación con la producción del cultivo agrícola por lo que se considera que se debe tomar para este parámetro los ya dados para cada especie en particular.

7. La teoría nos dice que los suelos aptos para cultivos agrícolas, según la capacidad de uso de la tierra, son aquellos que van de planos a ondulados con **pendiente máximas** de **12%** luego de este porcentaje hacia el **26%** se le debe aplicar mejoras al suelo para que no sufran erosión eólica y/o hídrica, también se pueden emplear los socios agroforestales con cultivos agrícolas anuales; después de estos porcentajes los suelos son aptos para SAF con cultivos agrícolas permanentes o de uso forestal. (INAB, 1998)

Por tener suelos con pendientes pronunciadas en estas áreas, la recomendación es: la utilización de técnicas para la conservación del suelo y así minimizar el impacto causado a éste por la actividad productiva desarrollada, lo cual tendrá un impacto positivo en la producción agrícola.

8. La **pedregosidad** superficial puede llegar a ser un factor limitante en el desarrollo de las especies agrícolas (principalmente) y desde el punto de vista técnico se considera

no limitante hasta un **20%**, después de este porcentaje se deben emplear técnicas de manejo de suelo para optimizar la producción agrícola. (INAB, 1998)

9. Para la zona en estudio, se puede decir que cuando la **profundidad efectiva del suelo** no supera los **50cm**, las áreas de cultivo tienen que ser asociadas con árboles. (INAB, 1998) Con base en los resultados obtenidos en esta investigación se puede aconsejar que los agricultores tienen que llevar a cabo un plan de fertilización adecuado para lograr elevar la productividad de sus cultivos agrícolas.

VII. CONCLUSIONES

Se encontraron algunos factores que son constantes en la totalidad de los sistemas agroforestales como: tipo de SAF, siendo este, árboles en asocio con cultivos anuales, especie forestal utilizada que es madrecacao. Las especies agrícolas encontradas fueron maíz, frijol y maicillo.

Las especies agrícolas maicillo y frijol mostraron rendimientos aceptables. Las parcelas de cultivo de la comunidad se encuentran a diferentes altitudes sobre el nivel del mar, lo cual no afecta el rendimiento de los cultivos agrícolas. Se cuenta con suelos altamente pedregosos y poco profundos.

Tomando en cuenta el análisis de correlación y valor de significancia, para el cultivo de maíz y frijol no se encontró ningún factor que tuviera significancia con el rendimiento del cultivo. En el cultivo del maicillo se obtuvieron 2 factores cuya correlación si tiene significancia siendo estos la densidad de la especie forestal y la profundidad del suelo.

La seguridad alimentaria para los pobladores de aldea San Miguel, Huité, Zacapa, se ve seriamente afectada por los bajos rendimientos de los cultivos agrícolas, lo cual se da cuándo la precipitación en la época lluviosa se presenta deficiente y con una distribución inadecuada como en el año 2015. Derivado de esto las familias no logran almacenar la cantidad suficiente de granos básicos para el consumo de todo el año. Por lo que utilizan algunas alternativas como la migración temporal para laborar en empresas agro productivas del país.

VIII. RECOMENDACIONES

Implementación de sistemas agroforestales en la zona del corredor seco, en un asocio de madrecaao como especie forestal y maicillo como especie agrícola. Esto de la mano con prácticas de conservación de suelo como lo son las terrazas para evitar la erosión y otras que contribuyan en mantener la humedad del suelo.

Dada la falta de correlación lineal entre la mayoría de factores caracterizados y el rendimiento del cultivo agrícola, es necesario realizar otras investigaciones donde se tome en cuenta el manejo agronómico del cultivo y la precipitación pluvial del lugar, ya que se considera que esos pudieran ser factores determinantes en la productividad de los cultivos.

Utilizar las recomendaciones y lineamientos para el establecimiento de sistemas agroforestales en el corredor seco de Guatemala desarrolladas a través de la presente investigación, por las instituciones de gobierno para orientar y mejorar las actividades de producción en el área.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- adminv15 (Ed.). (s.f.). *00000015 AGRONOMIA PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO I*.
Obtenido de Downloads _ Archivos_ Apuntes Agronomía:
[http://www.loseskakeados.com/joomla/index.php?option=com_docman&task=cat
_view&gid=207&Itemid=486&limitstart=10](http://www.loseskakeados.com/joomla/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=207&Itemid=486&limitstart=10)
- Altieri, M. (1996). *Directrices para diseñar proyectos agrícolas de pequeña escala ambientalmente saludables; Desarrollo sostenible agricultura, recursos naturales y desarrollo rural: lecturas seleccionadas*. (S. Sepúlveda, & R. Edwards, Edits.)
San José, Costa Rica: IICA. doi:ISSN 0534-5391
- Arias Lara, S. A., & Peñaloza, M. (28 de abril de 2014). *Tamaño muestra*. (R. Araque, Editor) Obtenido de Empresariales: [http://es.slideshare.net/scrodinger/tamano-
muestra](http://es.slideshare.net/scrodinger/tamano-muestra)
- Bazan Ortega, J. C. (9 de febrero de 2015). *DESERTIFICACION DE SUELOS_ ARTICULO_ TEXTURA EN LOS SUELOS*. Obtenido de DESERTIFICACION DE SUELOS: [http://desertificacionsuelos.blogspot.com/2015/02/influencia-de-la-
textura.html](http://desertificacionsuelos.blogspot.com/2015/02/influencia-de-la-textura.html)
- Benavides Fauta, A. (2013). *Evaluación de los sistemas agroforestales para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos en El Ceypsa, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*.
Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Castañeda. (2000). *Caracterización de sistemas agroforestales en zonas de amortiguamiento de la reserva de biósfera Sierra de Las Minas, distrito Motagua, durante los años 1999 y 2000*. Estudio de caso.
- CATIE. (2001). *Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales*. (F. Jiménez, R. Muschler, & E. Köpsell, Edits.) Turrialba, Costa Rica: CATIE, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ.
- Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Huité, Zacapa y Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial. (2010). *Plan de desarrollo Huité, Zacapa*. Guatemala: SEGEPLAN/DPT.
- FAO. (2013). *Relaciones entre la silvicultura y la seguridad alimentaria*. Roma.

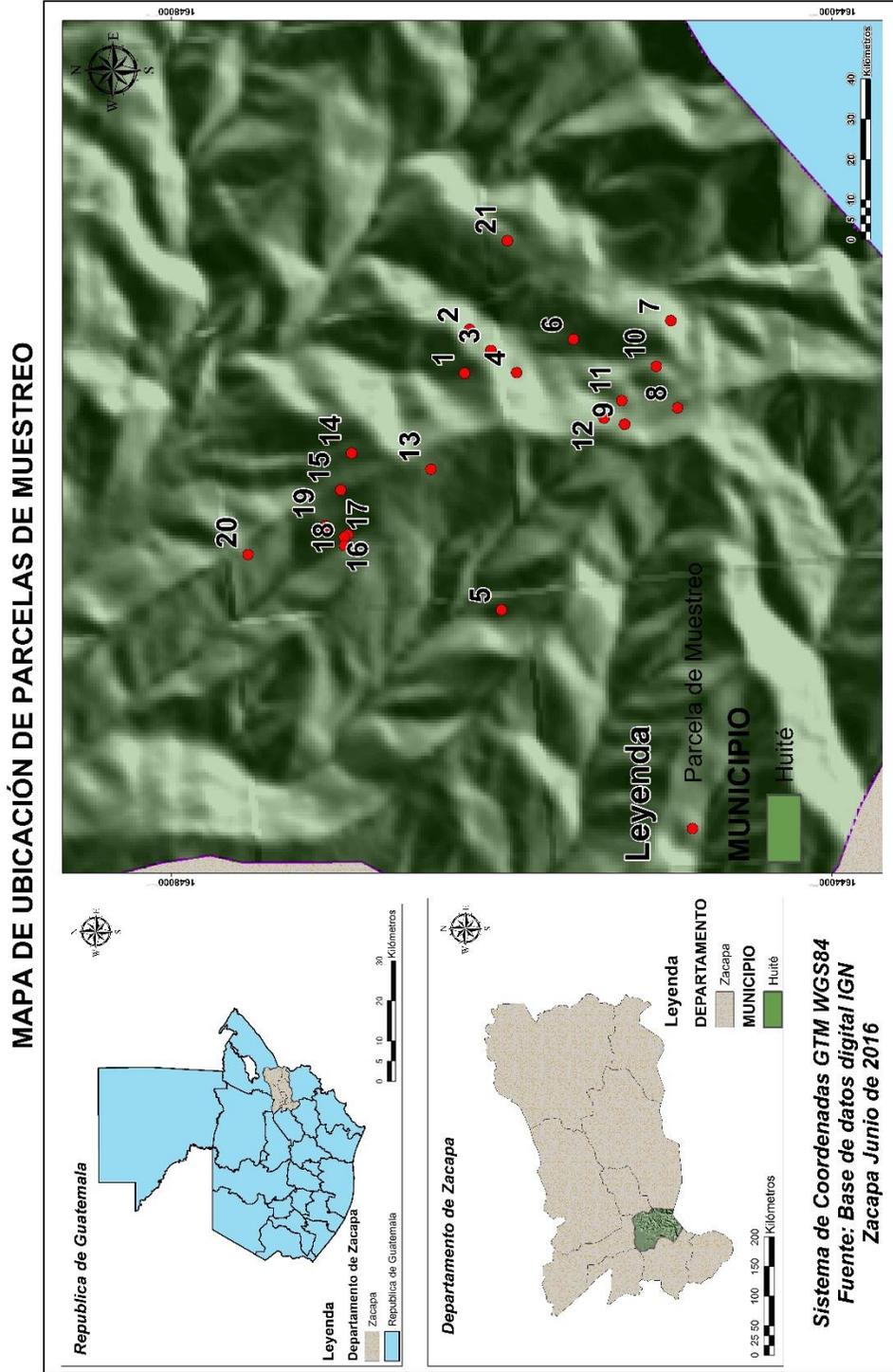
- Fassbender, H., & Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (2a. ed.). San José, Costa Rica: IICA.
- Fuentes López, M. (2002). *El cultivo del maíz en Guatemala, una guía para su manejo agronómico*. Guatemala: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA).
- IGN. (2016). División política Administrativa. Guatemala, Guatemala. Obtenido de http://www.ign.gob.gt:80/geoserver/cartografia_basica/ows?service=WMS&request=GetLegendGraphic&format=image%2Fpng&width=20&height=20&layer=Division+politica+Administrativa
- INAB. (1998). *Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso*. Guatemala, Guatemala: INAB.
- INAB. (2013). *Memoria de Labores Año 2013*. Guatemala: INAB.
- INAB. (2014). *Informe de PINPEP, sub-región III-2*. Zacapa: INAB Sub-región III-2.
- INAB. (s.f.). *Parámetros de evaluación de los proyectos para su certificación - PINPEP*. Guatemala, Guatemala: INAB.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (s.f.). *Aldea San Miguel en Diccionario Geográfico Guatemala*. Obtenido de Directorio de empresas y negocios en Guatemala — Comunidad Emprendedora: <http://www.guatepymes.com/geodic.php?keyw=8843>
- León Arteta, R. (14 de marzo de 2007). *Profundidad efectiva y Capacidades de Uso del Suelo (Régulo León Arteta) Un Universo invisible bajo nuestros pies*. (J. Ibañez, Editor) Obtenido de Fundación para el Conocimiento madri+d: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/14/61286>
- Lundgren, B., Sepúlveda, S., & Edwards, R. (1996). *Aspectos institucionales de la investigación y el desarrollo agroforestales; Desarrollo sostenible, organización social, marco institucional y desarrollo rural; lecturas seleccionadas II*. San José, Costa Rica: IICA. Área de Concentración IV: Desarrollo Rural Sostenible.
- MAGA. (2005). *Atlas temático de la república de Guatemala*. Guatemala: Autor.
- MAGA. (marzo de 2011). *Boletín Gabinete Económico*. Obtenido de Banco de Guatemala: https://www.banguat.gob.gt/publica/prensa/boletin_final.pdf
- MAGA. (2013). *Informe de Pérdidas de Cosechas en el Departamento de Zacapa durante el año 2013*. Zacapa: MAGA.

- Mantagnini, F. (1992). *Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos*. San José, Costa Rica: Organización para Estudios Tropicales - USAID.
- Montagnini, F. (1992). *Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos* (Segunda ed.). San José, Costa Rica: OET-USAID.
- Ramachandran, P. (1997). *Agroforestería*. Chipango, Mexico: Centro de Agroforestería para el desarrollo Sostenible. UACH.
- Ramirez Torres, P. (2005). *Diseño de un sistema agroforestal basado en café robusta que incrementa la sustentabilidad, rentabilidad y equidad, en la amazonia ecuatoriana*. Tesis, Universidad Católica de Temuco, Temuco.
- Robledo Hernández, W. (2003). *Pago de servicios ambientales para la implementación de sistemas agroforestales en áreas críticas de las cuencas generadoras de energía eléctrica María Linda y Los Esclavos, Guatemala*. Turrialba Costa Rica: CATIE.
- Rolz Asturias, C. (2014). *El potencial del sorgo dulce para producir energía renovable, promover la seguridad alimentaria y el desarrollo rural*. Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Centro de Ingeniería Bioquímica. Guatemala: UVG. Obtenido de <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2014/02/07-UVG-Carlos-Rolz-Sorgo.pdf>
- Rosset, P. (2001). *La crisis de la agricultura convencional, la sustitución de insumos, y el enfoque agroecológico*. Oakland: Institute for Food and Development Policy (Food First).
- Suárez Ibijes, M. O. (s.f.). *Coeficiente de correlación de Karl Pearson*. Obtenido de Monografias.com - Tesis, Documentos, Publicaciones y Recursos Educativos.: <http://www.monografias.com/trabajos85/coeficiente-correlacion-karl-pearson/coeficiente-correlacion-karl-pearson.shtml>
- Textura del suelo*. (28 de julio de 2015). Obtenido de Wikipedia, la enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Textura_del_suelo
- Tratado de Cooperación Amazónica (TCA). (1994). *Experiencias agroforestales exitosas en la Cuenca Amazónica*. Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaría Pro-Tempore, Lima.

Universidad de Extremadura. (23 de febrero de 2005). *ECA Lección 2. Descripción del suelo. Información general acerca del suelo. Pedregosidad y rocosidad.* (A. García Navarro, Editor) Obtenido de Universidad de Extremadura, Departamento de Biología y Producción de los Vegetales, Área de Edafología y Química Agrícola: <http://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ECAP/ECAL2DPIGSPedrRoc.htm>

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de parcelas de muestreo



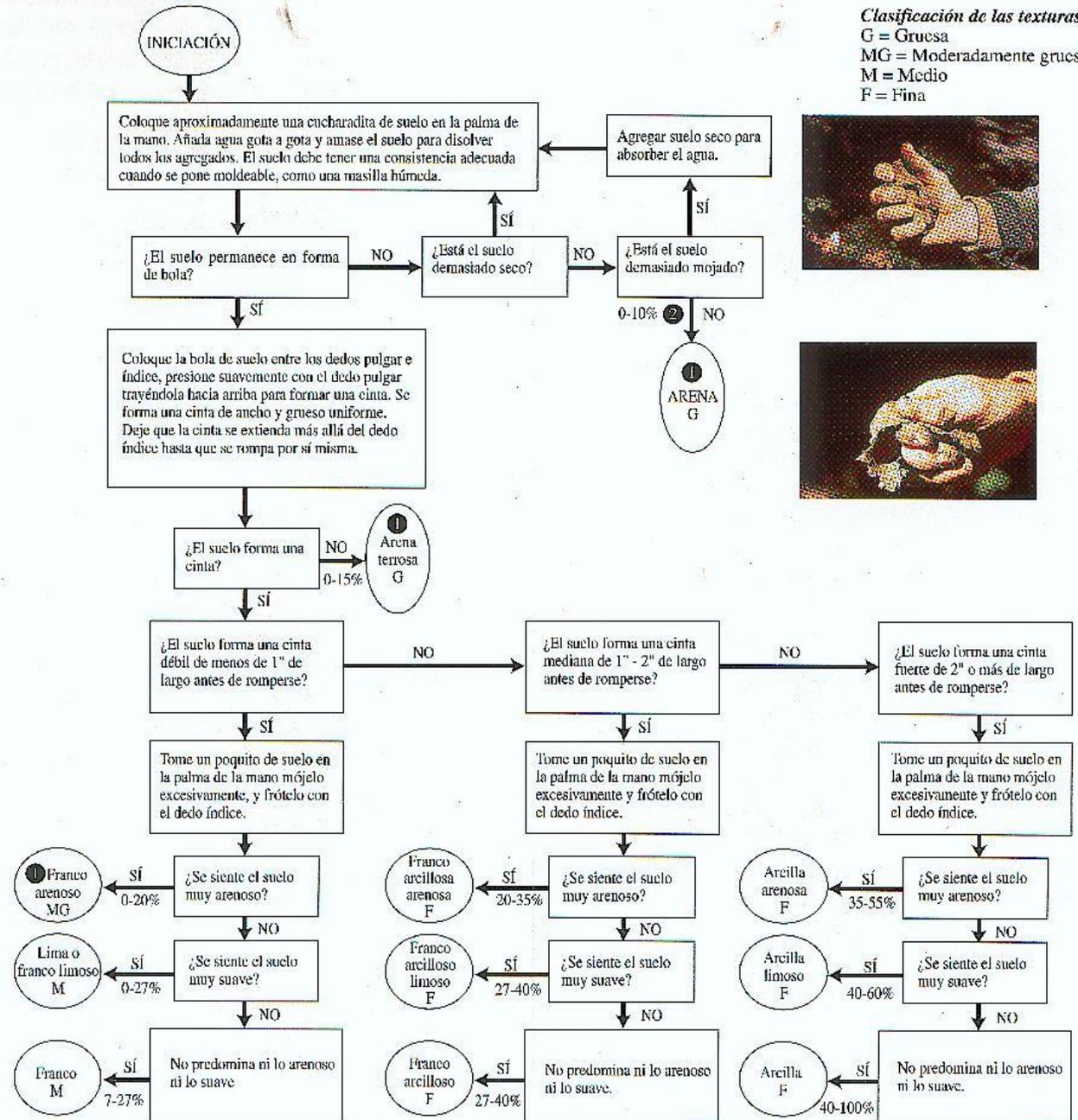
Anexo 2. Boleta para llenado de datos en campo.

Boleta para llenado de datos en campo	
No. De Parcela: _____	
Fecha: _____	
Coordenada GTM (X,Y) de la parcela: _____	
Localidad _____	
Tamaño de la Parcela: _____	
Factores Generales	
Tipo de Sistema Agroforestal	
Especie Agrícola, (variedad)	
Densidad de siembra de la especie agrícola	
Especie Forestal	
Densidad de siembra de la especie forestal	
Rendimiento en quintales por manzana del cultivo agrícola	
Factores Fisiográficos	
Elevación en metros sobre el nivel del mar	
Pendiente promedio en porcentaje	
Pedregocidad superficial en porcentaje	
Factores Edáficos	
Profundidad del suelo	
Textura del suelo	
Observaciones:	
Responsable: _____	

Fuente: elaborado por el autor.

Anexo 3. Guía para la determinación de la textura del suelo por medio del “Método del tacto”

DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL “MÉTODO DEL TACTO” ③



① El tamaño de las partículas de arena debe estimarse (muy fina, fina, medio, arenosa) para estas texturas. Los granos individuales de una arena muy fina no son visibles sin una lupa y hay una sensación de masilla si se coloca una pequeña cantidad de la muestra entre los dientes. Algunas partículas de arena fina apenas

pueden verse. Las partículas medianas son fácilmente visibles. Ejemplos de descripciones de arenas en las cuales predomina un tamaño son: arena muy fina, tierra arenosa fina, y arena fina terrosa.

② Variación del porcentaje de arcilla.

③ Modificado de: Thion, Steve J. Kansas State University, 1979 Iowa Agronomy Education.

Photo Credit: R. Weil, University of Maryland

Fuente: R. Will, Universidad de Maryland.

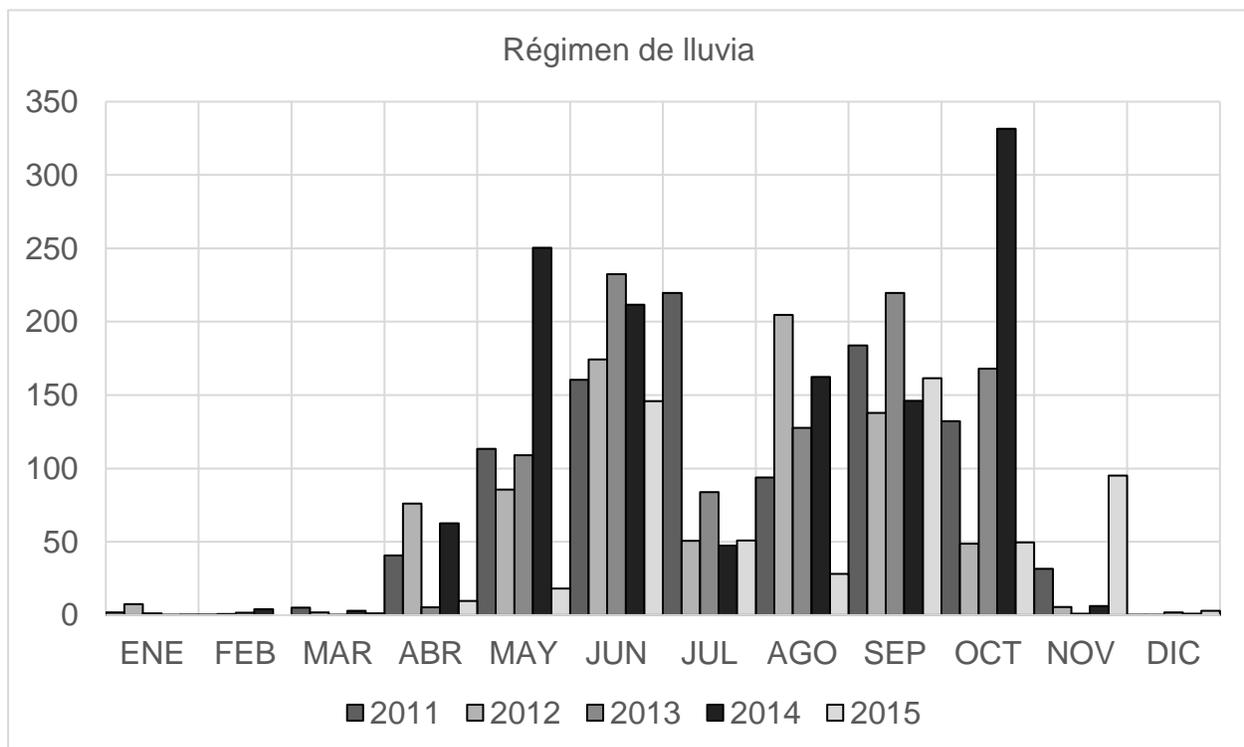
Anexo 4. Régimen de lluvia del año 2011 al 2015

Anexo 4.1. Cuadro de promedios de precipitación en la estación meteorológica de la Fragua, Zacapa.

AÑO	2011	2012	2013	2014	2015
ENE	1.9	7.4	1.3	0.1	0.3
FEB	0.4	0.7	1.7	4.1	0.0
MAR	5.2	1.8	0.2	3.0	1.2
ABR	40.6	76.0	5.3	62.5	9.6
MAY	113.4	85.5	109.1	250.3	18.2
JUN	160.4	174.2	232.3	211.6	145.9
JUL	219.6	50.7	83.8	47.4	50.9
AGO	93.8	204.7	127.7	162.4	28.0
SEP	183.9	137.8	219.6	146.0	161.5
OCT	132.2	48.7	168.0	331.5	49.6
NOV	31.6	5.5	0.9	6.2	95.1
DIC	0.2	0.2	1.9	1.1	3.0
ANUAL	983.2	793.2	951.8	1226.2	563.3

Fuente: Departamento de climatología de INSIVUHME

Anexo 4.2. Grafica de promedios de precipitación en la estación meteorológica de la Fragua, Zacapa.



Anexo 5.5. Evaluación de textura del suelo



(Fotografía: Nery Aldana, 2016)

Anexo 5.6. Cosecha de maíz



(Fotografía: Nery Aldana, 2016)

Anexo 5.7. Medición de profundidad de suelo



(Fotografía: Nery Aldana, 2016)

Anexo 5.8. Toma de datos de la cosecha de maicillo



(Fotografía: Marinel Sánchez, 2016)