

**Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Universidad Nacional  
Universidad Estatal a Distancia**



**ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA AGRICULTURA DE  
SECANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TORJÁ,  
CHIQUMULA, GUATEMALA**

**Tesis sometida a consideración del Tribunal Evaluador como  
requisito para optar al grado de Doctor en Ciencias Naturales para el  
Desarrollo con énfasis en Gestión y Cultura Ambiental**

**Ing. Agr. Rodolfo Augusto Chicas Soto**

**Universidad Estatal a Distancia  
San José, Costa Rica  
Mayo 2016**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Universidad Nacional**  
**Universidad Estatal a Distancia**



**ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA AGRICULTURA DE  
SECANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TORJÁ,  
CHIQUIMULA, GUATEMALA**

**Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Evaluador como  
requisito para optar al grado de Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo  
con énfasis en Gestión y Cultura Ambiental**

**Estudiante**

Rodolfo Augusto Chicas Soto

**Director de Tesis**

Eddi Alejandro Vanegas Chacón. D. Sc.

**Asesores**

Dr. Tomas Antonio Padilla Cámara

Dr. Aníbal Sacbajá Galindo

Mayo 2016

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Universidad Nacional  
Universidad Estatal a Distancia



Sustentante  
Rodolfo Augusto Chicas Soto

Tribunal Examinador

Dr. Freddy Araya Rodríguez  
Representante de Post grado ITCR

Dr. Luis Sierra Sierra  
Representante Coordinación  
General del DOCINADE

Dr. Eddi Vanegas Chacón  
Director de Tesis

Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara  
Asesor de tesis

Dr. Tomás de Jesús Guzmán H.  
Lector de Tesis

Mayo 2016

## DEDICATORIA

A:

Dios, por su inmensa misericordia, por fortalecer mi corazón y darme sabiduría y por haber puesto en mi camino personas que han sido mi soporte y compañía durante el proceso de formación académica.

A:

Mi esposa Silvia Irasema Sett de Chicas y a mis queridos hijos Rodolfo Augusto, Julio René, Jorge Fernando y a mis nietos Sebastián y Valentina, quienes son la fuente de inspiración y apoyo en lograr mis metas.

A:

Mi Madre, con todo mi amor, por el apoyo brindado en la vida que permitió lograr mis sueños, a ti madre por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al programa de Postgrado Interuniversitario, Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo - DOCINADE -, por otorgarme la oportunidad de formación y capacitación a nivel Doctoral.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, al Centro Universitario de Oriente y a la Carrera de Agronomía, por el apoyo brindado a lo largo de este proceso.

Al Doctor Eddi Alejandro Vanegas Chacón, amigo y Director de Tesis, por su invaluable orientación y dedicada colaboración en la presente investigación.

A los compañeros de trabajo y especialmente a los amigos de la Universidad Ciego de Ávila en Cuba, por su apoyo incondicional en la pasantía académica. Gracias Nancy García y Antonio Da Quinta, por su amistad.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
LISTA DE CUADROS .....	IV
LISTA DE FIGURAS .....	VI
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	XI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación .....	4
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo General.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
2 Revisión de Literatura.....	6
2.1 Concepto de Desarrollo Sostenible .....	6
2.2 Justificación para el Desarrollo Sostenible .....	8
2.3 Condiciones para el Desarrollo Sostenible .....	9
2.4 Agricultura de Secano.....	11
2.5 Pérdidas de Cosecha.....	14
2.6 Modelación Agrícola .....	18
2.7 Planes de Manejo Agrícola.....	22
2.8 Importancia del Recurso Hídrico en la Agricultura de Secano.....	28
3 Materiales y Métodos.....	30
3.1 Marco de Estudio.....	30
3.1.1 Caracterización de la micro cuenca del río Torjá.....	30
3.1.2 Características Biofísicas .....	31
3.1.2.1 Zonas de Vida .....	31
3.1.2.2 Clima .....	33
3.1.3 Aspectos Sociales .....	34
3.2 Métodos de Trabajo.....	35
3.2.1 La cuenca como unidad de estudio .....	36

3.2.1.1	Elaboración de Mapas Temáticos .....	37
3.2.1.2	Recopilación de Información Socioeconómica .....	37
3.2.1.3	Recopilación de Datos Ambientales .....	38
3.2.1.4	Recopilación de Datos Edáficos.....	38
3.2.1.5	Definición de Unidades de Muestreo.....	38
3.2.1.6	Definición de Unidades de Mapeo.....	40
3.2.1.7	Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la micro cuenca .....	43
3.2.1.8	Análisis de incertidumbre realizado a los resultados de labora- torio en cuanto a los parámetros de fertilidad.....	44
3.2.1.9	Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad de los suelos .....	45
3.3	Estimación de la vulnerabilidad de la Agricultura de secano en el área de la micro cuenca del río Torjá .....	46
3.4	Probabilidad de pérdida de cosecha en agricultura de secano en la micro cuenca del rio Torjá .....	47
3.5	Estrategia de mejora para la agricultura de secano .....	48
4	Resultados y Discusión.....	49
4.1	Caracterización de la micro cuenca del río Torjá .....	49
4.1.1	Capital Natural .....	49
4.1.1.1	Tenencia de la Tierra .....	49
4.1.1.2	Clasificación de Agricultores .....	50
4.1.1.3	Vocación de los Suelos de las Comunidades .....	51
4.1.1.4	Cobertura Forestal .....	53
4.1.1.5	Relación del Bosque con los Recursos Hídricos y Protección de Cuencas .....	53
4.1.1.6	Morfometría de la micro cuenca del rio Torjá .....	55
4.1.1.7	Características Biofísicas de la micro cuenca del río Torjá .....	57
4.1.2	Capital Humano .....	64
4.1.2.1	Demografía.....	64
4.1.2.2	Educación.....	65
4.1.2.3	Salud .....	65

4.1.3	Capital Cultural .....	66
4.1.3.1	Cultura Chortí .....	66
4.1.4	Capital Productivo.....	66
4.1.4.1	Producción Agrícola .....	66
4.1.4.2	Uso de Leña .....	67
4.1.4.3	Acceso a Mercados .....	67
4.1.4	Fertilidad del suelo de la micro cuenca (parámetros físicos y químicos) .....	68
4.1.4.1	pH de los suelos de la micro cuenca del río Torjá.....	70
4.1.4.2	Determinación de Fósforo .....	71
4.1.4.3	Determinación de Potasio .....	72
4.1.4.4	Determinación de Calcio .....	73
4.1.4.5	Determinación de Magnesio.....	74
4.1.4.6	Determinación de Textura y Materia Orgánica .....	75
4.1.5	Análisis de incertidumbre realizado a los resultados de laboratorio en cuanto a los parámetros de fertilidad.....	79
4.2	Determinación Indirecta de la Capacidad de Retención de Humedad en suelos de la micro cuenca del río Torjá .....	84
4.3	Estimación de la vulnerabilidad de la agricultura de secano.....	92
4.4	Probabilidad de pérdida de cosecha en agricultura de secano en la micro cuenca del río Torjá.....	103
4.5	Estrategia de mejora de la agricultura de secano en la micro cuenca del río Torjá.....	108
4.5.1	Etapas de la Estrategia.....	111
4.5.2	Argumentación de las acciones de la estrategia.....	115
5	Conclusiones .....	118
6	Recomendaciones .....	119
7	Bibliografía.....	120
8	Anexos.....	134

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Estimación de pérdidas de cosecha de maíz blanco por prolongación de la canícula y monitoreo de precios 2012.....	16
Cuadro 2.	Estimación de pérdidas de cosecha de frijol negro por prolongación de la canícula y monitoreo de precios 2012.....	17
Cuadro 3.	Pérdidas de cosecha en el cultivo del maíz en el Departamento de Chiquimula 2015.....	18
Cuadro 4.	Especies vegetales indicadoras de la zona de vida Bosque Seco Subtropical en Guatemala.....	32
Cuadro 5.	Especies vegetales Indicadoras del Bosque Húmedo Subtropical (templado), Guatemala.....	33
Cuadro 6.	Centros poblados dentro del área de estudio según el Instituto Nacional de Estadística.....	35
Cuadro 7.	Georeferenciación de los puntos de muestreo .....	42
Cuadro 8.	Tipos de Bosque según contacto de copas delimitados en la ortofoto .....	60
Cuadro 9.	Datos de temperatura media en grados centígrados de la estación meteorológica del municipio de Esquipulas .....	62
Cuadro 10.	Centros poblados dentro del área de estudio según el Instituto Nacional de Estadística.....	64
Cuadro 11.	Parámetros de fertilidad de suelos determinados en la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula.....	68
Cuadro 12.	Parámetros de textura y materia orgánica en la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula .....	76
Cuadro 13.	Resumen Estadístico Análisis de Incertidumbre .....	80

Cuadro 14. Resultados Prueba t para la comparación de las muestras .....	81
Cuadro 15. Resultados de los análisis de suelo en laboratorio.....	85
Cuadro 16. Valores observados y estimados de CC y PMP en función de la Densidad Aparente y % de Arena. ....	89
Cuadro 17. Relaciones entre clase textural y agua disponible a las plantas.....	91
Cuadro 18. Ponderación de variables e indicadores para el modelo de vulnerabilidad .....	96
Cuadro 19. Cuadro 19. Ponderación Numérica de las Variables.....	99
Cuadro 20. Vulnerabilidad en los diferentes puntos muestreados .....	100
Cuadro 21. Variables dependientes e independientes para el análisis de probabilidad de pérdida de cosecha.....	105
Cuadro 22. Síntesis de resultados de regresión logística para explicar la probabilidad de pérdida de cosecha. Caso de la pérdida parcial (Y=1). ....	106
Cuadro 23. Acciones para mejorar la agricultura de secano en la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula.....	113
Cuadro 24. Especialistas Invitados .....	135
Cuadro 25. Resultados de los 14 especialistas que participaron .....	137
Cuadro 26. Cálculo de los Kc para cada especialista .....	138
Cuadro 27. Tabla de fuentes de Argumentación .....	139
Cuadro 28. Fuentes de Argumentación.....	139
Cuadro 29. Cálculo de los Ka para cada experto .....	140
Cuadro 30. Calculo del Coeficiente .....	140
Cuadro 31. Resultados de las encuestas aplicadas a los expertos.....	143

Cuadro 32. Cálculo del Coeficiente de Concordancia de Kendall .....	144
Cuadro 33. Coeficiente de Concordancia de Kendall.....	144

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitación pluvial y días sin lluvia en el período Mayo-Julio 2012 .....	15
Figura 2. Pérdidas de cosecha por sequía 2012. ....	15
Figura 3. Pasos de un plan de manejo de una micro cuenca .....	24
Figura 4. Ubicación de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula.....	31
Figura 5. Distribución del área de estudio, según la severidad a sequía.....	34
Figura 6. Unidades Fisiográficas .....	39
Figura 7. Geología de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula.....	39
Figura 8. Zonas de vida de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula. ....	40
Figura 9. Localización y distribución de puntos de muestreo, micro cuenca del río Torjá, Chiquimula.....	41
Figura 10. Ortofoto-Mapa generado para el muestreo de suelos en la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula. ....	43
Figura 11. Espectrofotómetro de llama y absorción atómica.....	44
Figura 12. Tenencia de la tierra.....	50
Figura 13. Clasificación de agricultores según el MAGA.....	51
Figura 14. Vocación de los suelos en las comunidades .....	52
Figura 15. Ubicación de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula.....	56
Figura 16. Drenaje superficial de la micro cuenca del río Torjá.....	56

Figura 17. Geología de la micro cuenca del río Torjá.....	58
Figura 18. Zonas de vida, de la micro cuenca del río Torjá.....	59
Figura 19. Mapa de cobertura boscosa de la micro cuenca del río Torjá.....	61
Figura 20. Capacidad de uso de la tierra, en la micro cuenca del río Torjá.....	61
Figura 21. Intensidad de uso de la tierra, en la micro cuenca del río Torjá.....	61
Figura 22. Temperaturas Medias Estación Climática de Esquipulas.....	63
Figura 23. Precipitación Medias Estación Climática de Esquipulas .....	63
Figura 24. Distribución del pH de los suelos de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula.....	71
Figura 25. Contenido de fósforo en los suelos de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula .....	72
Figura 26. Contenido de potasio de los suelos de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula .....	73
Figura 27. Contenido de Calcio de los suelos de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula .....	74
Figura 28. Contenido de Magnesio de los suelos de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula .....	75
Figura 29. Materia Orgánica de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula.....	78
Figura 30. Textura de los suelos de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula .....	78
Figura 31. Gráfica de Cajas y Bigotes para pH .....	82
Figura 32. Gráfica de Cajas y Bigotes para fósforo.....	82
Figura 33. Gráfica de Cajas y Bigotes para potasio .....	82
Figura 34. Gráfica de Cajas y Bigotes para calcio.....	83
Figura 35. Gráfica de Cajas y Bigotes para magnesio .....	83
Figura 36. Análisis de correlación entre Densidad Aparente (Da) y % de Arena en relación a la CC y PMP .....	87

Figura 37. Fundamentos estadísticos del modelo de CC y PMP .....	88
Figura 38. Representación de la correlación de Pearson entre valores observados y valores estimados para las variables Capacidad de campo (CC) y Punto de marchitez permanente (PMP) .....	90
Figura 39. Diagrama de flujo que muestra el resumen de variables e indicadores utilizados para la generación del modelo .....	95
Figura 40. Representación de la ponderación de variables e indicadores .....	97
Figura 41. Vulnerabilidad a la pérdida de cosecha en la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula .....	102
Figura 42. Pérdida parcial y total en la micro cuenca del río Torjá.....	104
Figura 43. Diagrama de la estrategia para la mejora de la agricultura de secano en la micro cuenca del río Torjá.....	112

## RESUMEN

El área rural de Guatemala, en su mayoría está representada por la agricultura de subsistencia en terrenos con fuertes pendientes, de escasa fertilidad, con suelos degradados, que poseen características físicas, químicas y biológicas poco apropiadas para el desarrollo de una agricultura sostenible.

La región semiárida en el oriente de Guatemala, principalmente el área rural, se caracteriza por la escasez de recursos hídricos donde la cantidad y distribución de la precipitación pluvial en la época de invierno está afectando, misma que es insuficiente para garantizar la producción de la agricultura de secano. Varios son los factores que influyen, tanto internos como externos, en las pérdidas constantes que sufre la agricultura de secano en la región. Por tal razón en la presente investigación se realiza una caracterización de la micro cuenca con el firme propósito de conocer el contexto sobre el cual se desarrolla este tipo de agricultura. Además se da a conocer la metodología para obtener el modelo de vulnerabilidad de la agricultura de secano en la micro cuenca del río Torjá, considerando variables socioeconómicas, ambientales y edáfica, que luego de definir sus indicadores, se logra establecer la vulnerabilidad existente en la micro cuenca.

Considerando las limitantes existentes en el área que no permiten el desarrollo de una agricultura sostenible, se propone un modelo logístico que permite determinar la probabilidad de pérdida de cosecha en agricultura de secano en la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula, Guatemala. La información base se recopiló a través de trabajos de campo en 57 parcelas ubicadas en el área de estudio. Estas parcelas se transformaron a unidades cartográficas que se plotearon sobre el mapa escala 1:100 000 de pérdida de cosecha de la micro cuenca del río Torjá, para establecer el estado de pérdida de cosecha de forma parcial o total. Se utilizó el programa de computo XLSTAT 2013,4 módulo de regresión logística para establecer la probabilidad de ocurrencia de pérdida en función de variables de carácter social, ambiental y edáfico con un nivel de significación del 5%,  $R^2$  de Nagelkerke de 0,70 y prueba de Hosmer-Lemeshow no significativa. Se concluye que las variables que explican la pérdida de cosecha son la intensidad del uso de la tierra, la altitud y la precipitación.

La presente investigación propone un modelo estadístico para estimar de forma indirecta la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, para conocer la capacidad de retención de humedad en el suelo con fines agrícolas. Fueron tomadas como base las unidades fisiográficas de la micro cuenca identificándose 57 sitios, donde se realizaron muestreos de suelos. Se definieron como variables dependientes la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) y como variables independientes, el % de arcilla, % limo, % arena, densidad aparente (Da), conductividad eléctrica (CE) y la materia orgánica (MO). Fueron establecidas las relaciones entre estas variables mediante regresión lineal múltiple generándose los modelos para las constantes de humedad. Los modelos se validaron tomando diez muestras al azar en el área de estudio, obteniendo una alta correlación de Pearson entre valores observados y valores estimados a partir de la densidad aparente y % de arena, siendo de 0,84 para el modelo de capacidad de campo y 0,85 para el de punto de marchitez permanente. Con la información obtenida se procedió a formular una propuesta para mejorar la agricultura de secano en la micro cuenca del río Torjá, la cual conlleva una serie de acciones que deberán ser implementadas en el mediano plazo, para contrarrestar la degradación de la micro cuenca y rescatar la productividad de los suelos, así mismo, se requiere de una comunicación permanente entre las autoridades municipales, las organizaciones no gubernamentales presentes en el área y la comunidad, a fin de dar a conocer los beneficios que se podrían obtener al momento de desarrollar cada una de las acciones que se proponen.

**Palabras clave:** pérdida de cosecha, agricultura de secano, déficit de agua, modelo de regresión logística, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, productividad.

## SUMMARY

The rural area of Guatemala, mostly displayed by subsistence farming on land with steep slopes, of low fertility, with degraded soils, which have unsuitable for the development of sustainable agriculture physical, chemical and biological characteristics. The semiarid region in eastern Guatemala, mainly rural area, characterized by the scarcity of water resources where the amount and distribution of rainfall in the winter time is affecting, it is insufficient to ensure the production of agriculture rainfed. There are several factors that influence both internal and external, in the constant losses suffered rainfed agriculture in the region. For this reason in this investigation a characterization of the micro basin with the firm intention of knowing the context in which this type of agriculture is carried out is done. Additionally disclosed the methodology for the vulnerability model of rainfed agriculture in the micro basin of río Torjá, considering socioeconomic, environmental and soil variables that after defining indicators, is successful existing vulnerability in the micro basin.

Considering the existing constraints in the area that do not allow the development of sustainable agriculture, a logistic model to determine the probability of crop failure in rainfed agriculture in the micro basin of río Torjá, Chiquimula, Guatemala is proposed. The basic information was collected through fieldwork in 57 plots in the study area. These plots were transformed to map units that were plotted on the map scale of 1: 100 000 Loss harvest micro Torjá river basin, to establish the status of crop loss partially or completely. The computer program module 2013.4 XLSTAT logistic regression was used to establish the probability of occurrence of loss depending on variables of social, environmental and edaphic character with a significance level of 5%, R<sup>2</sup> of 0.70 and Nagelkerke Hosmer-Lemeshow test not significant. It is concluded that the variables that explain the loss of harvest are the intensity of land use, altitude and rainfall.

This research consider it important to propose a statistical model to estimate indirectly field capacity and wilting point, to determine the capacity of moisture retention in the soil for agricultural purposes. They were taken as basis physiographic units 57 micro basin identifying sites where soil samples were performed. Were defined as dependent variables field capacity (CC) and wilting point (PMP) and as independent variables, the%

clay, % silt,% sand, bulk density (Da), electrical conductivity (EC) and the organic matter (OM). They were established relations between these variables using multiple linear regression models generating constant moisture. The models were validated by taking ten samples randomly in the study area, obtaining a high Pearson correlation between observed and estimated values from the bulk density and% sand, values being 0.84 for the model field capacity and 0.85 for the permanent wilting point. With the information obtained we proceeded to make a proposal to improve rainfed agriculture in the micro basin of Rio Torjá, which involves a series of actions to be implemented in the medium term, to counteract the degradation of micro basin and rescue productivity of the soil, so it requires constant communication between municipal authorities, non-governmental organizations present in the area and the community in order to publicize the benefits to be gained when developing each the actions proposed.

Keywords: crop loss, dry farming, water deficit, logistic regression model, field capacity, wilting point, productivity.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos en el área rural de Guatemala, en su mayoría está representada por la agricultura de subsistencia en terrenos con fuertes pendientes, de escasa fertilidad, con suelos degradados, que poseen características físicas, químicas y biológicas poco apropiadas para el desarrollo de una agricultura sostenible.

Esta situación provoca que los niveles de pobreza y pobreza extrema, se incrementen, sin visualizar en el corto o mediano plazo una solución parcial o total por parte de las instituciones del estado, principalmente aquellas ligadas al desarrollo agropecuario del país. Además menciona Taboada & Micucci (2009) que el aumento de la demanda de alimentos ha conllevado a la explotación intensiva de las tierras agrícolas, lo cual afecta o disminuye la productividad de los suelos, debido a que los nutrientes no son retornados mediante la aplicación de fertilizantes químicos u orgánicos causado por las limitaciones económicas y falta de capacitación agrícola de los productores.

Por su parte Altieri & Nicholls (2009) hacen mención que el desarrollo sostenible de las comunidades rurales de Guatemala se basa en la producción, disponibilidad y acceso de alimentos en cantidad y calidad adecuados. Sin embargo algunas regiones del país, como las semiáridas, son consideradas vulnerables a la pérdida de cosecha principalmente de granos básicos debido a condiciones climáticas extremas como la sequía, que cada vez son más frecuentes debido al efecto provocado por el cambio climático global.

La Organización de la Agricultura y Alimentación (2010) menciona que en la campaña agrícola 2009/2010 se caracterizó en la Región Oriente y algunas áreas del Occidente del país (en particular en las áreas del denominado “Corredor Seco”) por precipitaciones que iniciaron puntualmente en la primera semana de mayo, pero que a partir del mes de julio y hasta el inicio de la cosecha en septiembre, se volvieron progresivamente erráticas y escasas. Hubo períodos hasta de seis semanas sin lluvia que coincidieron con etapas fenológicas críticas de los cultivos de maíz y frijol.

La baja cantidad de lluvia combinada con la mala distribución y altas temperaturas afectó negativamente tanto las siembras de primera como las de postrera. Por

consiguiente, no obstante la buena producción a nivel nacional, se registraron pérdidas consistentes en las zonas del corredor seco. Menciona además que el aumento de la productividad de la agricultura de secano, que suministra alrededor del 60% de los alimentos a nivel mundial, depende totalmente de la cantidad y distribución de las lluvias, incrementando en gran medida el riesgo de la práctica de este tipo de agricultura. Esta organización recomienda para áreas áridas y semiáridas la captación y almacenamiento de agua para reducir los riesgos y aumentar los rendimientos de los cultivos ante sequías prolongadas. Además se plantea que se deben aplicar técnicas de manejo sustentables que involucren tecnología de bajos insumos externos en la agricultura de secano para aliviar la pobreza y mejorar la seguridad alimentaria, (Lisandro et al., 2012).

La Agencia Española de Cooperación Internacional y la Secretaria General de Planificación (2005) expresan que la micro cuenca del río Torjá, comprende parte de los municipios de Jocotán, Camotán, San Juan Ermita y Olopa del departamento de Chiquimula. El 80% de la población de esta región es de la etnia Chortí y viven en condiciones de pobreza y pobreza extrema, dedicándose al cultivo de granos básicos como maíz y frijol, así como hortalizas en pequeña escala que utilizan para su alimentación y venta en los mercados locales.

Según el informe de Desarrollo Humano en Guatemala (2010) el 56% de la población del país vive en pobreza; y el 26,8% vive en extrema pobreza; los indicadores de pobreza se ven reflejados en mayor proporción en el área rural; y dentro del área rural, la población indígena es la más afectada, el índice de desarrollo humano fluctúa entre 0,45 y 0,55 en la micro cuenca, esto es un reflejo del poco desarrollo y la escasez de servicios básicos para la población además del poco ingreso del que disponen para ser invertido en la siembra y manejo de los cultivos.

Taboada & Micucci (2009) mencionan que la vocación de los suelos de Guatemala es de tipo forestal en su mayoría, sin embargo, las áreas agrícolas deben ser trabajadas con la mejor eficiencia, para lograr su mayor productividad sin perjuicio de la naturaleza y de los recursos que intervienen en dicho proceso.

La micro cuenca analizada tiene una tendencia alta hacia la degradación de la tierra debido a condiciones climáticas, geomorfológicas y de intervención humana.

Espinoza (2008), indica que el 76% de la población en Centro América, se ubica en el área rural y se encuentra en extrema pobreza; su economía depende principalmente del sector agrícola, el cual resulta muy vulnerable a los factores climáticos, entre ellos las variaciones en la oferta de agua, causadas por el cambio climático y la distribución temporal y espacial de las lluvias, lo que se ha evidenciado en los últimos diez años. Todos los países de esta zona geográfica se han visto envueltos en sucesos que van desde fenómenos climático-atmosféricos como los huracanes y las sequías, hasta la recurrencia de fenómenos como "El Niño" y "La Niña", que han ocasionado importantes pérdidas humanas y millonarias pérdidas económicas.

La comisión económica para América Latina y el Caribe (2009) indican que la alta vulnerabilidad es consecuencia de una insuficiente gestión ambiental, traducida en la pérdida de cobertura boscosa, uso inadecuado de suelos y altos índices de contaminación que, a su vez, han provocado un deterioro de la calidad de las aguas en todos los recursos hídricos expuestos de la región.

En Centroamérica como efecto del cambio climático global, según CEPAL (2009) se han incrementado los procesos de desertificación, afectando la productividad del suelo. Brown et al. (2009) expresa que la lucha contra la sequía y la desertificación en Cuba constituye actualmente una problemática que involucra a todas las entidades, organismos y organizaciones que se relacionan de manera directa o indirecta con este fenómeno climatológico, prestando la máxima atención para la búsqueda de soluciones posibles para el enfrentamiento de la sequía; sin embargo, el carácter multifactorial de este fenómeno hace que las alternativas que se adopten para su atención sean muy complejas.

Además de los aspectos climáticos, el aumento de la demanda de alimentos ha conducido a la explotación intensiva de las tierras agrícolas, lo que disminuye la productividad de la misma. Se desconocía en el área de estudio los parámetros físicos y químicos del suelo que permitieran establecer acciones para evitar o minimizar los problemas de bajos rendimientos y sequías prolongadas.

El agua disponible para la planta es el factor que define el éxito o fracaso de toda actividad agrícola. Esta humedad puede provenir de la precipitación pluvial o bien de

pozos artificiales o nacimientos naturales de agua. (Tisdale & Nelson, 2012). El problema más grave que enfrenta la agricultura de secano en la micro cuenca del Río Torjá, son las sequías prolongadas que destruyen los cultivos, al no poseer los agricultores fuentes alternativas para el abastecimiento de agua.

La Agencia Española de Cooperación Internacional y la Secretaria General de Planificación (2005) indican que la mayoría de los pequeños agricultores de la región Chortí dependen de las lluvias, para la siembra y manejo de sus cultivos. En la última década se han producido sequías producto de la variabilidad climática que provoca el comportamiento errático de las lluvias, repercutiendo muchas veces en la pérdida total de los cultivos, sumándose además el bajo poder de retención de humedad de los suelos del área de estudio.

En la zona se puede observar que no existen indicadores de aplicación local que permitan analizar objetivamente la vulnerabilidad de los suelos a sequías prolongadas, que pueden afectar la economía y productividad principalmente de los pequeños agricultores. La escasez de información local dificulta impulsar proyectos entre autoridades locales y agricultores en la búsqueda de una agricultura sostenible, capaz de solventar la creciente demanda alimentaria de la población.

El presente estudio es una herramienta para las unidades de planificación municipal o bien para las organizaciones no gubernamentales presentes en la zona de influencia de la micro cuenca, encargadas de promover el desarrollo, ya que se presenta información actualizada y una serie de acciones pertinentes que deben considerarse e implementarse en el corto y mediano plazo para lograr cambios significativos en la agricultura de secano y hacer un uso racional y eficiente de los recursos.

### 1.1 Justificación

El trabajo de investigación fue desarrollado en la micro cuenca del río Torjá, la cual abarca los municipios de Jocotán, Quezaltepeque, Olopa y San Juan Ermita, esta área forma parte del corredor seco del país, caracterizada por su escasa precipitación pluvial y las altas temperaturas existentes. La agricultura predominante es de subsistencia en terrenos con pendientes de 9% a más del 56%, los cultivos que tradicionalmente se siembran son el maíz, frijol, sorgo y algunas hortalizas.

La agricultura de secano es desarrollada en la micro cuenca en terrenos degradados con características físico químicas muy limitantes, lo cual provoca que los rendimientos obtenidos por unidad de área sean bajos. El principal problema que enfrenta esta agricultura consiste en la mala distribución de las lluvias principalmente en los meses de junio y julio, donde se reportan períodos de más de 35 días de ausencia de precipitación, lo cual provoca la pérdida de cosecha en la mayoría de las unidades de producción presentes en la micro cuenca. Considerando la complejidad de factores que inciden en la productividad de los suelos, se estimó conveniente conocer el contexto en el que se desarrolla la agricultura de secano en el área, generando modelos que permitieran determinar cuáles son las áreas más vulnerables a la pérdida de cosecha en la micro cuenca, así como también, parte del área se producía pérdida total y pérdida parcial de la cosecha, esto con el objetivo de identificar acciones que permitan contrarrestar los efectos negativos de las variables socioeconómicos, ambientales y edáficas.

El recurso hídrico es el factor más importante dentro del proceso de producción, razón por la cual es necesaria su estimación a bien de poder determinar la capacidad de retención de humedad que tienen los suelos, para ello se consideró importante determinar la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, utilizando un modelo de regresión múltiple, que permitiera su estimación indirecta a través de considerar el efecto que podrían tener las variables independientes y dependientes.

El sobre uso al que están expuestos los suelos en un 90% indica el progresivo avance de la degradación en la micro cuenca, por lo que toda acción encaminada a mejorar las condiciones de productividad del suelo tendrán efectos positivos que redundarán en beneficio de la población presente en la micro cuenca del río Torjá.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 General**

Elaborar una estrategia que contribuya a mejorar la agricultura de secano en la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula, Guatemala.

### **1.1.2 Específicos**

1.1.2.1 Caracterizar la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula, Guatemala.

1.1.2.2 Generar un modelo para estimar la probabilidad de pérdida de cosecha en agricultura de secano.

1.1.2.2 Identificar acciones que permitan mejorar la agricultura de secano en la micro cuenca del Río Torjá.

## **2. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1 Concepto de desarrollo sostenible**

La Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo (2014) lo conceptualiza como: “Desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer los recursos de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”.

El desarrollo sostenible es un proceso de cambio progresivo en la calidad de vida del ser humano, quien es el centro y sujeto primordial del desarrollo, y se funda en tres pilares fundamentales: que son: el social, el económico y el ecológico. Se pretende el crecimiento económico con equidad social y la transformación de los métodos de producción y de los patrones de consumo y se sustenta en el equilibrio ecológico a través del aprovechamiento viable de la naturaleza y el soporte vital de la región.

Según Alides (2012) el proceso de desarrollo sostenible implica el respeto a la diversidad étnica y cultural, así como, el fortalecimiento de la plena participación ciudadana, en convivencia pacífica y en armonía con la naturaleza, sin comprometer y garantizando la calidad de vida de las generaciones futuras.

Este mismo autor señala que esta propuesta considera que el desarrollo y el bienestar social, están limitados por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente y la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de la actividad humana.

Ramírez et al. (2008) hacen mención que uno de los retos fundamentales del sector agropecuario, es producir a partir de un uso racional de los recursos naturales, combinando criterios económicos, de equidad y respeto ambiental. Para ello, se debe promover un modelo de desarrollo centrado en la búsqueda del mejoramiento de la calidad de vida humana, sin agotar la capacidad de carga de los ecosistemas, de manera que los beneficios de la naturaleza y la sociedad alcancen no sólo para las generaciones presentes, sino para las venideras (Serageldin et al., 1995). Además agregan que la agricultura sostenible es esencial en la vida humana, ya que siempre se necesitará producir alimentos para una población creciente, por ello es preciso cuidar el recurso suelo (Etchevers, 1999). Además, para un manejo sostenible del agro ecosistema, se deben considerar la productividad, resiliencia, estabilidad y equidad, considerando las dimensiones ecológica, social y económica (Beets et al., 1990). Para estimar la sostenibilidad se utilizan indicadores, que son herramientas para resumir y simplificar información de naturaleza compleja de una manera útil. Pueden ser números o cualidades que ponen de manifiesto el estado o condición de un proceso o fenómeno en relación con la sostenibilidad y permiten entender cómo evolucionan las cosas a través del tiempo (Adrianse et al., 1993). Pueden definirse con diferentes grados de precisión y agregación y permiten dar avisos sobre tendencias de la calidad de la tierra, evaluar los usos agrícolas y guiar decisiones de manejo y de políticas. Los indicadores son importantes para tomar decisiones y acciones en los sistemas productivos; es así como el grado de erosión y el índice

estructural reflejan las limitaciones que se puede encontrar para el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil, y están relacionados con el arreglo de las partículas y los poros. Los indicadores químicos, como disponibilidad de nutrimentos, se refieren a condiciones que afectan las relaciones suelo-planta. El contenido de materia orgánica del suelo impacta el reciclaje de nutrimentos, la retención de agua y pesticidas y la estructura del suelo. La profundidad del suelo superficial impacta el volumen de enraizamiento y la disponibilidad de nutrimentos, la capacidad para mantener el crecimiento y la contaminación ambiental.

## **2.2 Justificación para el desarrollo sostenible**

La justificación del desarrollo sostenible se visualiza desde el punto de vista que los recursos naturales son limitados. Tanto los recursos naturales no renovables (minerales), como aquellos que se consideran renovables (agua, suelo, flora, fauna) son susceptibles a agotarse ya sea por su extracción a altas velocidades o a un ritmo mucho mayor que la capacidad de su renovación. Los recursos naturales en conjunto, entendidos como un sistema, son los que hacen posible la vida en la tierra, por lo tanto su agotamiento implicaría comprometer la vida, no sólo la vida de futuras generaciones humanas, sino de la vida en su concepto más general. (Díaz et al., 2010).

Falabella et al. (2007) mencionan que en el campo de desarrollo sostenible se debe de desarrollar la organización de la sociedad civil económica, se puede empezar a revertir la falta de encadenamiento territorial, para ello se requiere un aporte político mayor así como la participación comunitaria que facilite el encauce hacia el desarrollo integral del país.

Quirós (2005) señala que las tendencias del desarrollo rural en Costa Rica, como en muchos otros países apuntan hacia un mejor aprovechamiento de los recursos de las comunidades y su entorno natural. La producción orgánica es una alternativa para enfrentar problemas ambientales, diversificar la producción, mejorar el suelo y encontrar opciones de mercado para los productores; ofrece además un estilo de vida a los productores y consumidores respetando en lo posible el ciclo natural de los

ecosistemas (Castañeda, 2000). El intenso y constante crecimiento de las ventas de alimentos orgánicos registrado durante la mitad del decenio del noventa ha proporcionado a estos productos un nicho de mercado viable. Entre los principales mercados orgánicos, se ubica Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón. La mayoría de los principales mercados ofrecen buenas perspectivas para los abastecedores de productos orgánicos que no son producidos en dichos países; tales como café, té, cacao, especias, frutas, verduras tropicales y cítricos. Estas oportunidades derivan del simple hecho de que la creciente demanda de la mayoría de los mercados no va a poder ser satisfecha por la oferta local, al menos en el corto y mediano plazo (Internacional Trade Center (ITC), 1999).

### **2.3 Condiciones para el desarrollo sostenible**

Se consideran condiciones necesarias para generar un desarrollo sostenible, respetar las siguientes premisas:

1. La intensidad de uso de los recursos naturales debe ser menor o igual al ritmo de su renovación.
2. La generación de contaminantes debe ser menor o igual a la capacidad de reciclaje, neutralización o absorción del medio ambiente.
3. El uso de los recursos no renovables deben ser a baja velocidad para sustituirlos por recursos renovables.

Es importante hacer mención que el componente ambiental es necesario considerarlo en los diferentes programas que buscan el desarrollo sostenible. A nivel internacional existen acuerdos establecidos con diferentes países para contribuir a disminuir la contaminación ambiental presente en el planeta, por ejemplo, el acuerdo de Kioto, se elaboró en el año 1997, cuando 38 países industrializados se reunieron y se comprometieron a reducir en un 5% las emisiones de los seis gases del efecto invernadero, para detener el avance del cambio climático y el calentamiento global de la tierra. El Protocolo de Kioto se convirtió en Ley Internacional y entro en vigor en el

2005, cuando 55 países que representan un poco más de la mitad de emisores de gases, lo confirmaron. Estados Unidos es el único país que se apartó por completo del compromiso al no creerlo justo.

Actualmente existen varios países trabajando en el establecimiento de otros convenios que coadyuven a disminuir las emisiones de gases, tal el caso de México y Brasil. El tema ambiental es necesario abordarlo dentro de una agenda serie, y debe ser un eje transversal en los programas de gobierno.

En las condiciones de Guatemala es importante señalar que la situación existente en la cuenca del río Torjá, en el municipio de Jocotán, relativa a la degradación de los suelos y de los recursos naturales, constituye una muestra de lo que ocurre en otros departamentos del país, lo cual refleja la necesidad de establecer un marco jurídico que permita proteger y utilizar el suelo de forma sostenible. Es oportuno mencionar que es impostergable la formulación de una ley de desarrollo rural, la cual ha estado ausente a lo largo de nuestra historia, esto se puede observar al hacer un análisis de los indicadores que muestran la pobreza, la pobreza extrema, la desigualdad y la exclusión que vive la mayoría de la población del país, especialmente en los territorios rurales, situación que ha sido así desde la conquista hasta nuestros días.

Los esfuerzos gubernamentales e internacionales deben estar enfocados hacia la protección de los recursos naturales, así como, su utilización racional, promoviendo el desarrollo humano de las poblaciones que habitan estos territorios, que en su mayoría son campesinos e indígenas.

Es necesario reconocer que la actividad productiva a la que se dedica esta población es básicamente una economía de subsistencia, la cual debidamente apoyada puede producir excedentes, que dinamizarían la economía de los territorios rurales favoreciendo el nivel de vida de la población.

Huellas (2005) hace mención que la erosión de los suelos agrícolas causada por el mal manejo de estos y la intensificación de los cultivos amenaza el suministro de alimentos. Dentro de las tres regiones agropecuarias en que queda delimitada la ciudad de Argentina, son, las regiones húmeda, semiárida y árida, esta última abarca el 75% de la superficie total del país, lo cual exige prácticas especiales o bien riego para obtener cultivos de manera exitosa. La degradación hídrica se incrementó en 250 000 ha/año, y la eólica en 60 000 ha/año, en las últimas tres décadas, por lo que hoy en día los cultivos, a raíz del deterioro diversificado de los suelos manifiestan una evidente y variable disminución de su rendimiento. Ante esta realidad se ha producido una demanda creciente de nueva tecnología que incremente o mantenga los rendimientos sin afectar los suelos y conservando el recurso. Es así como ha surgido la agricultura sustentable, aproximación a un sistema productivo que optimiza la eficiencia de los insumos, rendimientos y bajos costos, sin dañar al hombre ni al ambiente y ser sostenible para las próximas generaciones. La agricultura sustentable tiene implicancias ecológicas (mantener el ambiente sin contaminar), económicas (rentable en corto y largo plazo), sociales (mejorar la calidad de vida de la población rural) y políticas (defender un sistema de vida de justa retribución). Significa volver a un sistema de producción diversificado, dejando de lado rígidas recetas relacionadas con el monocultivo y una mayor flexibilidad de enfoques y comportamientos por parte del productor.

#### **2.4 AGRICULTURA DE SECANO**

Quaranta (2012) expone que la agricultura de secano es aquella en la que los cultivos solo reciben el agua que aportan las lluvias, y que este término se aplica a las regiones donde la precipitación anual es inferior a 500 mm. La agricultura de secano se basa principalmente en técnicas de cultivo específicas que permiten un uso eficiente y eficaz de la limitada humedad del suelo.

Montero et al. (2008) indican que el agua es un recurso inapreciable y limitado, aunque parece abundante, por cubrir tres cuartas partes de la superficie de la tierra, solo una pequeña porción de agua dulce es aprovechable. Del total aprovechable casi el 70 % es

utilizada en la producción de alimento. Una vía factible para incrementar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura es el aprovechamiento del agua de lluvia, sembrando en el período más lluvioso de cada temporada cultivos que sean resistentes a la sequía o de bajo consumo de agua. Uno de estos cultivos es el sorgo para grano (*Sorghum bicolor*), el cual presenta la peculiaridad de ofrecer una gran posibilidad para aumentar la producción de granos en aquellas regiones donde la limitada precipitación repercute en una producción muy baja de otros cereales, por lo que requiere de menores niveles de riego que otros cultivos. Además es una especie con crecimiento inicial rápido y alto índice de área foliar, lo que favorece la retención de humedad en el suelo (Padinha, 2006). Según refieren Mora et al. (1986) en México el cultivo del sorgo adquirió gran valor en los últimos años, donde ocupó el tercer lugar en importancia, sembrándose en una superficie aproximada a los 2,0 millones de hectáreas en las que se obtuvo una producción de 6,7 millones de toneladas, considerando las restricciones ecológicas como precipitaciones irregulares y mal distribuidas que enmascaran la producción de maíz, trigo, entre otros. También, este cultivo debido a sus características de resistencia a la sequía alcanzó gran interés en el contexto de la agricultura brasileña, principalmente, en regiones con ocurrencia frecuente de deficiencias hídricas (Bosco et al., 2002). Teniendo en cuenta estos resultados y la necesidad de contar con alternativas de alimentos para cubrir la demanda poblacional urbana de cereales para la alimentación animal se propuso como objetivo conocer la respuesta en el rendimiento del cultivo del sorgo en condiciones de secano en la agricultura urbana.

Gilles et al. (2006) señalan que los principales problemas que enfrenta la producción de arroz de secano en Nicaragua, está referido a rendimientos bajos, escasez de variedades mejoradas adaptadas a los diversos sistemas de producción, particularmente para los sistemas poco tecnificados o bien las condiciones de secano no favorecido, además un control de malezas ineficiente, problemas de sequía en las zonas arroceras del pacífico, presencia de suelos ácidos, plagas y enfermedades y la calidad de grano del arroz por lo general no reúne los requerimientos de la industria y por consiguiente compite difícilmente con el arroz importado.

Lizandro et al.(2011) exponen que a nivel mundial, la agricultura de secano produce el 55% de los alimentos y en Latinoamérica cerca del 90% del suelo cultivado corresponde a áreas sin riego, esto implica que se deben aplicar técnicas de manejo sustentables que involucren tecnología de bajos insumos externos en la agricultura de secano para aliviar la pobreza y mejorar la seguridad alimentaria, regularmente se utilizan los recursos naturales existentes en el interior del predio, tal el caso del compost, guano, rastrojos, esto minimiza los costos de producción y mitiga la contaminación hacia el medio ambiente.

Mencionan además, que existen factores socioeconómicos y culturales, asociados a los recursos naturales que condicionan la adopción de tecnologías de conservación de suelos, situación que puede ser diferente según el país o región, indican que los productores adoptan una tecnología cuando creen que una práctica los ayuda a conseguir sus metas económicas, sociales y ambientales. Sostienen que para una adopción exitosa de tecnologías de conservación de suelos éstas deben considerar el mejoramiento de la productividad y debe existir soporte técnico e institucional.

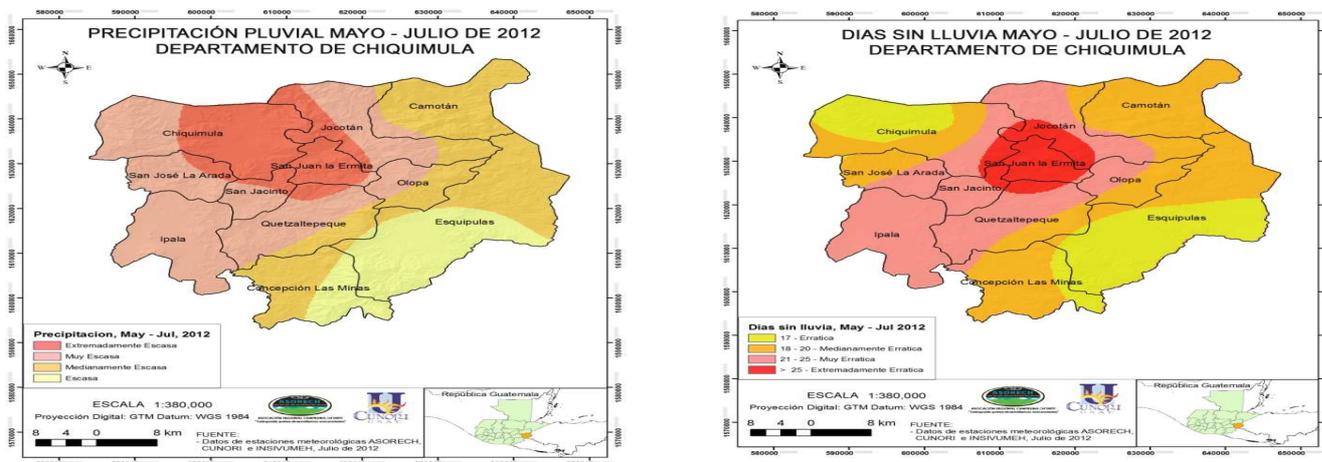
Ramón et al. (2011) indican que la agricultura en zonas áridas y semiáridas conlleva enfrentarse con la variabilidad y la imprevisibilidad. En la cuenca Mediterránea, la presencia de suelos poco fértiles, los contrastes climáticos y la topografía escarpada requiere una gestión cuidadosa en el manejo agrícola. Mientras que la intensificación de la agricultura ha llevado a estos ecosistemas a la degradación ambiental y la desertificación, contrarrestarlo con un manejo ecológico no es fácil. Se requiere hacer frente a la escasez, no sólo de biomasa y agua, sino de los conocimientos adecuados. Aun así, la gestión ecológica es la única opción para estabilizar estos ambientes.

Pardo et al. (2011) exponen que en condiciones de clima semiárido, la agricultura de cereales tiene una reducida rentabilidad debido a los escasos rendimientos y elevados costos de abonos y herbicidas. Dado que las condiciones climáticas impiden incrementar estos rendimientos, la viabilidad económica y la sostenibilidad ambiental de la agricultura en estas regiones pasan por reducir el costo de los insumos o por conseguir precios del producto superiores mediante la obtención de un certificado ecológico para su comercialización.

## **2.5 PÉRDIDAS DE COSECHA**

La política nacional de seguridad alimentaria y nutricional de Guatemala establece que toda persona tiene derecho al acceso físico, económico y social en forma oportuna y permanentemente; a una alimentación adecuada en cantidad y calidad, con pertinencia cultural, de preferencia de origen nacional, así como, a su adecuado aprovechamiento biológico, para mantener una vida saludable y activa. El gobierno adquiere el compromiso de facilitar que los alimentos que se produzcan, importen, procesen y comercialicen lleguen a toda la población. Se adquiere también el compromiso de mejorar la infraestructura vial, el transporte, las comunicaciones, el almacenamiento, el procesamiento, la transformación agroindustrial y la comercialización (SEGEPLAN, 2005).

La Asociación Regional Campesina Chortí (2012) expresa que la disponibilidad de alimentos para las familias de escasos recursos que habitan en el área del corredor seco del oriente de Guatemala, está fuertemente vinculada al comportamiento de las condiciones ambientales, especialmente a la cantidad y distribución de las lluvias. La sequía agrícola que se presentó durante los meses de mayo, junio y julio del año 2012 se ha convertido en la principal amenaza para estas familias, pues dependen de la producción de maíz, frijol y sorgo para sobrevivir, agregan que en el departamento de Chiquimula, las asociaciones de campesinos manifestaron su preocupación sobre el problema de inseguridad alimentaria que se vislumbra por efecto de la sequía agrícola, situación que se confirmó con el apoyo de una red de 11 estaciones meteorológicas locales, que evidenciaron el comportamiento irregular de la precipitación pluvial, durante los primeros meses de la época lluviosa, resaltando las áreas con mayor escasez de precipitación y días sin lluvia que afectaron los cultivos, tal como se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1. Precipitación pluvial y días sin lluvia en el período Mayo-Julio 2012**  
**Fuente: Asociación Regional Campesina Chortí y Centro Universitario de Oriente**

En atención a esta problemática, la Asociación Regional Campesina Chortí – ASORECH-, las carreras de Agronomía y Administración de Tierras de CUNORI, realizaron un diagnóstico participativo, donde 42 líderes comunitarios de los 11 municipios aportaron información, que permitió identificar las áreas afectadas y estimar las pérdidas, utilizando orto fotografías y sistemas de información geográfica. Los resultados del diagnóstico permitieron ubicar las áreas afectadas y estimar la pérdida parcial y total de la producción de maíz y frijol de primavera. Los resultados del diagnóstico se presentan en la figura 2



**Figura 2. Pérdidas de cosecha por sequía 2012**  
**Fuente: Asociación Regional Campesina Chortí. 2012**

La pérdida total de cosecha de maíz y frijol en el departamento de Chiquimula se estima en 20 669 ha.; mientras que la estimación del área con pérdida parcial es de 54 134 ha. y en 12 600 ha. no se presenta pérdida. Los municipios más afectados son Chiquimula, Jocotán, Camotán, San Juan Ermita, San Jacinto y San José la Arada; donde se presenta pérdida total y pérdida parcial de los cultivos. En los municipios de Ipala, Olopa, Quezaltepeque, Concepción las Minas y Esquipulas se presenta pérdida parcial, que va desde el 70% a 40% de la producción, especialmente en las áreas más secas.

Según información estimada de MAGA (2012) se reportan daños a nivel nacional en maíz y frijol por la canícula prolongada en 13 departamentos, 46 municipios y 911 comunidades. Al momento se tienen identificadas 34 125 familias afectadas, donde el 91% corresponden a los que siembran maíz y 9% que siembran frijol, igualmente se estima una extensión dañada de 12 520 ha, de las cuales el 94% corresponde a maíz y 6% frijol, equivalente a una pérdida económica de Q 52 077 millones.

**Cuadro 1. Estimación de pérdidas de cosecha de maíz blanco por prolongación de la canícula y monitoreo de precios 2012**

No. Comunidades	Departamento	Rendimiento Esperado (qq/mz)	Rendimiento con Pérdidas (qq/mz)	Pérdida de Cosecha %	Precio Actual Q.
7	Jutiapa	36,43	10,14	72	130
7	Jalapa	22,14	5,00	77	157
3	Chiquimula	19,00	1,50	93	185
3	Zacapa	20,33	3,33	83	170
3	El Progreso	20,49	3,28	83	171
23		23,68	4,65	82	163

\$ 1,0 = Q 7,8

**Fuente: Datos de campo PMA-FEWS NET-MAGA 2012**

Los rendimientos estimados de maíz y frijol fueron en monocultivo. El maíz se visualiza como el cultivo más afectado con una mayor pérdida de rendimiento. La temporada de primera se destina mayormente a la producción de maíz, y la mayoría de agricultores ya no realiza la siembra de maíz de segunda. Adicionalmente, debe considerarse que en algunas comunidades de Jutiapa, Jalapa y Chiquimula todavía siembran maicillo asociado o en relevo al maíz, cuyo destino del grano es para consumo humano y otra parte para la venta a empresas pecuarias y para alimentación de aves, lo que puede ayudar en la alimentación y/o en la generación de ingresos para la compra de alimentos. El frijol, por otro lado, es el cultivo que se siembra más en la época de segunda. El ciclo de este cultivo es más corto, por lo que tiene el potencial de ayudar a la disponibilidad de grano en los hogares y el mercado nacional, así como también ser fuente de ingresos al venderlo. Para la temporada de postrera o segunda se tiene más posibilidades de obtener mejores cosechas con este grano, siempre que tenga una adecuada humedad en el suelo. Las estimaciones de las pérdidas obtenidas en esta época se muestran en cuadro No. 2 es importante señalar que el frijol como un grano básico se utiliza en la dieta diaria de las familias del área rural y es la principal fuente de proteínas.

**Cuadro 2. Estimación de pérdidas de cosecha de frijol negro por prolongación de la canícula y monitoreo de precios 2012**

No. Comunidades	Departamento	Rendimiento Esperado (qq/mz)	Rendimiento con Pérdidas (qq/mz)	Pérdida de Cosecha %	Precio Actual Q.
7	Jutiapa	7,83	1,75	77	356
7	Jalapa	15,43	1,93	87	374
3	Chiquimula	11,50	0,38	97	425
3	Zacapa	15,67	1,22	92	450
3	El Progreso	13,33	1,42	89	508
23		12,75	1,34	89	423

**Fuente: Datos de campo PMA-FEWS NET-MAGA 2012**

Según el estudio realizado por el MAGA (2015) la dirección de coordinación regional y extensión agrícola, determinó pérdidas en el cultivo del maíz en los once municipios del departamento de Chiquimula, causadas por sequía, las pérdidas afectan un área de 36 998,37 ha en todo el departamento, afectando a la población en sus diferentes estratos, es importante indicar que la siembra se realizó en el mes de mayo y la pérdida reportada corresponde al período de junio a julio del año 2015, tal como se muestra en el cuadro 3.

**Cuadro 3. Pérdidas de cosecha en el cultivo del maíz en el Departamento de Chiquimula 2015**

Municipio	Comunidades Afectadas	Familias Afectadas	Área perdida totalmente (ha)	Periodo de ocurrencia del fenómeno	Estimación del área sembrada (ha)	Estimación de pérdida en Quetzales	% de pérdida
Quezaltepeque	78	5 344	5 234,00	12/06/2015 al 16/07/2015	6 625,00	14 429 903,40	79
Olopa	28	5 179	2 165,00	15/06/2015 al 10/07/2015	2 547,00	6 848 556,00	85
San José La Arada	32	4 843	1 931,41	13/06/2015 al 08/07/2015	2 364,00	4 270 681,69	82
Ipala	45	3 359	5 514,27	13/06/2015 al 08/07/2015	6 540,00	11 802 895,33	84
Concepción Las Minas	90	2 508	1 467,40	13/06/2015 al 08/07/2015	2 059,00	4 604 388,58	71
Esquipulas	47	2 249	484,67	25/05/2015 al 17/06/2015	745,64	1 060 895,33	65
San Juan Ermita	34	2 692	1 139,20	13/06/2015 al 08/07/2015	1 632,89	2 827 614,66	70
Chiquimula	76	10 050	3 348,52	13/06/2015 al 08/07/2015	4 157,93	7 206 285,38	80
Jocotán	73	7 817	8 246,61	12/06/2015 al 08/07/2015	10 181,00	7 902 486,09	81
Camotán	88	6 034	6 042,90	08/06/2015 al 09/07/2015	7 837,00	10 618 313,12	77
San Jacinto	27	2 133	1 424,39	13/06/2015 al 08/07/2015	1 758,50	2 644 959,85	81
	618	52 208	36 998,37		46 438,00	74 216 979,61	78

\$ 1,0 = Q 7,8

**Fuente: MAGA 2015**

## 2.6 MODELACIÓN AGRÍCOLA

Pijo (2014) menciona que un modelo es una representación simplificada de un sistema real, e indica además que estos asumen diferente grado de complejidad en la simulación del sistema, dependiendo de los objetivos a lograr. Su utilidad radica no sólo en reproducir la realidad, sino, porque la simplifican y permiten que los procesos más importantes sean identificados, estudiados y pronosticados.

El autor expresa que los modelos de simulación aplicados a cultivos agrícolas son una categoría de modelos ambientales que, típicamente, predicen el rendimiento,

crecimiento y desarrollo de las plantas, la dinámica de humedad y otros nutrientes. Sin embargo, a pesar de que los científicos en diversas áreas, como la biología, agricultura y economía, han estado construyendo modelos de simulación por más de 30 años, la aceptación de estos dentro del flujo de la investigación científica fue muy lento hasta hace poco más de una década. En algunos países como Australia, Inglaterra, Holanda y Estados Unidos, la aceptación y el uso práctico han sido más rápidos. En general, son aceptables los puntos de vista de varios investigadores, quienes aseveran que el uso de los modelos de simulación para las ciencias agrícolas y biológicas, y sus usos prácticos están en un momento de gran importancia. Actualmente esto se opera en un ambiente de Windows, con posibilidades de representaciones gráficas y el uso de modernas herramientas estadísticas y económicas. Estas posibilidades pueden también combinarse armoniosamente con otras, como las técnicas de Análisis de Datos Espaciales (SDA), los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas de Posición Global (GPS). La aplicación de la modelación de cultivos en el mundo agrícola data de los años 70, pero cada vez son más accesibles los modelos de distintos tipos para analistas con diferentes niveles de experiencia y conocimiento. Sin embargo, los modelos agrícolas son solamente representaciones muy aproximadas de los sistemas reales, por el conocimiento incompleto de dichos sistemas, debido a la complejidad inherente a ellos. La utilización adecuada de tales modelos sólo es posible si el usuario posee un conocimiento sólido de la estructura del modelo, su alcance y sus limitaciones. Dentro del contexto de la agricultura local, la modelación de cultivos es una disciplina nueva y escasea la literatura sobre este tema.

El Centro de Investigación de Agricultura Tropical, CIAT (2014) ha estado trabajando en la modelación y pronósticos agroclimáticos, estableciendo convenios de cooperación que buscan fortalecer la capacidad de adaptación del sector agropecuario a la variabilidad y al cambio climático y mejorar la eficiencia del uso de los recursos en los sistemas productivos en regiones priorizadas. El apoyo al sector agropecuario incluye la gestión del riesgo agroclimático, mediante la evaluación y validación de modelos de cultivo. Además se contempla el análisis de dos componentes críticos para preparar los sistemas agrícolas colombianos a las presiones del clima, el primero de ellos lo

constituye la adaptación al cambio progresivo en el clima y el segundo, las respuestas ante efectos de variabilidad climática.

Los riesgos de pérdidas productivas para los agricultores (especialmente para aquellos con limitado nivel tecnológico) son muy altos durante eventos Niño/Niña muy intensos. Por este motivo, el sector agricultura ha sido seleccionado como prioridad nacional en el contexto de cambio climático. En este sentido, y sumado a las significativas brechas productivas que pueden existir en diversas zonas del país, es importante identificar las medidas de corto y largo plazo que permitan la sostenibilidad del sector. Se han seleccionado cinco sub-sectores: arroz, yuca, frijol, maíz y papa. Estos cultivos representan una gran parte de la oferta alimentaria del país y por tanto son críticos para la seguridad alimentaria. La yuca, en particular, presenta una gran capacidad de respuesta a condiciones adversas y en sí misma podría jugar un papel muy importante en el futuro.

Además se identificarán estrategias adaptativas de largo plazo (particularmente las relacionadas con germoplasma) y se diseñarán pilotos en pronósticos estacionales involucrando modelos de clima y cultivo contextualizados a la realidad nacional. Las zonas priorizadas son aquellas con producciones menos tecnificadas y por tanto, con menor capacidad de respuesta a eventos climáticos en general.

Los sistemas de modelación tienen varias utilidades, Chávez (2011) presenta una modelación de la transferencia de agua y transporte de solutos en sistemas de drenaje agrícola subterráneo. Las transferencias de agua se modelan con la ecuación de Richards para el proceso de infiltración y se utiliza la ecuación de Boussinesq para el proceso de drenaje. La ecuación advección-dispersión acoplada a las ecuaciones anteriores se utiliza para modelar el transporte de los solutos. La solución de las ecuaciones se realiza de manera numérica utilizando el método de diferencias finitas.

Los parámetros que intervienen en estas ecuaciones se estiman mediante la aplicación de una metodología basada en la curva granulométrica y problemas inversos. La capacidad descriptiva de las soluciones se verifica mediante un experimento realizado en laboratorio. Finalmente, los resultados que se obtienen permiten recomendar la metodología de caracterización hidrodinámica empleada y las soluciones mostradas,

para estudiar la transferencia de agua y el transporte de solutos en el diseño de sistemas de drenaje agrícola parcelario.

Vásquez et al. (2011) realizan una modelación estadístico – matemática para el estudio de la sostenibilidad socioeconómica en el sector agrícola y pecuario del municipio de San José de las Lajas, provincia de Mayabeque, Cuba, la investigación tuvo como objetivo contribuir mediante la modelación al análisis de la sostenibilidad socioeconómica en el sector pecuario, para ello se recolectó información sobre las diferentes variables que representan las dimensiones sociales y económicas de la sostenibilidad en la empresa Valle del Perú obteniendo diferentes índices socioeconómicos, el modelo que mejor se ajustó a los resultados de los diferentes índices fue el de tendencia cuadrática, al cual se le calculó la tasa de sostenibilidad relativa. Desde el punto de vista práctico esta investigación es una herramienta muy importante para la toma de decisiones por los actores sociales y locales en el sector pecuario.

Pijo (2014) menciona que el avance de los sistemas de información en la agricultura, muy unidos al desarrollo de los modernos ordenadores, más eficientes, rápidos y con mucha mayor capacidad de cómputo, ha permitido un desarrollo vertiginoso de esta nueva ciencia o conjunto de ciencias que se denomina Modelación de cultivos agrícolas. Estos modelos expresan matemáticamente el crecimiento y desarrollo de las plantas, integran conocimientos de fisiología, genética, ciencias del suelo, sistemas de bases de datos agrícolas, datos meteorológicos y otros relacionados con el manejo de las plantas en modernos software. Además agrega que una de las aplicaciones más importantes de estos modelos es poder predecir el rendimiento de los cultivos agrícolas en condiciones específicas y ser capaces de adaptarse al cambio de condiciones. Dichos modelos tienen un enorme potencial para ser usados como herramientas de trabajo en una agricultura moderna.

Roco et al. (2011) realizaron una investigación en donde se examinaron los factores que influye en la adopción de tecnologías de conservación de suelos a una población de 90 agricultores del secano interior de Chile. El análisis de adopción fue realizado por

medio de un modelo de regresión Probit, puesto que la variable dependiente es discreta, tomando valores de cero y uno. De acuerdo con los resultados del modelo econométrico, los parámetros de las variables edad, capacitación, tamaño predial, presencia de plantaciones forestales y presencia de aboneras son significativos e indican una relación positiva con la adopción. La superficie predial juega un rol importante en la adopción de las tecnologías, ya que los predios con mayores superficies, normalmente poseen mayor acceso al capital y al crédito, por lo que tienen capacidad de realizar inversiones a nivel predial. Las plantaciones forestales poseen una gran incidencia sobre la adopción de las tecnologías, dado por la necesidad del aseguramiento de la productividad de los terrenos en que se ubican dichas plantaciones. La capacitación resultó ser una variable altamente significativa en la adopción de tecnologías de conservación de alta inversión. Por otra parte, la presencia de aboneras aumenta la probabilidad de adopción de tecnologías que requieren mayor inversión. En este sentido, los resultados señalan que es posible vislumbrar el éxito de los programas que apuntan a la conservación de los recursos naturales, favoreciendo la capacitación y la implementación de tecnologías de conservación de bajo costo en etapas entre productores.

Burbano et al. (2009) indican que gran parte de la problemática de las cuencas hidrográficas rurales está ligada a transformaciones del territorio, relacionadas con la pérdida y reemplazo de vegetación natural y con el creciente uso de agroquímicos, como consecuencia de la expansión e intensificación de las actividades productivas de diversos tipos (Linkie et al., 2004). Estas afectan componentes estructurales y funcionales del paisaje, como los recursos edáficos e hídricos. Los impactos de los agro ecosistemas sobre el medio ambiente, en términos de pérdidas y traslocaciones de nutrientes hacia cuerpos de agua, se han relacionado con la continua e ineficiente aplicación de fertilizantes, que contribuye en gran medida a la degradación progresiva de la calidad de agua. Estudios empíricos y de modelamiento han demostrado que hay una relación causal entre la cantidad de nutrientes y sedimentos arrastrados a un cuerpo de agua y el tipo de coberturas presentes en la cuenca correspondiente. Hunsaker & Levine (1995) plantean la existencia de una alta correlación entre el incremento en áreas agrícolas y urbanas de una región y la consecuente disminución

en cobertura de vegetación natural, con altas concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo).

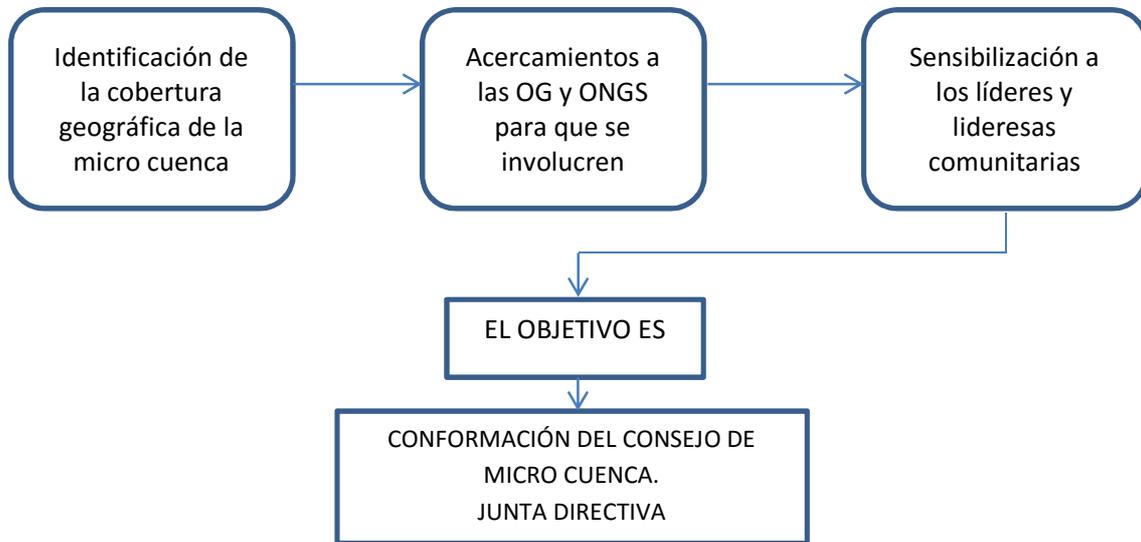
## **2.7 Planes de Manejo Agrícola**

El Centro de Cooperación Internacional para la Pre inversión CIPREDA, (2009) expresa que por sus características naturales y posición geográfica, Guatemala es afectada de manera recurrente por variedad de fenómenos como huracanes, lluvias intensas, tormentas tropicales, sequías y heladas, los que se agudizan a causa del cambio climático. Estos eventos, aunados a la vulnerabilidad de la población rural, con frecuencia se desencadenan en desastres naturales, que agravan las condiciones de vida de las comunidades.

Por tal razón los expertos han reconocido la importancia de la estrategia de manejo territorial desde el enfoque de cuenca hidrográfica, así como, la importancia de la gestión integrada de los recursos hídricos, con una visión sustentada en la organización social de la comunidad. CIPREDA ha formulado una guía para la elaboración de planes de manejo de micro cuencas que orienta y acompaña a los técnicos para garantizar la participación de la población en los planes de manejo.

Además el Plan de Manejo de la Micro cuenca es de mediano plazo y durará cinco años. Para desarrollar una gestión más eficiente se recomienda practicar revisiones y actualizaciones del plan de manejo cada vez que se elabore el Plan Operativo Anual – POA– de la micro cuenca.

Agrega que para que se establezca un plan de manejo de micro cuenca se debe contar con un Consejo de Micro cuenca que puede ser oficial o provisional. Los pasos necesarios se esquematizan en la figura 3:



**Figura 3. Pasos de un plan de manejo de una micro cuenca**  
**Fuente: Elaboración propia 2015**

La Secretaria General de Planificación (2011) indica que el ordenamiento territorial debe ser considerado como un proceso que se construye de manera participativa para promover el bienestar de todas las personas que viven en un determinado territorio. Tiene como objetivo superar desequilibrios económicos, ambientales y socio-culturales existentes y sentar las bases para un desarrollo equilibrado y sostenible a futuro, aprovechando las potencialidades y respetando las limitaciones de un espacio determinado. Además agrega que son varios los beneficios que se logran con esta estrategia, tal el caso que contribuye a mejorar las condiciones de vida de la población al realizar una planificación integral del desarrollo, protegiendo, conservando y aprovechando de manera sostenible los recursos naturales y el ambiente. Así mismo, identifica las necesidades de la población a través de un análisis prospectivo y en esa medida orienta el aprovechamiento sostenible del territorio y sus recursos.

Palma (2010) expresa que varias instituciones y organizaciones han trabajado durante la última década en propuestas metodológicas para elaborar planes de finca con productores y productoras. Hasta el momento no existe una versión aceptada como idónea, pero hay varios aspectos que las metodologías tienen en común, tal el caso,

del inventario de los recursos disponibles así como la lista de acciones por desarrollar y metas por cumplir. Agrega que no todas las metodologías analizan e incluyen la visión que tiene el productor y su familia de su unidad de producción y no siempre se incluye un paso metodológico que la familia deba ejecutar para priorizar las acciones, concluye que algunas metodologías no realizan una evaluación de la factibilidad técnica o socioeconómica de las acciones priorizadas.

Sampaio (2009) menciona que los procesos de degradación del suelo, tales como: la desertificación, la erosión, la reducción del contenido en materia orgánica, la contaminación, la salinización, la compactación y la reducción de la biodiversidad, pueden causar la degradación de algunas de las características que confieren al suelo la capacidad para ejercer sus funciones. Sin embargo, la agricultura también puede aportar soluciones para muchos de los desafíos actuales, tales como, el cambio climático y otras perturbaciones ambientales. Autores como, Chatskikh & Olesen (2007); Xiao-Bin et al. (2006) han llamado la atención para muchas cuestiones relacionadas con la llamada agricultura ecológica. Por lo tanto, uno de los objetivos actuales de la agricultura es alcanzar el verdadero equilibrio entre una producción competitiva y el respeto por el medio ambiente. Además agrega que antes que la mayoría de los suelos explotados por el hombre pierdan su riqueza, es necesario un cambio en los hábitos. El agricultor debe modificar sus sistemas de explotación de la tierra con base a las potencialidades edafoclimáticas y así alcanzar el referido equilibrio, es decir, métodos de cultivo sustentables. Según Bastin et al. (2002) los sistemas de producción que se preocupan por la protección y conservación de recursos como el agua, el suelo y la materia orgánica entre otros, parecen ser los más favorables para el desarrollo de hábitat funcionales. Además Xiao-Bin et al. (2006) valoran positivamente la relación entre los sistemas de conservación y el uso sustentable a lo que afirman que existen diversos potenciales beneficios en los sistemas de conservación, tales como en el secuestro de carbono, disponibilidad de nutrientes y productividad. Carvalho (2002) afirma que la actividad agrícola y la protección del suelo o la economía y el medio ambiente no son objetivos en conflicto sino dos caras de la misma moneda. Además, según este autor, existe una clara responsabilidad del hombre en cuanto al estado de

degradación actual de la mayoría de los suelos portugueses. Carvalho et al. (2002) observaron que, por ejemplo, el bajo contenido en materia orgánica de los suelos portugueses no es una consecuencia inevitable del clima mediterráneo, sino el resultado de sistemas de movilización demasiado intensivos y de sistemas de cultivos que dejan poco o ningún residuo orgánico en el suelo.

Sampaio (2009) concluye que el sistema de agricultura de conservación, que recurre a la siembra directa durante períodos prolongados de forma consecutiva, produce alteraciones benéficas en el contenido de Materia Orgánica, en la razón C/N, en la Densidad Aparente, en la Estabilidad de Agregación. Así la agricultura puede tener un papel favorable en cuanto a la capacidad del suelo para producir vegetales, gestionar el régimen hídrico, secuestrar carbono orgánico y resistir a la erosión; Todas las características mejoradas por el sistema de conservación, permitieron que el suelo presentara una mayor diferenciación de capas y un mayor espesor del perfil, mayor estabilidad en sus características, menor compactación, mayor capacidad de retención de agua y por lo tanto, mejor equilibrio entre aireación y humedad, alcanzando mejores condiciones para el desarrollo de hábitat funcionales y para la producción vegetal, fuente de energía indispensable para la vida; el sistema de producción que recurre a la siembra directa, demostró tener, no sólo un potencial de conservación, sino también, un potencial de recuperación de este recurso. Esto representa una importante alternativa en cuanto a la reducción de procesos graves de degradación medioambiental inducidos por la agricultura.

Ballantyne (2010) menciona que la actual crisis alimentaria ha reinstalado la agricultura y la seguridad alimentaria en las agendas nacionales y de desarrollo. Se han movilizad recursos internacionales adicionales, se han reforzado las iniciativas nacionales y regionales y se han propuesto una serie de instrumentos y enfoques nuevos e innovadores. La mayoría de estos esfuerzos requieren de mayor inversión en la generación de conocimientos, el acceso a información y el uso más amplio de tecnologías de información y comunicación (TIC). La información y comunicación agraria genera oportunidades para los especialistas en información y comunicación, lo cual incluye aprovechar los conocimientos de los agricultores, emplear tecnologías de

la información y comunicación (TIC) para fomentar actividades de desarrollo agrícola, asegurar que las inversiones públicas generen bienes públicos cuyos beneficios puedan desplazarse, permitiendo que los contenidos agrícolas sean abiertos y accesibles, aprovechado el poder de la web social y transformando el papel de las bibliotecas y centros de información.

Elein et al. (2007) exponen que el uso de prácticas inadecuadas para el manejo de los suelos y cultivos, entre las cuales se encuentran la aplicación indiscriminada de agroquímicos, como son los fertilizantes minerales para mejorar la nutrición vegetal, ha conllevado al deterioro de las características químicas, físicas y biológicas de los suelos, así como, ha provocado la susceptibilidad de las plantas al ataque de plagas, causando grandes problemas en la mayoría de los casos de carácter irreversible, reduciendo drásticamente la capacidad productiva, tornándose los cultivos insostenibles como consecuencia de sus altos costos económicos, ecológicos y sociales. El enfoque de sostenibilidad pregona el cambio de modelos de usos intensivos, que ponen en constante conflicto al hombre con la naturaleza, por otros donde la utilización de recursos propios de la naturaleza es de vital importancia, ya que generan beneficio sobre la nutrición vegetal y se constituyen en alternativa a los fertilizantes químicos. A lo anterior, se suma la necesidad de mejorar la calidad e inocuidad de los alimentos, en función de las necesidades cada vez más crecientes de la humanidad por el consumo de frutas y hortalizas sanas. En el contexto cubano, a partir de la década del 90, la agricultura comienza una etapa de sustitución de insumos de conversión horizontal, llevada a cabo a partir de la producción con menos insumos químicos, técnicas para la recuperación de suelos y manejo integrado de plagas basados en el control biológico.

Banda (2007) plantea que existen nuevas actividades en el medio rural, que superan la noción agrícola tradicional, plantean la necesidad de organizar y optimizar las relaciones que se establecen entre los actores que participan de estas actividades. Desde el sector público se busca dar respuesta a estas necesidades por medio de planes de desarrollo; sin embargo, la experiencia indica que estos planes quedan como declaración de buenas intenciones sin mayor impacto en la población rural. Para enfrentar esta situación, se propone implementar los planes de desarrollo a través de

un modelo de gestión, denominado Cuadro de Mando Integral, con el cual se define una hipótesis de planificación para sustentar las respuestas a los nuevos desafíos de las zonas rurales. Al analizar las estrategias empresariales de la última década hasta hoy, es posible identificar una clara tendencia hacia la gestión del valor en el desarrollo de ventajas competitivas; el valor de una empresa ya no se mide sólo por sus activos tangibles, sino por la habilidad que tienen las empresas para explotar sus activos intangibles.

El autor expresa que el Cuadro de Mando Integral fue desarrollado originalmente para empresas donde el objetivo último es lograr rendimiento para los inversionistas, o accionistas, como retribución al capital aportado; sin embargo la experiencia ha demostrado que este método también puede ser aplicado a la gestión de organismos públicos, como los gobiernos locales, donde el objetivo es maximizar el beneficio a la comunidad. Al revisar aplicaciones del Cuadro de Mando Integral en tres experiencias de gobiernos locales, se desprende que las perspectivas bajo las cuales se propone organizar los objetivos de un plan de desarrollo para una comuna son: beneficio a la comunidad, gestión económica financiera, procesos internos, aprendizaje y crecimiento. Sibello et al. (2011) indican que la erosión de los suelos se considera junto al calentamiento global y a los cambios climáticos uno de los problemas ambientales más serios en el mundo. Esta situación demanda especial atención en los países en vías de desarrollo donde la producción agrícola de alimentos es una necesidad creciente, debido al rápido incremento poblacional y donde malas prácticas agrícolas aceleran la erosión de los suelos. En la actualidad es necesario obtener datos cuantitativos confiables referidos a la extensión y a las tasas de erosión de los suelos para conocer la magnitud del problema y tomar medidas de conservación efectivas para el desarrollo sostenible de la producción agrícola y la protección ambiental.

## **2.8 Importancia del Recurso Hídrico en la Agricultura de Secano**

Montero et al. (2009) realizaron un estudio en el contexto urbano donde el riego juega un papel de gran importancia, sin embargo la disponibilidad de agua de buena calidad para riego es escasa, situación que exige fuentes alternativas para estos fines, ellos

plantean el uso de aguas residuales urbanas, en este sentido Ortega & Orellana (2007) plantean que en el riego, es posible el empleo de prácticamente cualquier tipo de agua a pesar de las malas características que esta pueda tener, por otra parte; Pérez & Hernández (2007) expresan algunas posibilidades que ofrece la utilización de aguas residuales en el riego de los cultivos como son: aumento del 20% de productos agrícolas frescos, ahorro del 10% de fertilizante y disminuye al 60% los gastos por concepto de transportación y otros insumos. Una de las consecuencias por las limitaciones con el agua para el riego, se refleja en la baja producción de alimento animal en áreas urbanas y periurbanas, situación que repercute negativamente en la seguridad alimentaria de la población, razones que motivan a realizar estudios en el manejo del riego con aguas residuales como alternativa, para obtener producciones altas y estables de granos destinados a la alimentación de los animales. Todo esto influirá en un beneficio económico, social y medio ambiental que contribuirá a la seguridad alimentaria del país. Además se propone estudiar el efecto del riego con aguas residuales urbanas sobre el rendimiento y la productividad del agua en el sorgo y maíz cultivados en áreas de agricultura urbana.

Becerra et al. (2012) mencionan que en México el maíz (*Zea mays* L.) y el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) son la base de la alimentación de la mayoría de las familias. Cada año se cultivan de 7 a 8,5 millones de hectáreas de maíz y 1,8 a 2,1 millones de hectáreas de frijol; de las cuales el 85 % son sembradas en áreas de temporal. Agregan que en las regiones de secano o temporal, la producción de los cultivos está limitada por la cantidad y la distribución de las lluvias, principalmente en localidades donde la precipitación pluvial es menor a 500 mm anuales y el 80 % se presenta en eventos irregulares durante tres a cuatro meses, favoreciendo la pérdida de agua por escorrentía; en estas condiciones es común que los cultivos presenten estrés hídrico que afecta su tasa fotosintética y con ello su productividad. Mediante algunas prácticas de labranza es posible mejorar la eficiencia en el uso del agua de lluvia y el rendimiento de los cultivos. Reduciendo las pérdidas de agua de lluvia por escurrimiento, es posible obtener un periodo más largo de humedad del suelo, lo cual puede favorecer el desarrollo de los cultivos. Actualmente existen varios modelos para establecer sistemas

de captación de agua en el área de cultivo; la elección de alguno de ellos depende de varios factores, como son: tipo de suelo, topografía, cantidad y distribución de lluvias y longevidad del cultivo. Todos los modelos se basan en la formación de surcos, camellones y superficies de escurrimiento. La formación de micro-cuencas es una de estas prácticas, que consiste en la modificación de la superficie natural del terreno mediante bordos y zanjas; esto permite inducir el flujo de la escorrentía del agua de lluvia hasta un área de captación o a la raíz de las plantas.

Brown et al. (2008) mencionan que la sequía agrícola puede definirse como la afectación notable de los rendimientos de los cultivos a consecuencia de reducción de la cantidad y distribución de las precipitaciones, el contenido de humedad en el suelo y las pérdidas de agua por evapotranspiración. En este tipo de sequía, el déficit de agua en el perfil de suelo constituye un factor que limita la producción agropecuaria. Agrega además, que el déficit hídrico debe analizarse a partir de la sequía meteorológica causante de la disminución de los valores de precipitación, la sequía hidrológica promotora del descreimiento de los recursos hídricos y la sequía agrícola causante de las pérdidas económicas en la agricultura (Peñas, 2005). Las estrategias para enfrentar el impacto de las sequías en áreas rurales están relacionadas con el control agrícola como medida para la mitigación del déficit hídrico (Vargas & Cepero 2006), la cual depende potentemente de las condiciones sociales, económicas, culturales y físicas existentes en la localidad; así como del ambiente, del cultivo y del tipo de suelo.

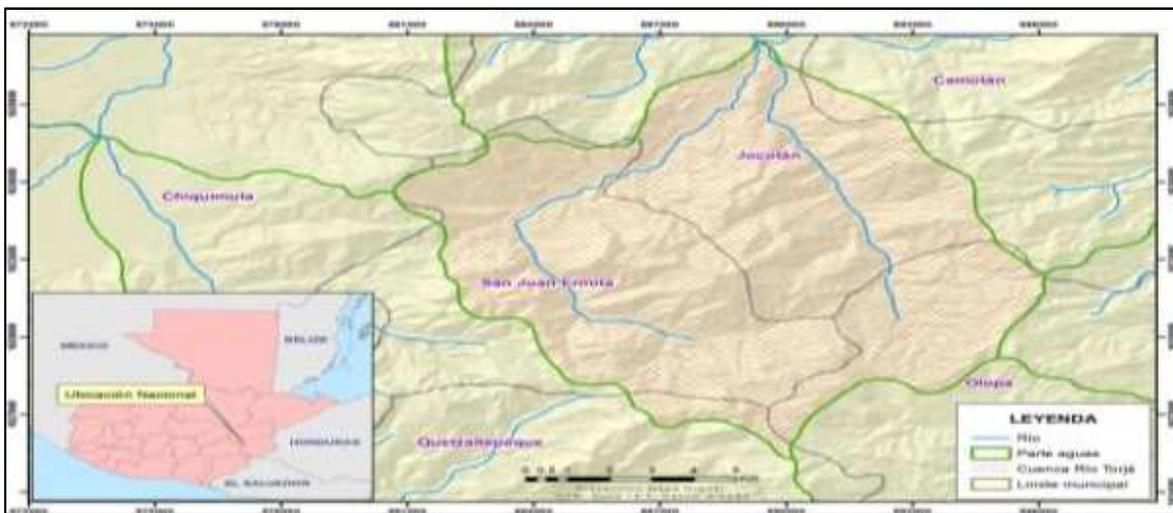
### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterización de la micro cuenca del río Torjá**

En este capítulo se presentan todos los materiales de trabajo y los métodos seleccionados para abordar la investigación realizada en la micro cuenca del Río Torjá perteneciente a la cuenca del Río Grande, Chiquimula.

### 3.1.1 Localización del área de estudio

El área de estudio comprende la micro cuenca del río Torjá, que comparte jurisdicción con los municipios de Jocotán, Camotán, San Juan Ermita, Olopa y Quezaltepeque, con una extensión de 5 688 hectáreas equivalente a 56,88 kilómetros cuadrados. La micro cuenca desemboca cerca de la cabecera municipal de Jocotán, ubicada a 25 Km de la cabecera departamental de Chiquimula y se localiza dentro del cuadrante definido por las coordenadas geográficas  $89^{\circ} 27' 58''$ ,  $14^{\circ} 49' 12''$ ;  $89^{\circ} 19' 15''$ ,  $14^{\circ} 40' 13''$  (Sistema Coordinado GTM, Zona 15,5, Datum WGS84), tal como se muestra en la Figura 4.



**Figura 4. Ubicación de la micro cuenca del río Torjá, del departamento de Chiquimula**

**Fuente: Instituto Geográfico Nacional –IGN– Guatemala. 2012**

### 3.1.2 Características Biofísicas del Área de Estudio

#### 3.1.2.1 Zonas de Vida

Con base al mapa de zonas de vida elaborado por el MAGA, la micro cuenca del río Torjá comprende dos zonas de vida, Bosque Seco Subtropical –bs-S– y el Bosque Húmedo Subtropical templado –bh-S(t)–. Como es muy común en el territorio

guatemalteco esto ocasiona que las condiciones climáticas y los ecosistemas que se desarrollan puedan cambiar drásticamente en un área relativamente pequeña.

Con base a lo determinado por De La Cruz, (1982), se definió que la parte noreste de la cuenca pertenece a la zona de vida Bosque Seco Subtropical, representando un 10,89% del área total. Se caracteriza por una precipitación entre 500 y 1000 mm/año; la temperatura varía entre 19 - 24 °C, y una relación de evapotranspiración potencial de alrededor de 1,5. En el cuadro 4, se muestra un listado de especies vegetales indicadoras de esta zona de vida.

**Cuadro 4. Especies vegetales indicadoras de la zona de vida Bosque Seco Subtropical en Guatemala**

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMÚN</b>
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Pochote
<i>Swietenia humulis</i>	Caoba del pacífico
<i>Alvaradoa amorphoides</i>	Cola de ardilla
<i>Sabal mexicana</i>	Botán
<i>Phylocarpus septentrionalis</i>	Guacamayo
<i>Ciba aescutifolia</i>	Ceibillo
<i>Albizzia caribea</i>	Conacaste blanco
<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle colorado
<i>Avicennia nitida</i>	Mangle blanco
<i>Leucaena guatemalensis</i>	Yaje

**Fuente: De la Cruz, 1992**

El 89,11% del área de la micro cuenca del río Torjá, pertenece a la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical (templado), presentando una precipitación promedio entre 1 100 y 1 349 mm/año. La temperatura media anual varía entre 20 y 26 °C; con una relación de evapotranspiración potencial alrededor de 1,0. Su distribución comprende tanto la zona Este y Oeste de la cuenca, así como gran parte del interior de ésta. Las especies vegetales indicadoras de esta zona de vida se presentan en el cuadro 5.

**Cuadro 5. Especies vegetales Indicadoras del Bosque Húmedo  
Subtropical (templado), Guatemala**

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Pinus oocarpa</i>	Pino colorado
<i>Curatella americana</i>	Lengua de vaca
<i>Quercus spp.</i>	Roble, encino
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance

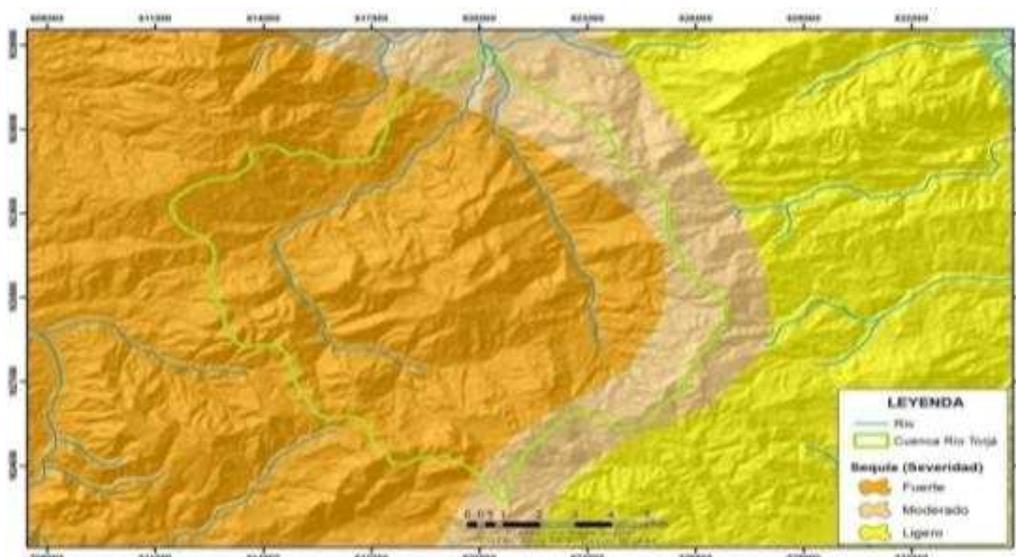
**Fuente: De la Cruz, 1992**

### 3.1.2.2 Clima

El rango altitudinal varía entre los 413 y los 1 722 msnm, esto tiene como consecuencia que las condiciones climáticas a nivel local varíen marcadamente dentro del territorio municipal.

De acuerdo con los modelos climáticos generados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala; la precipitación en el área propuesta para el estudio varía entre 728 y los 1 099 mm anuales, aunque estas estimaciones no corresponden a las reales, principalmente por la escasa información de indicadores climáticos disponibles y los cambios originados por el calentamiento global.

El área que ocupa la micro cuenca del río Torjá, pertenece en su mayoría a lo que se conoce como el corredor seco de Guatemala, como se observa en el Figura 5, el cual se caracteriza por ser el área, del territorio guatemalteco, que más propensión a la sequía presenta, a pesar que de los datos anteriores se pudiese deducir lo contrario, lo cual pone en riesgo la agricultura de subsistencia, sus cosechas, y reduce la seguridad alimentaria.



**Figura 5. Distribución del área de estudio, según la severidad de sequía**

**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

### **3.1.3 Aspectos Sociales.**

El área de estudio comprende 54 comunidades, según la información cartográfica generada por el INE en 2005, distribuidas de la siguiente manera: 19 en el municipio de Jocotán, 7 en el municipio de Olopa, 1 en el municipio de Quezaltepeque y 27 en el municipio de San Juan Ermita, como se muestra en el Cuadro 6.

Existe una población total de 58 950 habitantes, según el último censo de población en el año 2002. Compuesto por 49% hombres y 51% mujeres; y los cuales habitan en su mayoría en las zonas rurales, por lo que la presencia humana en dichas zonas genera presión por los recursos naturales, especialmente el agua, los bosques y el suelo, derivada de la actividad agrícola de subsistencia típica de las áreas rurales de Guatemala.

**Cuadro 6. Centros poblados dentro del área de estudio según el Instituto Nacional de Estadística, dentro de la cuenca del río Torjá, Chiquimula**

<b>MUNICIPIO</b>	<b>COMUNIDAD</b>	<b>MUNICIPIO</b>	<b>COMUNIDAD</b>
<b>JOCOTÁN</b>	AGUA ZARCA	<b>SAN JUAN ERMITA</b>	CHISPAN JARAL
	TUNUCO		MATASANO
	PIEDRA PARADA		MOJON
	TUNUCO ARRIBA		QUEQUEXQUE
	POTRERO		ENCUENTROS
	EL RODEO		RIO ARRIBA
	CANAPARA ABAJO		SAN ANTONIO LAJAS
	CAPAPARA ARRIBA		TAXARJA
	TUNUCO ABAJO		LA CEIBA
	TESORO		LA MONTADA
	TESORO ARRIBA		CHURISCHAN
	LAS CRUCES		LAGUNETAS
	PAJALES		LAS VENTANAS
	PACREN		CARRIZAL
	LA ARADA		MIRAMUNDO
LOS VADOS	VIVIENDA NUEVA		
LOS CARDONA	LOS PLANES		
TIERRA BLANCA	POBLACION DISPERSA		
TISUBIN	SAN JUAN ERMITA		
	MINAS ABAJO		
	EL COCO		
	BUENA VISTA		
	CAULOTES		
	PEÑASCO		
	LA CEIBITA		
	ZARZAL		
	VUELTA EL ROBLE		
<b>OLOPA</b>	EL GUAYABO	<b>QUETZALTEPEQUE</b>	OJO DE AGUA DE LA GARZA
	TALQUEZAL		
	TITUQUE		
	TUTICOPOTE ABAJO		
	TUTICOPOTE ARRIBA		
	EL ROBLARCITO		
AGUA BLANCA			

**Fuente: Lugares Poblados, Instituto Nacional de Estadística. 2005**

### **3.2 Métodos de trabajo**

Se realizó la caracterización de la micro cuenca del Río Torjá, que constituye el punto de partida para el diseño de la estrategia. En los párrafos siguientes se exponen los métodos de trabajo utilizados.

### **3.2.1. La Cuenca como unidad de estudio**

Las cuencas hidrográficas llegaron a ser consideradas, a finales del siglo anterior, como una unidad de planificación del recurso hídrico, en donde su gestión o manejo se orientaba más a usos como generación de energía hidráulica o eléctrica, irrigación, consumo, recreación u otro. En la actualidad, comprendemos que las cuencas hidrográficas son mucho más que eso, son considerados sistemas bien complejos que engloban una gran cantidad de actores directos e indirectos que hacen algún tipo de presión sobre los recursos naturales.

Esto hace necesaria una gestión amplia hacia un manejo integral de los recursos naturales en función de los habitantes de la cuenca, considerándose como un sistema natural de planificación. Si se ve a la cuenca como un sistema, al interior interactúan diversos elementos que conforman los subsistemas: natural o biofísico, socioeconómico, político-institucional, y características de la población y su cultura. Estas interacciones en su conjunto, poseen diversos grados de intervención, deterioro o conservación de los recursos naturales de la misma.

Para la caracterización de la micro cuenca del Río Torjá se elaboraron mapas temáticos del área de estudio; se realizaron visitas de campo (Método de Observación); se recopiló información sobre las características socioeconómicas de la población y fueron realizadas investigaciones de campo y de laboratorio para obtener resultados sobre los recursos naturales de la zona.

Además fue necesario conocer los componentes básicos de una cuenca, con el fin de organizar la información que se recopiló. Los componentes básicos evaluados se dividieron en dos grandes grupos; el componente biofísico y el componente socioeconómico.

Para poder obtener información se apoyó la investigación con fuentes secundarias que han sido generadas por el MAGA, INSIVUMEH, INE, La Mancomunidad Copan Chortí, Acción contra el Hambre, Municipalidades, Ministerio de Educación, Ministerio de Salud Pública y Ministerio de Gobernación.

### **3.2.1.1. Elaboración de mapas temáticos**

Para la elaboración de los mapas temáticos se utilizó:

El análisis fisiográfico de la cuenca del río Torjá, se desarrolló mediante el uso de la herramienta de geo procesamiento del programa de ArcGIS 9,2 disponible en el laboratorio del Sistema de Información Geográfica del Centro Universitario de Oriente (CUNORI), considerando el relieve del terreno, identificando seis áreas fisiográficas: Planicie, Colina, Colina Alta, Ladera Baja, Ladera Alta y Cresta.

Las unidades fisiográficas son un paso intermedio para determinar las unidades homogéneas de muestreo. El mapa se realizó a una escala 1:50 000, utilizando como base el modelo de elevación digital del terreno producido por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, de Guatemala.

El Análisis Geológico se desarrolló digitalizando el mapa de la hoja geológica 2 360 II G, publicada por el Instituto Geográfico Nacional, ya que el formato disponible no era compatible con las herramientas informáticas de análisis cartográfico. En total, existen 12 tipos diferentes de unidades geológicas, las cuales fueron incluidas como variables únicas en el proceso de determinación de las unidades de mapeo.

El Análisis Climático, indispensable para analizar la variable clima se consideró la zona de vida, como un elemento que engloba el clima.

A partir de estas técnicas se confeccionaron los mapas siguientes:

El mapa fisiográfico de la micro cuenca, el mapa geológico y el mapa de las zonas de vida. Estos mapas fueron utilizados para definir las unidades de mapeo que sirvieron para definir los puntos de muestreo y la diferenciación de los suelos presentes en la micro cuenca.

Posteriormente se formularon los mapas correspondientes a los indicadores utilizados para definir la vulnerabilidad de los suelos a problemas de sequía.

### **3.2.1.2 Recopilación de información socioeconómica.**

Se realizó un análisis documental sobre la densidad poblacional, alfabetismo, intensidad de uso de la tierra. Estos datos fueron suministrados por el Instituto Nacional

de Estadística (INE, 2002) y la Dirección Departamental de Educación, con sede en Chiquimula.

### **3.2.1.3 Recopilación de datos ambientales**

Se visitó la estación meteorológica de Esquipulas, para la obtención de registros de altitud, humedad relativa, precipitación y temperatura de los últimos diez años, en el área de estudio.

### **3.2.1.4 Recopilación de datos edáficos**

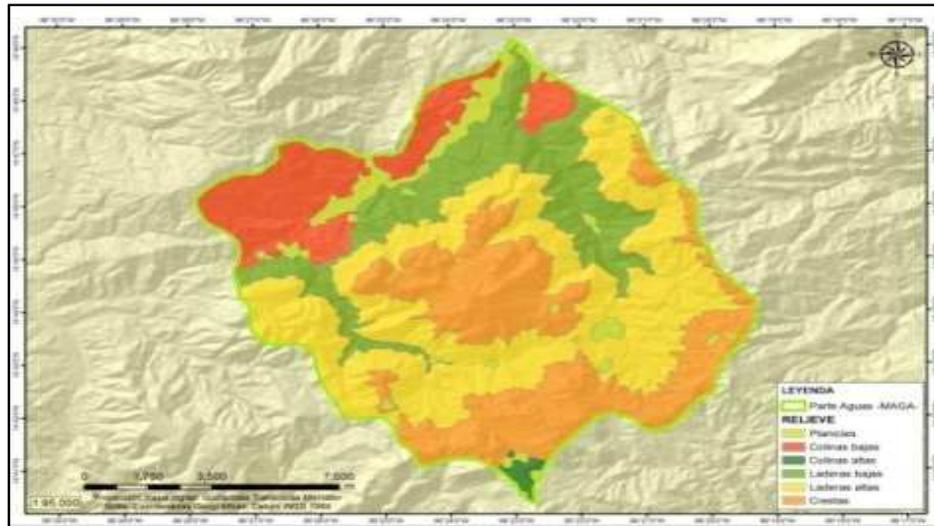
Se determinó el procedimiento de muestreo a través del análisis fisiográfico, geológico y las zonas de vida, esto permitió la determinación de las unidades de mapeo, determinándose 57 suelos diferentes en el área de estudio, lugares que fueron geo referenciados para posteriormente obtener en el campo las muestras para el análisis de fertilidad y constantes de humedad, en el campo se determinó la pendiente y la profundidad efectiva de los suelos.

La metodología de muestreo utilizada en la investigación se basó en la metodología del sistema de información geográfica, la cual utiliza los principales factores que intervienen en el proceso de formación de suelos, la misma se resume de la manera siguiente:

### **3.2.1.5 Definición de unidades de muestreo**

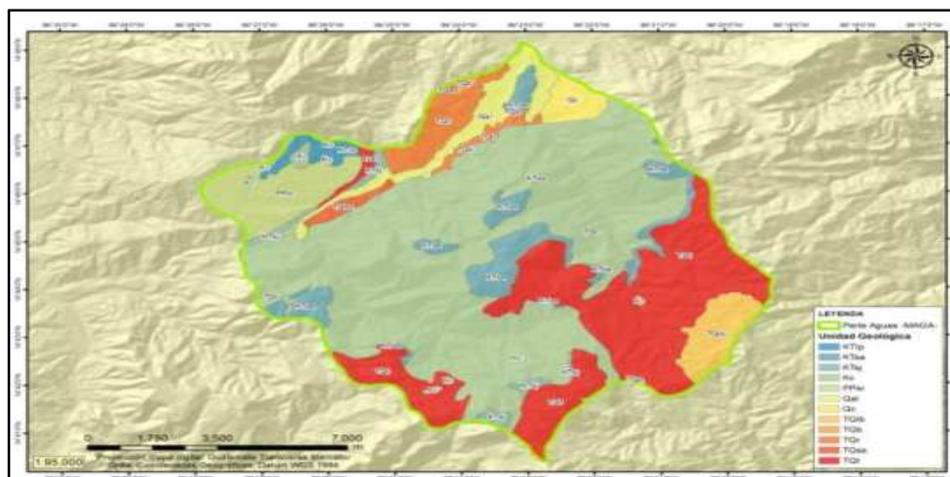
El relieve (equivalente a la fisiografía), el material parental (equivalente a la geología), el clima (equivalente a la zona de vida).

Considerando el relieve del terreno, se identifican seis áreas fisiográficas como se muestra en la figura 6.



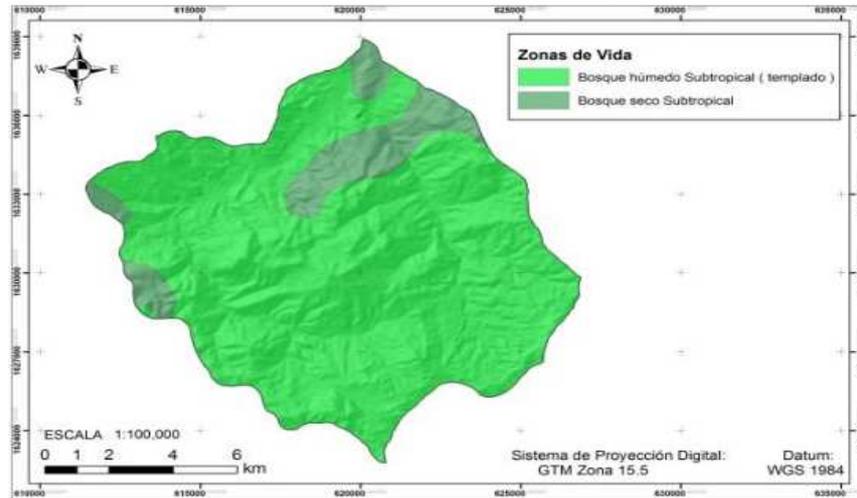
**Figura 6. Unidades Fisiográficas**  
**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

Para la variable geológica se digitalizó el mapa de la hoja geológica 2 360 II G, publicada por el Instituto Geográfico Nacional, ya que el formato disponible no era compatible con las herramientas informáticas de análisis cartográfico. En total, existen 12 tipos diferentes de unidades geológicas, las cuales fueron incluidas como variables únicas en el proceso de determinación de las unidades de mapeo. Como resultado de esta actividad intermedia, se obtuvo el mapa que aparece en la figura 7.



**Figura 7. Geología de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**  
**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

Para analizar la variable clima se consideró la zona de vida, como un elemento que engloba el clima. Se presentan dos zonas de vida en la micro cuenca analizada, como se observa en la figura 8.



**Figura 8. Zonas de vida de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula**  
**Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA–, 2002**

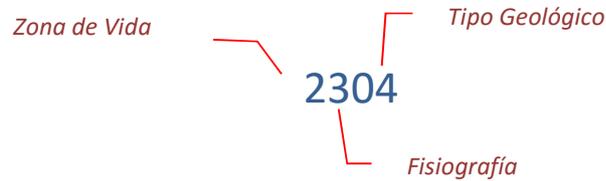
### 3.2.1.6 Definición de las unidades de mapeo

Se consideró los principios establecidos por la teoría del análisis de paisajes y la génesis de suelo; los cuales se pueden resumir con la siguiente premisa: *“Para iguales factores formadores de suelo: relieve-unidades de paisaje-, clima-zonas de vida-, y material parental-geología-; se obtendrá igual tipo de suelo”*

- a. **Se determinaron las Unidades de Mapeo**, mediante un análisis de superposición a través de Álgebra de mapas, el cual consistió en la codificación de cada uno de las variables y su posterior cálculo, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Unidad de Mapeo} = \text{Unidad de Paisaje} + \text{Geología} + \text{Zonas de Vida}$$

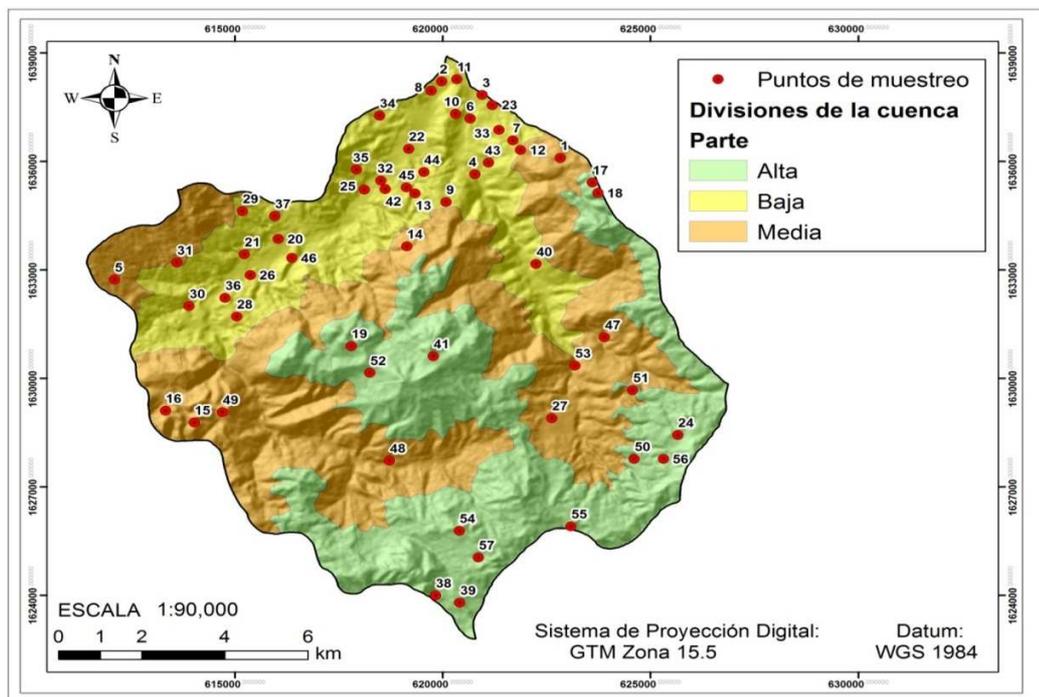
Del cálculo algebraico aplicado a los mapas resultó el código de la unidad de mapeo, el cual se puede interpretar a través del siguiente anagrama:



Esto permitió definir un total de 57 unidades de mapeo, equivalente a la existencia de 57 suelos diferentes en la micro cuenca, tal como se muestra en la figura 9.

**b. Localización de puntos de muestreo de suelos:**

POSICIÓN EN LA CUENCA	NÚMERO DE MUESTRAS
Parte Baja	31
Parte Media	13
Parte Alta	13



**Figura 9. Localización y distribución de puntos de muestreo de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

**c. Georeferenciación de los puntos de muestreo**

El cuadro 7 muestra el listado de coordenadas de los puntos de muestreo, para el estudio de las variables edafológicas del modelo de vulnerabilidad de los suelos a problemas de sequía.

**Cuadro 7. Georeferenciación de los puntos de muestreo**

No.	Punto de muestreo	Coord. X	Coord. Y	No.	Punto de muestreo	Coord. X	Coord. Y
1	1101	622837	1636101	31	2205	613603	1633200
2	1106	619974	1638219	32	2206	618515	1635471
3	1107	620952	1637269	33	2207	621353	1636873
4	1201	620775	1635645	34	2208	618482	1637269
5	1205	612108	1632727	35	2210	617931	1635774
6	1206	620665	1637190	36	2211	614763	1632229
7	1207	621689	1636584	37	2212	615961	1634492
8	1210	619728	1637956	38	2301	619829	1623986
9	1401	620085	1634877	39	2312	620415	1623794
10	1403	620309	1637320	40	2401	622251	1633166
11	1406	620341	1638280	41	2403	619776	1630609
12	1407	621877	1636317	42	2406	618618	1635233
13	1410	619338	1635117	43	2407	621104	1635966
14	1501	619137	1633651	44	2408	619548	1635711
15	1503	614023	1628775	45	2410	619135	1635281
16	1512	613329	1629103	46	2411	616373	1633328
17	1601	623601	1635421	47	2412	623897	1631136
18	1603	623742	1635127	48	2501	618720	1627723
19	2101	617802	1630890	49	2503	614701	1629066
20	2104	616043	1633856	50	2509	624614	1627770
21	2105	615229	1633428	51	2512	624573	1629675
22	2106	619181	1636349	52	2601	618250	1630150
23	2107	621198	1637564	53	2603	623182	1630349
24	2109	625659	1628432	54	2604	620402	1625778
25	2110	618118	1635222	55	2608	623090	1625904
26	2111	615374	1632856	56	2609	625318	1627765
27	2112	622629	1628898	57	2612	620865	1625043
28	2201	615044	1631706				
29	2202	615182	1634628				
30	2204	613898	1631995				

Sistema coordinado GTM  
Datum  
WGS1984

**Fuente: Sistema de Información Geográfica, CUNORI 2012**

Preparación de mapas para el apoyo del muestreo de suelos: Previo a la recolección de muestras de suelos en campo se elaboraron Ortofoto-mapas, para cada uno de los puntos de muestreo, con el propósito de facilitar la ubicación en campo de los accesos para llegar al área que fue muestreada y hacer esta tarea más eficiente. En la figura 10, se muestra a manera de ejemplo uno de los mapas preparados como material de campo para la localización de los puntos de muestreo. La recolección de muestra se realizó durante el primer semestre del año 2012.



**Figura 10. Ortofoto-Mapa generado para el muestreo de suelos**

**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

### **3.2.1.7 Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la micro cuenca**

Para el estudio de la fertilidad de los suelos de la micro cuenca del río Torjá, se analizaron las 57 muestras de suelos obtenidas del mismo número de unidades homogéneas de muestreo. Las muestras se obtuvieron del horizonte del suelo de 0 a 30 centímetros, y se analizaron a nivel de laboratorio en las instalaciones del Centro Universitario de Oriente CUNORI.

Los parámetros de fertilidad del suelo determinados en el laboratorio fueron: Materia orgánica, densidad aparente, textura, pH, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Estos parámetros permitieron elaborar mapas de fertilidad y además determinar el nivel general de fertilidad del suelo como parte del modelo para estimar la vulnerabilidad.

El contenido de materia orgánica se determinó a través del método Walkley Black, la densidad aparente por el método de la probeta. El análisis de textura se hizo por el

método de Bouyoucos, que relaciona el peso relativo de las partículas primarias del suelo y su velocidad de sedimentación. El pH se determinó usando un potenciómetro y el contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio mediante el método de Carolina del Norte y utilizando un espectrofotómetro de llama y absorción atómica, como se muestra en la figura 11.



**Figura 11. Espectrofotómetro de llama y absorción atómica**

**Fuente: Elaboración propia 2012**

Los resultados obtenidos de los 57 puntos, permitieron realizar el análisis para definir categorías para cada una de las unidades de muestreo, asignándoles un valor para la determinación del índice de vulnerabilidad.

### **3.2.1.8 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE**

Con el objetivo de establecer la confiabilidad de los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos, de los diferentes parámetros de fertilidad evaluados, se realizó un análisis de incertidumbre, para poder observar la variabilidad de los parámetros abordados, para ello se utilizaron 20 muestras de suelo, las cuales fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía para luego someterlas a una prueba “t” y evaluar si los dos grupos de datos obtenidos en el laboratorio difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias, a continuación se describe la metodología utilizada.

El procedimiento de muestreo estableció la existencia de 57 suelos diferentes en la micro cuenca del Río Torjá, se procedió a la recolección de las muestras, luego de ingresadas al laboratorio de suelos del CUNORI, se secaron, tamizaron y se identificaron, procediendo posteriormente a la determinación de pH, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio. La metodología de análisis utilizada fue la de Carolina del Norte o Método del Doble Acido (1984). Es importante indicar que luego de clasificadas las muestras se eligió en forma aleatoria 20 muestras de las 57 existentes, tomando la mitad de su contenido original y enviándolas posteriormente al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para su análisis respectivo, solicitando la determinación de los parámetros de fertilidad descritos anteriormente, esto como una réplica que permitiera comparar los resultados de ambos laboratorios.

Por cuestiones presupuestarias del proyecto se solicitó únicamente el análisis de 20 muestras de suelo.

Para el análisis de cada parámetro se utilizó el Software Statgraphics Centurión, versión 15 del 2007, el cual permite a través de una prueba "t" evaluar si los dos grupos de datos obtenidos en el laboratorio difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias para poder establecer la confiabilidad de los resultados obtenidos.

### **3.2.1.9 Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad de los suelos mediante el uso de un modelo matemático para estimar las constantes de humedad del suelo: Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente.**

Durante el periodo experimental se definió el área de estudio y se determinaron las unidades fisiográficas presentes en la micro cuenca, lo que permitió definir unidades de mapeo e igual número de muestras. Se tomaron 57 muestras de suelos a las que se realizó los siguientes análisis: la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente, que fueron consideradas como variables dependientes, se determinaron mediante la metodología de la olla de presión, Richards (1972); la textura mediante el uso de hidrómetro; la densidad aparente del suelo por la metodología de la probeta Cervantes y Mojica (1981); la materia orgánica por oxidación húmeda por el método de

Walkley y Black (1938); y la Conductividad Eléctrica se determinó formulando una solución de suelo y agua en una relación 1:2,5 para lo cual se utilizó un conductímetro digital, Calderón y Pavlova (1999) todas estas mediciones fueron consideradas como variables independientes..

En el análisis estadístico se analizaron los datos obtenidos de los análisis de suelos, discriminando los datos extremos. Se utilizó el programa de cómputo INFOSTAT propuesto por Di Rienzo, et al (2001) para realizar la regresión lineal múltiple. Se identificaron las variables independientes que de mejor forma explican asociaciones respecto a la capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Se realizó un primer modelo estadístico incluyendo todas las variables para identificar aquellas que expliquen de manera significativa los cambios en las variables dependientes y se compara con el análisis previo de correlación. Posteriormente se realizó un segundo modelo sólo incluyendo las variables con alta significancia, determinando su porcentaje de explicación sobre la variabilidad de las variables dependientes a través del estadístico Eta Cuadrado. Así mismo, se verifica el fundamento estadístico de los modelos a través de la determinación de intervalos de confianza al 5%, análisis de residuos y la Prueba de Shapiro & Wilks para verificar la normalidad de los residuales. Una vez determinados los modelos, éstos son validados mediante correlaciones de Pearson entre los resultados de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez procedentes del análisis de diez muestras aleatorias en el área de estudio y los valores estimados a través de los modelos generados.

La diferencia de la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente nos permiten determinar la capacidad de retención de humedad de los suelos de la micro cuenca.

### **3.3 Estimación de la vulnerabilidad de la agricultura de secano en el área de la micro cuenca del río Torjá, Jocotán, Chiquimula.**

Las variables e indicadores fueron seleccionados de acuerdo al enfoque de sostenibilidad, dando prioridad a aquellos factores considerados de mayor relevancia en

el desarrollo de los cultivos bajo condiciones de agricultura de subsistencia, en condiciones de ladera y provistas únicamente de agua de lluvia. Estas variables con sus indicadores se convirtieron en elementos necesarios para cuantificar la vulnerabilidad de los suelos a problemas de sequía.

Tomando en consideración estudios similares que involucran el uso de elementos que puedan explicar la vulnerabilidad de la agricultura de secano y haciendo uso de la metodología de análisis de especialistas se determinaron las variables e indicadores que podrían viabilizar el objetivo del estudio, para ello fue necesario establecer las diferentes relaciones dentro del sistema así como la generación de una ponderación que permitiera cuantificar la vulnerabilidad de los diferentes puntos seleccionados en la investigación.

Después de realizar varias actividades con los especialistas se consideró pertinente la determinación del coeficiente de Kendall para conocer el nivel de conocimiento y de argumentación de los especialistas en el tema, al final del proceso se formuló una encuesta que nos permitió establecer luego de su análisis si los especialistas habían coincidido en una valoración positiva en relación al tema abordado (Anexo 1).

Se asignó una ponderación cuantitativa a cada variable e indicador, con la finalidad de poder operativizar el modelo.

### **3.4 Probabilidad de pérdida de cosecha en agricultura de secano en la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala.**

Con la finalidad de determinar la probabilidad de pérdida de cosecha de forma parcial o total, fue elaborado un modelo estadístico logístico en función de variables independientes de carácter socioeconómico (analfabetismo, densidad poblacional e intensidad de uso de la tierra), ambiental (precipitación, altitud y temperatura) y edáfico (pendiente, capacidad de retención de humedad en %, profundidad y fertilidad). La información base se recopiló a través de trabajos de campo en 57 parcelas de dicha micro cuenca.

El análisis potenció el uso de variables cualitativas dependientes para expresar la vulnerabilidad de la agricultura de secano en función de variables independientes cuantitativas. Para ello el analfabetismo fue expresado en %, la densidad poblacional en habitantes/km<sup>2</sup>, la intensidad de uso (sub uso 0 a 0,33; uso correcto 0,34 a 0,66 y sobreuso 0,67 a 1); la altitud en msnm; la precipitación en mm; la temperatura en °C; la pendiente en %; la capacidad de retención de humedad en % (diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente); la profundidad del suelo en cm y la fertilidad (baja 0 a 0,33; media 0,34 a 0,66; alta 0,67 a 1). Se utilizó el programa de computo XLSTAT 2013.4 módulo de regresión logística, método step forward (regresión por pasos hacia adelante), para establecer modelos logísticos que expresen la vulnerabilidad de la agricultura de secano en función de indicadores independientes con un nivel de significación del 5%, (Aguayo, M, 2007).

### **3.5 Estrategia de Mejora para la Agricultura de Secano**

Pérez (2008), señala que la agricultura campesina con sus problemas continúa representando un subsector agrícola muy importante, debido a que ésta es el soporte de un tercio de la población nacional, porque los alimentos que produce constituyen una fuente básica para la subsistencia de las comunidades rurales quienes conservan cultivos practicados desde la época prehispánica.

Menciona además que los campesinos en el área rural mexicana, han desarrollado conocimientos que les permite poner en práctica diferentes estrategias de manejo de los recursos naturales, como la construcción de bordos, cercos vivos, reforestación, el uso de estiércol, la asociación de cultivos, distribución espacial de los cultivos, ampliación de la diversidad y el manejo del germoplasma. Acciones que son favorecidas por el comportamiento colectivo de la comunidad. En estas acciones se refleja una construcción social, en la cual está presente el conocimiento de los campesinos y su capacidad de respuesta ante factores socio ambientales adversos para asegurar su producción.

Es importante indicar que la información recolectada a lo largo de la investigación permite observar claramente el deterioro o degradación en que se encuentra la micro cuenca, la productividad de los suelos es baja y la respuesta de los cultivos sembrados

reflejan condiciones físico químicas del suelo deficientes, que repercuten en los rendimientos de los cultivos que la población tradicionalmente utiliza.

La micro cuenca se encuentra dentro del corredor seco del país, lo cual, ya es un indicativo de la baja precipitación pluvial y las altas temperaturas presentes en el área, es necesario agregar que los efectos del cambio climático se hacen presentes a través de fenómenos del Niño o bien de la Niña, lo cual agrava o vulnera aún más la productividad de esta región.

Es necesario agregar que para la formulación de una estrategia de trabajo, fue necesario establecer varias etapas que permitieran evaluar la situación actual en el área.

Las acciones propuestas responden a la situación existente en la micro cuenca, considerando su constante degradación en los diferentes parámetros evaluados, de tal manera que se hace necesario la formulación de un plan de trabajo que involucre a la población, autoridades locales, universidades y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales presentes en la región. La propuesta estima los tiempos para cada acción así como sus responsables, a bien de que los resultados se puedan observar en el corto y mediano plazo.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 CARACTERIZACION DE LA MICRO CUENCA DEL RIO TORJÁ**

La información obtenida en esta investigación, permite conocer el contexto bajo el cual se desarrolla la agricultura de secano en la micro cuenca del río Torjá. Todos los parámetros son importantes puesto que pueden ser decisivos en relación a la identificación de las diversas acciones que se deberán recomendar para mejorar la situación productiva de la micro cuenca.

#### **4.1.1 Capital natural**

##### **4.1.1.1 Tenencia de la tierra**

El conocimiento de la tenencia o propiedad de la tierra es importante, siendo un activo que permite la implementación de prácticas de manejo adecuadas, además, permite

que ONGS (organizaciones no gubernamentales), puedan planificar sus procesos de inversión basados en el conocimiento de la existencia de condiciones específicas en el área. En este sentido, consultando el estudio actuarial de la municipalidad de Jocotán, un 42,67 % de los hogares tienen en propiedad las tierras que poseen, un 26,66% posee tierras municipales y un 30,67% tienen propiedades que arrendan. Es importante mencionar que la comunidad de Piedra parada es la que más arrenda tierras para el establecimiento de cultivos, tal como se muestra en la figura 12.

Figura N° 12 Comportamiento de la población en relación a la tenencia de la tierra

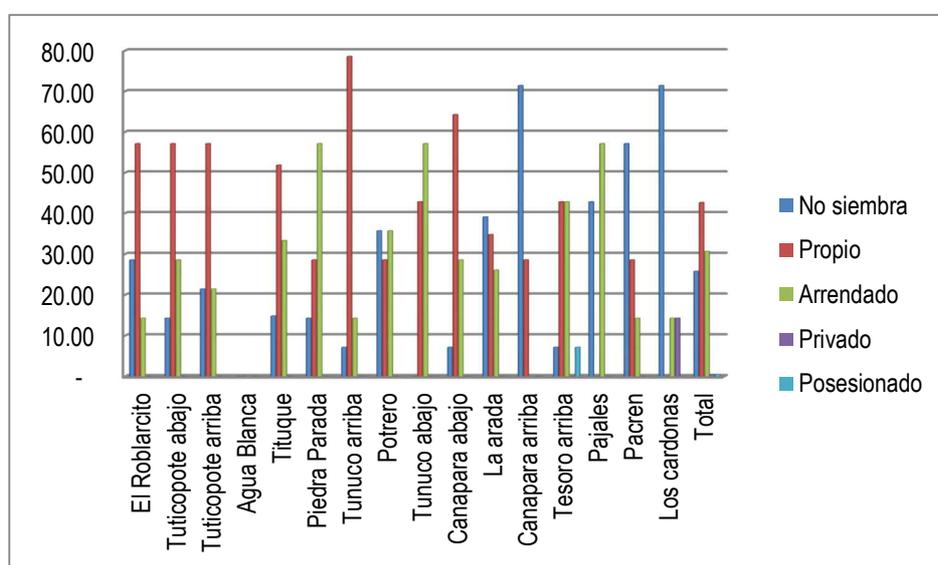


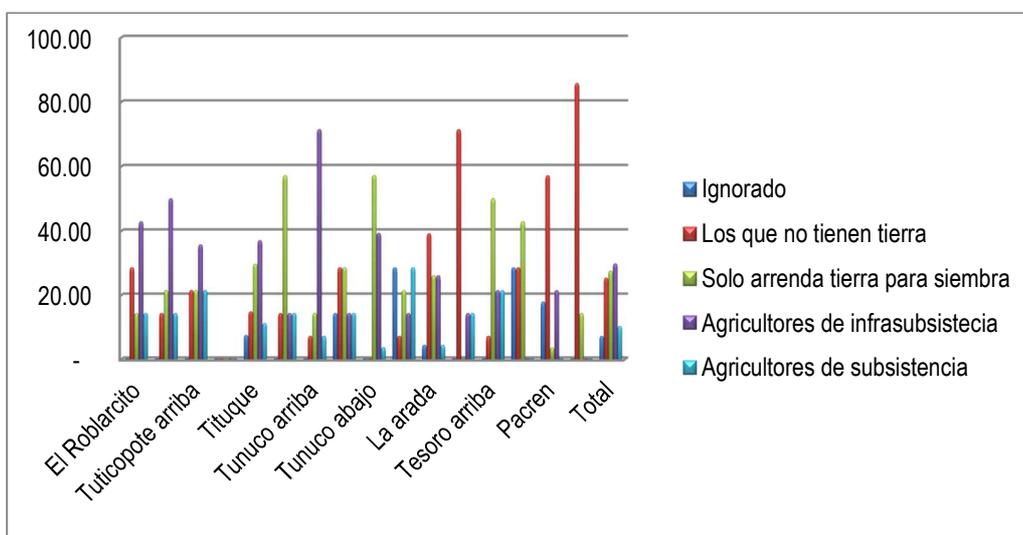
Figura 12. Tenencia de la tierra

Fuente: Mancomunidad Copan Chortí 2012

#### 4.1.1.2 Clasificación de agricultores

El Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación –MAGA- hace una clasificación donde reconoce 5 tipos de agricultores: los agricultores que no tienen tierras, los agricultores de Infra subsistencia, que poseen menos de 0,69 ha; los de subsistencia poseen un área entre 0,69 y 6,98 ha; los agricultores excedentarios poseen un área entre 6,98 a 44,72 ha; y los agricultores comerciales que poseen más de 44,72 ha.

De acuerdo a esta clasificación, un 10,22% son agricultores de subsistencia, un 29,78% son de Infra subsistencia, un 25,33% no tienen tierras, un 34,67% solo arrenda, tal como se muestra en la figura 13.

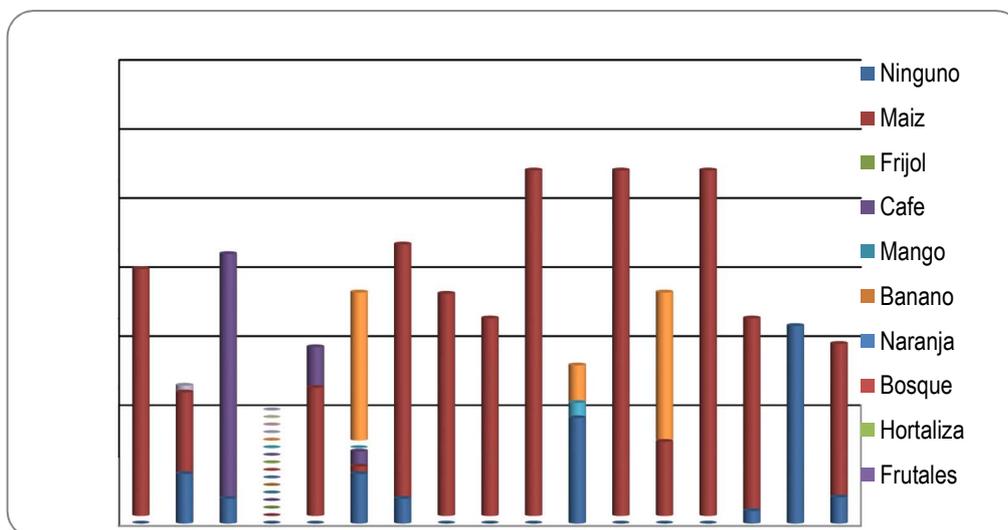


**Figura 13. Clasificación de agricultores según el MAGA**

**Fuente: Mancomunidad Copan Chortí 2012**

#### 4.1.1.3 Vocación de los suelos de las comunidades

El Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación –MAGA- hace referencia mediante el último estudio realizado en el año 2008 en la micro cuenca que la vocación de los suelos de las comunidades, está referido a los diferentes usos potenciales que los hogares puedan hacer del mismo; en este sentido las comunidades en la micro cuenca en un 49,78% consideran que la vocación de los suelos es para el establecimiento del cultivo del maíz, un 3,11% tienen vocación para bosques, un 12,89% para el cultivo del café, un 4% para agroforestería y un 30,22% para actividades diversas. La figura 14 muestra la vocación de los suelos según la opinión de las familias.



**Figura 14. Vocación de los suelos en las comunidades**  
**Fuente: Mancomunidad Copán Chortí 2012**

Otro de los temas relacionados a la vocación de los suelos, es la fertilidad que estos presentan, lo cual es un indicador que denota el uso que podría dársele a estos. En este sentido, los agricultores opinan que en relación a la producción que ellos obtienen el 11,11% consideran que la fertilidad de los suelos es buena, un 56,89% la calificó como regular y un 18,22% la calificó como mala.

El tema de la fertilidad de los suelos está estrechamente relacionado al tipo de topografía que estos presentan y a las diferentes prácticas de conservación de suelos que se implementan; en este sentido, se determinó que un 55,56% de los terrenos de los hogares presentan topografía accidentada; esta realidad del tipo de topografías en las que cultivan las familias, hace que los rendimientos sean decrecientes en cada cosecha; además, las pocas prácticas de conservación de suelos implementadas contribuyen al deterioro de los suelos y sobre todo al incremento de la erosión hídrica de los suelos.

#### **4.1.1.4 Cobertura forestal**

Un 22,13% de la cuenca tiene cobertura forestal, y para el caso de las comunidades, es importante mencionar que existen bosques que son comunales. Además, existen áreas en las diferentes comunidades que pueden dedicarlas para la reforestación; esto al final es positivo pues aún se pueden conservar áreas que se consideran importantes en las comunidades.

Con relación a la existencia de áreas que puedan dedicarlas para conservación o protección, un 21% de los hogares poseen este tipo de áreas, lo cual indica que aún tienen pequeños bosques en sus terrenos. Con relación al conocimiento que tienen de los incentivos forestales por PINFOR o PINPEP, la mayoría de la población tiene desconocimiento de los beneficios de estos incentivos más sin embargo al hablar del tema la gran mayoría mostró estar interesada, lo anterior denota el potencial que existe para implementar este tipo de proyectos en las comunidades. Es importante mencionar que este tipo de proyectos de tipo gubernamental permiten no solo acceder a incentivos para las familias, sino que también se recuperan y protegen ecosistemas que han sido degradados por otros procesos. Esta recuperación de ecosistemas y la combinación de programas agroforestales, permite generar mecanismos de sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales, al combinar sistemas forestales con productivos; está comprobado que esta combinación de sistemas tiene una infinidad de bondades para las familias, los suelos y el ambiente.

#### **4.1.1.5 Relación del bosque con los recursos hídricos y protección de cuencas.**

Los bosques tienen múltiples funciones ecosistémicas entre ellas:

- a) Recarga de acuíferos: el bosque mejora la estructura del suelo, al mismo tiempo que aumenta el espacio poroso del mismo y disminuye la velocidad del agua de escorrentía, con lo que se aumenta la cantidad de agua que se infiltra al manto freático.

- b) Regulación de las corrientes superficiales (flujos estacionales): del agua que se infiltra en el suelo, una parte va al manto freático y otra se libera gradualmente por el bosque a través de los nacimientos que alimentan a los ríos. En este caso, el bosque funciona como un regulador de caudales, al evitar que gran cantidad de agua vaya a dar a las corrientes superficiales en la estación lluviosa; y en la estación seca, al liberar poco a poco parte del agua almacenada, con lo que se evitan inundaciones en la época de lluvia y escasez de agua en la estación seca.
- c) Protección de cuencas hidrográficas: los bosques reducen la erosión y la cantidad de agua que se pierde por escorrentía, lo que tiene como consecuencia la reducción del movimiento de masas de suelos o deslaves. Al reducirse los deslaves, se reducen los daños provocados a: a) infraestructura como las redes de distribución de agua, casas, caminos, puentes, etc.; b) áreas de producción agrícola, ganadera y forestal (Reducción en la productividad), c) fuentes de agua (Azolvamiento de canales, Ríos y lagos). El aumento de los sólidos disueltos en agua puede causar la muerte directa de peces y otras formas de vida. Los sólidos pueden acelerar el proceso de eutrofización. Por esto puede decirse que el bosque protege a las cuencas hidrográficas al amortiguar el efecto de tormentas, que podrían producir daños graves en el caso de no existir cobertura forestal.
- d) Mejoramiento de la calidad del agua: el bosque funciona como un filtro que mantiene la calidad del agua de los nacimientos, quebradas, ríos, arroyos y del agua subterránea.
- e) Producción de agua: el bosque en general no produce agua, solo distribuye el agua que llueve de una manera más homogénea que en las zonas deforestadas, pero algunos ecosistemas especiales como el bosque nuboso si tienen la capacidad de producir agua; el bosque nuboso funciona como una barrera viva para la circulación aérea de las nubes, en donde los árboles y el resto de la vegetación captan la neblina (precipitación horizontal), la cual agrega cantidades significativas de agua al ciclo hidrológico, esto aunado al hecho de que la nubosidad disminuye la evapotranspiración hace que los bosques nubosos tengan una tasa muy alta entre caudal y precipitación.

Con relación al tema del acceso al recurso agua por las comunidades y a la disponibilidad de fuentes superficiales de abastecimiento de agua, un alto porcentaje de la población no tienen acceso al agua a pesar de existir algunas fuentes naturales.

#### **4.1.1.6 Morfometría de la micro cuenca del río Torjá**

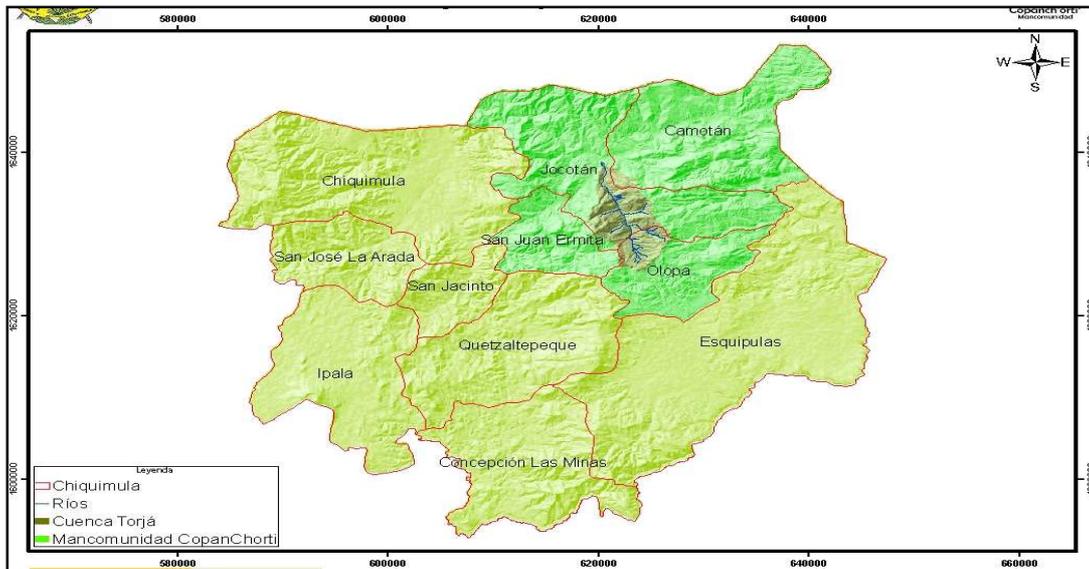
a) Área o superficie total de la micro cuenca: La micro cuenca del Río Torjá tiene un área de 5 688 hectáreas, que equivalen a 56,88 kilómetros cuadrados, compartida por los municipios de Camotán 4,47, Olopa 17,77, San Juan Ermita 0,31 y Jocotán 35,33 Kilómetros cuadrados. En el mapa 15 se puede observar la cuenca separada por municipios.

b) Perímetro de la micro cuenca: Esta unidad de manejo, tiene un perímetro de 36 657,79 metros lineales, que equivalen a 36 65 kilómetros.

c) Tipo de drenaje: Al momento de la evaluación solo se pudieron observar los drenajes permanentes, que son los que conducen agua todo el tiempo del año, pero se pudo hacer una interpretación, utilizando la cartografía, de los drenajes intermitentes y efímeros, los que podemos ver en la red de drenajes que se presenta en el mapa 16.

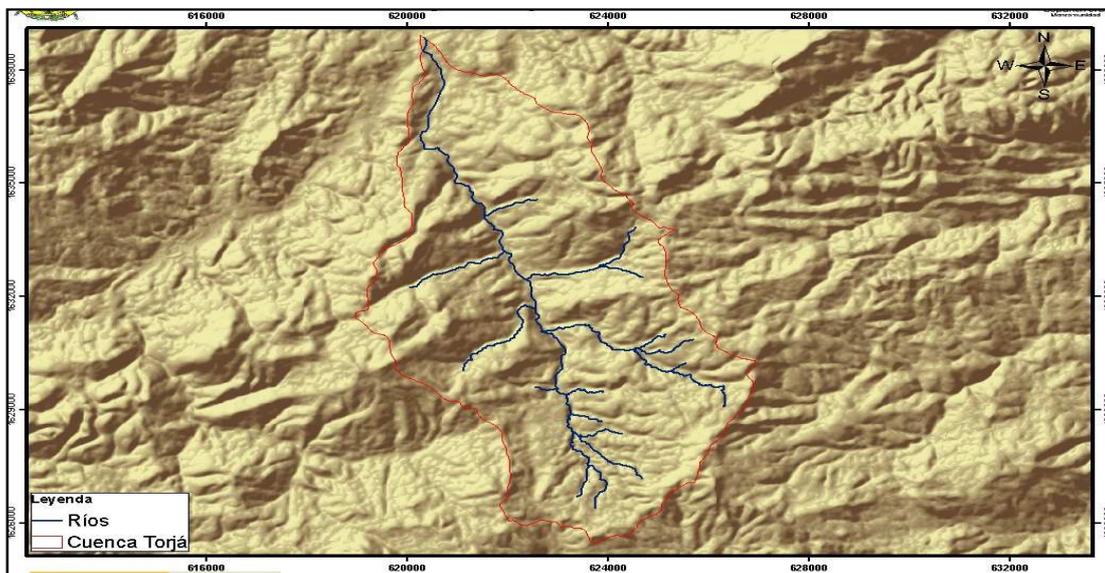
d) Orden de corrientes de la micro cuenca: Para el presente estudio se utilizó el sistema de Horton, y este índice se refiere a la medida de la ramificación de un cauce y su número de orden va en función al número de bifurcaciones de una corriente. Esta micro cuenca es de Orden 10.

e) Densidad de drenaje de la micro cuenca: esta es una variable que relaciona la longitud de todos los cauces, con el área total de la micro cuenca. Esta variable da una referencia de la cantidad de drenaje superficial existente por superficie. Esta cuenca tiene un DD igual a  $(22,01 \text{ km} / 29,25 \text{ km}^2) 0,75 \text{ km/km}^2$ .



**Figura 15. Ubicación de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

**Fuente: Mancomunidad Copán Chortí 2012**



**Figura 16. Drenaje superficial de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

**Fuente: Mancomunidad Copán Chortí 2012**

#### **4.1.1.7 Características biofísicas de la micro cuenca del Río Torjá**

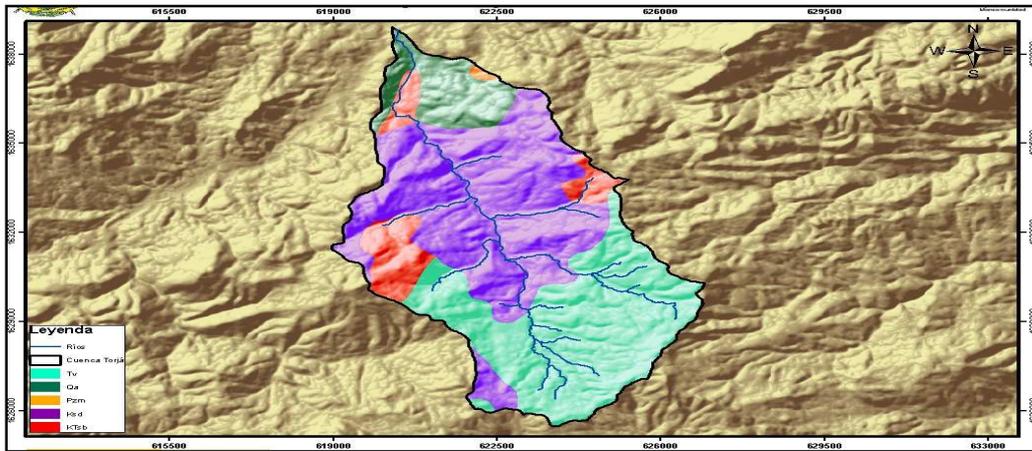
Por las características que presenta el relieve de la micro cuenca, con una pendiente predominante de la parte media de la cuenca hacia arriba, se presentan algunas condiciones de los recursos biofísicos que se describen a continuación.

a) Geología de la micro cuenca: La mayor parte de los suelos se caracteriza por ser formados a partir de Rocas Sedimentarias, desarrolladas en el período Cretácico (Ksd) por tener Carbonatos Neocomiano-Camapanianos.

También se caracteriza por poseer suelos que se desarrollan a partir de rocas Ígneas y Metamórficas, desarrolladas en el períodos Terciario, caracterizadas por rocas volcánicas sin dividir (Tv y Pzm).

En la parte baja de la micro cuenca, se caracterizan los suelos por ser formados a partir de Rocas Sedimentarias, en las terrazas aluviales, son los aluviones del cuaternario (Qa); y los desarrollados en el período Cretácico-Eoceno (KT sb) por tener capas rojas, predominantemente terciarias.

b) Taxonomía de suelos: La mayor parte de la cuenca está formada por suelos del orden de los Entisoles como se muestra en la figura 17, estos incluyen suelos que no evidencian o tienen escaso desarrollo de horizontes pedogenéticos. La mayoría de ellos solamente tiene un horizonte superficial claro, de poco espesor y generalmente pobre en materia orgánica (epipedón ócrico). Normalmente no se presentan otros horizontes diagnósticos, lo que se debe en gran parte al escaso tiempo transcurrido desde la acumulación de los materiales parentales. Los únicos rasgos comunes a todos los suelos de este Orden son la ausencia virtual de horizontes y su naturaleza mineral.

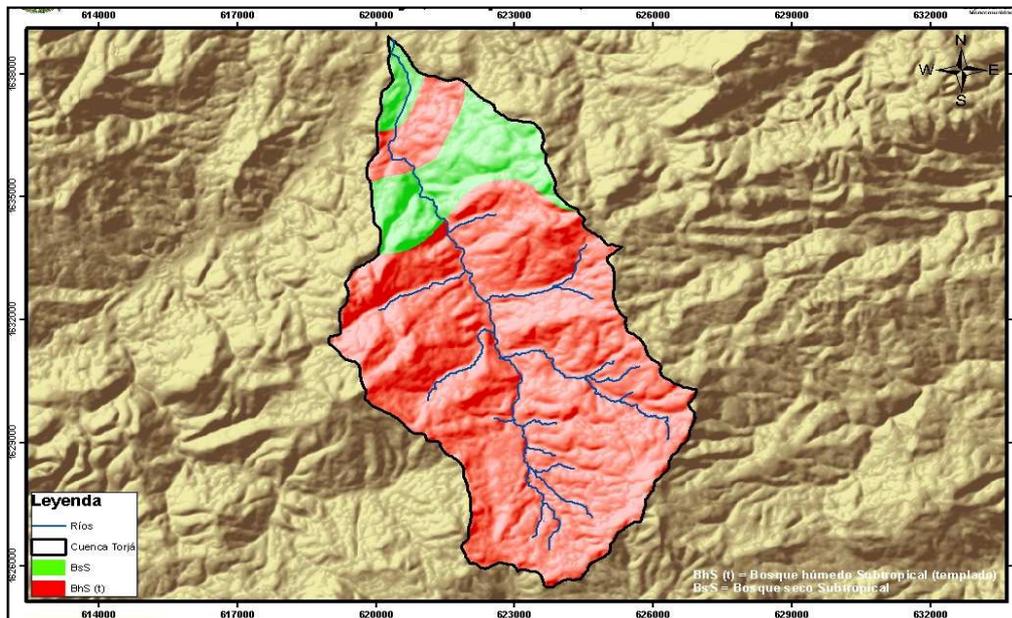


**Figura 17. Geología de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**  
**Fuente: Mancomunidad Copán Chortí 2012**

c) Zonas de Vida: La cuenca presenta una zona de vida principal, que caracterizan el clima predominante, siendo esta el Bosque húmedo subtropical templado (bh-St), que se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 1 224 mm anuales, predominando las lluvias de mayo a noviembre, variando sus biotemperaturas entre los 20 y 26 °C.

También se encuentra la zona de vida Bosque seco subtropical (bs-S), que presenta precipitaciones promedio anuales de 750 mm, distribuidas las lluvias en los meses de mayo a noviembre pero en menor intensidad.

En la figura 18, se puede observar que la mayoría del área está ocupada por el Bosque húmedo subtropical templado, donde si existe mayor precipitación, mayor pendiente y menor cobertura, hay más riesgos del deterioro de los recursos naturales.



**Figura 18. Zonas de vida, de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**  
**Fuente: Mancomunidad Copán Chortí 2012**

d) División de la micro cuenca: con la finalidad de evaluar las distintas partes de la micro cuenca, se dividieron en tres zonas, debido a las condiciones encontradas en el mapa hipsométrico de la micro cuenca, que permite con las características morfométricas de la cuenca delimitar zonas de manejo especial dentro de estas.

La zona alta de la micro cuenca, es la que presenta la mayor cantidad de pendiente y es aquí donde se dan los procesos de pérdida de suelo principalmente, si el uso está asociado a cultivos limpios. Estas áreas de la cuenca ocupan una extensión de 18,86 km<sup>2</sup>. La parte media de la cuenca, se caracteriza por ser la parte donde se da el arrastre de sedimentos, es aquí donde los suelos son muy vulnerables a los movimientos, por las cantidades que se acumulan de sustratos, esta tiene una extensión de 26,79 km<sup>2</sup>. La parte baja de la cuenca es la que se beneficia o se ve más afectada por los usos o actividades que se desarrollen en las partes medias y altas, y tiene una extensión de 1,22 km<sup>2</sup>.

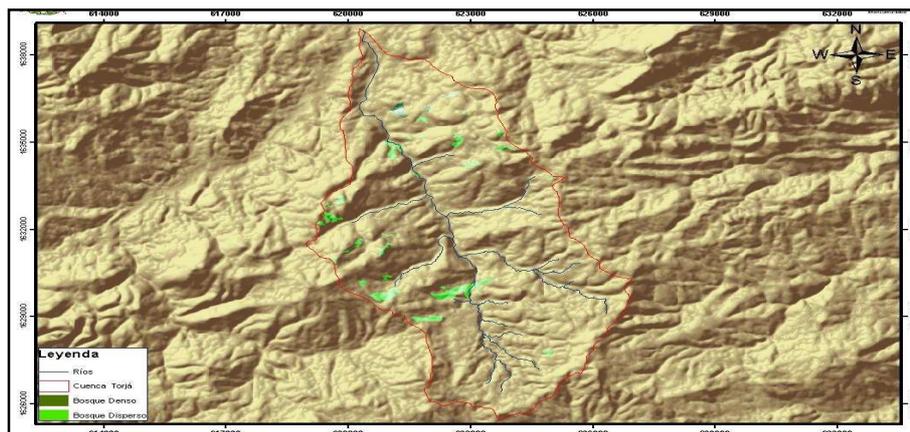
e) Cobertura Forestal de la micro cuenca: en la evaluación de la cobertura forestal, se llevó a cabo de manera preliminar delimitando con la ayuda de ortofotos se encontró que solamente 12,59 km<sup>2</sup> de superficie que representa el 22,13% del área total de la cuenca se encuentran cubiertas por bosque, como se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 8. Tipos de Bosque según contacto de copas delimitados en la ortofoto**

<b>Tipo de bosque</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje</b>
Bosque Denso	1,63	2,87
Arboles Dispersos	0,32	0,56
<b>Total</b>	<b>1,95</b>	<b>3,43</b>

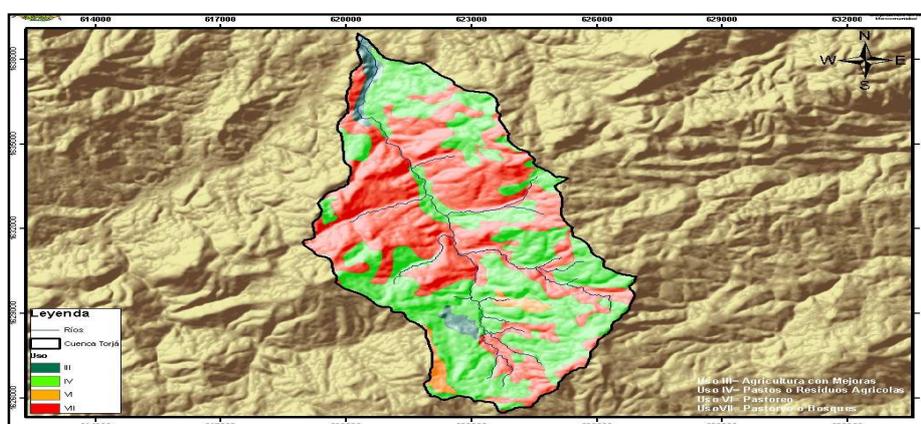
**Fuente: Mancomunidad Copan Chortí 2012**

- f) Capacidad de uso de la tierra: esta herramienta permite evaluar cuál es el uso que soportan los suelos dentro de la micro cuenca, para lo cual se utilizó la metodología propuesta por el USDA, tomando como base el shape creado en el 2006 por el MAGA, en donde se divide en ocho clases diferentes de uso según la capacidad del suelo, de las cuales cuatro son aptas y otras cuatro no son aptas para el cultivo. Los parámetros utilizados para determinar cada clase incluyen características de suelo como fase, serie, textura, pendiente y profundidad. También considera limitaciones tales como erosión, salinidad, drenaje inundación y micro relieve.
- g) Intensidad de Uso: Este análisis nos da una idea del déficit de cobertura que tiene la micro cuenca, tomando como referencia la diferencia de la superficie que debiera de tener con cobertura forestal (21,59 km<sup>2</sup>) y la cobertura forestal que actualmente tiene la micro cuenca (1,95 km<sup>2</sup>), como se muestra en la figura 19.



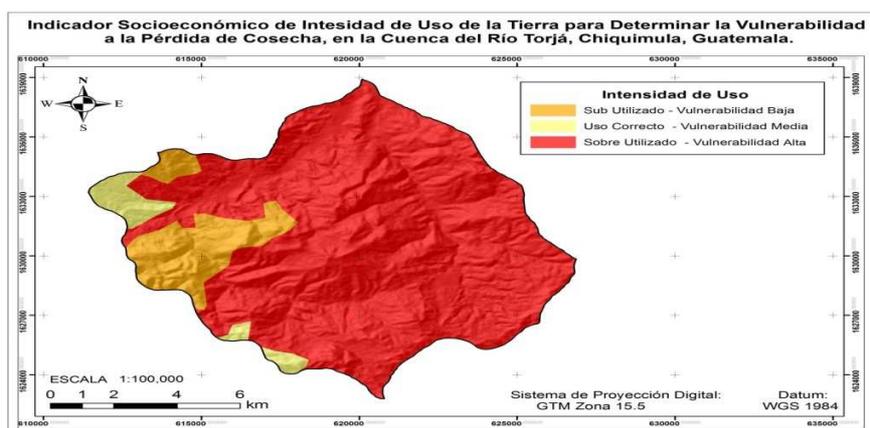
**Figura 19. Mapa de cobertura boscosa de la micro cuenca del Río Torjá.**

**Fuente: Mancomunidad Copán Chortí 2012**



**Figura 20. Capacidad de Uso de la Tierra, en la micro cuenca del Río Torjá.**

**Fuente: Mancomunidad Copán Chortí 2012**



**Figura 21. Intensidad de Uso de la Tierra, en la micro cuenca del Río Torjá.**

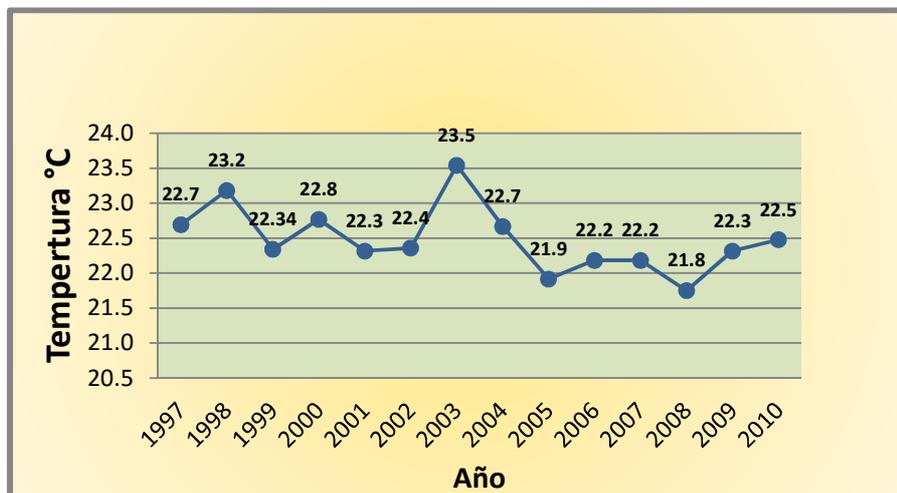
**Fuente: Mancomunidad Copán Chortí 2012**

- h) **Clima:** Para evaluar el clima de la cuenca se recopilaron los datos por mes de precipitación en milímetros, temperatura media en grados centígrados y humedad relativa media en porcentaje en la estación meteorológica de Esquipulas monitoreada por el INSIVUMEH la cual se encuentra en una altitud de 950 msnm. Los datos por mes de estas variables atmosféricas se presentan en el cuadro 9, a continuación los datos observados desde el año 1997.

**Cuadro 9. Datos de temperatura media en grados centígrados de la estación meteorológica del municipio de Esquipulas**

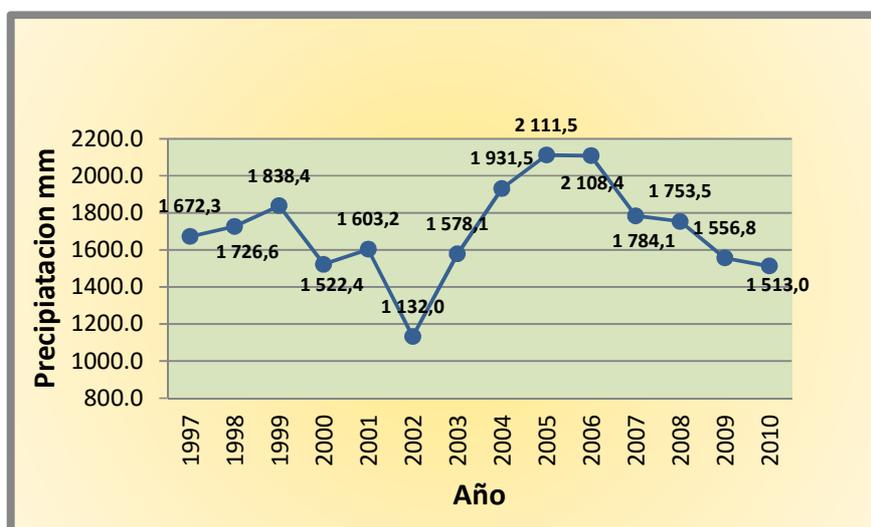
AÑO	TEMPERATURA			TEMP. EXTREMAS		LLUVIA (mm)
	MED.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	
1997	22,7	27,6	17,7	28,8	17,4	1 672,3
1998	23,2	24,0	16,2	29,8	17,2	1 726,6
1999	22,34	27,3	17,4	31,0	13,6	1 838,4
2000	22,8	27,3	17,5	30,9	14,4	1 522,4
2001	22,3	27,8	17,7	32,0	14,5	1 603,2
2002	22,4	28,1	18,0	31,8	14,3	1 132,0
2003	23,5	27,9	17,8	32,1	14,3	1 578,1
2004	22,7	27,7	17,8	31,9	14,5	1 931,5
2005	21,9	27,9	17,9	32,4	14,4	2 111,5
2006	22,2	28,0	17,8	31,6	15,0	2 108,4
2007	22,2	28,0	17,8	31,6	15,0	1 784,1
2008	21,8	27,8	17,6	31,6	14,1	1 753,5
2009	22,3	27,9	17,8	32,2	14,6	1 556,8
2010	22,5	28,6	18,1	33,0	14,9	1 513,0
MEDIA	22,5	27,6	17,7	31,5	14,9	1 702,3
MAXIMA	23,5	28,6	18,1	33,0	17,4	2 111,5
MINIMA	21,8	24,0	16,2	28,8	13,7	1 132,0

**Fuente: Estación meteorológica del INSIVUMEH 2012**



**Figura 22. Temperaturas Medias Estación Climática de Esquipulas**

**Fuente: Estación meteorológica del INSIVUMEH 2012**



**Figura 23. Precipitaciones Medias Estación Climática de Esquipulas**

**Fuente: Estación meteorológica del INSIVUMEH 2012**

## 4.1.2 Capital humano

### 4.1.2.1 Demografía

El área de estudio abarcó 54 comunidades, según la información cartográfica generada por el INE en 2005, distribuidas de la siguiente manera: 19 en el municipio de Jocotán, 7 en el municipio de Olopa, 1 en el municipio de Quezaltepeque y 27 en el municipio de San Juan Ermita, como se muestra en el Cuadro 10.

Existe una población total de 58 950 habitantes, según el último censo de población en el año 2002. Compuesto por 49% hombres y 51% mujeres; y los cuales habitan en su mayoría en las zonas rurales, por lo que la presencia humana en dichas zonas genera presión por los recursos naturales, especialmente el agua, los bosques y el suelo, derivada de la actividad agrícola de subsistencia típica de las áreas rurales de Guatemala.

**Cuadro 10. Centros poblados dentro del área de estudio según el Instituto Nacional de Estadística, dentro de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

MUNICIPIO	COMUNIDAD	MUNICIPIO	COMUNIDAD
			CHISPAN JARAL
			MATASANO
			MOJON
			QUEQUEXQUE
			ENCUENTROS
			RIO ARRIBA
			SAN ANTONIO LAJAS
			TAXARJA
<b>JOCOTÁN</b>		<b>SAN JUAN ERMITA</b>	LA CEIBA
			LA MONTADA
			CHURISCHAN
			LAGUNETAS
			LAS VENTANAS
			CARRIZAL
			MIRAMUNDO
			VIVIENDA NUEVA
			LOS PLANES
			POBLACION DISPERSA
			SAN JUAN ERMITA

---

			MINAS ABAJO
			EL COCO
			BUENA VISTA
			CAULOTES
			PEÑASCO
			LA CEIBITA
			ZARZAL
			VUELTA EL ROBLE
	EL GUAYABO		
	TALQUEZAL		
<b>OLOPA</b>	TITUQUE	<b>QUETZALTEPEQUE</b>	OJO DE AGUA DE LA GARZA
	TUTICOPOTE ABAJO		
	TUTICOPOTE ARRIBA		
	EL ROBLARCITO		
	AGUA BLANCA		

---

**Fuente: Lugares Poblados, Instituto Nacional de Estadística. 2005**

#### **4.1.2.2 Educación**

El 47% de la población es analfabeta, siendo las mujeres las que predominan en esta condición, el acceso a la educación ha sido limitado, dándole una mayor importancia al trabajo en las áreas agrícolas, así como, muchos de ellos migran temporalmente para buscar trabajo en otros municipios. Esta condición de analfabetismo limita la comprensión y aceptación de las prácticas que puedan incorporarse en las diferentes comunidades, puesto que este factor se constituye en una serie limitante.

#### **4.1.2.3 Salud**

En la micro cuenca existe un puesto de salud que brinda atención a la población, principalmente atención preventiva, puesto que la mayoría de centros adolece de medicamentos y médicos a tiempo completo, situación que en algún momento se convierte en una limitante para el desarrollo de la comunidad.

Son frecuentes las jornadas médicas organizadas por las autoridades en este campo provenientes de la cabecera municipal.

### **4.1.3 Capital Cultural**

#### **4.1.3.1 Cultura Chortí**

Para el año 2002, según el estudio Diversidad Étnico-Cultural “La Ciudadanía en un estado Plural” elaborado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD- la población indígena Chortí a nivel nacional es de 0,41%. El índice de Desarrollo Humano para el grupo indígena Chortí, es de 0,36; el índice de Salud es de 0,33; el índice de educación es de 0,23 y el índice de ingresos es de 0,53.

En cuanto al acceso al agua, el grupo Chortí, un 49,4% tiene acceso a agua a través de un chorro de uso exclusivo, un 2,9% a través de un chorro para varios hogares, un 7,0% de un chorro público, un 26% a través de un pozo, y un 9,7% de un río, o manantial; un 77,4% poseen una letrina o pozo ciego; un 41,1% tienen acceso a la red de energía eléctrica, y un 39,5% tienen acceso a gas corriente.

Un 94% de la población Chortí utiliza leña como medio para cocinar, y en cuanto al manejo de basuras, un 76,4% tira la basura en cualquier parte; en términos del material que forman las paredes de las viviendas, un 53% es de bajareque y un 27,2% es de lepa; en cuanto al material del techo, un 50% de las viviendas es de paja y un 47,2% es de lámina y un 85% de las viviendas tienen piso de tierra. En cuanto al idioma un 40% de la población aprendió a hablar en su idioma nativo; es importante resaltar que solo un 2,8% de la población Chortí es monolingüe étnico (es decir que habla 100% Chortí), un 0,1% es bilingüe étnico-étnico, un 25% es bilingüe étnico-español, un 1,2% es bilingüe español-étnico, sin embargo un 70,5% de la población es monolingüe español (lo cual demuestra cómo se ha perdido uno de los rasgos principales de la cultura como lo es el idioma).

### **4.1.4 Capital productivo**

#### **4.1.4.1 Producción agrícola**

La producción agrícola es importante analizarla porque determina el potencial productivo de un lugar y especialmente puede determinar estrategias de organización

local en el tema de cadenas productivas o de valor de acuerdo al nivel de producción. Para el caso de la micro cuenca, se determinó, que únicamente se establecen cultivos como el maíz, el frijol, maicillo, café, y banano lo cual en términos de seguridad alimentaria es importante, tomando en cuenta que todos dependen para alimentarse de estos dos granos. Según el MAGA se determinó que un 38,58% de los hogares en la micro cuenca siembran maíz, un 34,38% siembran frijol, un 5,77% café, un 1,31% cosechan el cultivo del maicillo y banano.

El rendimiento promedio para un 66% de la población en el cultivo del maíz es de aproximadamente 16 quintales por manzana; la población expresa en forma constante que la cantidad obtenida en la siembra del maíz es insuficiente para cubrir sus necesidades durante el año, situación similar ocurre con el frijol. La media de consumo al año es de 15,26 quintales de maíz, y la media de consumo de frijol por hogar es de 3,90 quintales. Para suplir estos requerimientos de alimentos básicos, en promedio cada familia compra al año 10,10 quintales de maíz, y 2,02 quintales de frijol. Es decir, que los hogares no producen ni lo que se consumen anualmente.

#### **4.1.4.2 Uso de leña**

El uso de la leña por los hogares en las comunidades es otro de los factores determinantes en la degradación de los ecosistemas forestales y responsable de la pérdida de cobertura forestal. Es importante mencionar que el 96,89% de las familias en la micro cuenca, utilizan leña para cocinar; de estas solamente un 50% de las familias de la comunidad la compran; es decir que el 46,89% de los hogares solamente recogen la leña para su uso.

#### **4.1.4.3 Acceso a mercados**

En cuanto a la asistencia técnica que las familias reciben para comercializar sus productos, la mayor parte de la población manifiesta que realizan la venta en forma individual, es decir que en términos de acceso al mercado, no existe ninguna forma asociativa, lo cual es un factor a considerar para futuros proyectos para incentivar la

venta en forma asociativa o bien por cooperativas; la gran mayoría de personas venden sus cosechas en los mercados comunales, municipales y/o departamentales.

#### 4.1.5 FERTILIDAD DE LA MICRO CUENCA DEL RÍO TORJÁ.

Considerando que la fertilidad del suelo es un indicador importante para la definición de las categorías de vulnerabilidad, se determinaron las siguientes variables: pH, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Los resultados obtenidos en el cuadro 11 permitirán establecer una apreciación general de los niveles críticos de estos elementos en el campo, para orientar los procesos productivos que se desarrollan en la micro cuenca.

Se elaboraron mapas temáticos para observar el comportamiento de cada variable en la micro cuenca, que permite comparar con otras variables su posible impacto en la vulnerabilidad de los suelos a la pérdida de cosecha. Se presenta los resultados de textura y materia orgánica, conociendo la estrecha relación con la disponibilidad y retención de los nutrientes en el suelo.

**Cuadro 11. Parámetros de fertilidad de suelos determinados en la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

No.	CLAVE	pH	ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ppm K <sub>2</sub> O	ppm Ca	ppm Mg
1	1101	6,61	84,86	63,50	3 398,78	132,54
2	1106	6,99	36,51	87,50	2 400,79	141,05
3	1107	8,22	14,08	145,00	5 098,17	170,24
4	1201	8,26	10,01	127,5	5 599,17	206,72
5	1205	5,30	10,99	42,50	198,39	72,96
6	1206	8,12	28,48	150,00	5 398,77	249,28
7	1207	8,11	2,57	77,50	5 599,17	75,39
8	1210	7,03	5,94	75,00	2 599,18	353,85
9	1401	8,28	2,57	82,50	5 498,97	153,21
10	1403	8,34	1,90	97,50	5 799,57	207,93
11	1406	7,87	2,57	350,00	4 999,98	224,96
12	1407	8,56	2,28	70,00	5 999,97	24,32
13	1410	7,98	30,99	162,50	4 599,18	188,48
14	1501	8,35	3,86	65,00	5 899,77	62,01
15	1503	7,85	8,14	70,00	2 699,38	175,10
16	1512	7,09	7,24	48,00	1 398,79	42,56
17	1601	8,04	50,00	67,50	4 699,38	97,28
18	1603	6,44	2,57	64,00	1 999,99	105,79
19	2101	4,55	1,14	30,00	100,20	31,61

20	2104	7,58	88,22	52,50	1 999,99	545,98
21	2105	7,61	10,99	59,50	1 198,39	435,32
22	2106	8,02	7,24	80,00	198,39	6,08
23	2107	8,19	1,62	45,00	5 599,17	210,36
24	2109	5,56	0,39	87,50	1 498,99	424,38
25	2110	8,22	1,62	65,00	5 699,37	374,52
26	2111	8,03	0,58	87,50	5 899,77	60,80
27	2112	5,99	43,29	150,00	2 398,78	515,58
28	2201	7,92	3,06	80,00	5 599,17	97,28
29	2202	8,07	36,51	87,50	5 498,97	176,32
30	2204	5,91	5,09	35,00	1 098,19	136,19
31	2205	5,57	10,50	46,00	150,30	24,32
32	2206	8,02	6,80	95,00	5 899,77	57,15
33	2207	8,07	3,06	60,00	5 498,97	194,56
34	2208	6,96	199,44	65,50	2 999,98	200,64
35	2210	6,46	14,62	110,00	1 599,19	117,95
36	2211	8,33	5,94	175,00	5 688,37	374,52
37	2212	8,26	12,50	42,50	2 999,98	363,58
38	2301	5,42	10,99	61,50	1 098,19	116,73
39	2312	4,81	12,50	180,00	308,61	103,36
40	2401	8,32	7,24	51,00	5 699,37	48,64
41	2403	8,49	6,37	57,50	5 799,57	59,58
42	2406	7,97	35,61	57,50	3 899,78	138,62
43	2407	8,38	7,24	85,00	5 398,77	165,37
44	2408	7,61	69,83	47,50	4 498,98	92,41
45	2410	8,19	10,01	66,50	5 498,97	232,25
46	2411	8,24	8,60	60,00	5 498,97	165,37
47	2412	6,60	8,60	127,50	1 398,79	181,18
48	2501	4,95	7,24	77,50	250,50	125,24
49	2503	6,33	9,07	21,00	1 198,39	40,12
50	2509	4,87	189,42	425,00	1 398,79	496,12
51	2512	5,68	8,14	275,00	458,91	576,38
52	2601	8,01	11,48	72,50	4 699,38	93,63
53	2603	7,99	76,51	187,50	4 498,98	556,92
54	2604	5,10	9,54	59,50	190,38	99,71
55	2608	5,54	29,30	77,50	1 899,79	597,05
56	2609	6,01	6,80	212,50	1 498,99	248,06
57	2612	5,54	7,69	62,00	408,81	93,63

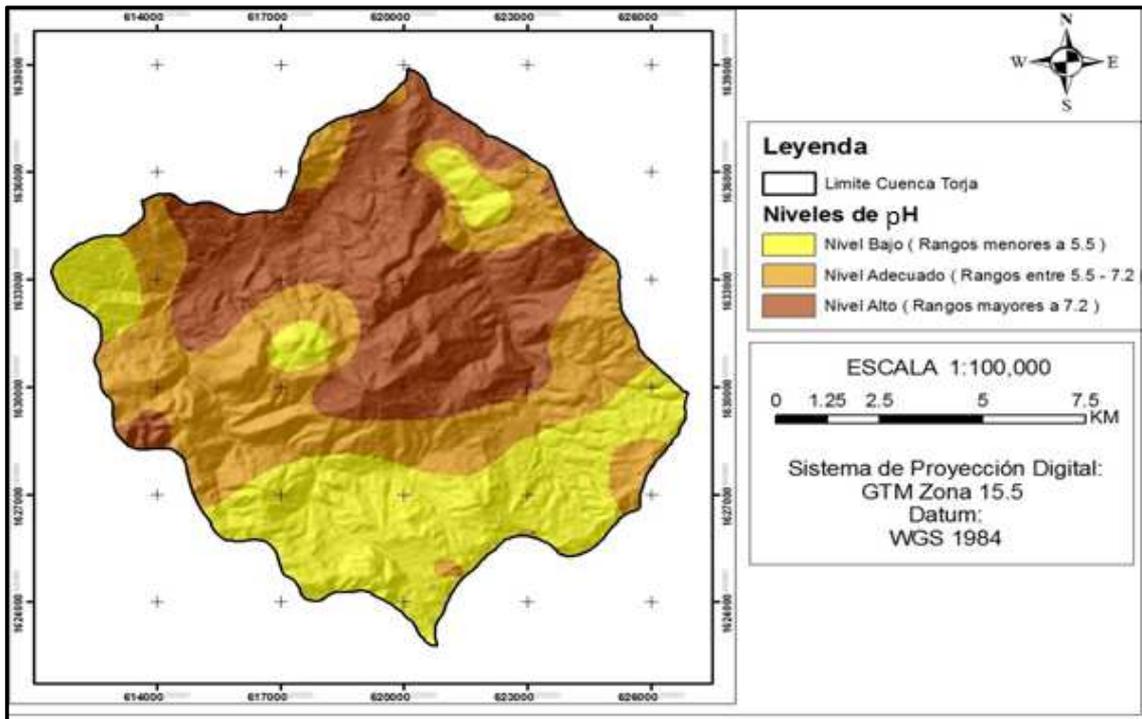
Fuente: Elaboración Propia 2012

#### **4.1.5.1 pH de los suelos de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula.**

Los resultados del análisis de las 57 muestras de suelos, muestran que la parte alta de la micro cuenca posee pH ácidos, relacionados con el material geológico y el clima. Además los niveles de materia orgánica en dicha área fluctúan entre 4,5 – 6,8% lo cual provoca la generación de ácidos orgánicos que contribuyen con la acidificación del suelo. En estas áreas se encuentran establecidas plantaciones de café, que constituyen una alternativa de producción y de generación de empleo, como se muestra en la figura 24.

La parte media de la micro cuenca posee suelos con pH que van de 5,5 hasta 7,5 influenciados por el material original y la escasa precipitación en la zona. Se observan suelos con alta pendiente y poca vegetación, predominando el cultivo de granos básicos como el maíz, frijol y sorgo. Los niveles de materia orgánica del suelo disminuyen en forma sustancial, observándose suelos más expuestos a la radiación solar, con menor capacidad de retención de humedad.

En la parte baja de la micro cuenca el pH de los suelos es en su mayoría es alcalino superando en algunos casos valores de 7,2 llegando hasta valores de 8,56. La alcalinidad de estos suelos se debe a la alta concentración de bases, que provienen principalmente del material originario de dichos suelos. Otro factor que puede influir es la calidad del agua utilizada en la producción de hortalizas bajo riego. En esta zona los suelos están expuestos con poca vegetación, alta pedregosidad y bajos niveles de materia orgánica. Lo anterior se puede observar en la figura 24.



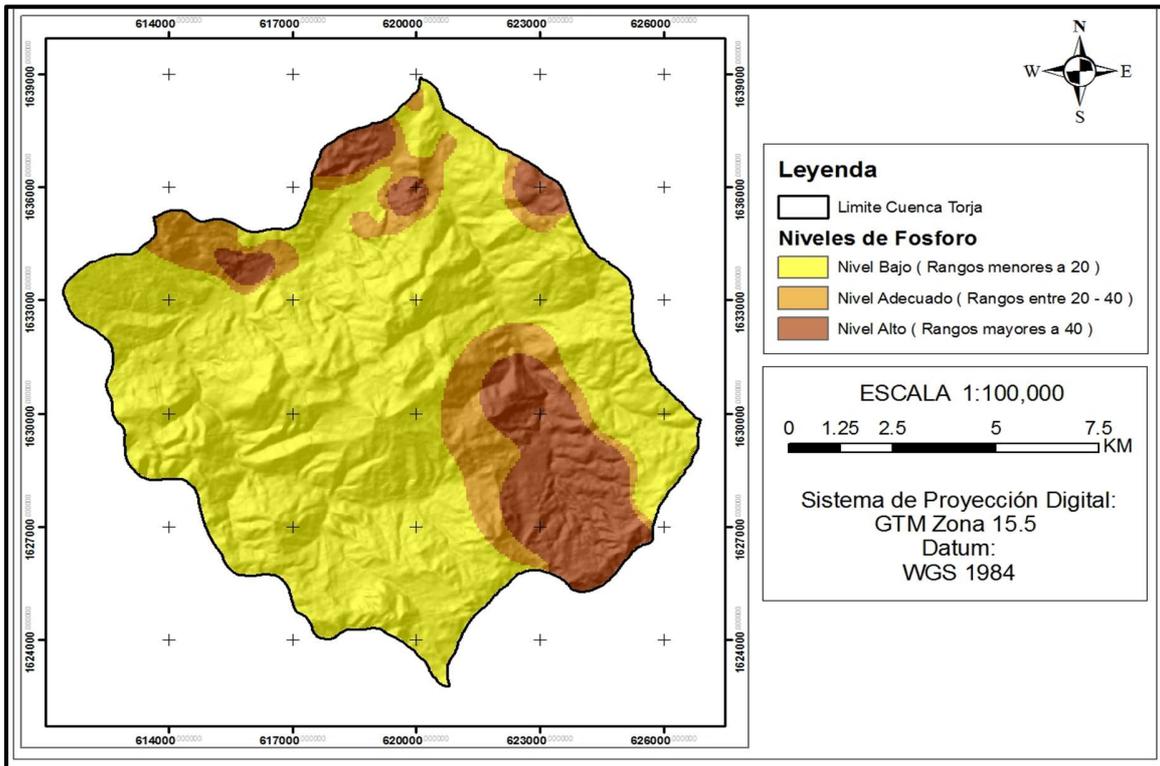
**Figura 24. Distribución del pH de los suelos de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

#### **4.1.5.2 Determinación de Fósforo en los suelos**

La micro cuenca del río Torjá en su mayoría presenta deficiencia de fósforo en sus suelos, principalmente en la parte media y baja. En la parte alta de la micro cuenca existen áreas con valores adecuados y altos de fósforo posiblemente por el uso periódico de fertilizantes químicos en el cultivo de café. Además de los aportes de nutrientes por la descomposición orgánica generada por dicho cultivo.

En la parte baja predominan los valores bajos de contenido de fósforo, sin embargo se encuentran áreas aisladas de contenidos adecuados y altos, debido posiblemente a la aplicación de fertilizantes en las áreas destinada a la producción de hortalizas. Cuando se expresa que existen valores bajos éstos fluctúan regularmente entre 0,39 hasta 20,0 partes por millón, los niveles adecuados estarían entre el rango de 20 hasta 40 ppm y mayor de 40 ppm serian valores altos de fósforo, como se observa en la figura 25.



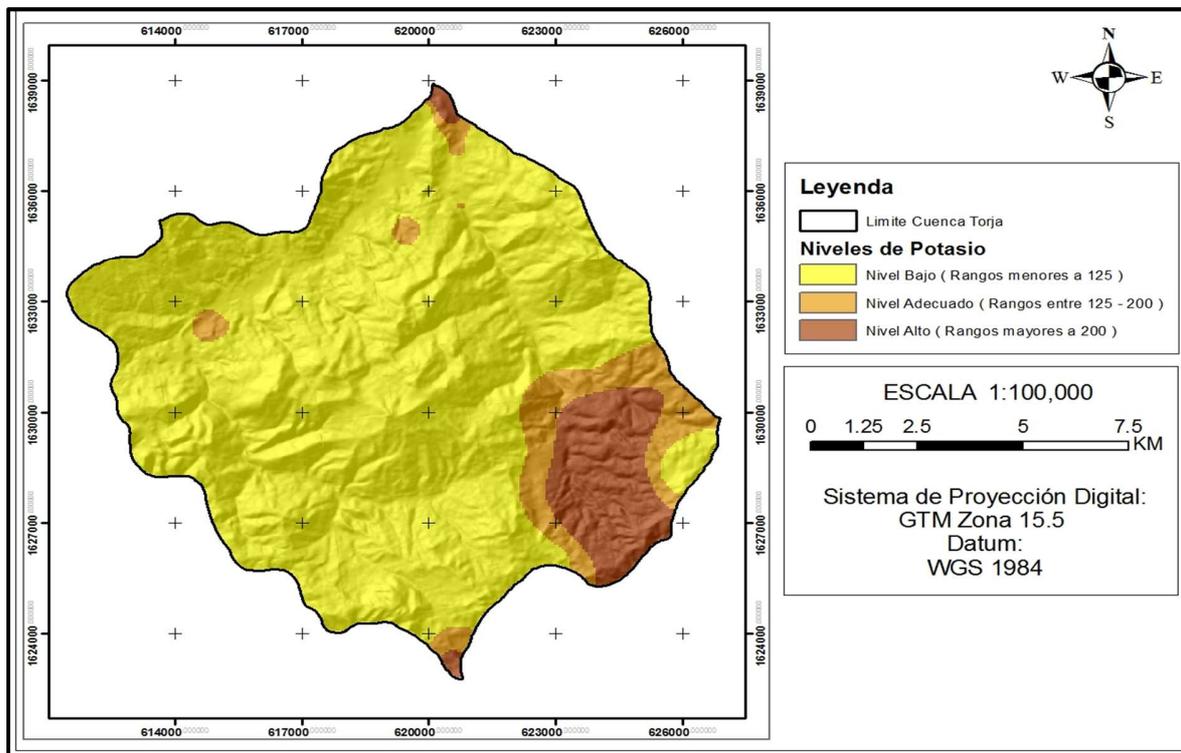
**Figura 25. Contenido de fósforo en los suelos de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

#### 4.1.5.3 Determinación de Potasio

El contenido de potasio en los suelos de la micro cuenca del río Torjá de forma general es bajo, únicamente la parte alta de la cuenca posee niveles altos con valores mayores a 200 miligramos por kilogramo, posiblemente por la aplicación de fertilizantes químicos de las áreas cultivadas con café que se encuentran en dicha zona.

El resto de la micro cuenca se caracteriza por valores bajos de potasio, con menos de 125 miligramos por kilogramo de suelo, Figura 26.

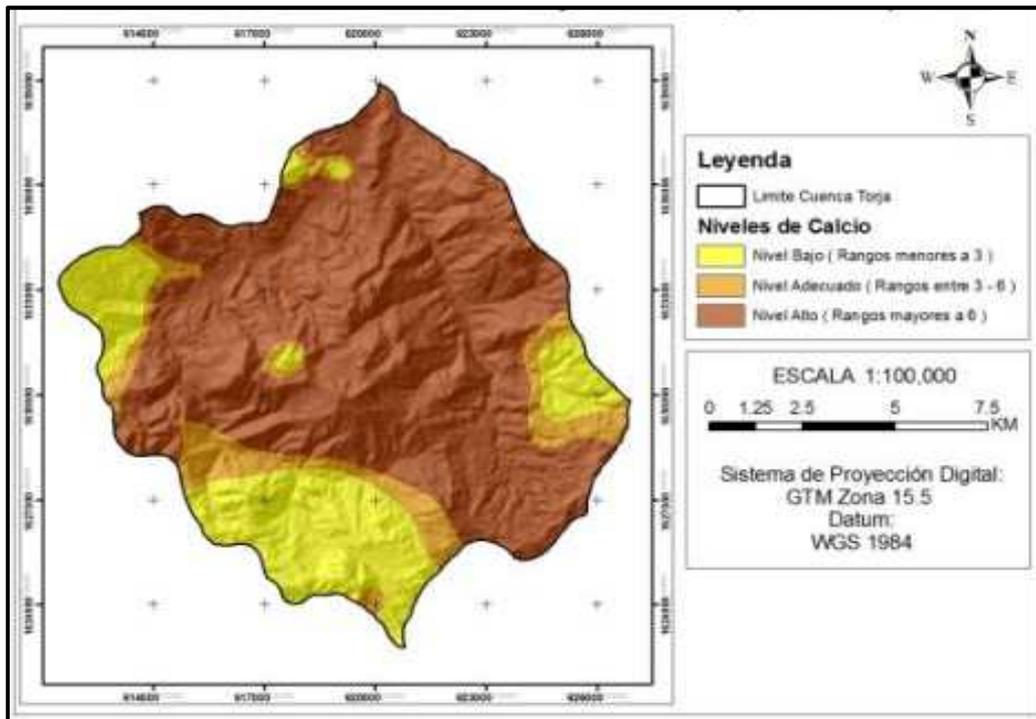


**Figura 26. Contenido de potasio de los suelos de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

#### **4.1.5.4 Determinación de Calcio**

La presencia de calcio en los suelos de la micro cuenca es alta en un 85%, con contenidos mayores a los 6 mili equivalentes por 100 gramos de suelo, alcanzando valores de hasta 29,94 meq/100 g de suelo. La excepción está en la parte alta de la micro cuenca donde se encuentran pH ácidos debido a condiciones climáticas y abundancia de materia orgánica aportada por el cultivo de café, fluctuando los valores entre 0,95 hasta 5,98 meq/100 gramos de suelo. Lo anterior contrasta con los valores altos de pH encontrados en la micro cuenca, donde predominan los pH alcalinos, Figura 27.

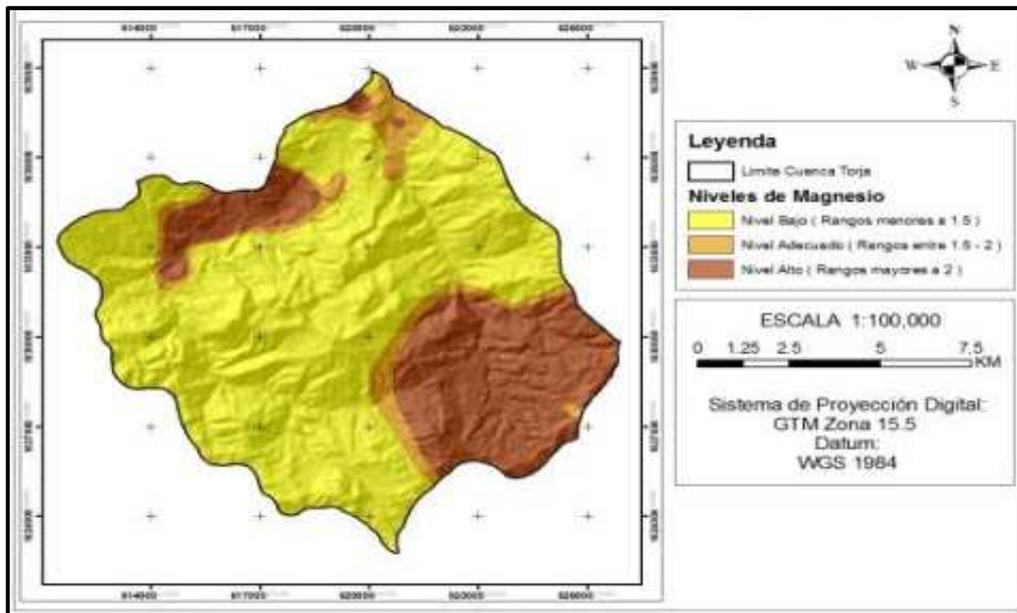


**Figura 27. Contenido de Calcio de los suelos de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

#### **4.1.5.5 Determinación de Magnesio**

El magnesio presente en la micro cuenca en términos generales es bajo, con valores menores a 1,5 meq/100 g de suelo. Únicamente en la parte alta se encontraron valores altos como 4,95 meq/100 g de suelo, así como en algunas áreas bajas cultivadas con hortalizas, esto se debe posiblemente a la fertilización constante que realizan los agricultores en los cultivos de café y hortalizas. La figura 28 es una representación de lo mencionado anteriormente.



**Figura 28. Contenido de Magnesio de los suelos de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

En resumen se puede concluir que la fertilidad de los suelos de la micro cuenca del Río Torjá, representada por las 57 unidades fisiográficas muestreadas en toda la cuenca es en un 90% baja, lo cual influye en los rendimientos reportados por los agricultores y constituye además un factor de degradación del suelo al afectar las condiciones físicas y químicas del suelo, esto representa que deberá en el corto y mediano plazo implementarse medidas correctivas que mejoren las condiciones productivas del suelo.

#### **4.1.5.6 Determinación de Textura y Materia Orgánica**

Considerando la íntima relación entre la textura, la materia orgánica y los parámetros de fertilidad del suelo, es importante analizar la forma como éstos se distribuyen en la micro cuenca. La materia orgánica es de forma general baja, considerando el alto grado de degradación de los suelos y la escasa humedad existente en el área. Se observan lugares aislados con valores altos de materia orgánica principalmente en el parte alta de la cuenca donde se cultiva café. En la parte baja existen lugares dispersos con valores adecuados o altos de materia orgánica, principalmente en las áreas cultivadas

con hortalizas, posiblemente por el uso complementario de fuentes orgánicas como complemento de la fertilización química, como se aprecia en la figura 29.

En relación a la textura de los suelos, existe un predominio de suelos arcillosos en la parte alta y media de la micro cuenca, encontrándose en la parte baja predominio de suelos con texturas francas y franco arcillosas. El cuadro 12 muestra los resultados de estos parámetros.

**Cuadro 12. Parámetros de textura y materia orgánica en la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula**

No.	CLAVE	%M.O.	%arcilla	%limo	%arena	CLASE TEXTURAL
1	1101	4,30	57,15	34,33	8,52	Arcilloso
2	1106	1,83	59,32	14,80	25,88	Arcilloso
3	1107	4,43	27,88	41,42	30,70	Franco arcilloso
4	1201	4,37	28,01	29,02	42,97	Franco arcilloso
5	1205	2,59	36,24	28,88	34,88	Franco arcilloso
6	1206	5,84	30,68	27,44	41,88	Franco arcilloso
7	1207	6,57	22,33	32,01	45,66	Franco
8	1210	3,27	70,50	19,22	10,28	Arcilloso
9	1401	5,35	17,59	46,04	36,37	Franco
10	1403	1,55	35,89	30,68	33,43	Franco arcilloso
11	1406	5,72	39,40	30,38	30,22	Franco arcilloso
12	1407	1,55	16,18	47,46	36,36	Franco
13	1410	3,33	16,25	61,29	22,46	Franco limoso
14	1501	2,53	23,10	39,33	37,57	Franco
15	1503	3,76	37,77	33,28	28,95	Franco arcilloso
16	1512	1,00	58,66	32,40	8,94	Arcilloso
17	1601	3,21	24,32	67,58	8,10	Franco limoso
18	1603	1,86	61,23	29,40	9,37	Arcilloso
19	2101	0,88	65,74	8,72	25,54	Arcilloso
20	2104	0,76	40,81	23,43	35,76	Arcilloso
21	2105	0,36	24,30	20,60	55,10	Franco arcillo arenoso
22	2106	4,67	33,81	27,82	38,37	Franco arcilloso
23	2107	5,16	16,69	51,36	31,95	Franco limoso
24	2109	5,04	50,57	27,84	21,59	Arcilloso

25	2110	1,80	28,56	31,05	40,39	Franco arcilloso
26	2111	6,58	18,74	29,82	51,44	Franco
27	2112	1,44	37,96	31,64	30,40	Franco arcilloso
28	2201	6,70	36,79	24,09	39,12	Franco arcilloso
29	2202	4,83	15,43	61,29	23,28	Franco limoso
30	2204	2,78	30,48	16,48	53,04	Franco arcillo arenoso
31	2205	0,91	29,89	27,55	42,56	Franco arcilloso
32	2206	4,89	22,68	24,44	52,88	Franco arcillo arenoso
33	2207	5,30	23,03	50,85	26,12	Franco
34	2208	0,62	18,92	29,32	51,76	Franco
35	2210	2,78	25,48	18,67	55,85	Franco arcillo arenoso
36	2211	3,07	45,55	21,11	33,34	Arcilloso
37	2212	0,44	35,62	11,95	52,43	Arcillo arenoso
38	2301	4,59	51,01	34,25	14,74	Arcilloso
39	2312	5,71	29,38	38,94	31,68	Franco arcilloso
40	2401	1,96	41,77	24,56	33,67	Arcilloso
41	2403	1,62	32,85	39,95	27,20	Franco arcilloso
42	2406	2,26	72,88	22,10	5,02	Arcilloso
43	2407	3,83	38,03	35,84	26,13	Franco arcilloso
44	2408	3,48	42,78	42,84	14,38	Arcillo limoso
45	2410	6,64	24,15	46,20	29,65	Franco
46	2411	2,90	38,11	29,68	32,21	Franco arcilloso
47	2412	0,62	37,86	13,38	48,76	Arcillo arenoso
48	2501	5,30	39,65	36,75	23,60	Franco arcilloso
49	2503	1,62	47,65	28,51	23,84	Arcilloso
50	2509	1,91	40,58	26,54	32,88	Arcilloso
51	2512	0,97	58,53	34,55	6,92	Arcilloso
52	2601	3,02	43,68	20,24	36,08	Arcilloso
53	2603	3,37	60,03	21,59	18,38	Arcilloso
54	2604	2,84	47,72	28,05	24,23	Arcilloso
55	2608	4,74	41,16	38,31	20,53	Arcilloso
56	2609	3,19	46,06	30,97	22,97	Arcilloso
57	2612	1,32	52,33	28,77	18,90	Arcilloso

Fuente: Elaboración Propia 2012

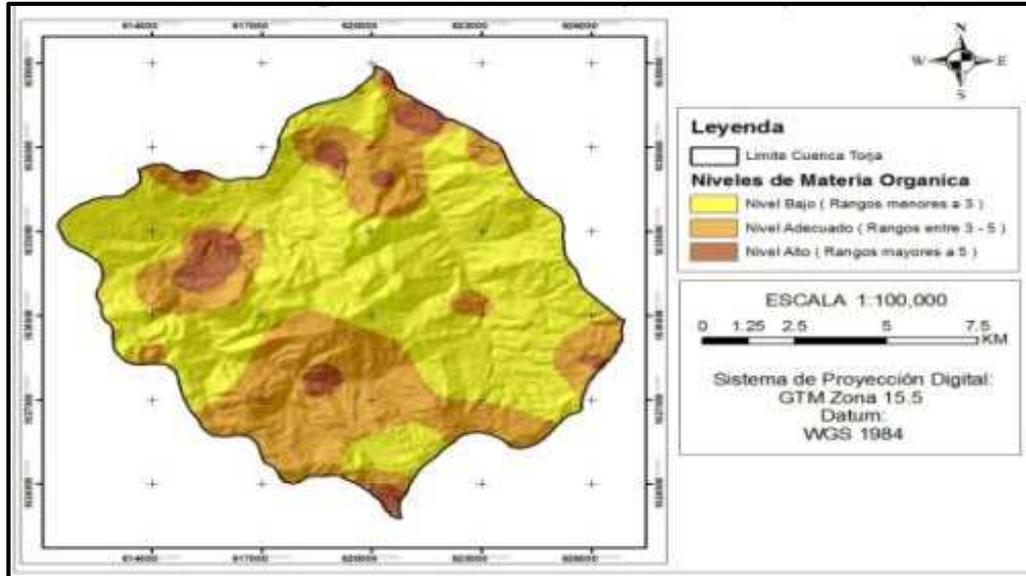


Figura 29. Materia Orgánica de la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula  
Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012

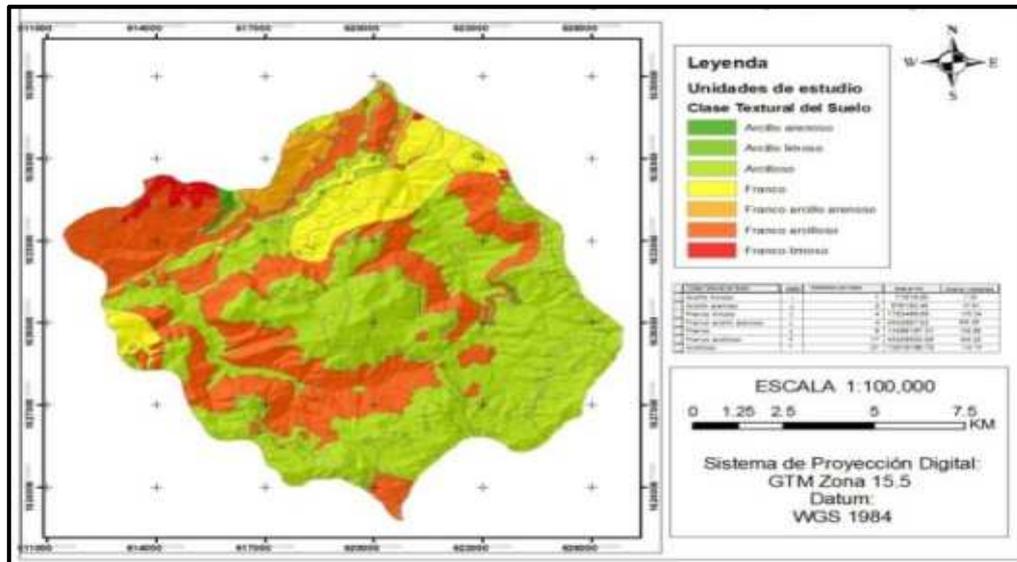


Figura 30. Textura de los suelos de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula  
Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012

#### **4.1.6 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE REALIZADO A LOS RESULTADOS DE LABORATORIO EN CUANTO A LOS PARÁMETROS DE FERTILIDAD.**

Con el objetivo de establecer la confiabilidad de los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos, de los diferentes parámetros de fertilidad evaluados, se realizó un análisis de incertidumbre, para poder observar la variabilidad de los parámetros abordado. Para ello se utilizaron 20 muestras de suelo, las cuales fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía para luego someterlas a una prueba “t” y evaluar si los dos grupos de datos obtenidos en el laboratorio difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias.

Por cuestiones presupuestarias del proyecto se solicitó únicamente el análisis de 20 muestras de suelo.

Para el análisis de cada parámetro se utilizó el Software Statgraphics Centurión, versión 15 del 2007, el cual permite a través de una prueba “t” evaluar si los dos grupos de datos obtenidos en el laboratorio difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias para poder establecer la confiabilidad de los resultados obtenidos.

A continuación, se presenta en el cuadro 13 el resumen estadístico de los diferentes parámetros evaluados con el propósito de observar los valores obtenidos en cada caso.

**Cuadro 13. Resumen Estadístico Análisis de Incertidumbre**

	<i>pH/1</i>	<i>pH/2</i>	<i>Ppm</i> <i>P2O5/1</i>	<i>Ppm</i> <i>P2O5/2</i>	<i>Ppm</i> <i>K2O/1</i>	<i>Ppm</i> <i>K2O/2</i>	<i>Ca/1</i>	<i>Ca/2</i>	<i>Mg/1</i>	<i>Mg/2</i>
Recuento	57	20	57	20	57	20	57	20	57	20
Promedio	7,17	7,05	18,95	17,64	97,59	114,37	16,73	15,21	1,62	2,00
Desviación Estándar	1,22	1,15	24,92	20,86	74,34	98,19	10,68	9,14	1,29	1,23
Coefficiente de Variación	17,04%	16,43%	131,88%	118,25%	76,17%	85,85%	63,86%	60,09%	79,86%	61,45%
Mínimo	4,55	4,70	0,39	2,50	21,00	28,50	0,50	0,55	0,05	0,20
Máximo	8,56	8,52	89,44	88,50	425,00	42,50	29,94	27,50	4,91	4,55
Rango	4,01	3,82	89,05	86,00	404,00	392,00	29,44	26,95	4,86	4,35

**Fuente: Elaboración propia 2013**

Los valores obtenidos en ambos laboratorios muestran poca variabilidad en los diferentes parámetros evaluados, más sin embargo en algunos casos la desviación estándar y el coeficiente de variación son altos, producto de las variaciones en la concentración de algunos elementos presentes en los suelos. La parte alta de la microcuenca representa áreas que son frecuentemente fertilizadas, mientras que la parte baja corresponde a suelos más degradados con niveles bajos de fertilidad.

#### Comparación de Medias

Se desarrolló una prueba “t” para comparar si las medias de las dos poblaciones son iguales o no. Considerando que los valores P calculado no son menores que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

El planteamiento de las hipótesis fue el siguiente:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

El resumen de los resultados obtenidos para la prueba “t” en los diferentes parámetros se muestra en el cuadro 14.

**Cuadro 14. Resultados Prueba t para la comparación de las muestras**

Valores	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
T	0,37	0,21	-0,79	0,56	-1,13
P	0,70	0,83	0,42	0,57	0,26
Significación	NS	NS	NS	NS	NS

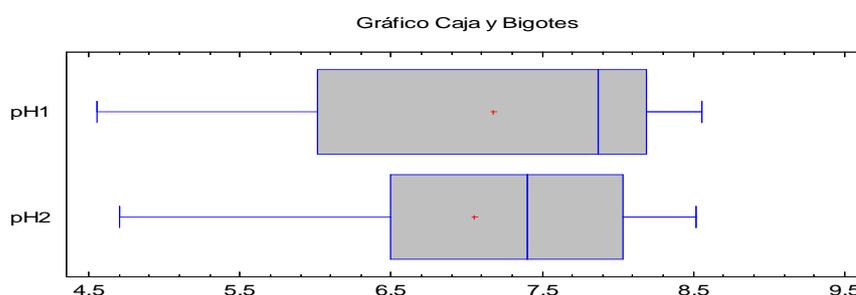
**Fuente: Elaboración propia 2013**

Estos resultados muestran que los valores obtenidos de la prueba t, no tienen diferencias significativas entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95%. Así mismo, puesto que el valor P calculado no es menor que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula para todos los indicadores evaluados.

Por lo antes descrito se puede concluir que los resultados obtenidos de ambos laboratorios son similares lo cual brinda un alto nivel de confianza del trabajo realizado en el laboratorio del CUNORI.

### **Graficas de Cajas y Bigotes para cada indicador**

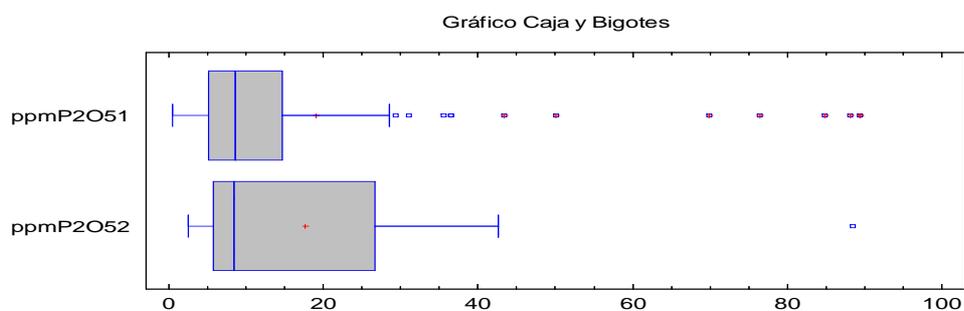
Las gráficas muestran el comportamiento de la distribución de los datos, lo cual es importante para observar la congruencia o bien la existencia de alguna variabilidad que pueda explicarse técnicamente, tal como se muestra en la figura 31.



**Figura 31. Gráfica de Cajas y Bigotes para pH**

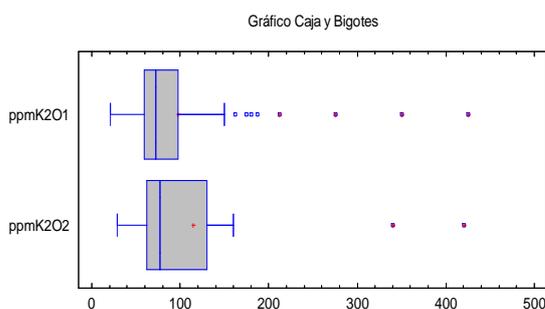
**Fuente: Elaboración Propia 2013**

Para el caso del pH se muestra congruencia entre los valores de la media y los valores de este indicador tienen una distribución similar en ambos casos, lo cual permite argumentar que los resultados de dicha variable se encuentran dentro de un buen parámetro de confianza.



**Figura 32. Gráfica de Cajas y Bigotes para fósforo**

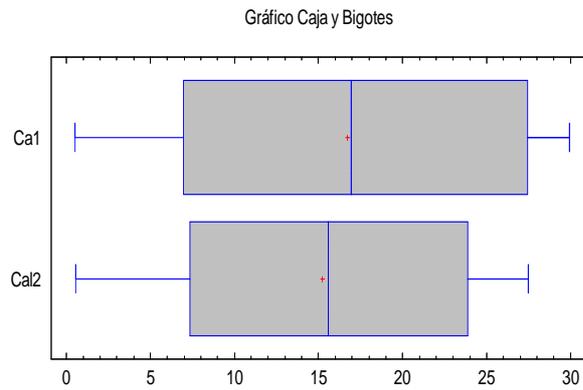
**Fuente: Elaboración Propia 2013**



**Figura 33. Gráfica de Cajas y Bigotes para potasio**

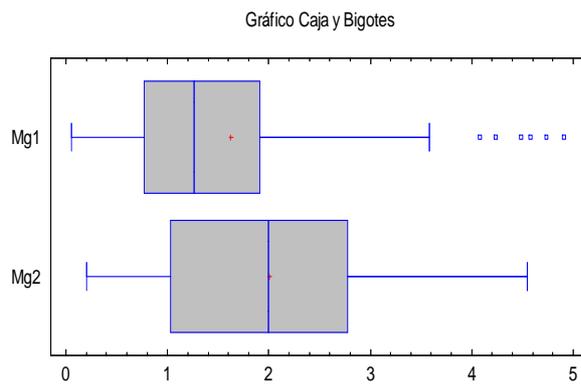
**Fuente: Elaboración Propia 2013**

El fósforo a pesar de existir similitud en sus medias, presenta algunos puntos fuera del contexto de la mayoría de resultados, esto se debe a que representan puntos de la cuenca donde se siembra café, por consiguiente existen aportes químicos de fósforo unido a los aportes orgánicos que realiza el cultivo y los árboles de sombra, además de considerar la poca movilidad del fósforo en el suelo. Situación similar ocurre con el potasio en donde el valor alto de la media está inclinado por dos puntos con valores altos de potasio. A pesar de ello existe similitud en los resultados obtenidos en ambos laboratorios, como se muestra en las figura 32 y 33.



**Figura 34. Gráfica de Cajas y Bigotes para calcio**

**Fuente: Elaboración Propia 2013**



**Figura 35. Gráfica de Cajas y Bigotes para magnesio**

**Fuente: Elaboración Propia 2013**

El comportamiento del calcio es uniforme en la micro cuenca, sus medias son similares y los resultados obtenidos en ambos laboratorios tienen mucha similitud. Los valores altos de calcio están representados por la abundancia de carbonatos en el suelo, así como, la degradación que ha tenido la parte baja de la cuenca en donde se encuentra concentrada la mayor parte de unidades productivas. El magnesio muestra similitud en sus medias, existen algunos puntos dispersos que muestran alta concentración de

magnesio, debido a la residualidad de este elemento en el suelo así como a los aportes de fertilizantes realizados en el área, como se observa en la figura 35.

## **4.2 DETERMINACIÓN INDIRECTA DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS DE LA MICRO CUENCA DEL RÍO TORJÁ, CHIQUIMULA.**

La disponibilidad de agua en el suelo es primordial para que se realicen los procesos de absorción de nutrientes por las plantas por lo que su estudio es prioritario en regiones semiáridas, tal el caso de la sub cuenca del río Torjá, ubicada en la región Chortí, en el departamento de Chiquimula, Guatemala. Esta investigación tuvo como objetivo determinar modelos estadísticos que permitan estimar de forma indirecta la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, para conocer la disponibilidad de agua en el suelo con fines agrícolas. Fueron tomadas como base las unidades fisiográficas de la micro cuenca del río Torjá identificándose cincuenta y siete sitios, donde se realizaron muestreos de suelos; Se definieron como variables dependientes la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) y como variables independientes, el % de arcilla, % limo, % arena, densidad aparente (Da), conductividad eléctrica (CE) y la materia orgánica (MO). Fueron establecidas relaciones entre estas variables mediante regresión lineal múltiple generándose los modelos:  $CC = 67,31 - (33,77 * Da) - (0,23 * \% \text{ Arena})$ ,  $R^2 0,59$  y  $PMP = 55,05 - (28,97 * Da) - (0,23 * \% \text{ Arena})$ ,  $R^2 0,69$ . Los modelos se validaron tomando diez muestras al azar en el área de estudio, obteniendo una alta correlación de Pearson entre valores observados y valores estimados a partir de la densidad aparente y % de arena, siendo de 0,84 para el modelo de capacidad de campo y 0,85 para el de punto de marchitez permanente.

### **4.2.1 Análisis estadístico**

Primero se analizaron los datos obtenidos de los análisis de suelos, discriminando los datos extremos. Se utilizó el programa de cómputo INFOSTAT propuesto por Di Rienzo, et al (2001), para realizar la regresión lineal múltiple. Se identifican las variables independientes que de mejor forma explican asociaciones respecto a la capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Se realiza un primer modelo estadístico

incluyendo todas las variables para identificar aquellas que expliquen de manera significativa los cambios en las variables dependientes y se compara con el análisis previo de correlación. Posteriormente se realiza un segundo modelo sólo incluyendo las variables con alta significancia, determinando su porcentaje de explicación sobre la variabilidad de las variables dependientes a través del estadístico Eta Cuadrado. Así mismo, se verifica el fundamento estadístico de los modelos a través de la determinación de intervalos de confianza al 5%, análisis de residuos y la Prueba de Shapiro & Wilks para verificar la normalidad de los residuales.

Una vez determinados los modelos, éstos son validados mediante correlaciones de Pearson entre los resultados de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez procedentes del análisis de diez muestras aleatorias en el área de estudio y los valores estimados a través de los modelos generados.

Los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de suelos del área de estudio se relacionan a continuación, en el cuadro 15.

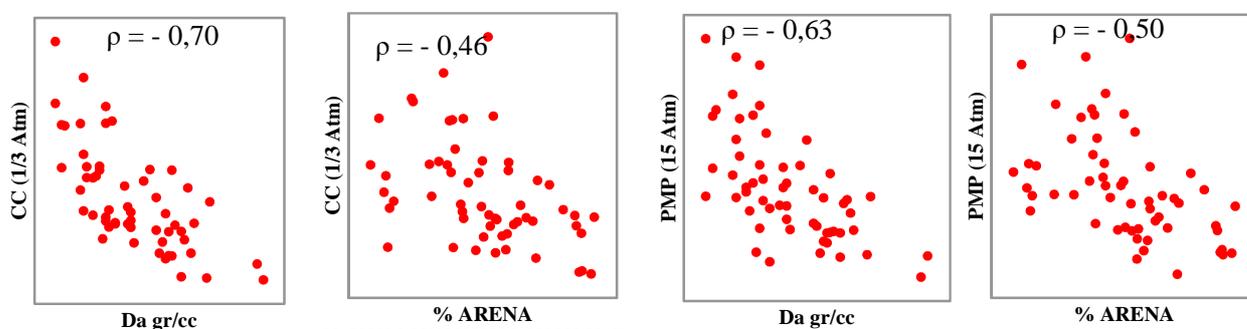
**Cuadro 15. Resultados de los análisis de suelo en laboratorio**

No	CLAVE	CC (1/3 Atm)	PMP (15 Atm)	% ARCILLA	% LIMO	% ARENA	Da gr/cc	C.E. µS/cm	% M.O.
1	1101	30,18	22,18	57,15	34,33	8,52	1,04	112,30	4,30
2	1106	23,84	22,26	59,32	14,80	25,88	0,92	115,70	1,83
3	1107	19,31	13,16	27,88	41,42	30,70	1,01	243,00	4,43
4	1201	29,34	16,60	28,01	29,02	42,97	0,98	210,20	4,37
5	1205	19,49	9,84	36,24	28,88	34,88	1,10	72,50	2,59
6	1206	22,12	17,24	30,68	27,44	41,88	0,93	275,00	5,84
7	1207	28,59	20,82	22,33	32,01	45,66	0,84	179,50	6,57
8	1210	25,68	21,89	70,50	19,22	10,28	0,99	157,40	3,27
9	14 01	32,57	21,76	17,59	46,04	36,37	0,78	219,80	5,35
10	1403	16,53	11,51	35,89	30,68	33,43	1,11	178,60	1,55
11	1406	24,71	19,67	39,40	30,38	30,22	1,00	192,40	5,72
12	1407	31,10	15,80	16,18	47,46	36,36	0,89	148,10	1,55
13	1410	32,13	19,73	16,25	61,29	22,46	0,90	193,80	3,33
14	1501	21,53	14,06	23,10	39,33	37,57	1,08	208,30	2,53
15	1503	16,98	12,80	37,77	33,28	28,95	1,13	120,30	3,76
16	1512	17,51	15,51	58,66	32,40	8,94	1,19	55,40	1,00
17	1601	27,28	18,76	24,32	67,58	8,10	1,08	215,90	3,21

18	1603	24,43	17,65	61,23	29,40	9,37	1,11	66,60	1,86
19	2101	25,11	20,26	65,74	8,72	25,54	0,93	42,00	0,88
20	2104	17,06	11,30	40,81	23,43	35,76	1,12	98,10	0,76
21	2105	12,79	9,47	24,30	20,60	55,10	1,42	78,90	0,36
22	2106	22,04	14,61	33,81	27,82	38,37	1,00	150,20	4,67
23	2107	23,23	16,50	16,69	51,36	31,95	1,00	167,90	5,16
24	2109	48,42	37,40	50,57	27,84	21,59	0,85	56,40	5,04
25	2110	22,77	13,07	28,56	31,05	40,39	1,20	168,90	1,80
26	2111	23,12	13,36	18,74	29,82	51,44	0,92	238,00	6,58
27	2112	32,82	29,27	37,96	31,64	3,4	0,90	104,10	1,44
28	2201	24,95	17,67	36,79	24,09	39,12	0,85	326,00	6,70
29	2202	30,81	23,49	15,43	61,29	23,28	0,86	204,90	4,83
30	2204	13,31	9,28	30,48	16,48	53,04	1,16	102,00	2,78
31	2205	15,60	6,49	29,89	27,55	42,56	1,40	42,70	0,91
32	2206	20,02	9,99	22,68	24,44	52,88	0,91	163,00	4,89
33	2207	40,31	32,18	23,03	50,85	26,12	0,84	167,40	5,30
34	2208	21,33	12,71	18,92	29,32	51,76	1,16	74,70	0,62
35	2210	22,88	16,14	25,48	18,67	55,85	0,95	61,00	2,78
36	2211	22,66	8,63	45,55	21,11	33,34	0,95	161,70	3,07
37	2212	13,12	9,64	35,62	11,95	52,43	1,24	179,70	0,44
38	2301	43,31	30,61	51,01	34,25	14,74	0,92	119,70	4,59
39	2312	54,78	39,99	29,38	38,94	31,68	0,76	160,10	5,71
40	2401	22,42	12,92	41,77	24,56	33,67	1,14	206,40	1,96
41	2403	28,99	17,38	32,85	39,95	27,20	1,18	232,00	1,62
42	2406	32,10	21,02	72,88	22,10	5,02	1,13	300,00	2,26
43	2407	22,62	19,08	38,03	35,84	26,13	0,99	152,20	3,83
44	2408	43,87	17,85	42,78	42,84	14,38	0,76	53,70	3,48
45	2410	30,74	19,10	24,15	46,20	29,65	0,88	186,60	6,64
46	2411	21,27	12,68	38,11	29,68	32,21	1,12	131,30	2,90
47	2412	24,19	18,47	37,86	13,38	48,76	0,88	15,55	0,62
48	2501	40,08	29,11	39,65	36,75	23,60	0,78	116,5	5,30
49	2503	17,47	13,67	47,65	28,51	23,84	1,09	27,60	1,62
50	2509	40,76	26,71	40,58	26,54	32,88	0,94	94,30	1,91
51	2512	40,39	36,27	58,53	34,55	6,92	0,92	47,40	0,97
52	2601	19,87	16,85	43,68	20,24	36,08	1,17	133,30	3,02
53	2603	32,23	25,75	60,03	21,59	18,38	1,06	231,00	3,37
54	2604	34,93	25,83	47,72	28,05	24,23	0,85	30,00	2,84
55	2608	32,70	28,78	41,16	38,31	20,53	0,86	206,10	4,74
56	2609	39,93	29,98	46,06	30,97	22,97	0,79	68,80	3,19
57	2612	26,55	17,80	52,33	28,77	18,90	1,25	41,20	1,32

Fuente: Elaboración propia 2012

Mediante el análisis de los resultados del laboratorio de las muestras de suelos, se realizaron varios escenarios de modelaje determinando la eliminación de seis puntos de muestreo (21, 24, 36, 39, 44 y 51), por ser extremos. Posteriormente con 51 set de datos se hace el análisis de correlación, para determinar que variables independientes están asociadas a la capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Determinando que las variables de mayor asociación en ambos casos son la densidad aparente (Da) y el % de Arena (Figura 36).



**relación a la Capacidad de campo (CC) y Punto de Marchitez permanente (PMP)**

**Fuente: Elaboración propia 2012**

Posteriormente se realizó un primer modelo con todas las variables independientes (% de arcilla, % de limo, % de arena, densidad aparente, Conductividad eléctrica y materia orgánica). Determinando que las únicas variables que explican la variación de la CC y PMP con significancia del 5% son la densidad aparente y el % de arena, lo que coincide con el análisis previo de correlación. Esto se explica debido a que el área de estudio es una zona semiárida (de poca precipitación y alta evapotranspiración), con período seco prolongado, donde predominan suelos con granulometría de fina a media con una cobertura vegetal no frondosa y una dinámica de reciclaje de materia orgánica muy baja. Los modelos determinados son:

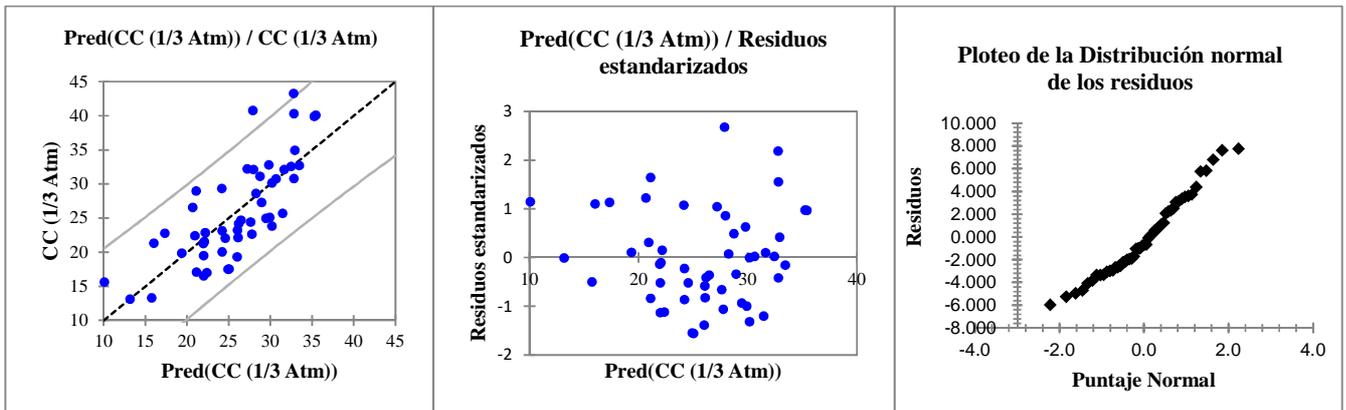
$$CC = 67,31 - (33,77 \cdot Da) - (0,23 \cdot \% \text{ Arena}), R^2 = 0,59 \text{ y}$$

$$PMP = 55,05 - (28,97 \cdot Da) - (0,23 \cdot \% \text{ Arena}), R^2 = 0,69.$$

Dónde:

CC= Capacidad de campo. Da= Densidad aparente, PMP= Punto de marchitez permanente,  $R^2$ = Coeficiente de determinación ajustado.

De conformidad con el análisis de correlación, el coeficiente de determinación es de 0,59 para el caso de CC, siendo las variables densidad aparente, porcentaje de arena las que explican el 59% de la variación. Para el caso del PMP el coeficiente de determinación fue de 0,69, en donde la densidad aparente y el porcentaje de arena explican el 69% de la variación. El remanente es explicado por factores no estudiados. La Figura 37 muestra los fundamentos estadísticos del modelo de CC, los resultados del modelo PMP, no son mostrados, sin embargo, en ambos casos estos son satisfactorios.



**Figura 37. Fundamentos estadísticos del modelo de CC y PMP**

**Fuente: Elaboración Propia 2012**

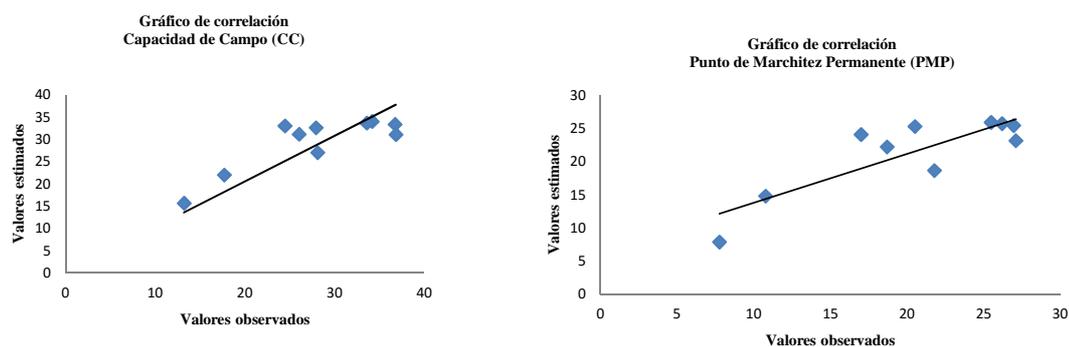
Los modelos se validaron mediante la correlación del resultado de CC y PMP de diez muestras aleatorias de suelos en el área de estudio y los valores estimados de CC y PMP a través de los modelos. El cuadro 16 muestra los resultados de la validación.

**Cuadro 16. Valores observados y estimados de CC y PMP en función de la Densidad Aparente y % de Arena**

No.	CLAVE	Da Laboratorio	% Arena	CC (Laboratorio)	CC (Modelo)	PMP (Laboratorio)	PMP (Modelo)
1	2401	0,79	41,41	26,10	31,11	18,70	22,23
2	1401	0,90	42,93	28,09	27,04	21,78	18,67
3	2210	0,93	11,07	36,71	33,36	26,95	25,45
4	2201	0,84	27,67	27,90	32,58	16,99	24,07
5	2205	0,89	14,02	34,15	34,03	25,47	25,90
6	1205	1,13	31,23	17,69	21,97	10,76	14,82
7	2501	0,96	8,00	24,44	33,05	20,51	25,32
8	2403	1,07	67,45	13,22	15,66	7,75	7,86
9	2612	0,95	18,20	36,82	31,04	27,08	23,16
10	2512	0,93	9,88	33,55	33,63	26,19	25,74

**Fuente: Elaboración Propia 2012**

Se observa alta correlación de Pearson entre los valores observados a nivel de campo de CC y PMP, y los estimados mediante los modelos tomando como insumos la densidad aparente y el % de arena. Siendo para el modelo de CC ( $\rho = 0,84$ ) y para el de PMP ( $\rho=0,85$ ), tal como se muestra en la Figura 38.



**Figura 38. Representación de la correlación de Pearson entre valores observados y valores estimados para las variables Capacidad de campo (CC) y Punto de marchitez permanente (PMP). Fuente: Elaboración Propia 2012**

Se considera que los modelos generados para determinar las constantes de humedad pueden utilizarse adecuadamente para estudios a nivel local, ya que presentan alta probabilidad de exactitud. Es importante remarcar que utilizados adecuadamente se constituyen en herramientas de apoyo a la gestión del manejo del agua en la región. Los estudios relativos a la estimación indirecta de la capacidad de campo y el punto de marchitez, son escasos, existen algunas investigaciones relativas al tema de la humedad como la realizada por Castellaro y Squella (2006), quienes elaboraron un modelo simple de crecimiento, fenología y balance hídrico de praderas anuales de clima mediterráneo, el balance hídrico se realizó en un estrato de suelo de 40 cm, donde se concentra la masa radicular, se consideraron los aportes de la precipitación y las pérdidas de agua por evapotranspiración. El modelo supone un adecuado aporte de nutrimentos, siendo las variables climáticas, la disponibilidad de material fotosintético y la humedad del suelo, las principales limitantes para el crecimiento. Damiano y Taboada (2000) expresan que la producción de cultivos agrícolas depende, además de los aportes externos de agua, de la capacidad de agua disponible de los suelos (CAD) y su cálculo surge usualmente de conocer previamente la retención de humedad entre dos valores discretos de potencial mátrico (i.e. -33 kPa y -1 500 kPa) y la determinación de estos valores, tanto en campo como en laboratorio, es costosa en tiempo y recursos, además de demandar un gran número de muestras debido a la variabilidad espacial del suelo. El autor indica que las ecuaciones se basan en características del suelo tales como la textura, la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico, las cuales están ligadas a la retención de agua, además afirma que la capa arable es responsable de hasta un 50% de la capacidad de agua disponible en el suelo.

La determinación de la capacidad de retención de agua de los suelos de la cuenca del Río Torjá, mediante la utilización de los modelos determinados, es congruente con el análisis de la clase textural (Cuadro17), donde la diferencia aritmética entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente se define como el agua disponible o capacidad de retención de humedad del suelo, éste es un parámetro multifuncional en la dinámica del estudio de las relaciones suelo, agua y planta.

**Cuadro 17. Relaciones entre clase textural y agua disponible a las plantas**

No.	Clave	Textura	CC del Modelo (%)	PMP del Modelo (%)	Capacidad de Retención de Humedad (%)
1	2401	Arcilloso	31,11	22,23	8,88
2	1401	Franco	27,04	18,67	8,37
3	2210	Franco arcillo arenoso	33,36	25,45	7,91

**Fuente: Elaboración Propia 2012**

Puede aseverarse que la capacidad de retención de humedad muestra una estrecha relación con la textura de los suelos, puesto que los valores más altos indican la presencia de suelos arcillosos, mientras que la disminución del valor de la capacidad de retención indica la tendencia hacia suelos con granulometría media o gruesa (Sandoval, 2007).

#### **4.3 ESTIMACION DE LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA DE SECANO**

Producto de las diversas actividades realizadas con los especialistas que sirvieron de apoyo a la presente investigación, se definieron las variables e indicadores que explican la vulnerabilidad de la agricultura de secano, para ello se establecieron las diferentes relaciones dentro del sistema y se generó una ponderación que permitiera cuantificar la vulnerabilidad de los diferentes puntos seleccionados en la investigación.

Las variables determinadas fueron de tipo socioeconómico, climático y edáfico, los indicadores del sistema fueron los siguientes:

- **Densidad poblacional.**

La vulnerabilidad está relacionada con el número de familias o personas que puedan estar expuestos al fenómeno en estudio, a mayor densidad poblacional

mayor vulnerabilidad. Además la presión sobre los recursos naturales aumenta con mayor número de habitantes, esto repercute en el cambio del uso del suelo de la cuenca.

- **Intensidad de uso de la tierra.**

Esta variable proviene del análisis del uso potencial y el uso actual, brindando información sobre la intensidad de uso del suelo que puede clasificarse como uso adecuado, sobre uso y sub uso. Los suelos que están en sobre uso se consideran de mayor vulnerabilidad, debido a la fragilidad social, ambiental y edáfica que presentan dichas áreas.

- **Analfabetismo.**

Del nivel de educación formal e informal del agricultor depende en cierta medida el nivel tecnológico utilizado en sus cultivos. Además a mayor nivel de escolaridad se espera mayor comprensión de las relaciones entre hombre y medio ambiente a fin de evitar o disminuir los efectos adversos de la naturaleza sobre el agro sistema que le brinda el sustento familiar.

- **Altitud.**

Esta variable tiene relación directa con los gradientes adiabáticos o sea la variación de temperatura que experimentan las masas de aire en movimiento vertical. Esta variable se incluye bajo el supuesto que a mayor altura sobre el nivel del mar, menos son los impactos de los fenómenos naturales como la sequía en el área de estudio.

- **Precipitación pluvial.**

La precipitación es la variable que define los períodos de sequía presentes en la zona de estudio. Se consideró que las áreas con bajo promedio de precipitación tienen mayor probabilidad de ser afectadas por períodos prolongados de sequía. Es evidente que la sequía es una de las mayores limitantes para la obtención de cosechas en la micro cuenca en estudio.

- **Temperatura.**

Se considera que a mayores temperaturas existe mayor vulnerabilidad a sequías, debido a que altas temperaturas limitan el desarrollo de los cultivos y aumentan la evapotranspiración. La pérdida de humedad del suelo puede

causar el estrés hídrico en los cultivos hasta llegar al punto de marchitez permanente.

- **Pendiente.**

La pendiente de los suelos define en gran medida el potencial de los mismos. En la mayoría de los casos en la cuenca en estudio el potencial de uso es forestal, sin embargo se utiliza para fines agrícolas. A mayor pendiente existirá mayor susceptibilidad a problemas de déficit de humedad, ya que la infiltración del agua será muy limitada.

- **Capacidad de Retención de Humedad del suelo.**

Los suelos que tienen mayor capacidad de almacenar humedad disponible para los cultivos son menos vulnerables a la pérdida de cosecha. Esta variable se determinó con la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, indicando la capacidad del suelo de retener suficiente humedad a través del tiempo.

- **Fertilidad del suelo.**

Los cultivos se desarrollan mejor en suelos fértiles, desarrollando plantas más fuertes y con mayor ventaja para soportar condiciones adversas, en el presente caso, ser más tolerantes a situaciones de sequía. Es decir que en suelos más fértiles se producirán cultivos con menores niveles de estrés que aquellos producidos en suelos poco fértiles.

- **Profundidad Efectiva del suelo.**

La profundidad efectiva del suelo está relacionada con la capacidad de almacenamiento de nutrientes y agua disponible. A mayor profundidad mayor posibilidad de almacenamiento hídrico y menor el riesgo a pérdida por causas de sequía. Además, está relacionada con la capacidad de las plantas de explorar mayor profundidad del suelo para la absorción de agua.

Se asignó un valor relativo de importancia en una escala de uno a cien, para cada variable y sus indicadores.

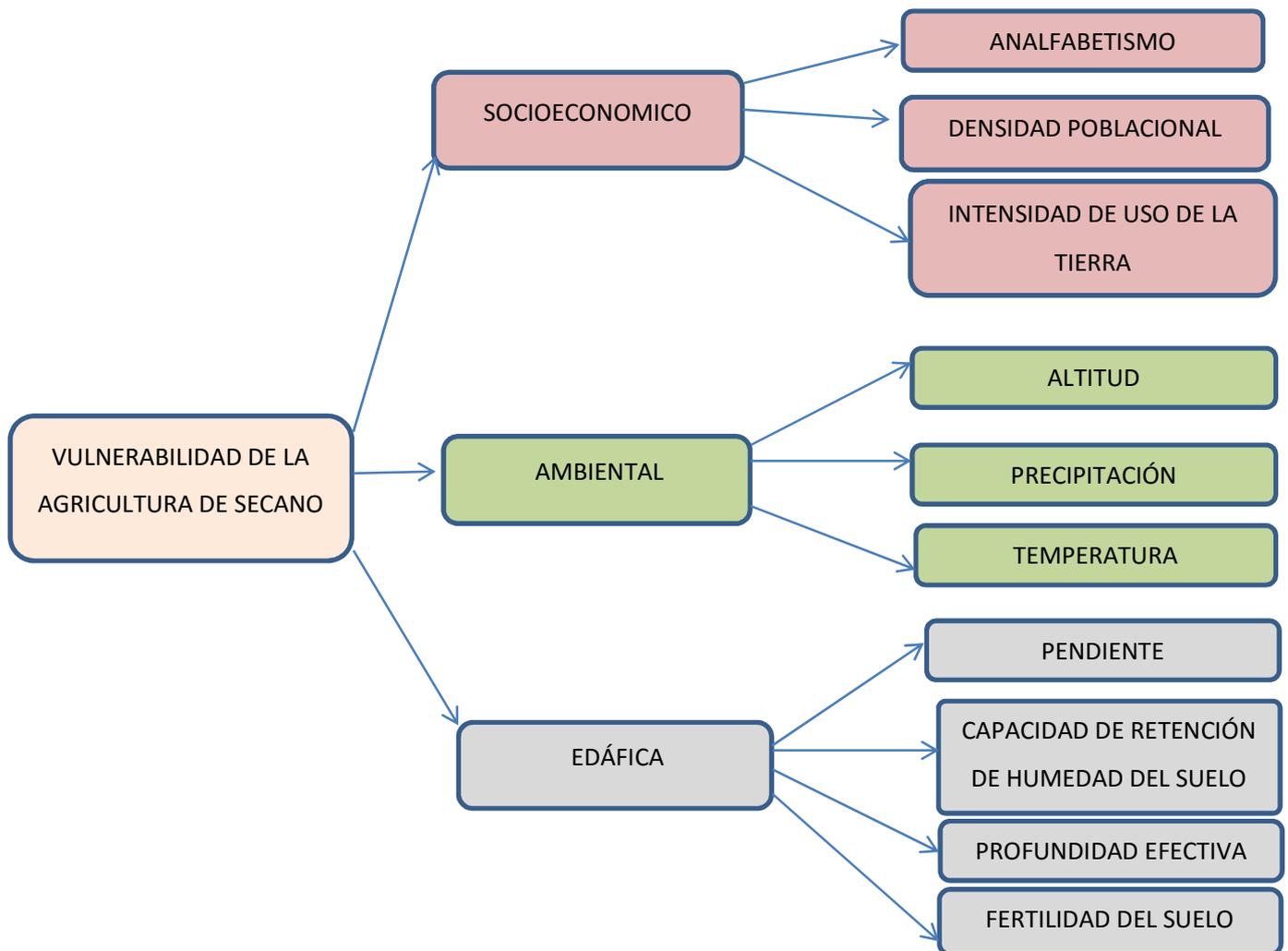
Realizada la ponderación, se definió el modelo matemático para estimar la vulnerabilidad en la cuenca bajo estudio. Para ingresar los datos al modelo se recolectó información de cada uno de los indicadores. La obtención de la información

de las variables seleccionadas se hizo mediante fuentes secundarias y mediciones directas en campo.

Los indicadores densidad poblacional, educación, intensidad de uso de la tierra se obtuvieron de registros disponibles en el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2002). Para los indicadores altitud, precipitación y temperatura, se utilizó como base a los datos generados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, y los registros meteorológicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología y Meteorología, INSIVUMEH.

Los indicadores humedad y fertilidad del suelo se determinaron en campo, a través de muestreos en campo y análisis de laboratorio, la definición de los puntos de muestreo se describe en el apartado del estudio de la fertilidad de los suelos. Todos los indicadores seleccionados y medidos permitieron generar mapas individuales, que visualizaron la situación de cada indicador en la micro cuenca, posteriormente aplicado el modelo se determinó que únicamente dos indicadores eran los determinantes de la vulnerabilidad, formulándose los mapas respectivos de vulnerabilidad a nivel de la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala.

Los mapas de las categorías de vulnerabilidad para cada variable y el índice general de vulnerabilidad, se elaboraron utilizando sistemas de información geográfica, específicamente el programa ArcGIS 9,2 realizando interpolaciones geoestadísticas de los datos, mediante el método de interpolación inverse distance weighted, o interpolación por pesos inversamente proporcional a la distancia, las variables se presentan resumidas en la Figura 39.



**Figura 39. Diagrama de flujo que muestra el resumen de variables e indicadores utilizados para la generación del modelo**

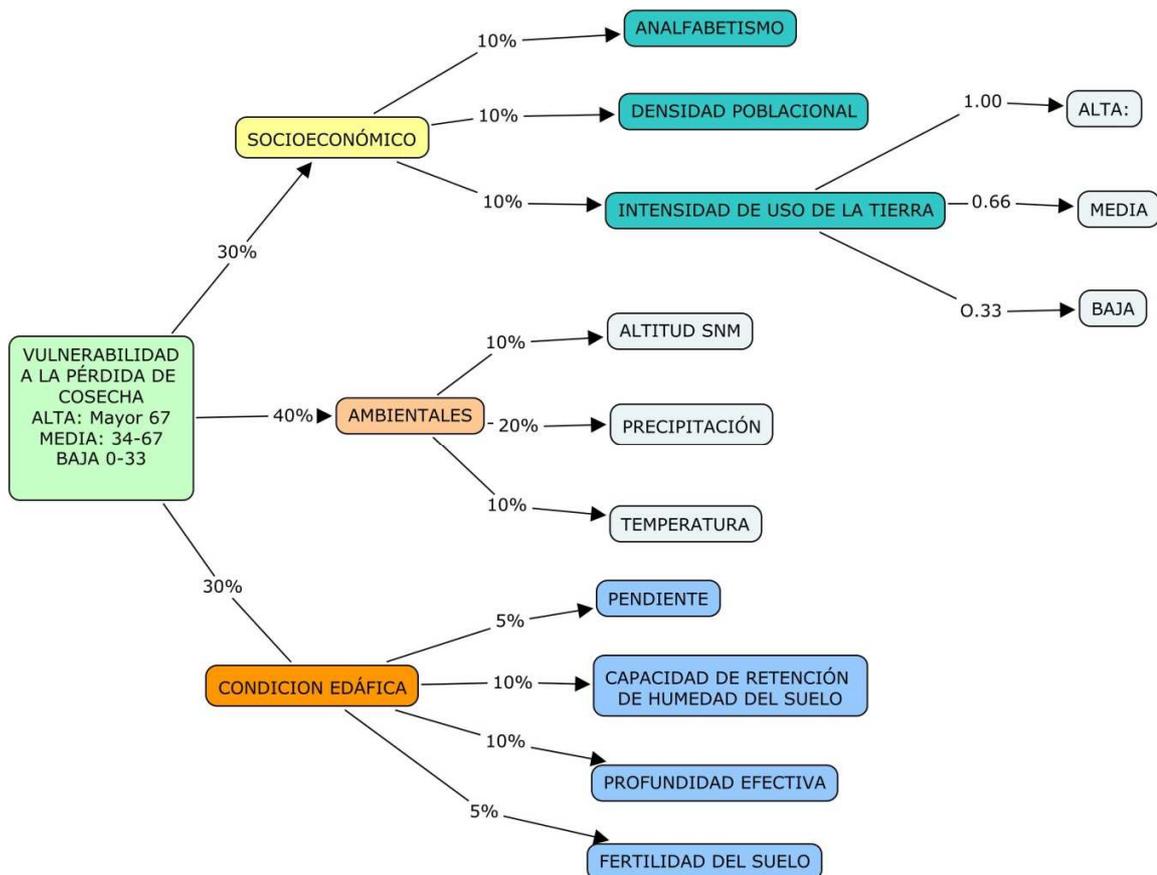
**Fuente: Elaboración propia 2012**

**Cuadro 18. Ponderación de variables e indicadores para el modelo de vulnerabilidad**

VARIABLE	PONDERACION	INDICADOR	PONDERACION	VUL.	CUAL.
SOCIOECONÓMICA	30%	ANALFABETISMO	10%	< 20% Baja	1
				20-60% Media	2
				>60% Alta	3
		DENSIDAD POBLACIONAL	10%	>200 hab/km V. alta	3
		150-200 hab/km V. media		2	
		<150 hab/km V. baja		1	
		INTENSIDAD DE USO DE LA TIERRA	10%	Sub utilizado V. baja	1
				Uso correcto V. media	2
				Sobre utilizado V. alta	3
AMBIENTAL	40%	ALTITUD	10%	>1000 msnm V. baja	1
				450-1000 msnm V. media	2
				<450 msnm V. alta	3
		PRECIPITACIÓN	20%	< 727 mm V. alta	3
		727-912 mm V. media		2	
		912-1097 mm V. baja		1	
		TEMPERATURA	10%	<20°C V. baja	1
				20-30°C V. media	2
				>30°C V. alta	3
EDAFICA	30%	PENDIENTE	5%	<10% V. baja	1
				10-30% V. media	2
				>30% V. alta	3
		CAP. RETENCIÓN DE HUMEDAD	10%	<8% V. alta	3
		8-16% V. media		2	
		>16% V. baja		1	
		PROFUNDIDAD EFECTIVA	10%	>90 V. baja	1
		40-90 cm V. media		2	
		<40 cm V. alta		3	
		FERTILIDAD DEL SUELO	5%	Fert. Baja V. alta	3
				Fert. Media V. media	2
				Fert. Alta V. baja	1

**Fuente: Elaboración Propia 2012**

La figura 40 muestra la ponderación de las variables y los indicadores que permitieron la determinación de la vulnerabilidad a la pérdida de cosecha en la micro cuenca del río Torjá.



**Figura 40. Representación de la ponderación de variables e indicadores**  
**Fuente: Elaboración Propia 2012**

El resultado final de la ponderación fue el modelo para estimar la vulnerabilidad a la pérdida de cosecha que se presenta a continuación.

$$V = 0,30 [0,10Dp + 0,10An + 0,10lut ] + 0,40 [ 0,10Al +0,20Pp + 0,10T ] + 0,30[ 0,05P + 0,10Crh + 0,10Pef + 0,05Fer]$$

En donde:

V: Vulnerabilidad a pérdida de cosecha

Dp: Densidad poblacional

An: Analfabetismo

Iu: Intensidad de uso de la tierra

Al: Altitud

Pp: Precipitación Pluvial media anual

T: Temperatura media anual

P: Pendiente

Crh: Capacidad de retención de humedad

Pef: Profundidad del suelo

Fer: Fertilidad del suelo

**Cuadro 19. Ponderación Numérica de las Variables**

No.	VARIABLES SOCIOECONOMICAS								VARIABLES AMBIENTALES						VARIABLES EDAFICAS							
	Analfabetismo	Analfabetismo %	Dens. Pobl.	Dens. Pobl. Hab/km <sup>2</sup>	Int. Uso Tierra	Int. Uso Tierra	Int. Uso Tierra	Int. Uso Tierra	Altitud	Altitud msnm	Precipitación	Precipitación pp	Temperatura	Temperatura C	Pendiente	Pendiente %	Cap. Ret. Hum.	Cap. Ret. Hum. %	Profundidad	Profundidad cm	Fertilidad	Fertilidad
1	3	62	1	28	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1050	1	980	2	25	2	20	2	14.5	2	60	3	baja fert.	0.25
2	3	65	3	72	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	650	1	650	2	26	2	25	3	7.5	2	60	3	baja fert.	0.25
3	2	35	3	68	3 alta	sobre utiliz.	0.8	2	675	1	650	2	26	1	10	3	7	2	60	2	media	0.6
4	3	66	3	70	3 alta	sobre utiliz.	0.85	2	650	1	650	2	26	1	10	2	10.5	2	60	3	baja fert.	0.25
5	2	30	1	35	2 media	uso correct	0.5	2	680	2	580	1	28	2	20	2	12.5	2	60	3	baja fert.	0.25
6	2	32	3	65	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	720	1	675	2	26	1	10	3	7	2	60	3	baja fert.	0.25
7	2	31	3	74	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	830	1	820	2	25	2	25	2	9.5	2	60	3	baja fert.	0.25
8	2	45	3	75	3 alta	sobre utiliz.	0.75	3	425	1	650	2	29	2	25	3	6.5	2	50	2	media	0.5
9	2	42	3	66	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	780	1	620	2	26	1	10	2	9	2	50	3	baja fert.	0.25
10	2	38	3	80	3 alta	sobre utiliz.	0.8	2	725	1	820	2	26	1	10	3	7.5	2	50	3	baja fert.	0.25
11	2	35	3	72	3 alta	sobre utiliz.	0.85	2	690	1	950	2	26	2	25	3	7.5	2	60	2	media	0.6
12	3	68	3	74	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	750	1	950	2	26	2	30	2	10.5	2	70	3	baja fert.	0.25
13	2	36	3	68	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	740	1	950	2	26	2	30	2	9	2	70	3	baja fert.	0.25
14	2	34	1	38	3 alta	sobre utiliz.	0.78	2	760	2	600	2	26	2	30	3	7.1	2	70	3	baja fert.	0.25
15	2	40	1	35	1 baja	sub utilizad	0.3	1	1100	2	600	1	18	2	30	3	7.5	2	70	3	baja fert.	0.25
16	2	52	1	30	1 baja	sub utilizad	0.3	1	1100	2	600	1	18	2	25	3	7	2	70	3	baja fert.	0.25
17	3	70	2	52	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1050	1	980	2	22	2	20	2	9.2	2	60	2	media	0.55
18	3	68	2	58	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1125	1	980	2	21	2	20	3	6.5	2	60	3	baja fert.	0.25
19	2	38	2	46	3 alta	sobre utiliz.	0.8	1	1050	2	600	1	19	2	20	3	7	2	60	1	alta fert.	0.75
20	2	30	3	72	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	850	2	600	2	28	1	10	3	7	2	60	2	media	0.5
21	2	32	3	75	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	790	2	600	1	19	1	10	3	7.2	3	35	3	baja fert.	0.25
22	2	37	3	76	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	830	1	820	2	26	1	5	2	9.8	2	50	3	baja fert.	0.25
23	2	36	3	68	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	850	1	820	1	19	1	5	3	6.5	2	50	3	baja fert.	0.25
24	2	40	2	52	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1100	1	990	1	19	1	10	2	8.5	2	50	1	alta fert.	0.75
25	2	42	3	77	3 alta	sobre utiliz.	0.8	2	890	1	850	2	22	1	10	2	8.3	2	50	3	baja fert.	0.25
26	2	38	3	75	3 alta	sobre utiliz.	0.80..80	2	925	2	600	1	19	1	10	2	8.5	2	50	3	baja fert.	0.25
27	2	35	1	36	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1050	1	1100	1	19	1	5	3	6.5	2	60	1	alta fert.	0.8
28	2	32	3	68	1 baja	sub utilizad	0.3	2	780	2	600	1	18	1	5	3	6.2	2	60	3	baja fert.	0.25
29	2	36	3	72	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	825	2	580	2	28	2	20	3	7.1	3	35	2	media	0.6
30	2	35	3	75	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	950	2	600	1	19	2	20	3	7.2	2	50	3	baja fert.	0.3
31	2	30	3	68	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	850	2	600	1	19	2	20	2	10.2	2	50	3	baja fert.	0.3
32	2	39	3	78	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	760	1	780	2	28	2	25	2	8.5	2	60	3	baja fert.	0.3
33	3	75	3	77	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	790	1	790	2	28	2	20	2	8.1	2	60	3	baja fert.	0.3
34	3	76	3	65	3 alta	sobre utiliz.	0.8	2	785	1	790	2	28	2	20	2	8.3	2	60	2	media	0.6
35	2	48	3	72	3 alta	sobre utiliz.	0.8	2	760	1	780	2	28	1	10	3	6.4	2	60	3	baja fert.	0.25
36	2	42	3	70	3 alta	sobre utiliz.	0.8	2	865	2	600	1	19	1	10	2	9.5	2	50	2	media	0.6
37	2	38	3	76	3 alta	sobre utiliz.	0.8	2	840	2	600	2	28	2	15	3	6.2	3	35	3	baja fert.	0.25
38	3	76	2	52	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1025	1	890	1	19	1	10	2	9.1	3	35	3	baja fert.	0.25
39	3	72	2	58	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1025	1	890	1	19	1	10	2	8.5	3	35	3	baja fert.	0.25
40	3	79	3	82	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	925	1	850	1	19	2	30	2	8.1	2	70	3	baja fert.	0.25
41	3	78	2	55	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1100	2	600	1	19	2	25	2	8.6	2	70	1	alta fert.	0.75
42	2	52	3	76	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	950	1	850	2	24	1	10	2	8.5	2	70	3	baja fert.	0.3
43	3	80	3	70	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	860	1	840	1	19	2	20	2	8.4	2	70	3	baja fert.	0.3
44	2	39	3	72	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	790	1	850	1	19	2	15	3	7.1	2	70	3	baja fert.	0.25
45	2	40	3	68	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	825	1	850	2	28	2	20	1	16.5	2	60	3	baja fert.	0.25
46	2	46	3	73	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	960	2	600	2	24	2	20	2	8.5	2	60	3	baja fert.	0.25
47	2	52	1	38	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	920	1	925	1	19	2	20	3	6.4	2	60	2	media	0.6
48	3	78	1	35	3 alta	sobre utiliz.	0.75	2	875	2	600	1	19	2	20	2	10.5	2	70	3	baja fert.	0.25
49	2	36	1	28	1 baja	sub utilizad	0.3	2	890	2	600	1	19	3	40	3	7.5	2	70	3	baja fert.	0.25
50	2	45	2	52	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1050	1	990	1	19	2	25	2	9.4	2	70	1	alta fert.	0.8
51	2	52	2	58	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1075	1	980	1	19	2	30	3	7.1	2	70	2	media	0.6
52	2	50	2	49	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1075	2	600	1	19	2	30	3	7.8	2	70	3	baja fert.	0.3
53	2	38	1	30	3 alta	sobre utiliz.	0.8	2	925	1	950	1	19	3	45	3	6.5	2	70	3	baja fert.	0.3
54	2	42	2	47	3 alta	sobre utiliz.	0.8	1	1050	1	980	1	19	2	20	2	9.2	3	35	3	baja fert.	0.3
55	2	47	2	58	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1050	1	980	1	19	2	20	2	8.5	3	35	2	media	0.5
56	2	45	2	49	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1075	1	970	1	19	2	30	3	7.3	3	35	1	alta fert.	0.75
57	2	49	2	55	3 alta	sobre utiliz.	0.75	1	1100	1	980	1	19	1	10	2	8.5	3	35	3	baja fert.	0.25

Fuente: Elaboración Propia 2012

**Cuadro 20. Vulnerabilidad en los diferentes puntos muestreados**

No	Coord. X	Coord. Y	Vulnerabilidad	Calificación
1	622837	1636101	0,60	MEDIA
2	619974	1638219	0,74	ALTA
3	622969	1635330	0,68	MEDIA
4	620775	1635645	0,69	ALTA
5	612108	1632727	0,63	MEDIA
6	619984	1637024	0,69	ALTA
7	621983	1636731	0,68	MEDIA
8	619728	1637956	0,73	ALTA
9	620048	1633976	0,66	MEDIA
10	619849	1637320	0,69	ALTA
11	620341	1638280	0,69	ALTA
12	621123	1635526	0,71	ALTA
13	619338	1634584	0,68	MEDIA
14	619137	1633651	0,73	ALTA
15	614023	1628775	0,59	MEDIA
16	613329	1629103	0,59	MEDIA
17	623601	1635421	0,62	MEDIA
18	623742	1635127	0,67	MEDIA
19	617802	1630890	0,65	MEDIA
20	615795	1634118	0,76	ALTA
21	615050	1633869	0,76	ALTA
22	621094	1633038	0,66	MEDIA
23	624668	1632757	0,65	MEDIA
24	625659	1628432	0,52	MEDIA
25	618247	1634376	0,66	MEDIA
26	615098	1633601	0,70	ALTA
27	622629	1628895	0,52	MEDIA
28	615044	1631706	0,67	MEDIA
29	615182	1634628	0,80	ALTA
30	613719	1632837	0,75	ALTA
31	613603	1633200	0,72	ALTA
32	618791	1634386	0,68	MEDIA
33	620102	1636248	0,71	ALTA
34	618482	1637269	0,69	ALTA
35	617931	1635774	0,69	ALTA
36	614170	1633002	0,69	ALTA
37	615961	1634492	0,82	ALTA
38	619829	1624234	0,61	MEDIA

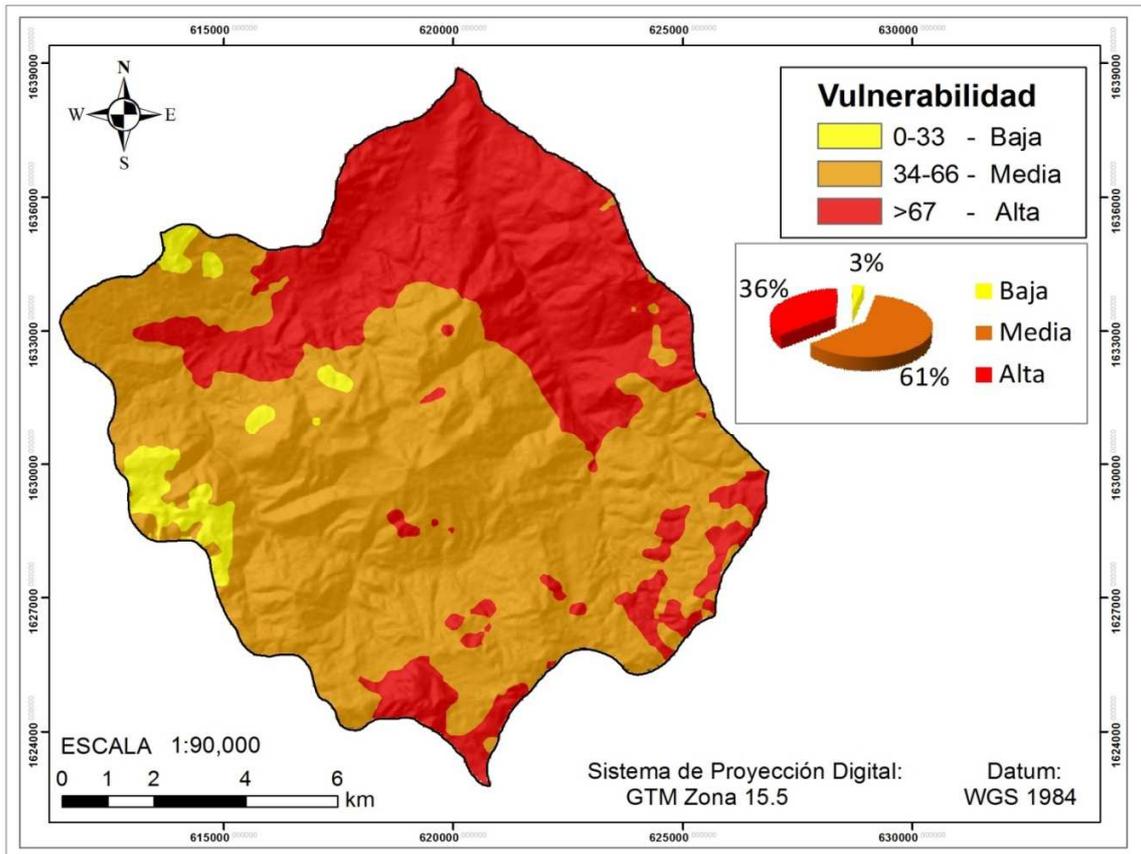
---

39	620415	1624056	0,61	MEDIA
40	622251	1633166	0,67	MEDIA
41	619279	1630554	0,65	MEDIA
42	618857	1634644	0,66	MEDIA
43	621104	1635966	0,67	MEDIA
44	620578	1633577	0,67	MEDIA
45	619393	1634177	0,65	MEDIA
46	616221	1634045	0,76	ALTA
47	623897	1631136	0,59	MEDIA
48	618720	1627723	0,69	ALTA
49	614701	1629066	0,64	MEDIA
50	624614	1627770	0,54	MEDIA
51	624573	1629675	0,58	MEDIA
52	618250	1630150	0,68	MEDIA
53	623182	1630349	0,62	MEDIA
54	620402	1625778	0,60	MEDIA
55	622980	1627284	0,58	MEDIA
56	625318	1627765	0,60	MEDIA
57	620865	1625043	0,58	MEDIA

---

**Fuente: Elaboración Propia 2012**

El mapa resultante de la vulnerabilidad en el área de la micro cuenca se puede apreciar en la figura 41, en donde la vulnerabilidad alta se sitúa en la parte baja de la micro cuenca.



**Figura 41. Vulnerabilidad a la pérdida de cosecha en la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**  
**Fuente: SIG – CUNORI 2012**

#### **4.4 PROBABILIDAD DE PÉRDIDA DE COSECHA EN AGRICULTURA DE SECANO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TORJÁ.**

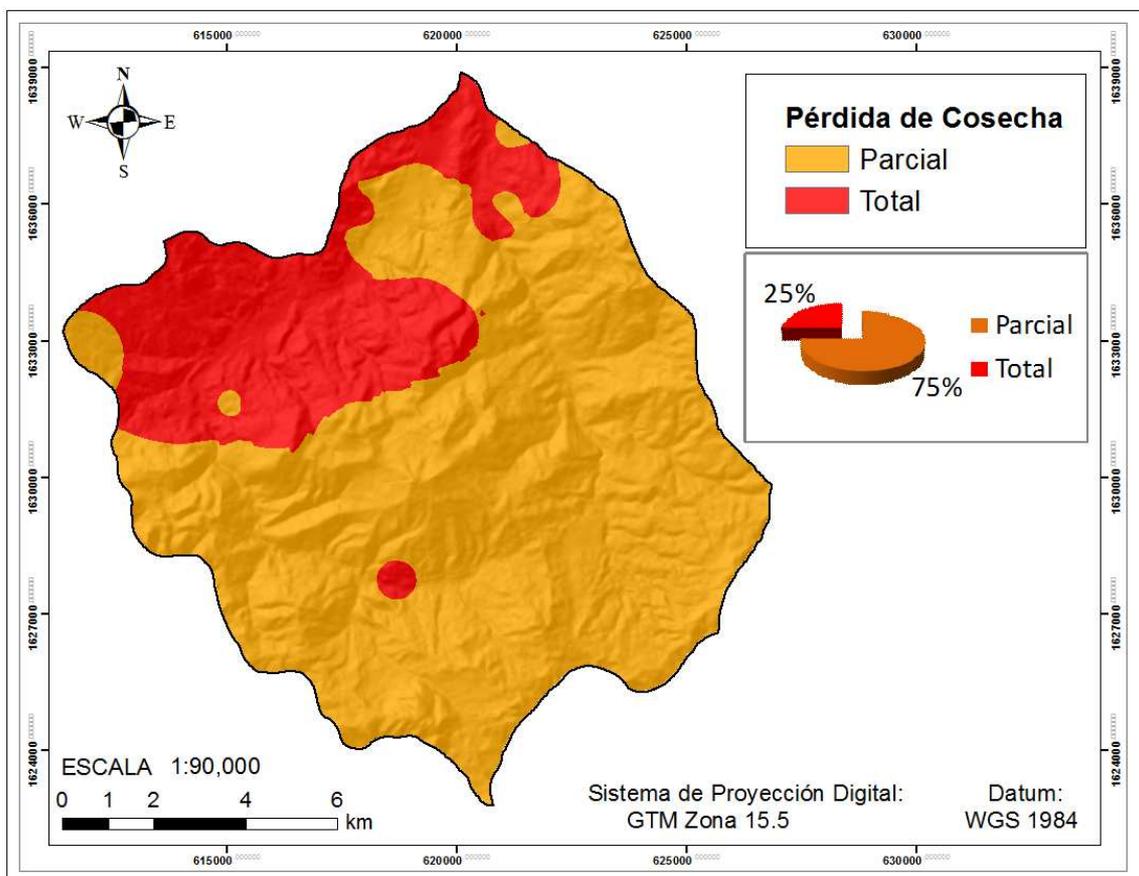
La región semiárida en el oriente de Guatemala, principalmente el área rural, se caracteriza por la escasez de recursos hídricos donde la precipitación pluvial es insuficiente para garantizar la producción de la agricultura de secano. Por tal razón la presente investigación genera un modelo logístico que permite determinar la probabilidad de pérdida de cosecha en agricultura de secano en la micro cuenca del Rio Torjá, Chiquimula, Guatemala. La información base se recopiló a través de trabajos de campo en 57 parcelas ubicadas en el área de estudio. Estas parcelas se transformaron a unidades cartográficas que se plotearon sobre el mapa escala 1:100 000 de pérdida de cosecha de la micro cuenca del río Torjá, para establecer el estado de pérdida de cosecha de forma parcial o total. Se utilizó el programa de computo XLSTAT 2013,4 módulo regresión logística para establecer la probabilidad de ocurrencia de pérdida en función de variables de carácter social, ambiental y edáfico con un nivel de significación del 5%, R2 de Nagelkerke de 0,70 y prueba de Hosmer-Lemeshow no significativa. **Se concluye que las variables que explican la pérdida de cosecha son la intensidad del uso de la tierra, la altitud y la precipitación.**

##### **4.5.1 DISCUSION DE RESULTADOS**

Los trabajos de campo permitieron generar información social, ambiental y edáfica de las 57 parcelas muestreadas, cuyos resultados son sistematizados en el cuadro 19. Se realizaron varias modelaciones con un nivel de significación del 5%, las variables que tienen efecto sobre la pérdida de cosecha son el uso de la tierra, la altitud y la precipitación, como puede observarse en el cuadro 19. El modelo presenta un R<sup>2</sup> de Nagelkerke de 0,70 y prueba de Hosmer-Lemeshow no significativa, la expresión del modelo se relaciona a continuación:

$$\text{Pérdida parcial} = 1 / (1 + \exp(-(-0,10-24,89*A + 0,01*B+ 0,01*C)))$$

Donde:Exp= Constante de Euler = 2,71; A= Uso de la tierra; B= Altitud; C= Precipitación.



**Figura 42. Pérdida parcial y total en la micro cuenca del río Torjá, Chiquimula**  
**Fuente: Laboratorio SIG-CUNORI 2012**

Se aplica el modelo de pérdida parcial y total para cada punto muestreado, y se obtiene el valor de pérdida luego se cualifica si es pérdida parcial o total, luego se establece el mapa de pérdida tal como se observa en la figura 42.

Los valores de los diferentes indicadores y sus variables se pueden apreciar en el cuadro 21.

**Cuadro 21. Variables dependientes e independientes para el análisis de probabilidad de pérdida de cosecha**

No.	Vulnerabilidad a pérdida de cosecha	Sociales			Ambientales			Edáficos			
		Analfabetismo %	Densidad Poblacional Hab/km <sup>2</sup>	Int. Uso Tierra	Altitud msnm	Precipitación PP	Temperatura C°	Pendiente %	Cap. Ret. Hum. %	Profundidad cm	Fertilidad
1	Parcial	62	28	0,75	1 050	980	25	20	14,50	60	0,25
2	Total	65	72	0,75	650	650	26	25	7,50	60	0,25
3	Parcial	35	68	0,80	675	650	26	10	7,00	60	0,60
4	Total	66	70	0,85	650	650	26	10	10,50	60	0,25
5	Parcial	30	35	0,50	680	580	28	20	12,50	60	0,25
6	Total	32	65	0,75	720	675	26	10	7,00	60	0,25
7	Parcial	31	74	0,75	830	820	25	25	9,50	60	0,25
8	Total	45	75	0,75	425	650	29	25	6,50	50	0,50
9	Parcial	42	66	0,75	780	620	26	10	9,00	50	0,25
10	Total	38	80	0,80	725	820	26	10	7,50	50	0,25
11	Total	35	72	0,85	690	950	26	25	7,50	60	0,60
12	Total	68	74	0,75	750	950	26	30	10,50	70	0,25
13	Parcial	36	68	0,75	740	950	26	30	9,00	70	0,25
14	Total	34	38	0,78	760	600	26	30	7,10	70	0,25
15	Parcial	40	35	0,30	1 100	600	18	30	7,50	70	0,25
16	Parcial	52	30	0,30	1 100	600	18	25	7,00	70	0,25
17	Parcial	70	52	0,75	1 050	980	22	20	9,20	60	0,55
18	Parcial	68	58	0,75	1 125	980	21	20	6,50	60	0,25
19	Parcial	38	46	0,80	1 050	600	19	20	7,00	60	0,75
20	Total	30	72	0,75	850	600	28	10	7,00	60	0,50
21	Total	32	75	0,75	790	600	19	10	7,20	35	0,25
22	Parcial	37	76	0,75	830	820	26	5	9,80	50	0,25
23	Parcial	36	68	0,75	850	820	19	5	6,50	50	0,25
24	Parcial	40	52	0,75	1 100	990	19	10	8,50	50	0,75
25	Parcial	42	77	0,80	890	850	22	10	8,30	50	0,25
26	Total	38	75	0,80	925	600	19	10	8,50	50	0,25
27	Parcial	35	36	0,75	1 050	1100	19	5	6,50	60	0,80
28	Parcial	32	68	0,30	780	600	18	5	6,20	60	0,25
29	Total	36	72	0,75	825	580	28	20	7,10	35	0,60
30	Total	35	75	0,75	950	600	19	20	7,20	50	0,30
31	Total	30	68	0,75	850	600	19	20	10,20	50	0,30
32	Parcial	39	78	0,75	760	780	28	25	8,50	60	0,30

33	Total	75	77	0,75	790	790	28	20	8,10	60	0,30
34	Total	76	65	0,80	785	790	28	20	8,30	60	0,60
35	Total	48	72	0,80	760	780	28	10	6,40	60	0,25
36	Total	42	70	0,80	865	600	19	10	9,50	50	0,60
37	Total	38	76	0,80	840	600	28	15	6,20	35	0,25
38	Parcial	76	52	0,75	1 025	890	19	10	9,10	35	0,25
39	Parcial	72	58	0,75	1 025	890	19	10	8,50	35	0,25
40	Parcial	79	82	0,75	925	850	19	30	8,10	70	0,25
41	Parcial	78	55	0,75	1 100	600	19	25	8,60	70	0,75
42	Parcial	52	76	0,75	950	850	24	10	8,50	70	0,30
43	Parcial	80	70	0,75	860	840	19	20	8,40	70	0,30
44	Parcial	39	72	0,75	790	850	19	15	7,10	70	0,25
45	Parcial	40	68	0,75	825	850	28	20	16,50	60	0,25
46	Total	46	73	0,75	960	600	24	20	8,50	60	0,25
47	Parcial	52	38	0,75	920	925	19	20	6,40	60	0,60
48	Total	78	35	0,75	875	600	19	20	10,50	70	0,25
49	Parcial	36	28	0,30	890	600	19	40	7,50	70	0,25
50	Parcial	45	52	0,75	1 050	990	19	25	9,40	70	0,80
51	Parcial	52	58	0,75	1 075	980	19	30	7,10	70	0,60
52	Parcial	50	49	0,75	1 075	600	19	30	7,80	70	0,30
53	Parcial	38	30	0,80	925	950	19	45	6,50	70	0,30
54	Parcial	42	47	0,80	1 050	980	19	20	9,20	35	0,30
55	Parcial	47	58	0,75	1 050	980	19	20	8,50	35	0,50
56	Parcial	45	49	0,75	1 075	970	19	30	7,30	35	0,75
57	Parcial	49	55	0,75	1 100	980	19	10	8,50	35	0,25

Fuente: Elaboración Propia 2013

**Cuadro 22. Síntesis de resultados de regresión logística para explicar la probabilidad de pérdida de cosecha. Caso de la pérdida parcial (Y=1)**

Prueba de la hipótesis nula Ho: Y=0,63 para el Caso de pérdida parcial					
PRIMERA CORRIDA					
Estadística	Independiente	Completo			
R <sup>2</sup> (Nagelkerke)	0	0,79			
Análisis de tipo III (Variable P Cosecha) significancia 10%					
Fuente	GDL	Chi-cuadrado (Wald)	Pr >Wald	Chi-cuadrado (LR)	Pr > LR
Alfabetismo	1	2,84	0,09	3,80	0,05
Densidad Poblacional	1	0,80	0,36	0,97	0,32
Uso de la tierra	1	3,17	0,07	9,42	0,00
Altitud	1	2,31	0,12	2,75	0,09
Precipitación	1	6,97	0,00	20,17	< 0,0001
Temperatura	1	0,45	0,50	0,48	0,48

Pendiente	1	2,31	0,12	2,91	0,08
Capacidad retención de agua	1	0,00	0,94	0,00	0,94
Profundidad	1	0,64	0,42	0,69	0,40
Fertilidad	1	1,68	0,19	2,07	0,15
Prueba de Hosmer-Lemeshow (Variable Pérdida de Cosecha)					
Estadística	Chi-cuadrado	GDL	Pr > Chi²		
Estadística de Hosmer-Lemeshow	5,31	8	0,72		
<b>SEGUNDA CORRIDA</b>					
Estadística	Independiente	Completo			
R²(Nagelkerke)	0	0,73			
Análisis de tipo III (Variable Pérdida de Cosecha) significancia 5%					
Fuente	GDL	Chi-cuadrado (Wald)	Pr >Wald	Chi-cuadrado (LR)	Pr > LR
Alfabetismo	1	1,69	0,19	1,88	0,16
Uso de la Tierra	1	4,10	0,04	15,02	0,0001
Altitud	1	7,12	0,00	13,78	0,0002
Precipitación	1	7,88	0,00	17,53	< 0,0001
Pendiente	1	0,65	0,41	0,71	0,39
Prueba de Hosmer-Lemeshow (Variable Pérdida de Cosecha)					
Estadística	Chi-cuadrado	GDL	Pr > Chi²		
Estadística de Hosmer-Lemeshow	31,21	8	0,00012		
<b>TERCERA CORRIDA</b>					
Estadística	Independiente	Completo			
R²(Nagelkerke)	0	0.70			
Análisis de tipo III (Variable Pérdida de Cosecha) Significancia 5%					
Fuente	GDL	Chi-cuadrado (Wald)	Pr >Wald	Chi-cuadrado (LR)	Pr > LR
Uso de la tierra	1	4,45	0,03	14,52	0,0001
Altitud	1	6,85	0,00	11,13	0,0008
Precipitación	1	9,32	0,00	14,87	0,0001
Prueba de Hosmer-Lemeshow (Variable Pérdida de Cosecha)					
Estadística	Chi-cuadrado	GDL	Pr > Chi²		
Estadística de Hosmer-Lemeshow	5.31831097	8	0,72		

**Fuente: Elaboración Propia**

La prueba de la hipótesis nula establece  $H_0: Y=0,63$  esto indica que para aquellas probabilidades mayores de 0,63, la pérdida será parcial y para aquellas menores de 0,63 la pérdida será total. Siendo la altitud y precipitación variables bioclimáticas de la zona estudiada y considerando que producto de la información de campo la variable uso de la tierra presenta valores de sobreuso para más del 90% de las observaciones, producto de ello se deben fortalecer los aspectos de capacitación agrícola sobre el manejo adecuado de las parcelas, probablemente bajo la implementación de sistemas de agricultura con prácticas de conservación de suelos y/o agroforestales, ya que el éxito de las cosechas dependerá en gran medida de la recuperación del uso correcto del suelo.

Algunos investigadores proponen la utilización de índices anatómicos y fisiológicos de tolerancia de las plantas a bajos niveles de agua en el suelo como el caso del índice de esclerofilia y el grado de succulencia, los cuales nos pueden dar una idea del comportamiento de la planta ante un déficit de agua en el suelo (Machado et al, 2005). La experiencia en comunidades de la República de Cuba ha demostrado la existencia de varias alternativas que pueden adoptarse para contrarrestar las condiciones adversas de la sequía y la salinidad, como por ejemplo las variedades tolerantes y la nutrición, entre otras, las cuales surgen como una innovación local para atenuar dicho problema, (Elein et al, 2009).

Los resultados obtenidos en este trabajo deben ser el punto de partida para todo un proceso de recuperación a través de prácticas agronómicas de la micro cuenca para favorecer el uso correcto de la tierra y así incrementar las probabilidades de éxito en sus cosechas, donde los agricultores deberán convertirse en los principales actores lo que conllevará a la productividad sostenible de secano en la región.

#### **4.5 ESTRATEGIA DE MEJORA DE LA AGRICULTURA DE SECANO EN LA MICRO CUENCA DEL RÍO TORJÁ, CHIQUIMULA.**

FAO (2005) menciona que la vulnerabilidad a la sequía varía de país a país, dependiendo del estado de desarrollo, indica que los sistemas económicos en las

primeras etapas de transición de la agricultura de subsistencia a una economía moderna y productiva son particularmente vulnerables, sobre todo en la agricultura de secano.

El riesgo es definido como el producto de la casualidad y la vulnerabilidad. En otras palabras, se relaciona con la probabilidad de un evento negativo tal como la sequía y las consecuencias previsibles de la ocurrencia de tal evento. En lo que se refiere a la agricultura, la amenaza climática más común es la sequía. La sequía representa uno de las causas más importantes de malnutrición y hambre. Las sequías pueden ser controladas a nivel de las parcelas y por medio de varias decisiones de manejo a nivel de cuenca y a nivel nacional. Las primeras decisiones corresponden a los agricultores o a las colectividades agrícolas mientras que las decisiones a nivel de cuenca y a nivel nacional deben ser tomadas por los gobiernos o agencias estatales, aquí es donde es vital el contar con planes de manejo integrados que permitan hacer un contrapeso a los eventos climáticos que atentan con la productividad y la seguridad alimentaria.

La estrategia para mejorar la agricultura de secano en la micro cuenca del Río Torjá, conlleva una serie de acciones que deberán ser definidas en el tiempo, para considerar su incorporación en el mediano plazo, así mismo, requiere de una comunicación permanente entre las autoridades municipales, las organizaciones no gubernamentales presentes en el área y la comunidad, a bien de dar a conocer los beneficios que se podrán obtener al momento de desarrollar cada una de las acciones que se proponen.

La pasantía realizada en Ciego de Ávila, Cuba, permitió observar en diversas comunidades de cuatro provincias diferentes, como éstas, organizadas en cooperativas de producción agropecuaria, han logrado desarrollar un trabajo en coordinación con el Estado, a quien le venden sus productos, recibiendo además algunos estímulos que se les brindan a los campesinos, para mejorar el trabajo realizado, como por ejemplo se les otorga instrumentos de labranza y el equipo mínimo necesario para trabajar.

En estas cooperativas trabajan tanto hombres como mujeres, y la distribución de la ganancia obtenida es repartida de acuerdo al tamaño de las áreas sembradas y al trabajo desarrollado por cada uno de sus integrantes.

El Congreso de la República de Guatemala (2002) formuló la Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural, planteados en el decreto 11-2002, como una necesidad imperativa de promover sistemáticamente la descentralización económico-administrativa como medio para promover el desarrollo integral del país, para lo cual es urgente propiciar una amplia participación de todos los pueblos y sectores de la población en la determinación y priorización de sus necesidades y las soluciones correspondientes. El nivel básico de esta ley lo constituyen los Consejos Comunitarios de Desarrollo, COCODES, los cuales están presentes en la mayoría de comunidades del país, y es la estructura que prioriza los problemas existentes y gestiona ante las municipalidades, los recursos que necesitan para solventar las necesidades existentes en la comunidad.

Esto ratifica el hecho de la existencia de una organización a través de la cual podrían emprenderse estrategias y acciones que permitan la utilización racional de los recursos de que disponen y el mejoramiento de la calidad de vida de sus pobladores, organizaciones que deben ser fortalecidas con la visión de gestión y formulación de proyectos específicos que mejoren los estándares de vida en las comunidades.

Es importante indicar que la información recolectada a lo largo de la investigación permitió observar claramente el deterioro o degradación en que se encuentra la micro cuenca, la baja productividad de los suelos y la respuesta de los cultivos sembrados en condiciones físico químicas del suelo deficientes, que repercuten en los rendimientos de los cultivos que la población tradicionalmente utiliza.

La micro cuenca se encuentra dentro del corredor seco del país, lo cual ya es un indicativo de la baja precipitación pluvial y las altas temperaturas presentes en el área, es necesario agregar que los efectos del cambio climático se hacen presentes a través de fenómenos del niño o bien de la niña, lo cual agrava o vulnera aún más la productividad de esta región.

Es necesario agregar que para la formulación de una estrategia de trabajo, fue necesario establecer varias etapas que permitieran evaluar la situación actual presente en el área.

#### **4.5.1 Etapas de la Estrategia:**

##### Primera Etapa:

Se caracterizó la micro cuenca del río Torjá, considerando una serie de parámetros que reflejan las condiciones bajo las cuales se desenvuelve la población, en este estudio se incluyeron aspectos tales como: la tenencia de la tierra, vocación de los suelos, cobertura forestal, recursos hídricos, características biofísicas, demografía, educación, salud, cultura de la población, producción agrícola, el uso de leña, el acceso a los mercados, la fertilidad de los suelos y la organización social entre otros.

Además se formularon los mapas temáticos, se definió la metodología de muestreo, la recopilación de información y la determinación de diversos parámetros involucrados en la investigación. Se formuló un modelo para estimar la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, con el objetivo de determinar la capacidad de retención de humedad del suelo, además se determinaron los diferentes parámetros de fertilidad que visualiza el estatus de fertilidad de las unidades productivas en el área de estudio.

##### Segunda Etapa:

Se generó un modelo que permitiera la estimación de la vulnerabilidad de la agricultura de secano, para ello se recurrió al análisis de especialistas para analizar y evaluar las variables e indicadores propuestos, los cuales se consideraron de acuerdo al enfoque de sostenibilidad, que incluye los aspectos ambientales, socioeconómicos y edáficos. La selección de los indicadores se centró en aquellos factores considerados de mayor relevancia en el desarrollo de los cultivos bajo condiciones de agricultura de subsistencia, en condiciones de ladera y provistas únicamente de agua de lluvia. Estas variables con sus indicadores se convirtieron en elementos necesarios para cuantificar la vulnerabilidad de los suelos a problemas de sequía.

Se determinó el coeficiente de Kendall para conocer el nivel de conocimiento y de argumentación de los especialistas se formuló una encuesta que permitiera establecer luego de su análisis si los especialistas habían coincidido en una valoración positiva en general de la propuesta consultada.

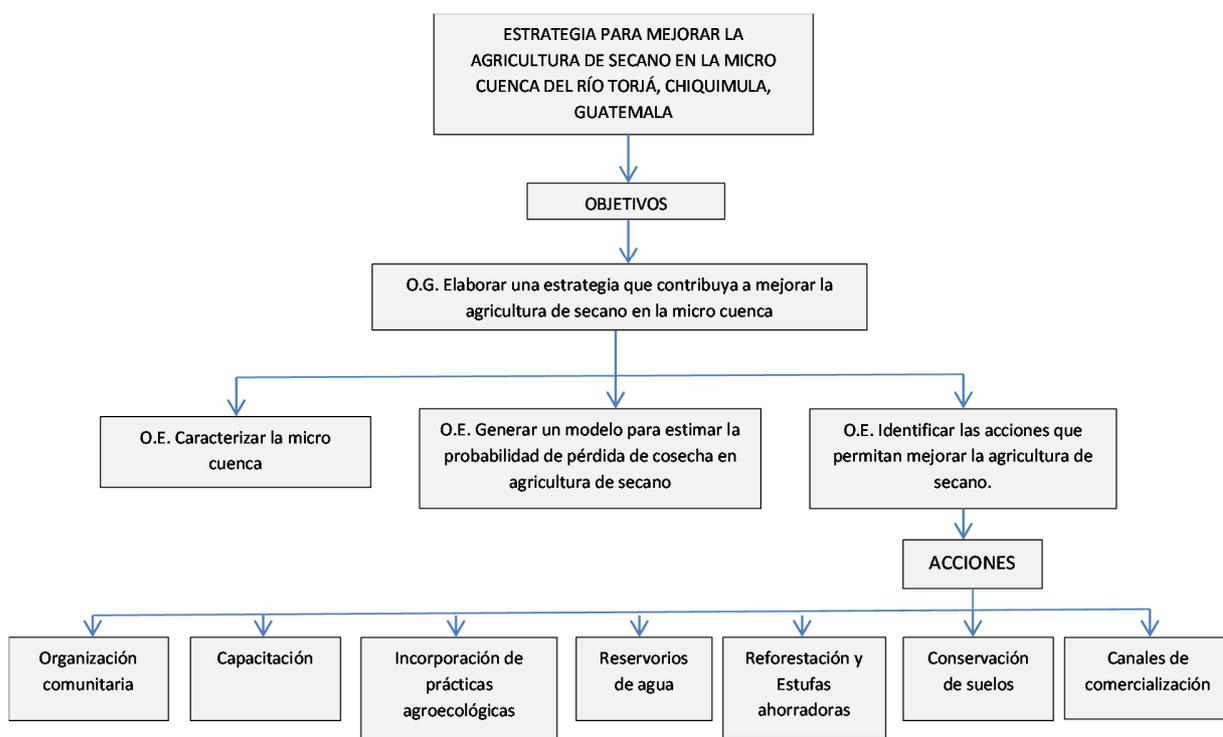
Se estableció el mapa temático de la vulnerabilidad de la agricultura de secano en la micro cuenca. Posteriormente se generó un modelo de regresión logística para determinar las variables responsables de la pérdida de cosecha parcial y total en la

micro cuenca, y establecer la probabilidad de pérdida, así mismo se formuló el mapa de pérdida parcial y total en el área de estudio.

Tercera Etapa:

Identificación de las diferentes acciones que deberán ser tomadas en cuenta para contrarrestar la degradación de la micro cuenca y rescatar la productividad de los suelos, que permitan en el mediano plazo mejorar los rendimientos de los cultivos que tradicionalmente siembran. Estas acciones son propuestas producto de los resultados de la investigación realizada en el área, así mismo se considera el tiempo en que deben ser implementadas y los actores que deberán participar para su ejecución. La participación activa de la población es vital para el logro de los objetivos planteados en la recuperación y manejo de la micro cuenca. Existen acciones definidas para las áreas vulnerables y para las áreas de pérdida total.

En la figura 43 se puede apreciar el ordenamiento de las diferentes fases de la investigación:



**Figura 43. Diagrama de la estrategia para la mejora de la agricultura de secano**

**Fuente: Elaboración Propia 2012**

Es importante recalcar que los efectos del cambio climático, constituyen una amenaza constante al suelo, al ambiente y a la población, lo cual genera condiciones de vida mucho más difíciles para la población, que se traducen en destrucción de recursos e incremento de la pobreza, con los flagelos de la desnutrición que causan muerte constante en la región Chortí.

Las acciones se desglosan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 23. Acciones para mejorar la agricultura de secano en la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula**

No.	ACCIÓN	PLAZO DE EJECUCIÓN	RESPONSABLE	PARTICIPANTES
1	Fomento de la organización comunitaria, que fortalezca la gestión y la búsqueda de la ayuda gubernamental y de instituciones presentes en la región.	Mediano plazo	Comunidad Consejos comunitarios Gobierno municipal	Vecinos de la Comunidad Líderes comunitarios Empleados de planificación municipal. Delegados del Inst. Nacional De Cooperativismo
2	Capacitación a la organizaciones comunitarias sobre temas diversos enfocados al mejoramiento agropecuario y ambiental de la micro cuenca.	Permanente	Gobierno municipal Universidades Organizaciones no gubernamentales. Ministerio de Agricultura	Personal designado por la municipalidad Docentes y estudiantes de Universidades Organizaciones comunitarias
3	Incorporación de prácticas	Permanente	Universidades	Vecinos de las

	agroecológicas en los sistemas productivos tradicionales y recuperación de suelos degradados.		Ministerio de Agricultura Organizaciones no gubernamentales	organizaciones comunitarias. Docentes y estudiantes de Universidades Representantes de organizaciones no gubernamentales.
4	Construcción de reservorios temporales de agua, que solventen los problemas de sequía en el periodo de déficit de precipitación.	Mediano plazo	Consejos comunitarios de desarrollo. Consejos municipales de desarrollo. Gobierno municipal Ministerio de Agricultura	Vecinos de las organizaciones comunitarias. Docentes y estudiantes de Universidades Organizaciones no gubernamentales Personal del Ministerio de Agricultura.
5	Fomento de programas de reforestación e implementación de estufas ahorradoras de leña.	Mediano plazo	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno municipal Organizaciones comunitarias	Vecinos de la comunidad. Técnicos del Ministerio de Ambiente. Personal de la oficina de planificación municipal.
6	Impulsar programas de conservación de suelos en las áreas con mayores	Mediano plazo	Ministerio de Ambiente y Recursos	Vecinos de la comunidad. Técnicos del

	pendientes.		Naturales. Gobierno municipal Organizaciones comunitarias	Ministerio de Ambiente. Personal de la oficina de planificación municipal.
7	Mejoramiento de los canales de comercialización que permitan una mejor ubicación de los productos producidos.	Mediano plazo	Gobierno municipal Ministerio de agricultura Organizaciones comunitarias	Personal del MAGA, ligado a la comercialización Personal de la Oficina de planificación municipal.

Fuente: Elaboración Propia 2012

#### 4.5.2 Argumentación de las acciones de la estrategia:

1. La organización comunitaria es fundamental para el emprendimiento de programas que fortalezcan el desarrollo comunitario, puesto que la gestión local y municipal estará dirigida a grupos organizados y no a personas individuales, esto fortalecerá el liderazgo local y motivará la responsabilidad en el manejo de los recursos financieros, físicos y ambientales que se obtengan. Existen diversos tipos de organización, la población deberá elegir cuál de ellas es la que mejor funciona de acuerdo a sus intereses.
2. Los programas de capacitación en diversos temas agropecuarios, es una actividad permanente que deberá existir en las diversas organizaciones que se establezcan, puesto que la información actualizada sobre alternativas que mejoren la productividad familiar, son necesarias, así como los efectos producidos en el ambiente y los recursos presentes en el área, los temas sobre alternativas alimenticias, variedades mejoradas resistentes a sequía, utilización

de insumos en la agricultura, explotaciones mixtas, conservación de cuencas y recursos hídricos, serán algunos de los temas que deberán abordarse.

3. La agricultura agroecológica, es una alternativa que permitirá en el corto y mediano plazo, darle sostenibilidad a los sistemas agrícolas, la producción de una agricultura con la utilización de menos insumos químicos debe ser adoptada en forma inmediata, considerando los niveles de degradación que poseen los suelos. Se debe entender que en un suelo degradado no puede ni debe estar sometido a la adición de insumos químicos, ya que esto provoca una mayor intoxicación y agrava más la situación, por ello el pensar en la incorporación de prácticas agroecológicas, debe ser considerada. Los registros de producción obtenidos en diversos cultivos principalmente granos básicos, es bastante alarmante, así lo muestran además los registros de fertilidad obtenidos en la micro cuenca, en donde en su mayoría se refleja deficiente presencia de elementos nutritivos.

Las experiencias obtenidas en otros países en donde han subsistido y desarrollado su agricultura a través del uso de abonos orgánicos, incorporaciones de rastrojo, fechas de siembra, variedades mejoradas, indican que si existen alternativas a considerar, por ello la importancia de guiar y orientar el proceso de formación permanente a los agricultores de la región.

4. La micro cuenca del Río Torjá, se encuentra dentro del corredor seco definido en el país, esto indica una región con altas temperaturas y baja precipitación, además el efecto producido por el cambio climático pone en riesgo constante la agricultura que en dicha región se trabaja, es por ello que debe considerarse la gestión de recursos que permita en el corto tiempo a través de un programa acompañado por las municipalidades y el ministerio de agricultura, la construcción de reservorios temporales de agua de lluvia, que permitan hacerle frente al periodo de canícula o de interrupción del invierno, el cual cada vez se alarga más provocando la marchitez permanente de los cultivos, pérdida que se refleja en términos económicos, nutricionales y laborales.

5. El déficit de cobertura forestal en la micro cuenca, es alarmante, solo existe un 22% de cobertura forestal en términos aproximados, lo cual indica que los suelos están expuestos en forma constante a la erosión y principalmente en la época de invierno, el escurrimiento superficial es muy fuerte provocando la pérdida del suelo y los deslaves que en la región se reportan. La participación de las entidades gubernamentales y no gubernamentales es importante y necesaria, esto implica programas de reforestación que deberán programarse, promocionarse y ejecutarse, principalmente al inicio de la temporada lluviosa, estos programas deben de otorgar incentivos económicos o materiales a las personas que participen, de lo contrario continuara siendo un fracaso. Es importante indicar que el 99% de la población cocina con leña, esta situación agrava el problema en el sentido que el bosque constantemente está siendo eliminado y el suelo degradado.
6. Es necesario proponer y ejecutar un programa de conservación de suelos, que se pueda desarrollar con fondos del Estado, en donde se plantee la construcción de barreras muertas y vivas como una práctica de conservación de suelos mínima, que se pueda implementar en terrenos con pendientes inclinadas, principalmente al terminar el invierno, considerando que la mayoría de la población que depende de la precipitación pluvial para manejar sus cultivos, habrán ya cosechado y será una mano de obra disponible con la cual se podrá contar.
7. Al finalizar los ciclos de los cultivos de interés nutricional y económico se propiciará la siembra de abonos verdes, de la familia de las leguminosas para su posterior incorporación, con el objetivo de mejorar los contenidos de materia orgánica en el suelo y el incremento de la capacidad de intercambio catiónico, esto con el firme propósito de restaurar la degradación y mejorar la fertilidad y productividad de los suelos.

## 5. CONCLUSIONES

1. La caracterización de la micro cuenca del Rio Torjá, en Chiquimula, muestra que los suelos han disminuido su productividad, como consecuencia de la escasa materia orgánica, la poca profundidad del suelo y la baja calidad física, química y biológica, conducente a la degradación de los suelos.
2. La densidad aparente y el porcentaje de arena fueron las variables que mayor relación presentaron en el modelo que permitió la estimación indirecta de las constantes de humedad.
3. La micro cuenca del rio Torjá cuenta actualmente con un vulnerabilidad a pérdida de cosecha en forma total equivalente a un 36% de su área.
4. La probabilidad de pérdida de cosecha de forma parcial o total estableció según el modelo de análisis logístico que las variables que explican la pérdida de cosecha son la intensidad del uso de la tierra, la altitud y la precipitación.
5. El 25% de la agricultura de secano desarrollada en la micro cuenca tiene una pérdida total de su cosecha.
6. Se identificaron las principales acciones que permitan en el mediano plazo mejorar la agricultura de secano con el firme propósito de contrarrestar la degradación de la micro cuenca y coadyuvar a rescatar la productividad de los suelos, así como el manejo adecuado de los recursos naturales de la región.

## **6. RECOMENDACIONES**

1. Es necesario implementar medidas correctivas en la intensidad de uso de la tierra así como, en el manejo y conservación del recurso hídrico, ya que éstas son determinantes en la pérdida de cosecha en la micro cuenca.
2. Para viabilizar las acciones de la estrategia planteada es necesario la organización de las comunidades, se visualizó una politización de los consejos comunitarios de desarrollo, lo cual no permite que los beneficios lleguen a la mayoría de la población, esto implica la formación de nuevos líderes comunitarios con principios de inclusión y honestidad.
3. Considerando que las acciones implican la participación municipal, es necesario el diálogo con los alcaldes, para que los recursos gestionados y aprobados sean administrados por las municipalidades con participación de la comunidad.
4. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales así como el Ministerio de Agricultura, deberán responder a los proyectos comunitarios que se desarrollen, gestionando, orientando y ejecutando, las acciones pertinentes que operativicen la participación comunitaria en beneficio de la recuperación y explotación de la micro cuenca.
5. La capacitación en sus diferentes niveles debe ser participativa, ya que permite una actualización de la información y conocimiento de cada uno de los actores, permitiendo la propuesta constante de cambios en beneficio del ambiente y de la productividad de la población.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Acción Contra el Hambre International. (2010). Situación Alimentaria y Nutricional en el Corredor Seco de Centro América.

Adrianse, A. (1993). Environmental policy performance indicators: a study of the development of indicators for environmental policy in the Netherlands. The Hague: Sdu Publishers. Amsterdam.

AECI-SEGEPLAN. (2005). Estrategia para la Reducción de la Pobreza del municipio de Camotán.

Alvarado, A. (1995). Uso de la consulta de expertos en la estimación del desarrollo sostenible en los países centroamericanos y las regiones de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 19(2), 31-38. Recuperado de [http://http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v19n02\\_031.pdf](http://http://www.mag.go.cr/rev_agr/v19n02_031.pdf)

Antequera, J. (2010). Universidad Politécnica de Cataluña, S.F.

Araya, P., Díaz, R. & Fernández, L. (Ed.). (1995). *El desarrollo sostenible: un desafío a la política económica agroalimentaria*. San José: Departamento Ecuménico de Investigaciones (DEI).

ASORECH (Asociación Regional Campesina Chortí, GT) 2009. Recuperado de <http://www.asorech.org>

Ballantyne, P. (2010). La información agrícola y el intercambio de conocimientos: Oportunidades promisorias para los especialistas en información agraria. *Agricultural Information Worldwide*, 3(1), 10-16.

- Baldares, M., Gutiérrez, E., Alvarado, A. & Brenes, L. (1993). Desarrollo de un sistema de información sobre indicadores de sostenibilidad para los sectores agrícola y de recursos naturales de los países de América Latina y el Caribe. Ciencias Económicas. Universidad de Costa Rica y Proyecto IICA/GTZ.
- Banda, F. (2007). El cuadro de mando integral en planes de desarrollo rural: Una aplicación para construir una hipótesis de planificación en la comuna de negrete. *Horizontes empresariales*, 6(1), 49-59.
- Barrios, E. (2007). Aun año del foro mundial del agua. Coordinador del Programa Manejo de Cuencas, WWF-México. México D.F
- Barzi, A. (2005). *Manejo integrado de la cuenca del lago Puelo*. Buenos Aires: Trillas.
- Bastin, G. (2002). Indicators of landscape function: comparing patchiness metrics using remotely-sensed data from rangelands. *Ecological Indicators*, 1(4), 247
- Becerra, J., Gutiérrez, R., Escamilla, A. & Ramírez, E. (2012). Siembra en micro-cuencas para la producción de grano y forraje en condiciones de secano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(1), 125-136.
- Beets, W. (1990). *Raising and sustaining productivity of smallholder farming systems in the tropics: a handbook of sustainable agricultural development*. Holland: Alkmaar, AgBé Publishing.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. & Wisner, B; (1994). *Vulnerabilidad, el entorno social, político y económico de los desastres*. Recuperado de

[http://www.desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo\\_sep-09-2002.pdf](http://www.desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo_sep-09-2002.pdf)

Bragachini, M., Martini, A. & Méndez, A. (2004). *Perdidas de cosecha, evaluación y tolerancia en cosecha de soja, maíz, girasol y trigo: Proyecto Agricultura de Precisión INTA*. Recuperado de <http://www.agriculturadeprecision.org/descargaltem.asp?item=/articulos/cosecha/Perdidas-De-Cosecha-Evaluacion-Y-Tolerancias.pdf>

Brown, O., Gallardo, Y. & Pérez, W. (2008). Propuesta de nuevos índices para la evaluación de la sequía agrícola en ecosistemas agrarios. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17 (4), 55-59.

Buch, M & Turcios, M. (2003). *Vulnerabilidad Socio ambiental, Aplicaciones para Guatemala*. Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/SERIETECNINCA/9.pdf>

Burbano, J., Domínguez, E. & Etter, A. (2009). Modelación del efecto de escenarios de cobertura sobre la migración de nutrientes (N,P2O5) en la cuenca alta del río Magdalena (Huila, Colombia). *Revista Ingeniera y Universidad*, 13(2), 341-369.

Carbone, M. & Piccolo, M. (2002). Caracterización de las sequías en la localidad de Tres Arroyos. Instituto argentino de oceanografía. *Revista Papeles de Geografía*.

Carvalho M. (2002). Sementeira directa - Aspectos agronómicos e edáficos, Actas do 1º Congresso Nacional de Mobilização de conservação do solo: 39-50, Évora, Portugal.

- Castañeda, O. (2000). Dominación, Principios y Fines de la Agricultura Ecológica. Guatemala y México.
- Chatskikh, D. & Olesen J. (2007). Soil tillage enhanced CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from loamy sand soil under spring barley. *Soil and Tillage Research* 97(1), 5-18.
- Centro de Información de las Naciones Unidas. (2014). Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Centro de Investigación de Agricultura Tropical, CIAT, (2014), Modelación y Pronósticos Agroclimáticos.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, (2009). La Problemática ambiental de las cuencas de captación en América Latina.
- Congreso de la República de Guatemala. (2002). Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural.
- Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos, COAG, (2007). La agricultura y la escasez de agua. Enfoque programático de la eficiencia en el uso del agua y la productividad agrícola. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, FAO. Carpeta 5: Escasez del agua a nivel mundial.
- Cruz, M.; Martínez, M. (2012). Perfeccionamiento de un instrumento para la selección de expertos en las investigaciones educativas. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 14(2), 167-179.
- Chávez, C. (2011). Modelación en Sistemas de Drenaje Agrícola Subterráneo. España: Editorial Academia Española.

- Dix, M., Medinilla, O. & Castellanos., E. (2003). Diagnostico Ecológico-Social en la Cuenca de Atitlán. Publicado por la Universidad del Valle de Guatemala.
- Durán, G. (2002). Investigación de operaciones, Modelos Matemáticos. Departamento de Ingeniería Industrial.
- Durán, D. (2002). *Las sequías como riesgo natural. Comisión Nacional del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, Universidad del Salvador.* Recuperado de [http://www.produccion-animal.com.ar/inundacion/07-sequias\\_riesgo\\_natural.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/inundacion/07-sequias_riesgo_natural.pdf)
- Elein, T., Leyva, J., & Díaz, M. (2007). Manejo de Bioproductos para la Producción Ecológica de Tomate (*Solanum lycopersicon*). *Revista Cultivos Tropicales*, 28(3), 23-27.
- Espinoza, J. (2008). Planificación Estratégica Territorial Trinacional 2008-2023.
- Etchevers, J. (1999). Indicadores de la calidad del suelo. Reunión conservación y restauración de suelos, Programa Universitario del Medio Ambiente. UNAM. México.
- Falabella, G. & Gatica, F. (2007). Sector forestal celulosa, agricultura de secano e industria en el Gran Concepción. *Revista de la CEPAL*, 112, 197-215.
- Fernández, R. & Quintana, N. (2008). Los métodos de Evaluación de Expertos para Valorar Resultados de las Investigaciones. Universidad Ciego de Ávila. Cuba.

- García, M. & Juárez, M. (2012). El Método Delphi para la Consulta a Expertos en la Investigación Científica. *Revista Cubana en Salud Pública*, 39(2), 253-276.
- Guerra B., Menéndez, C., Barrera, E. & Egaña R. 2004. Estadística, Editorial Félix Varela.
- Gilles T., Lázaro N., Rojas, Z., Chow, J. & Corrales, B. (2006). Fito mejoramiento participativo del arroz de secano en Nicaragua, Resultados y lecciones aprendidas. *Agronomía Mesoamericana*, 17(3), 309-325.
- González, C. (2006). Los agricultores como administradores de los Recursos Naturales o del Ambiente. Colegio de ciencias agrícolas. Universidad de Puerto Rico.
- Gutiérrez, E. (1994). The approximated sustainability index: a tool for evaluating sustainability national performance. Contribution to the network seminar on sustainable development by NEF. San José, CR, UCR.
- Guzmán, E. (1997). Ecoeficiencia para medir. Programa del Consejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible, CECODES. Colombia.
- Hernández, A., Ascanio, O., Morales, M., Bojórquez, J. & García, N. (2005). Curso sobre fundamentos de la formación del suelo, los cambios globales y su manejo. Universidad Autónoma de Nayarit, México.
- Hernández, A., Morell, F., Ascanio, M., Borges, Y., Morales, M. & Yong, A. (2006). Cambios globales de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródicos éutricos) de la provincia de La Habana. *Cultivos Tropicales*, 27(2), 41-50.

- Herrera, I., Orozco, E. y Padilla, C. T. (2007). Guía para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Primera edición. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Higinio, J. 2009. *Estrategias participativas para el manejo de recursos naturales de uso común*. Universidad de los Andes. Recuperado de [http://ciat.cgiar.org/wpcontent/uploads/2012/11/2009\\_06\\_17\\_J\\_H\\_Maldonado.pdf](http://ciat.cgiar.org/wpcontent/uploads/2012/11/2009_06_17_J_H_Maldonado.pdf)
- Holdridge, L. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Recuperado <https://books.google.com.gt/books?isbn=9290391316>.
- Holland, J. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence, *Agriculture, Ecosystems and Environment*. *GReeNFILE* 103(1), 25, DOI: 10.1016/j.agee.2003.12.018.
- Huellas. (2005). Los Agro ecosistemas y un Enfoque Sustentable de su Manejo.
- Hunsaker, C. & Levine, D. (1995). Hierarchical approaches to the study of water quality in rivers. *BioScience*, 45(3), 193-203.
- Informe Nacional de Desarrollo Humano. (2009). Guatemala hacia un Estado para el desarrollo humano.
- Internacional Trade Center. (2004). Nuevo Informe de ITC sobre los alimentos orgánicos resalta grandes oportunidades de mercado para los países en vías de desarrollo.

- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. (2012). Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de Guatemala.
- Instituto Nacional de Biodiversidad, ALIDES. (2012). Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2002). Censos Nacionales XI de población y VI de habitación. Instituto Nacional de Estadística.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2003). Censos Nacionales XI “Censo Agropecuario”. Instituto Nacional de Estadística.
- Instituto Nacional de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). (2010). Precipitación y temperatura, Cuenca Rio Grande, Zacapa, Guatemala.
- Jiménez, F. (2004). La Cuenca Hidrográfica como unidad de Planificación, manejo y gestión de los recursos naturales. IV Seminario Internacional CYTED-XVII.
- Lacasta, C. (2011). Agricultura Ecológica en Secano, Soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos. *Centro de Ciencias Medio Ambientales (CCMA-CSIC)*, España: Ediciones Mundi Prensa.
- Ladrach, W. (2009). *Efecto del fuego en los ecosistemas agrícolas y forestales. Sociedad Internacional de Forestales Tropicales*. USA. Recuperado de [http://www.istf-bethesda.org/specialreports/fuego\\_fire/ecologia\\_del\\_fuego-esp.pdf](http://www.istf-bethesda.org/specialreports/fuego_fire/ecologia_del_fuego-esp.pdf)

- La Red. (1995). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Recuperado de <http://www.la-red.org/>
- Lemes, A. y Machado T. (2007). La estrategia ambiental en Cuba y la situación del agua. Recuperado de <http://www.eumed.net/eve/resum/07-junio/lbmh.htm>
- Linkie, M., Smith, R. & Leader, W. (2004). Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation*, 13(10), 1809-1818.
- Mancomunidad Copan Chortí. (2012). Plan de Manejo Integrado de la Micro cuenca del Rio Torjá. Chiquimula, Guatemala.
- Mancomunidad Copan Chortí. (2012). Zonas de vida de la micro cuenca del Rio Torjá, Chiquimula, Guatemala.
- Marcajo, J. (2009). Importancia de los bosques: El Agua. Recuperado de <http://www.jmarcano.com/bosques/important/agua.html>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, MARN. (2007). Estudios de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente CITMA. (2005). Estrategia Ambiental Nacional 1997-2006.
- Molina J. (1984). Métodos de laboratorio para extracción de fosforo en el suelo. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Rómulo Gallegos. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos91/metodos->

laboratorio-extraccion-fosforo-disponible-suelo/metodos-laboratorio-extraccion-fosforo-disponible-suelo.shtml

Montero L., Cun R. & Lago A. (2008). Respuesta del Sorgo en condiciones de secano como alternativa para la alimentación animal en la Agricultura Urbana. Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17 (2), 62-65.

Montero, J., Cun, R., Pérez, J., Ricardo, M. & Herrera, J. (2009). Riego con aguas residuales a los cultivos del sorgo y maíz como alternativa para la producción de alimento animal. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(4), 44-48.

Müller, S. (1996). ¿Cómo medir la sostenibilidad? Una propuesta para el área de la agricultura y los recursos naturales. Proyecto IICA/GTZ. San José, CR, IICA.

Naciones Unidas, (1998). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2010). Evaluación de Cosecha y Seguridad Alimentaria en Guatemala.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (2003): El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación.

Organización de las Naciones Unidas. (2005). El Agua, fuente de vida (2005-2015). Departamento de Información Pública de las Naciones Unidas.

Organización de las Naciones Unidas. (2005). Manejo del Riesgo en el uso del agua en la agricultura. Departamento de desarrollo sostenible.

- Ortega, F. & Orellana R. (2007). El riego con agua de mala calidad en la agricultura urbana, aspectos a considerar II, Aguas residuales urbanas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 25-27.
- Padinha, C., Fernández, F. & Bosco, E. (2006). Comportamiento de cultivares de mamona en sistemas de cultivo insolado e consorciado con sorgo granifero. *Ciencia Agronómica*.
- Pérez, A. (2008). Conocimiento y Estrategias Campesinas en el Manejo de los Recursos Naturales. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Pérez, J. & Hernández, J. (2007). Valoración de la calidad del agua del arroyo Guachinango con fines de riego. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 6-8.
- Peñas, V. (2005). Sequía: sobresalto natural del clima. Centro de Documentación y Estudios para la Paz Bakeaz.
- Pijo, C. (2014). Software de Modelación Agrícola.
- Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, PNUD. (2002). Agenda para el desarrollo humano.
- Quiroga M. (2001). Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible. Recuperado de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/5570-indicadores-de-sostenibilidad-ambiental-y-de-desarrollo-sostenible-estado-del>
- Quirós, L. (2005). Agricultura Orgánica y Desarrollo Rural: la naranja orgánica en Costa Rica. *Revista Geográfica* 137, 5-33.

- Ramírez, L., Alvarado, A., Pujol, R., McHugh, A. & Brenes, L. (2008). Indicadores para Estimar la Sostenibilidad Agrícola de la Cuenca Media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 32(2), 93-118.
- Ríos, Sixto. (1995). Modelización, Alianza Universidad.
- Roco, L., Engler, P. & Jara, R. (2011). Factores que influyen en la adopción de tecnologías de conservación de suelos en el seco interior de Chile Central. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrícolas*, 44(2), 31-45.
- Roque, R., Alemán, C. & Rovinosa, M. (2006). Uso de las máquinas de pivote central en el riego con aguas residuales. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(1), 47-50.
- Sain, G. & Barreto, H. (1996). The adoption of soil conservation technologies in El Salvador: Linking productivity and conservation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(4), 313-319.
- Sampaio, E. (2009). Estudio de las Prácticas Culturales en sus Relaciones con Agricultura, Suelo y Ambiente. Universidad de Évora, Departamento de Geociencias.
- Sánchez M, (2004). Cambio Climático, Vulnerabilidad de Venezuela.
- Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia República de Guatemala. (2011). Guía para la Elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial Municipal.
- Serageldin, I. (1996). El desarrollo sostenible: de la idea a la acción. Finanzas y Desarrollo.

- Sibello, R. & Febles, J. (2011). Estudio de la erosión de los suelos en áreas protegidas de Cienfuegos, utilizando el cesio 137 como radiotrazador. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Universidad Agraria de la Habana. *Nucleus*, 50, 31-35.
- Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana Para la Seguridad Alimentaria, MFEWS. (2010). Guatemala, Situación de Seguridad Alimentaria.
- Soule, M., Tegene, A. & Wiebe, K. (2000). *Land tenure and the adoption of conservation practices. American Journal of Agricultural Economics*. Recuperado de <http://oxfordindex.oup.com/view/10.1111/0002-9092.00097>
- Taboada, M. & Micucci, F. (2009). Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa Deprimida al pastoreo rotativo. *Ciencia del Suelo*, 27(2), 147-157.
- Thorsen, M., Feyen, H. & Styczen, M. (1996). Agrochemical modeling. En Distributed hydrological modeling. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza. (2009). Guía para la elaboración de planes de Manejo de Micro cuencas. Guatemala: Comisión Nacional de Micro cuencas.
- Universidad del Valle de Guatemala & Fundación Soros Guatemala. (2008). Conservación de suelos y agroecología. Guatemala: UVM.
- Vásquez, Y., Guerra, C. & Sánchez, O. (2011). Modelación Estadístico-Matemática para el estudio de la sostenibilidad socioeconómica en el sector agrícola-pecuario del municipio San José de las Lajas, provincia

Mayabeque. Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S207100542011000400013&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S207100542011000400013&script=sci_arttext&tlng=pt)

Vargas, S. & Cepero, C. (2006). Impacto de la sequía sobre algunos indicadores bioproductivos de empresas ganaderas en la provincia de Sancti Spíritus. *Revista Electrónica de Veterinaria*.

Winograd, M. (1995). Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras. Proyecto IICA/GTZ. OEA, WRI. San José, CR, IICA.

Xiao-Bin W. (2006). Potential effect of conservation tillage on sustainable land use: a long review of global long-term studies.

## **8. ANEXOS**

### **Anexo 1. Metodología para el Análisis de Especialistas**

El conocimiento teórico práctico de los especialistas se convierte en un requerimiento necesario para apoyar y respaldar la investigación.

García, E.; Cruz, J. (2012), mencionan que es parte del diseño de múltiples estudios realizar consultas a sujetos que participan en calidad de expertos. Sin embargo, convertir el conjunto de conocimientos que poseen los especialistas en información científica, requiere de la aplicación controlada de un método de obtención de la información. Además señalan que en relación con el número óptimo, antiguos estudios realizados por la Rand Corporation informan que a partir de un mínimo de siete expertos el error disminuye notablemente por cada experto añadido, pero que no es aconsejable recurrir a más de 30 expertos, pues el aumento en la previsión es muy pequeño y el incremento en costo de investigación no compensa la mejora.

En la presente investigación se realizó un análisis y conteo de los profesionales existentes en el departamento y principalmente aquellos que tuvieran un nivel de conocimiento y experiencia acorde al tema de investigación planteado y que contaran con el tiempo necesario para colaborar en el presente estudio. Inicialmente se le envió una invitación a 25 profesionales del área, confirmando su participación y colaboración 14 de ellos. Es necesario agregar que la consulta a especialistas tiene como propósito la construcción de un consenso a partir de procesos estadísticos que evalúen las diferencias y coincidencias entre las apreciaciones individuales de los participantes.

Fernández, R. & Quintana, N. (2008), desarrollan una metodología para evaluar el criterio de los expertos para valorar los resultados de las investigaciones, buscando la calidad y efectividad del proceso y del producto, dicho estudio sirvió de base para desarrollar la presente investigación.

Los especialistas invitados para abordar la investigación titulada “Estrategia para mejorar la agricultura de secano en la micro cuenca del Rio Torjá, Chiquimula, Guatemala”, fueron los siguientes:

**Cuadro 24. Especialistas Invitados**

<b>No.</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>OCUPACIÓN</b>
1	Ing. Agr. Adolfo Vásquez Mánchame	Director de la Mancomunidad Copan Chortí.
2	Ing. Agr. José Leónidas Ortega Alvarado	Coordinador de la Carrera de Agronomía.
3	Ing. Agr. José Ángel Urzúa	Investigador del Centro Universitario de Oriente.
4	Ing. Agr. Marlon Leonel Buezo Campos	Coordinador del Instituto de Investigaciones del CUNORI
5	Ing. Agr. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda	Coordinador de Investigación de la Carrera de Agronomía
6	Ing. Agr. Víctor Estuardo Villalta	Investigador de la Secretaria Nacional de Investigaciones
7	Ing. Agr. Selvin Neftalí Sancé Nerio	Investigador de Visión Mundial
8	Ing. Agr. Cesar Ariel Guzmán	Director de Planificación Económica, SEGEPLAN
9	Ing. Agr. Edgar Lemus	Investigador de la Mancomunidad Copan Chortí
10	Ing. Agr. José Ramiro García	Investigador de la Secretaria Nacional de Investigaciones.
11	Lic. Abner Rodas	Investigador de la Secretaria Nacional de Investigaciones
12	Licda. Sandra Janeth Prado Díaz	Coordinadora de la Carrera de Gestión Ambiental
13	Licda. Isabel Cárdenas	Investigadora de la Carrera de Administración de Empresas
14	Licda. Ester Palacios	Investigadora de la Carrera de Administración de Empresas

**Fuente: Elaboración Propia 2014**

Luego se establecieron cinco pasos a seguir, siendo estos:

- Elaboración del objetivo
- Selección de los especialistas
- Elección de la metodología seleccionada
- Ejecución de la metodología seleccionada
- Procesamiento de la información.

1. El objetivo planteado fue el de validar el modelo teórico propuesto en la investigación tanto en la calidad como en la efectividad que se obtendrá, para la determinación de la vulnerabilidad de la agricultura de secano en la micro cuenca del Río Torjá, Chiquimula, Guatemala.

2. Para la selección de los especialistas: se utilizaron los siguientes criterios

1. Competencia
2. Creatividad
3. Disposición a participar en la encuesta.
4. Conformidad.
5. Capacidad de análisis
6. Espíritu colectivista y autocrítico.
7. Efectividad de su actividad profesional.

5. Elección de la metodología, en este sentido se determinó el coeficiente de competencia del especialista, tomando como base la metodología propuesta por el Comité Estatal para la Ciencia y la Técnica de la antigua URSS. En la cual la competencia de los expertos se determina por el coeficiente K, el cual se calcula de acuerdo con la opinión del candidato sobre su nivel de conocimiento acerca del problema que se está resolviendo, se calcula mediante el uso de la siguiente expresión:

$$K = \frac{K_c + K_a}{2}$$

2

Ahora bien si

$0.8 \leq K \leq 1$  ➡ K es alto, el especialista tiene competencia alta.

$0.5 \leq K \leq 0.8$  ➡ K es medio, el especialista tiene competencia media.

$0.0 \leq K \leq 0.5$  ➡ K es bajo, el especialista tiene competencia baja.

Kc: Es el coeficiente de conocimiento o información que tiene el especialista acerca del problema calculado sobre la base de la valoración del propio especialista en una escala de 0 a 10 y multiplicado por 0.1 (dividido por 10) de modo que:

Evaluación 0 indica absoluto desconocimiento de la problemática que se evalúa.

Evaluación 1 indica pleno conocimiento de la referida problemática.

Para la determinación del Kc el especialista marca una cruz en la casilla que estime pertinente de la manera siguiente:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Cuadro 25. Resultados de los 14 especialistas que participaron**

ESPECIALIS TA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									x	
2								x		
3							x			
4										x
5								x		
6									x	
7							x			
8								x		
9							x			
10									x	
11							x			
12								x		
13							x			
14						x				

**Fuente: Elaboración Propia 2014**

**Cuadro 26. Cálculo de los Kc para cada especialista**

ESPECIALISTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Kc
1									0.9		0.90
2								0.8			0.80
3							0.7				0.70
4											1.00
5								0.8			0.80
6									0.9		0.90
7							0.7				0.70
8								0.8			0.80
9							0.7				0.70
10									0.9		0.90
11							0.7				0.70
12								0.8			0.80
13							0.7				0.70
14						0.6					0.60

**Fuente: Elaboración Propia 2014**

Para calcular los valores de **Ka** se aclara que **Ka**: es el coeficiente de argumentación o fundamentación de los criterios del especialista determinado como resultado de la suma de los puntos alcanzados a partir de una tabla patrón como la siguiente:

**Cuadro 27. Tabla de fuentes de Argumentación**

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	Grado de influencia de cada una de las fuentes en sus criterios de argumentación.		
	Alto (a)	Medio (m)	Bajo (b)
1. Análisis Teóricos Realizados	0.3	0.2	0.1
2. Experiencia obtenida	0.5	0.4	0.2
3. Trabajos de autores nacionales.	0.05	0.05	0.05
4. Trabajos de autores Extranjeros.	0.05	0.05	0.05
5. Conocimiento del estado actual del problema en el extranjero	0.05	0.05	0.05
6. Intuición	0.05	0.05	0.05
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>

**Fuente: Fernández, R.; Quintana, N. (2008)**

De tal modo que si  $K_a = 1 \rightarrow$  influencia alta de todas las fuentes

$K_a 0.8 \rightarrow$  influencia media de todas las fuentes

$K_a 0.5 \rightarrow$  influencia baja de todas las fuentes

Al especialista se le presento esta tabla sin cifras orientándoles que marquen con una (x) sobre cuál de las fuentes ha influido más en su conocimiento de acuerdo con los niveles ALTO (A), MEDIO (M) y BAJO (B)

Posteriormente utilizando los valores que aparecen en la tabla patrón, se determinó el valor de  $K_a$  para cada aspecto.

**Cuadro 28. Fuentes de Argumentación**

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	Grado de	influencia de	cada una
	las fuentes en	sus criterios	de
	Alto (a)	Medio (m)	Bajo (b)
1. Análisis Teóricos Realizados			
2. Experiencia obtenida			
3. Trabajos de autores nacionales.			
4. Trabajos de autores Extranjeros.			
5. Conocimiento del estado actual del			

problema en el extranjero

6.Intuición

**TOTAL**

**Fuente: Fernández, R.; Quintana, N. (2008)**

**Cuadro 29. Cálculo de los Ka para cada experto**

ESP.	FA1			FA2			FA3			FA4			FA5			FA6			Ka
EVL	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	
1		x		x				x				x		x		x			0.90
2		x			x		x					x		x		x			0.80
3		x			x		x					x		x		x			0.80
4	X			x			x			x				x		x			1.0
5		x			x		x					x			x	x			0.80
6		x		x			x			x				x		x			0.90
7		x			x			x				x		x		x			0.80
8		x			x		x					x			x	x			0.80
9		x			x			x				x		x		x			0.80
10	X			x			x			x					x	x			1.0
11		x		x				x				x			x	x			0.80
12		x			x			x				x		x		x			0.80
13		x			x		x					x			x	x			0.80
14		x			x			x				x			x	x			0.80

**Fuente: Elaboración Propia 2014**

**Cuadro 30. Calculo del Coeficiente**

ESP.	Kc	Ka	$K=1/2 (Ka +Kc)$ Ki
1	0.90	0.90	0.90
2	0.80	0.80	0.80
3	0.70	0.80	0.75
4	1.00	1.0	1.00
5	0.80	0.80	0.80
6	0.90	0.90	0.90
7	0.70	0.80	0.75
8	0.80	0.80	0.80
9	0.70	0.80	0.75
10	0.90	1.00	0.95

11	0.70	0.80	0.75
12	0.80	0.80	0.80
13	0.70	0.80	0.75
14	0.60	0.80	0.70

**Fuente: Elaboración Propia 2014**

Ahora se determina la competencia de los expertos teniendo en cuenta:

$0.8 \leq K \leq 1$  → K alto

$0.5 \leq K < 0.8$  → K media

$0 \leq K < 0.5$  → K bajo

Por lo antes desarrollado se puede decir que los especialistas poseen un coeficiente de competencia adecuado al ubicarse en un rango de 0.70 y 1.0

Después de seleccionados los especialistas se aplica la encuesta elaborada para ellos.

### Encuesta a Especialistas

Objetivo: Valorar cualitativamente la concepción del modelo propuesto para la determinación de la vulnerabilidad de la agricultura de secano ante los problemas de sequía y los procedimientos y concepción de la estrategia para el manejo de la agricultura en la micro cuenca del Río Torjá.

#### I. Sobre la concepción del modelo propuesto para la determinación de la vulnerabilidad.

1. ¿En qué medida el modelo propuesto sintetiza las ideas acerca de la determinación de la vulnerabilidad de la agricultura de secano?

Muy Adecuada	Bastante Adecuada	Adecuada	Poco Adecuada	No adecuada
(5)	(4)	(3)	(2)	(1)

2. ¿Cómo evalúa usted la medida en que el modelo de vulnerabilidad interacciona los factores influyentes para estimar sus niveles de vulnerabilidad?

Muy Adecuada	Bastante Adecuada	Adecuada	Poco Adecuada	No adecuada
(5)	(4)	(3)	(2)	(1)

---

---

## II. Sobre los procedimientos concebidos para el establecimiento de la estrategia.

El establecimiento de la estrategia de manejo para la agricultura de secano conlleva una serie de procedimientos relacionados. Sobre los mismos, valore usted lo siguiente:

3. ¿En qué medida los modelos planteados pueden servir para el estudio de suelos en otras cuencas de la región?

---

Muy Adecuada	Bastante Adecuada	Adecuada	Poco Adecuada	No adecuada
(5)	(4)	(3)	(2)	(1)

---

4. ¿Los indicadores propuestos en el modelo son influyentes para con las variables abordadas?

---

Muy Adecuada	Bastante Adecuada	Adecuada	Poco Adecuada	No adecuada
(5)	(4)	(3)	(2)	(1)

---

5. ¿La metodología planteada cumple los objetivos propuestos en la investigación?

---

Muy Adecuada	Bastante Adecuada	Adecuada	Poco Adecuada	No adecuada
(5)	(4)	(3)	(2)	(1)

---

## III. Sobre la concepción de la estrategia y el objetivo que persigue.

6. ¿El establecimiento de la estrategia de manejo para la agricultura de secano, permite solventar los problemas de productividad presentes en el área?

---

Muy Adecuada	Bastante Adecuada	Adecuada	Poco Adecuada	No adecuada
(5)	(4)	(3)	(2)	(1)

---

7. ¿La estrategia propuesta puede evitar la creciente degradación de la micro cuenca?

Muy Adecuada	Bastante Adecuada	Adecuada	Poco Adecuada	No adecuada
(5)	(4)	(3)	(2)	(1)

8. Las acciones propuestas en la estrategia contribuyen hacia la búsqueda de una agricultura sostenible en su entorno social, ambiental y edáfico?

Muy Adecuada	Bastante Adecuada	Adecuada	Poco Adecuada	No adecuada
(5)	(4)	(3)	(2)	(1)

**Cuadro 31. Resultados de las encuestas aplicadas a los expertos**

ESP.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1	5	3	4	5	4	5	3	5
2	4	4	5	5	5	5	4	5
3	4	4	5	4	5	3	4	4
4	5	3	5	4	4	5	3	4
5	5	3	4	4	5	5	3	4
6	4	5	5	4	4	4	5	4
7	5	2	5	5	4	5	2	5
8	4	5	4	4	5	4	5	4
9	5	3	4	4	5	5	3	4
10	4	3	5	5	4	5	3	5
11	5	5	5	5	4	5	5	5
12	5	3	5	4	4	5	3	4
13	5	4	4	5	4	5	4	5
14	5	5	5	5	5	5	5	5

**Fuente: Elaboración Propia 2014**

Ahora se aplicas el SPSS para calcular el Coeficiente de Concordancia.

Cálculo de la Concordancia entre los criterios de los especialistas consultados.

Hipótesis a probar:

Ho: No Hay Concordancia entre los criterios emitidos por los expertos.

H1: Hay Concordancia entre los criterios emitidos por los expertos.

Para este análisis se toma un nivel de significación  $\alpha = 5\%$  (Probabilidad de tomar una decisión incorrecta a la hora de decidir si hay o no concordancia entre los criterios emitidos por los expertos)

A continuación los resultados emitidos por el programa SPSS.

**Cuadro 32. Cálculo del Coeficiente de Concordancia de Kendall**

VARIABLES ESTUDIADAS	RANGO PROMEDIO
MVP1 (Concepción del Modelo de Vulnerabilidad)	5,19
MVP2 (Concepción del Modelo de Vulnerabilidad)	2,92
PEP3 (Procedimientos de la Estrategia)	5,31
PEP4 (Procedimientos de la Estrategia)	4,81
PEP5 (Procedimientos de la Estrategia)	4,54
CEP6 (Sobre la concepción de la estrategia y el objetivo que persigue)	5,50
CEP7 (Sobre la concepción de la estrategia y el objetivo que persigue)	2,92
CEP8 (Sobre la concepción de la estrategia y el objetivo que persigue)	4.81

**Fuente: Elaboración Propia 2014**

Coeficiente de concordancia de Kendall

Este es el cuadro final y el resultado que permite aceptar o rechazar la concordancia de los expertos

**Cuadro 33. Coeficiente de concordancia de Kendall**

N	13
W de Kendall	0,225
Chi-cuadrado	20,501
gl	7
Sig. asintót.	0,005

**Fuente: Elaboración Propia 2014**

Comparando  $p$  (Significación. Asintótica bilateral) = 0,005 y  $\alpha = 5\%$ , se tiene que  $p < \alpha$  entonces se rechaza la hipótesis  $H_0$  (No Hay Concordancia entre los criterios emitidos por los especialistas) y **por tanto se concluye que los especialistas en general han coincidido en una valoración positiva de la propuesta consultada.**

## **Anexo 2. Acrónimos**

ASORECH	Asociación Regional Campesina Chortí.
CC	Capacidad de Campo
CE	Conductividad Eléctrica
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CIAT	Centro de Investigación de Agricultura Tropical.
CIPREDA	Centro de Cooperación Internacional para la Pre inversión y Desarrollo Agrícola.
COCODE	Consejo Comunitario de Desarrollo
CUNORI	Centro Universitario de Oriente
DOCINADE	Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo
FAO	Organización de las Naciones Unidas para a Alimentación y la Agricultura.
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
INE	Instituto Nacional de Estadística
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.
M.O	Materia Orgánica.
OG	Organización Gubernamental.
ONG	Organización no Gubernamental.
PINFOR	Programa de Incentivos Forestales.
PINPEP	Programa de Incentivos Forestales para Pequeños Productores.
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
PMA	Programa Mundial de Alimentos.
PMP	Punto de Marchitez Permanente.

SEGEPLAN	Secretaria General de Planificación.
SIG	Sistema de Información Geográfica.
TIC	Tecnologías de Información y Comunicación.