



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO**

**Análisis del índice de vulnerabilidad a sequía e identificación de sitios para cosecha
de agua en la subcuenca media del río Viejo, Nicaragua**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de
Posgrado como requisito para optar al grado de**

MAGISTER SCIENTIAE
en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Oscar Daniel Silva Paredes

Turrialba, Costa Rica

Octubre, 2017


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

MAGISTER SCIENTIAE EN ECONOMÍA, DESARROLLO Y CAMBIO CLIMÁTICO


FIRMANTES:



Jorge Faustino, Ph.D.
Director de tesis

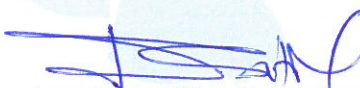


Laura Benegas, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

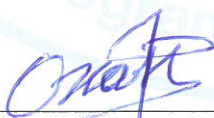


Javier Saborío, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Diego Gómez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.
Decano Programa de Posgrado



Oscar Daniel Silva Paredes
Candidato

DEDICATORIA

*Este logro lo dedico sobre todo a Dios por concederme la vida,
el tiempo, la gracia y la sabiduría.*

*A la memoria de Bertha Felicita Paredes López, la madre
que Dios me dio para concederme la vida.*

*A Margarita Paredes López y a la memoria de Braulia Ermira López,
mamá y abuela, les dedico mis logros por su entrega en mi formación
y educación, por entregar su amor para formar hijos de bien,
ellas han sido, son y serán siempre muy importantes
en mi caminar de esta vida.*

*A mis hermanos y hermanas que han estado ahí y me han dado su apoyo,
un abrazo, un consejo una oración.*

*A Rosa por su amor, comprensión, apoyo, paciencia,
su constante oración durante este tiempo.*

*A todas las personas que con su afecto, cariño y sincera amistad
me han regalado su confianza, me han ayudado a mejorar
y a fortalecer mis conocimientos.*

*La sabiduría es luminosa y eterna, la ven sin dificultad los que la aman y los que
van buscándola, la encuentran; ella misma se da a conocer a los que la desean.
Sab. 6,12-13.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios padre, que hace posible todos mis logros, que me escucha y me levanta ante las adversidades y me rodea de personas que con amor extienden su mano para ayudarme.

Al programa de Becas “Henry A. Wallace Legacy Scholar” por su confianza en haberme otorgado financiamiento durante dos años para poder cursar la maestría.

A la Alcaldía de Managua por concederme el permiso para poder cursar y culminar la maestría y brindar su apoyo económico para complementar los gastos durante los dos años.

A la Alcaldía del municipio de La Trinidad, especialmente al jefe de medio ambiente Ing. Felix Rugama, al Ing. Bayardo García e Ing. Neftalí, por su apoyo en el desarrollo de este proyecto con su tiempo, conocimiento y experiencia.

Al personal de MARENA e INETER en especial a la Lic. Isolina Gutiérrez por la información brindada.

Muy agradecido con las comunidades de los municipios de La Trinidad, Estelí y San Nicolás que fueron parte importante de este estudio.

A mi director de Tesis Ph. D. Jorge Faustino por su apoyo, paciencia y por guiarme en el desarrollo de esta tesis. También a mis asesores Msc. Laura Benegas, Msc Javier Saborío y Msc. Diego Gómez por su acompañamiento durante y sus buenas recomendaciones durante todo este tiempo.

Al director de CATIE, Dr Muhammad Ibrahim, por su gestión y apoyo para poder culminar mis estudios de maestría.

A todos los profesores por brindar sus conocimientos, al personal administrativo de CATIE por su apoyo y hospitalidad, al personal de la biblioteca ORTON por el apoyo brindado para acceder a la información.

A todos los compañeros que conocí durante este paso de la vida en la comunidad de CATIE.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INDICE DE CONTENIDO.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE CUADROS.....	IX
LISTA DE ACRONIMOS Y ABREVIATURAS.....	X
LISTA DE UNIDADES Y SIMBOLOS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Importancia.....	3
1.4 Objetivos del estudio.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Preguntas de investigación del estudio.....	5
1.6 Marco referencial	5
1.6.1 Sequía	5
1.6.2 Tipos de sequía.....	6
1.6.2.1 Sequía meteorológica	6
1.6.2.2 Sequía agrícola	6
1.6.2.3 Sequía hidrológica.....	6
1.6.2.4 Sequía socioeconómica	6
1.6.2.5 Sequía atmosférica	6
1.6.3 Corredor Seco Centroamericano	7
1.6.4 Situación de los recursos hídricos en Centroamérica.....	7
1.6.5 Las zonas secas en Nicaragua y el Corredor seco.....	7
1.6.6 Situación de los recursos hídricos en Nicaragua.....	8
1.6.7 Vulnerabilidad.....	9
1.6.8 Vulnerabilidad a sequía.....	10
1.6.9 Amenaza.....	10
1.6.10 Amenaza natural.....	10
1.6.11 Amenaza socionatural	11
1.6.12 Producción agropecuaria familiar	11
1.6.13 Producción agropecuaria familiar en Nicaragua	11
1.6.14 Cosecha de agua	12
1.6.15 Captación y aprovechamiento del agua de lluvia.....	12
1.6.16 Captación de agua superficial	13

1.7	Principales resultados	13
1.8	Principales conclusiones.....	16
1.9	Literatura citada.....	17

2 ARTÍCULO I. ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A SEQUÍA EN LAS COMUNIDADES DE LA SUBCUENCA MEDIA DEL RÍO VIEJO, ESTELÍ, NICARAGUA..... 20

	RESUMEN.....	21
2.1	Introducción.....	21
2.2	Metodología.....	23
2.2.1	Localización del área de estudio.....	23
2.2.2	Descripción del área de estudio.....	23
2.2.2.1	Características biofísicas	23
2.2.2.2	Características socioeconómicas	26
2.2.3	Descripción del proceso metodológico	27
2.2.3.1	Obtención de datos de los indicadores biofísicos.....	28
2.2.3.2	Obtención de datos de los indicadores socioeconómicos.....	29
2.2.3.3	Estimación del índice de vulnerabilidad a sequía.....	31
2.2.3.4	Procesamiento y análisis de la información.	31
2.2.3.5	Ponderación para la valoración de los indicadores.....	32
2.3	Resultados.....	35
2.3.1	Intensidad de uso del suelo.....	35
2.3.2	Recurso hídrico.....	38
2.3.3	Prácticas de conservación de suelo y agua	42
2.3.4	Población	43
2.3.5	Educación	44
2.3.6	Cobertura institucional	45
2.3.7	Organización comunitaria	46
2.3.8	Capacidad económica	46
2.3.9	Dependencia económica.....	47
2.3.10	Desempleo	48
2.3.11	Uso de instrumentos económicos	48
2.3.12	Tenencia de la tierra	49
2.3.13	Servicio de agua potable.....	50
2.3.14	Implementación de tecnologías	51
2.3.15	Capacitación	53
2.3.16	Índice de vulnerabilidad por factor biofísico.....	54
2.3.17	Índice de Vulnerabilidad por factor socioeconómico.....	54
2.3.18	Índice de vulnerabilidad global	56
2.4	Discusión	58
2.5	Conclusiones.....	61
2.6	Recomendaciones	62

2.7	Literatura citada.....	62
3	ARTÍCULO II. PROPUESTA DE SITIOS CON POTENCIAL PARA LA COSECHA DE AGUA DEMANDADA POR LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA FAMILIAR EN LAS MICROCUENCAS LAS ÁNIMAS Y LOS CHAGÜITES, SUBCUENCA MEDIA DEL RÍO VIEJO, LA TRINIDAD, ESTELI, NICARAGUA	66
	RESUMEN.....	67
3.1	Introducción	67
3.2	Metodología	68
3.2.1	Localización y descripción del área de estudio.....	68
3.2.2	Identificación y caracterización de sitios para la cosecha de agua.....	69
3.2.3	Estimación de la demanda de agua agropecuaria en las fincas	70
3.2.4	Estimación del déficit de agua en la actividad agropecuaria de las fincas.....	71
3.2.4.1	Estimación de la lluvia de diseño	71
3.2.5	Estimación del agua disponible.....	73
3.2.6	Propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua	75
3.3	Resultados	77
3.3.1	Identificación y caracterización de sitios para la cosecha de agua.....	77
3.3.2	Demanda de agua agropecuaria en las fincas.....	89
3.3.3	Déficit de agua agropecuario en las fincas.....	92
3.3.4	Agua disponible en las áreas de drenaje de los sitios identificados	95
3.3.5	Propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua	96
3.4	Discusión.....	103
3.4.1	Identificación y caracterización de sitios para la cosecha de agua.....	103
3.4.2	Demanda de agua agropecuaria en las fincas.....	104
3.4.3	Déficit de agua agropecuario en las fincas.....	105
3.4.4	Agua disponible en las áreas de drenaje de los sitios identificados.....	107
3.4.5	Propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua	107
3.5	Conclusiones	108
3.6	Recomendaciones.....	109
3.7	Literatura citada.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de la oferta y la demanda de agua para los sitios de cosecha de agua.....	14
Figura 2. Mapa de localización del área de estudio: Subcuenca media del río Viejo	23
Figura 3. Distribución promedio mensual de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas Valle de Santa Cruz y San Lorenzo II de la subcuenca media del río Viejo	25

Figura 4. Distribución promedio mensual de la temperatura media registrada en la estación Raúl Gonzales de la zona de la subcuenca media del río Viejo.	25
Figura 5. Mapa de conflictos de uso de suelo.....	36
Figura 6. Mapa de áreas agropecuarias en pendientes mayores al 30%	37
Figura 7. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable intensidad de uso de suelo.....	38
Figura 8. Mapa de precipitación media primer subperiodo lluvioso	39
Figura 9. Mapa de precipitación media segundo subperiodo lluvioso	39
Figura 10. Mapa de canícula.....	40
Figura 11. Mapa de áreas con fuentes de agua subterránea.....	41
Figura 12. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable recurso hídrico.....	42
Figura 13. Mapa de densidad poblacional	43
Figura 14. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable prácticas de conservación de suelo y agua.....	44
Figura 15 Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable población.....	44
Figura 16. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable educación.....	45
Figura 17. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable cobertura institucional	46
Figura 18. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable organización comunitaria.....	47
Figura 19. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable capacidad económica	47
Figura 20. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable dependencia económica.....	48
Figura 21. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable desempleo.....	49
Figura 22. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable uso de instrumentos económicos	49
Figura 23. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable tenencia de la tierra	50
Figura 24. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable servicio de agua potable	51
Figura 25. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable implementación de tecnologías	53
Figura 26. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable capacitación.....	54
Figura 27. Mapa de índice de vulnerabilidad por factor biofísico en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo	55
Figura 28. Mapa de índice de vulnerabilidad por factor socioeconómico en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.	55

Figura 29. Mapa de índice de vulnerabilidad global en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.....	56
Figura 30. Gráfico de análisis de correspondencia que relaciona los indicadores más significativos con el índice de vulnerabilidad global.	58
Figura 31. Mapa de localización del área de estudio: Microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites	68
Figura 32. MED y ubicación de estación meteorológica - uso y cobertura en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites.	75
Figura 33. Mapas participativos de identificación de sitios de las microcuencas las Ánimas y Los Chagüites.....	78
Figura 34. Mapa de ubicación de sitios para cosecha de agua en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites.....	89
Figura 35. Comparación de la oferta y la demanda de agua para los sitios de cosecha de agua.....	96
Figura 36. Déficit total de las fincas, evaporación y volumen de diseño de las obras de cosecha de agua propuestas	97
Figura 37. Esquema de reservorios Tipo I.....	97
Figura 38. Esquema de reservorios Tipo II	97
Figura 39. Déficit parcial de las fincas, evaporación y volumen de diseño de las obras de cosecha de agua propuestas	98
Figura 40. Gráficos del análisis de sensibilidad de los parámetros, NC, Ia y Tlag del modelo hidrológico de las áreas de drenaje para cada sitio identificado para cosecha de agua.....	100

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Capacidad de reservorios propuestos Tipo I con dimensiones ajustadas .	15
Cuadro 2. Capacidad de reservorios propuestos Tipo II con dimensiones ajustadas	15
Cuadro 3. Vertedores de excesos de escorrentía con dimensiones ajustadas.....	15
Cuadro 4. Características físicas de las microcuencas	24
Cuadro 5. Distribución de la población en las microcuencas de la subcuenca media del río Viejo	27
Cuadro 6. Tipo de factor, variables e indicadores para definir el índice de vulnerabilidad a sequía	30
Cuadro 7. Categorización y valoración del índice de vulnerabilidad a sequía	31
Cuadro 8. Escala de valoración del índice de vulnerabilidad a sequía en porcentaje	31
Cuadro 9. Ponderación del índice de vulnerabilidad para los indicadores biofísicos	32
Cuadro 10. Ponderación del índice de vulnerabilidad para los indicadores socioeconómicos.....	33
Cuadro 11. Resumen del estadístico Chi Cuadrado MV-G2 y su valor p del análisis con tablas de contingencia de los indicadores versus el índice de vulnerabilidad global	57

Cuadro 12. Factores de cultivo (Kc).....	70
Cuadro 13. Consumo diario de agua de especies animales.	71
Cuadro 14. Duración del ciclo vegetativo del cultivo	72
Cuadro 15. Demanda de agua agrícola en las fincas.	90
Cuadro 16. Demanda de agua Pecuaria en las fincas.	91
Cuadro 17. Demanda total agropecuaria en las fincas.	92
Cuadro 18. Déficit de agua agrícola por cada cultivo en las fincas.	93
Cuadro 19. Déficit de agua agrícola total en las fincas.	93
Cuadro 20. Déficit de agua Pecuario en las fincas.	94
Cuadro 21. Déficit total agropecuario en las fincas.	95
Cuadro 22. Escorrentía disponible en las áreas de drenaje de los sitios identificados.....	95
Cuadro 23. Capacidad de reservorios propuestos Tipo I para abastecer déficit total de las fincas	97
Cuadro 24. Capacidad de reservorios propuestos Tipo II	97
Cuadro 25. Capacidad de reservorios propuestos Tipo I con dimensiones ajustadas.....	98
Cuadro 26. Capacidad de reservorios propuestos Tipo II con dimensiones ajustada	98
Cuadro 27. Vertedores de excesos de escorrentía para abastecer el déficit total de las fincas.....	99
Cuadro 28. Vertedores de excesos de escorrentía con dimensiones ajustadas.....	99
Cuadro 29. Índice de sensibilidad de los parámetros del modelo hidrológico de cada sitio identificado para cosecha de agua.....	100

LISTA DE ACRÓNIMOS y ABREVIATURAS

ACF: Acción Contra el Hambre
CCAD: Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
CENAGRO: Censo Nacional Agropecuario
CFSR: Climate Forecast System Reanalysis
CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIRA: Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
COSUDE: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
ERDAS: Earth Resources Data Analysis System (Sistema de análisis de datos de recursos de tierra)
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FARENA: Facultad de Recursos Naturales y el Ambiente
GIRH: Gestión Integral de Recursos Hídricos
GIZ: Cooperación Internacional Alemana
GPS: Sistema de Posicionamiento Global
GRUN: Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional de Nicaragua

GWP: Asociación Mundial para el Agua
 hab.: habitantes
 HEC: Hydrologic Engineering Center
 HMS: Hydrologic Modeling System
 IDF: Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia
 INETER: Instituto Nacional de Estudios Territoriales
 INIA: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
 INIDE: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo
 INTA: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria
 IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
 MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería
 MAGFOR: Ministerio Agropecuario y Forestal
 MARENA: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
 MED: Modelo de Elevación Digital
 MVOTMA: Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
 NC: Número de Curva
 NCEP: National Centers for Environmental Prediction
 NRCS: Natural Resource Conservation Service
 PASOLAC: Programa de Agricultura Sostenible en Laderas de América Central
 PIB: Producto Interno Bruto
 PINCHAS: Programa Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento
 REDD: Reducción de Emisiones de Dióxido de Carbono por Deforestación
 SCS: Soil Conservation Service
 SIG: Sistema de Información Geográfica
 TIFF: Tagged Image File Format (Formato de archivo de imagen con etiquetas)
 UNA: Universidad Nacional Agraria
 UNATSABAR: Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural
 UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
 USACE: United States Army Corps of Engineers
 USDA: United States Department of Agriculture

LISTA DE UNIDADES Y SIMBOLOS

°C: Grados centígrados	Mz: Manzanas
C\$: Córdoba	m ² : Metros cuadrados
Ha: Hectáreas	m ³ : Metros cúbicos
%: Porcentaje	
Km: Kilómetros	
Km ² : Kilómetros cuadrados	
m: metros	
mm: Milímetros	
min: minutos	
msnm: Metros sobre el nivel del mar	

RESUMEN

Este estudio se realizó en la subcuenca media del río Viejo, municipio La Trinidad, departamento de Estelí Nicaragua. La subcuenca es parte del territorio de Nicaragua que constantemente se ve afectado por el fenómeno de la sequía y en muchas de sus microcuencas hay problemas de disponibilidad de agua. Los objetivos del estudio fueron analizar el índice de vulnerabilidad a sequía, identificar y caracterizar sitios para la cosecha de agua, y proponer obras adecuadas para captar y almacenar la escorrentía para satisfacer las necesidades hídricas de la producción agropecuaria familiar. En el proceso se utilizó información disponible de datos meteorológicos de 6 estaciones del INETER, canícula, agua subterránea, MED, cobertura, uso de suelo, tipo de suelo, mapas de conflictos de uso de suelo y densidad poblacional. Se realizó encuestas a jefes de familias para obtener información de indicadores socioeconómicos como son la educación, cobertura institucional, organización comunitaria, capacidad económica, dependencia económica, desempleo, uso de instrumentos económicos, tenencia de la tierra, servicio de agua potable, implementación de tecnologías y capacitación. Se identificaron las comunidades más vulnerables de la subcuenca media del río Viejo realizando un análisis de variables e indicadores de tipo biofísico y socioeconómico que definen el índice de vulnerabilidad a sequía. Una vez definido el índice de vulnerabilidad por factor biofísico y socioeconómico, se realizó el promedio para obtener el índice de vulnerabilidad global de cada comunidad. A nivel general, las comunidades de la subcuenca media del río Viejo presentan un índice de vulnerabilidad alta, excepto en las comunidades Los Carbonales, Las Limas, Sabana Larga-Ocotillo, Potrerillo, La Laguna y Rosario Arriba, que presentan índice de vulnerabilidad media ante las condiciones climáticas de sequía. También se ha planteado una identificación y caracterización de sitios para cosecha de agua, donde por medio de un taller participativo con productores de las microcuencas, se hizo una primera aproximación para definir posibles sitios, que fueron caracterizados, el proceso se complementó con recorrido y levantamiento de campo en compañía de los productores y además, con la evaluación de datos de sistema de información geográfica disponibles de la zona. Por otro lado, también se realizó una evaluación de potencial de agua existente para la cosecha de agua determinándose la demanda de agua de los cultivos y los requerimientos pecuarios en las fincas donde se ubican los sitios identificados y se comparó con la disponibilidad de agua por escorrentía de las áreas de drenaje de dichos sitios, la cual se estimó con el modelo HEC-HMS, haciendo uso de los datos de precipitación diaria de la estación San Lorenzo II. Se plantea una propuesta de obra para cosecha de agua en cada sitio para abastecer todo el déficit agropecuario de las fincas y una segunda propuesta ajustada a la disponibilidad de espacio de los sitios identificados, la propuesta de diseño de estas obras se realizó con base en el modelo HEC-HMS. El estudio incluyó un análisis de sensibilidad del modelo HEC-HMS, con el fin de evaluar los parámetros utilizados. Fue posible la identificación de 11 sitios, los cuales presentan áreas de drenaje con buen potencial para abastecer las necesidades hídricas agropecuarias. El empleo del HEC-HMS permitió realizar propuestas de diseño conceptuales de las obras de cosecha de agua con un parámetro NC sensible en su variación para la estimación de la escorrentía, pero al igual que los otros parámetros, permitieron obtener un modelo con buenos resultados.

Palabras clave: río Viejo, índice de vulnerabilidad a sequía, disponibilidad de agua, indicadores biofísicos, indicadores socioeconómicos, cosecha de agua, identificación de sitios.

ABSTRACT

This study was carried out in the middle sub-basin of the Río Viejo, municipality “La Trinidad”, department of Estelí, Nicaragua. The sub-basin is part of the territory of Nicaragua that is constantly affected by the phenomenon of drought and in many of its micro-basins there are problems of availability of water. The objectives of the study were to analyze the vulnerability index to drought, to identify and characterize sites for water harvesting, and to propose suitable works to capture and store the runoff to meet the water needs of family farming. In the process, available meteorological data from 6 INETER stations, heatwave, groundwater, MED, coverage, land use, soil type, land use conflict maps and population density were used. Household surveys were conducted to obtain information on socioeconomic indicators such as education, institutional coverage, community organization, economic capacity, economic dependence, unemployment, use of economic instruments, land tenure, drinking water service, implementation of technologies and training. The most vulnerable communities in the middle basin of the Río Viejo were identified by performing an analysis of biophysical and socioeconomic variables and indicators that define the vulnerability index to drought. Once the vulnerability index was defined by biophysical and socioeconomic factors, the average was obtained to achieve the overall vulnerability index of each community. At the general level, the communities in the middle basin of the Río Viejo have a high vulnerability index, except in the communities of “Los Carbonales, Las Limas, Sabana Larga-Ocotillo, Potrerillo, La Laguna and Rosario Arriba”, which show an average vulnerability index to the climatic conditions of drought. There has also been an identification and characterization of sites for water harvesting, where through a participatory workshop with producers of micro-watersheds, a first approximation was made to define possible sites, that were characterized, the process was complemented by travel and field survey with company of producers and in addition, with the evaluation of geographic information system data available in the zone. On the other hand, an evaluation of existing water potential for the water harvest was carried out, determining the water demand of the crops and the livestock requirements in the farms where the identified sites are located and compared to the availability of water by runoff of the drainage areas of these sites, which was estimated using the HEC-HMS model, making use of the daily precipitation data of the San Lorenzo II station. It is proposed a work to harvest water in each site to supply the entire agricultural deficit of the farms and a second proposal adjusted to the availability of space of the identified sites, the design proposal of these works was based on the HEC-HMS model. The study included a sensitivity analysis of the HEC-HMS model, in order to evaluate the parameters used. It was possible to identify 11 sites, which present drainage areas with good potential to supply agricultural water needs. The use of the HEC-HMS allowed performing conceptual design proposals of the water harvesting works with a sensitive NC parameter in its variation for the estimation of the runoff, but like the other parameters, enabled to obtain a model with good results.

Keywords: Río Viejo, vulnerability index to drought, water availability, biophysical indicators, socioeconomic indicators, water harvesting, site identification.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Antecedentes

Históricamente, Nicaragua ha sido afectada por diferentes desastres como terremotos, sequías, huracanes, maremotos y tormentas tropicales. Entre los mayores impactos negativos sufridos en los últimos veinte años, están el Huracán Mitch en 1998, el cual causó una pérdida económica alrededor de 27% del PIB y las sequías que se produjeron en 2001, que ocasionaron una pérdida de 1,2% del PIB. Adicionalmente el Huracán Félix y la Ondas tropicales de 2007, causaron una pérdida equivalente a 5,2% del PIB. En 2010, se generaron cuantiosas pérdidas por lluvias excesivas, que afectaron los cultivos de granos básicos principalmente, generando problemas de abastecimiento de la alimentación, alza de precios que afectó grandemente a la población extremadamente pobre por su poca capacidad económica para poder acceder a determinados productos. (Obando 2011)

En Nicaragua, la sequía es uno de los fenómenos naturales que más ha causado daños a la población, por su frecuencia de ocurrencia. Los períodos de sequía están altamente relacionados con la aparición del fenómeno El Niño, no obstante, no todos los períodos de sequías, son producto de dicho fenómeno, sino de las alteraciones propias que se manifiestan en la circulación atmosférica. (Bendaña 2012, MAGFOR 2013b, Robleto 2013)

Registros de las últimas décadas manifiestan que los mayores daños por este fenómeno se han dado en los años 2001 y 2011, cuando se vio afectado, de forma directa, el ciclo agrícola productivo del país en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, ocasionando pérdidas en más de 103.700 Mz (73.170 Ha) de granos básicos en el periodo comprendido de Julio a Agosto del año 2001. Dentro de estos años, las áreas afectadas abarcaron 37 municipios del país dentro del Corredor seco con afectaciones indirectas a más de 2 millones de habitantes y de forma directa a más de 100.000 pobladores de la zona. (Robleto 2013)

A lo largo de la historia, las actividades agropecuarias en Nicaragua se han desarrollado de forma extensionista sin tomar en cuenta la potencialidad de los suelos, lo más común es que se realicen sin la debida planificación y sin tomar las medidas de protección y conservación de los recursos naturales, lo que ha traído su continuo deterioro. (GRUN 2010, CIRA y PIMCHAS 2013) El impacto principalmente se ve reflejado en determinadas zonas del país, donde hoy día, la evidencia de la escasez de agua en ciertas épocas del año trae consigo grandes pérdidas de las cosechas anuales.

MAGFOR (2013b) basado en estadísticas del INETER señala que el año 2009 ha sido de los más secos en el país y afectó particularmente, pero no uniforme, las zonas del Pacífico y Central, donde en su mayoría las tierras son utilizadas para agricultura de secano y por tanto, susceptibles a sequía.

ACF (2010) en su informe de seguimiento de la sequía provocada por el fenómeno del niño en el periodo 2009 al 2010, registra que las pérdidas de granos básicos de la cosecha de postrera fueron mayores al 50%, lo que generó un fuerte impacto en la economía de los hogares, ya que los alimentos que se producen en esta cosecha son los que se utilizan para comer hasta el próximo ciclo de primavera permitiendo a la vez evitar los temidos meses de hambre estacional, además que los productores tienen esperanza en esta cosecha de obtener un excedente, que les permita pagar deudas y cubrir otras necesidades básicas de desarrollo.

1.2 Justificación

A nivel mundial, existe una preocupación por la disponibilidad de agua para satisfacer las principales necesidades humanas de subsistencia y desarrollo. En la Declaración del Milenio en el 2000, los Jefes de Estado manifestaron especialmente la necesidad de actuar en función de “detener la explotación no sostenible de los recursos hídricos, desarrollando estrategias para el manejo del agua en los niveles, regional, nacional y local, que promuevan tanto el acceso equitativo, como el abastecimiento adecuado”. La Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible, celebrada en 2002, incluyó dentro del plan de implementación, un llamado a todos los países a desarrollar los Planes Nacionales de GIRH y uso eficiente del agua para el 2005. (GWP 2011)

Nicaragua, por su ubicación en el continente y sus características físico geográficas, es frecuentemente afectada por diferentes fenómenos hidrometeorológicos extremos, los cuales causan innumerables daños a la población, que a su vez se ven reflejados en la economía del país. Uno de estos fenómenos es la sequía, la cual ha afectado el territorio en reiteradas ocasiones, presentándose a diferentes grados de severidad y frecuencia; en los casos más extremos, ha llegado a causar efectos muy adversos y graves en el desarrollo socioeconómico del país. Dado que las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería y que ambas dependen en gran medida de la época lluviosa, los periodos de sequías traen grandes consecuencias en la disponibilidad de alimentos sobre todo en las familias campesinas que viven de la agricultura.

En las zonas secas, como en el resto del área rural de Nicaragua, las prioridades en el uso del agua son el consumo y uso doméstico humano, el consumo de animales y el uso en la agricultura; esta última prioridad depende en gran parte de la disponibilidad del recurso, algo muy difícil en las zonas secas que se caracterizan por no disponer de agua subterránea y por contar con pocos ríos para el riego agrícola. (Bendaña 2012)

En el país existen abundantes recursos hídricos superficiales, con la limitante de ser altamente estacionales y tener una distribución desigual. El 93% del agua superficial le corresponde a la vertiente Caribe y solamente el 7% a la vertiente del Pacífico. En la región central las formaciones geológicas son desfavorables para el almacenamiento de aguas subterráneas, la profundidad de los pozos oscila entre 200 a 300 metros, lo que provoca el no aprovechamiento de manera sostenible, obligando a la población de esta región, a que sus

necesidades se suplan con el aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales. (Bendaña 2012)

MAGFOR (2013b) menciona que para reducir el riesgo que plantea el cambio climático y la variabilidad climática en los sectores productivos de Nicaragua, es importante definir estrategias en función de los análisis de vulnerabilidad. Ante las condiciones adversas que se presentan durante eventos de sequías, el gobierno de Nicaragua ha tomado acciones en correspondencia de cumplir con el Plan Nacional de desarrollo humano 2012-2016 para impulsar la captación y el almacenamiento de agua de lluvia y su uso para la agricultura y otros fines en conjunto con la cooperación Suiza bajo el marco del “Proyecto de cosecha de agua para la adaptación de la agricultura al cambio climático en Nicaragua”. Este proyecto está dirigido a transformar los sistemas de producción agrícolas y pecuarios en 66 municipios de la zona seca nicaragüense, con el fin de contribuir a aumentar la resiliencia de familias productoras con problemas de acceso al agua debido a los efectos del cambio y la variabilidad climática, mediante la implementación de tecnologías de cosecha de agua, para lo cual, previamente es fundamental realizar una buena selección de los sitios que fomente la adopción de las tecnologías por parte de los beneficiarios y garantice, a su vez, los riesgos de fracasos en las inversiones.

Con el presente estudio se pretende realizar un análisis de índice de vulnerabilidad en la subcuenca media del río Viejo, que permita conocer las condiciones biofísicas y socioeconómicas del territorio que limitan su capacidad de respuesta ante eventos de sequía, hacer una identificación de sitios para la cosecha de agua y la propuesta de diseño de las obras para los sitios identificados.

1.3 Importancia

A nivel mundial, la escasez de agua causa distintos problemas que afectan gravemente a la sociedad; estos van desde salud, migración hasta conflicto de competencias por este vital recurso tan importante en la vida de los seres humanos, animales y las distintas actividades de desarrollo principalmente agropecuarias. Actualmente, los productores agrícolas viven una gran incertidumbre en cuanto a poder predecir las épocas lluviosas como lo hacían en el pasado, cada vez los periodos lluviosos son más irregulares, lo cual se atribuye al cambio climático principalmente manifestado en una frecuencia creciente de desastres como son los huracanes, sequías prolongadas y efectos del fenómeno del niño. (PASOLAC 2006)

El sector agropecuario para Nicaragua es fundamental, ya que le brinda alimento a la población y desempeña un papel importante dentro de la actividad económica, contribuyendo significativamente al PIB del país. Durante los últimos años, este sector se ha visto fuertemente afectado por los fenómenos meteorológicos (huracanes, tormentas y sequías) que han provocado importantes pérdidas económicas y humanas principalmente de las zonas rurales más vulnerables por sus niveles de pobreza que estas presentan. A futuro, los rendimientos de los cultivos se verán fuertemente afectados por las variaciones en el clima,

provocando disminuciones en la producción y colocando al país en una situación de riesgo para su seguridad alimentaria, ante la escasez de alimentos y el incremento de precios. (Ramírez *et al.* 2010, MAGFOR 2013b)

Bendeña (2012) señala que el denominado Corredor seco de Nicaragua se encuentra estrechamente más relacionado a los departamentos de Madriz, Nueva Segovia y Estelí por ser la zona del país más afectada por sequía. Según estudios realizados por la Dirección General de Meteorología del INETER, para determinar las zonas afectadas por sequía, se han considerado 25 municipios como los más críticos donde las precipitaciones han llegado a ser inferiores a los 400 mm dentro de los cuales se encuentran los municipios de la Trinidad y Estelí que comprenden juntos el 95% del territorio de la subcuenca media del río Viejo. Se estima que en las zonas secas, el 70% de la población rural enfrenta condiciones de extrema pobreza, baja producción agropecuaria, agricultura con diversificación muy limitada e infraestructura deficiente, bajas condiciones educativas, deficiencias nutricionales y de salud y que los productores, en general, pequeños, medianos o grandes, sufren, junto con toda la familia, estrés físico y mental al ver sus cosechas o su ganado echados a perder por la sequía y en los niños, mujeres embarazadas y ancianos, la malnutrición aparece tempranamente, observándose también la migración hacia la capital y fuera del país.

La importancia de este estudio se fundamentó en proporcionar a agentes decisores, en el proyecto de cosecha de agua para la adaptación de la agricultura al cambio climático en Nicaragua, un marco de referencia que permita reconocer determinadas causas e impactos relacionados con la sequía en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo y a su vez, priorizar aquellas que se encuentran en condiciones de mayor índice de vulnerabilidad ante la sequía. También contribuir con una selección de sitios para cosecha de agua y la propuesta de diseño de las obras, fomentando en el proceso de selección el interés de los beneficiarios para implementar tecnologías de cosecha de agua. Así como aportar conocimiento para mejorar las condiciones de desarrollo en que viven comunidades de la subcuenca media del río Viejo, las cuales se ven agravadas por el fenómeno de sequía que en las últimas décadas se ha intensificado en cuanto a su frecuencia anual y periodos de duración, aquejando a la población en diferentes grados de afectación principalmente en sus actividades de producción agropecuaria.

1.4 Objetivos del estudio

1.4.1 Objetivo general

Analizar el índice de vulnerabilidad a sequía y definir sitios para la construcción de obras de cosecha de agua que permitan satisfacer las necesidades hídricas de la producción agropecuaria familiar en la subcuenca media del río Viejo, aprovechando de manera eficiente y sostenible el recurso hídrico.

1.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar y determinar el índice de vulnerabilidad a sequía en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.
- ✓ Identificar y caracterizar áreas con potencial para la cosecha de agua demandada por la producción agropecuaria familiar en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites de la subcuenca media del río Viejo.
- ✓ Realizar una propuesta de diseño de las tecnologías de cosecha de agua.
- ✓ Evaluar el funcionamiento de las obras propuestas, mediante un análisis hidrológico con el programa HEC-HMS.

1.5 Preguntas de investigación del estudio

¿Cuál es el estado de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo en relación con su índice de vulnerabilidad a sequía?

¿Cuáles son las comunidades de la subcuenca media del Río Viejo que tienen mayor índice de vulnerabilidad a sequía?

¿Cuáles son las áreas con potencial para la cosecha de agua demandada por la producción agropecuaria familiar en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites de la subcuenca media del río Viejo?

¿Existe potencial de escurrimiento producto de las precipitaciones en el área de estudio para crear alternativas de captación y uso eficiente del recurso hídrico?

¿Cuál es la propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua para las áreas potenciales identificadas?

¿Existe un buen funcionamiento de las obras propuestas ante probables avenidas máximas?

1.6 Marco referencial

1.6.1 Sequía

La sequía es un fenómeno temporal ligado a la variabilidad climática que resulta de la escasez o mala distribución prolongada de la precipitación combinada con una evaporación en exceso, que provoca una reducción en la disponibilidad de agua en relación con sus parámetros normales acostumbrados, siendo insuficiente para satisfacer las necesidades hídricas básicas tanto de los seres humanos como de las plantas y animales, lo que conlleva también a una alteración del recurso hídrico, que puede captarse desde el suelo, ya que las reservas de agua que este contiene no se repone de forma normal con las precipitaciones atmosféricas de este periodo. El mayor o menor déficit presentado determina la intensidad de la sequía. En muchas regiones, la aparición de la sequía es regular en duración y época de aparición y se tienen definidos los períodos secos en que se presenta, mientras que en otras es un fenómeno recurrente que al aparecer se considera irregular y esporádico. (INETER y COSUDE 2005, Bendaña 2012)

1.6.2 Tipos de sequía

1.6.2.1 Sequía meteorológica

Este tipo de sequía se presenta cuando en un determinado periodo la precipitación es mucho menor a la normal y genera una deficiencia hídrica que, en dependencia de su intensificación y prolongación en el tiempo, conduce a la aparición de los otros tipos de sequía. (Ravelo *et al* 2014)

1.6.2.2 Sequía agrícola

Se registra cuando la escasez de la precipitación, la evaporación y el déficit de agua en el suelo se combinan para obstaculizar las etapas de crecimiento de los cultivos, provocando una reducción en el número de plantas para una determinada área por una baja germinación y una disminución considerable de los rendimientos de cultivos. (Prieto *et al* 2007)

Se establece cuando en un periodo de tiempo la humedad en el suelo no es suficiente para garantizar el establecimiento de un cultivo, su desarrollo o producción. (INETER y COSUDE 2005)

1.6.2.3 Sequía hidrológica

La sequía hidrológica ocurre cuando hay un déficit continuo en la escurrentía de superficie, provocando que ésta alcance un nivel inferior a las condiciones normales y cuando hay disminución considerable con respecto al nivel normal de las aguas subterráneas. (Ravelo *et al* 2014)

Su frecuencia y severidad se definen a escala de cuencas hidrológicas. Su ocurrencia es menor con respecto a la sequía meteorológica y agrícola, ya que los efectos del déficit de precipitación en los componentes del sistema hidrológico requieren de un mayor tiempo. (Prieto *et al* 2007)

1.6.2.4 Sequía socioeconómica

La sequía socioeconómica es consecuencia de eventos de los tipos de sequías anteriores ocurridos en una comunidad o territorio que resulta severamente afectado en sus actividades socioeconómicas. (Ravelo *et al* 2014)

1.6.2.5 Sequía atmosférica

Particularmente, se encuentra asociada a vientos moderados y fuertes que ocurren en forma simultánea con altas temperaturas, baja humedad e insolación intensa que provocan una sequedad excepcional del aire, reflejada en el déficit de vapor de agua. (INETER y COSUDE 2005)

1.6.3 Corredor Seco Centroamericano

El denominado Corredor Seco Centroamericano normalmente es vinculado al fenómeno climático de la sequía, sin embargo, tiene una base ecológica y define a un grupo de ecosistemas que se combinan en la ecorregión del bosque tropical seco de Centroamérica. Este inicia en Chiapas, México y se extiende en una franja, abarcando las zonas bajas de la vertiente del Pacífico y gran parte de la región central premontano (0 a 800 msnm) de Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Guanacaste, en Costa Rica. En Honduras incluye fragmentos que se aproximan a la costa Caribe. Por sus características, la sequía afecta en mayor grado a la agricultura y ganadería que al sistema de recarga de las fuentes de agua, afectando, en este sentido, únicamente las recargas de los acuíferos de montaña que cuentan con pocos volúmenes de almacenamiento. Puede decirse que la sequía meteorológica es lo suficientemente acentuada para transformarse en una sequía agrícola con asomo a agropecuaria, sin embargo, la prolongación no es tan acentuada para pasar a ser una sequía hidrológica severa considerándose que la mayoría de los efectos hidrológicos que se presentan se deben al mal manejo de los recursos naturales desde un punto de vista de cuencas hidrográficas. (Zee *et al.* 2012)

1.6.4 Situación de los recursos hídricos en Centroamérica

Los recursos hídricos en Centroamérica se generan dentro del territorio de distintas cuencas propias de cada país y aquellas que son compartidas entre dos o más países, se considera que en el Istmo Centroamericano existen 23 cuencas compartidas abarcando un territorio de 191.494 Km² (36,9% de la región) de las cuales 13 están conformadas por ríos que marcan la línea fronteriza. La cuenca del río San Juan además de ser fronteriza es la más grande de toda Centroamérica con un territorio de 36.905 Km² (7,2% de la región). En cuanto a la oferta y la demanda del recurso hídrico en general todos los países excepto el Salvador tienen recursos disponibles bastante mayores al valor de referencia de déficit hídrico (1.700 m³ per cápita por año). Todos los países utilizan menos del 10% de sus recursos disponibles, sin embargo, la irregular distribución espacial y temporal de la precipitación, y la falta o insuficiencia de obras de regulación, provoca que en todos los países existan cuencas con problemas de escasez en la época seca. Además, dos terceras partes de la población de la región se asienta en la vertiente del Pacífico, hacia donde escurre alrededor del 30% de las aguas superficiales, mientras que la tercera parte de la población restante se ubica en la vertiente del Mar Caribe, donde se genera el 70% de la riqueza hídrica de la región. (GWP 2011)

1.6.5 Las zonas secas en Nicaragua y el Corredor seco

En Nicaragua se identifican tres zonas secas a nivel nacional correspondiente a una zona centro-norte (comprendida por los departamentos de Madriz, Nueva Segovia y Estelí), una zona centro-sur (pequeñas áreas de los departamentos de Matagalpa, Boaco y Chontales; Chinandega Norte, Managua Norte) y la zona paralela al Océano Pacífico que incluye parte de los departamentos de León, Managua, Carazo y Rivas, sin embargo el Corredor Seco se refiere

más a la zona seca centro-norte, la cual es la más afectada por la sequía. Todas las zonas secas incluyen áreas que difieren entre sí y por tanto, desde varios puntos de vista, ameritan atenciones particulares, ya que existen marcadas diferencias en cuanto a condiciones climáticas, geológicas, edáficas y otras, que justifican un trato diferenciado entre ellas. (Bendaña 2012)

Robleto (2013) señala que en las últimas décadas, las áreas vulnerables han aumentado, llegando a conformarse lo que hoy se conoce como Corredor Seco del país, en el que se encuentran involucrados 37 municipios, ubicados en el centro norte y parte de la región del Pacífico del país. En estas áreas, el sector agrícola es el más vulnerable en correspondencia directa a la característica del país de tener una predominante vocación agropecuaria. Evidentemente, dentro del sector agropecuario los más afectados son los pequeños productores de escasos recursos y cuyas actividades agrícolas son de subsistencia.

En las zonas secas de Nicaragua, la poca precipitación ocasiona la presencia de un tiempo seco de larga duración que va de 6 a 8 meses dependiendo de la región, estos ecosistemas reciben lluvias de manera muy irregular lo que los vuelve frágiles aún más por las actividades antropogénicas. Las características que presentan en su mayoría son suelos con afloramientos rocosos en la superficie, pedregosos, a veces cargados de arrastres de origen coluvio-aluvial, muy permeables, de drenaje excesivo; son casi siempre de moderada a poca profundidad, de pendientes de onduladas a ligeramente escarpadas o escarpadas, por lo que la superficie laborable en éstos es relativamente pequeña si se compara con toda la extensión de montañas, llanos y lomeríos pedregosos que componen el resto del paisaje; paralelo a ello, tienen la desventaja de que sus depósitos de agua subterránea son muy pobres y muy profundos. Existen zonas secas de relieve plano a ligeramente ondulado, con suelos Vertizoles, estos suelos son arcillosos comúnmente llamados “sonsocuite, suelos barrialosos”, contienen una alta proporción de arcillas expandibles y cuando se secan forman anchas grietas desde la superficie hasta más de un metro de profundidad (USDA-NRCS 1999, MAGFOR 2013a, WRB 2015). El bosque natural en las zonas secas se encuentra drásticamente alterado y ha dado lugar a espacios completamente deforestados, con cultivos de subsistencia, potreros con pastos naturales de poco valor nutritivo, especies de matorrales y arbustos espinosos; se estima que en las zonas secas persiste menos de un 1% de la vegetación nativa y de esto, prácticamente nada se encuentra en estado natural, excepto en las riveras de algunos ríos y riachuelos. (Bendaña 2012)

1.6.6 Situación de los recursos hídricos en Nicaragua

La disponibilidad de agua en Nicaragua lo cataloga como un país privilegiado con una producción per cápita de 38.668 m³/año, lo que posiciona al país por encima del promedio de Centroamérica. Se conoce que su índice de desempeño ambiental en la categoría de estrés de agua es de 100, es decir, posee 0% del territorio bajo estrés hídrico, sin embargo, debido a los niveles de pobreza que presenta principalmente en las zonas rurales al igual que el resto de la región centroamericana ha sido evaluada con escasas económicas de agua por la falta de

recursos financieros para utilizar y mantener las fuentes de agua con la calidad adecuada para el consumo humano. (Vammen *et al* 2012)

Hidrográficamente, el país se divide en 21 cuencas distribuidas en dos grandes vertientes hidrográficas: la vertiente del Pacífico (de 12.183 km²) y la del Mar Caribe (117.420 km²). Las cuencas que drenan hacia el Mar Caribe son más grandes que las del Pacífico, con ríos de mayor longitud, esta vertiente posee 51 ríos, en tanto la del Pacífico posee 12 ríos, sin embargo, la presión sobre los recursos hídricos del pacífico es mayor dado a que en esta zona se concentra el 60% de la población total del país por poseer los mejores suelos agrícolas. Los abundantes recursos hídricos superficiales son estacionales y su distribución es desigual. El 93% se encuentra en la zona del Atlántico y sólo 7% en el Pacífico. (Castillo *et al.* 2006, INETER, citado por Vammen *et al* 2012)

Según estudios realizados por la FAO se estima que el 70% de las aguas subterráneas del país no son renovables, mientras que el 94% de las aguas superficiales si son renovables, sin embargo, en lo que respecta al uso del agua, las estrategias de extracción del recurso han priorizado las aguas subterráneas, representadas por 70% del volumen de abastecimiento total existente, de este porcentaje se estima que un 83% es consumido por el sector agropecuario, 14 % por el sector industrial y 3% por el sector doméstico. (Vammen *et al* 2012)

1.6.7 Vulnerabilidad

Wilches-Chaux (1993) considera la vulnerabilidad como la incapacidad de una comunidad para adaptarse a los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente. Esta vulnerabilidad constituye un sistema dinámico, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características internas y externas que convergen en la comunidad o sitio en particular. A esta interacción de factores y características se le da el nombre vulnerabilidad global, la cual puede dividirse en varias vulnerabilidades o factores de vulnerabilidad, todos ellos relacionados entre sí: factores de vulnerabilidad natural, física, económica, social y ambiental.

Vulnerabilidad es la susceptibilidad a pérdidas y daños de los elementos expuestos al impacto de un fenómeno potencialmente dañino (es decir bajo amenaza). También se refiere a la incapacidad de una estructura social (comarca, municipio, departamento, país, etc.) de recuperarse, por sus propios medios, del impacto ocasionado (COSUDE 2002b).

Determinar la vulnerabilidad implica un proceso en el cual se debe determinar el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos frente a una determinada amenaza o peligro. En este proceso, la vulnerabilidad puede ser definida en niveles, llámese baja, media, alta, etc. Según criterios de análisis técnicos, también puede ser expresada como un porcentaje de elementos que pueden sufrir daño o destrucción (pérdida) sobre un total, aunque es difícil establecer una referencia de carácter absoluto. Los porcentajes pueden ser establecidos en función de las características del área, del tipo de fenómeno, de la

densidad y frecuencia de ocupación humana, densidad de construcciones, según se requiera. (COSUDE 2002a)

El IPCC (2012) define la vulnerabilidad como la propensión o predisposición constituida por las características propias de un elemento (persona, grupo o comunidad) a verse afectado de manera adversa. Considerando que, en función de sus características, está su capacidad de prever, afrontar, resistir y recuperarse de los efectos adversos producto de la acumulación de pequeños eventos o eventualidades físicas extremas. En otro sentido, considera que la vulnerabilidad es el resultado de diversas condiciones y procesos históricos, sociales, económicos, políticos, culturales, institucionales, de recursos naturales y ambientales.

1.6.8 Vulnerabilidad a sequía

La vulnerabilidad a sequía es de tipo natural y se puede observar cuando una comunidad amenazada por la sequía por razones económicas y tecnológicas se ve limitada a satisfacer las necesidades hídricas requeridas para su propio consumo, para sus ganados y cultivos, para sus manufacturas o para su generación eléctrica. (Wilches-Chaux 1993)

La vulnerabilidad de una población ante la sequía está referida directamente al grado de dependencia que tenga de la base de los recursos naturales, por tanto, entre más alta sea ésta dependencia mayor será su vulnerabilidad frente a cualquier interrupción que sufra la productividad de dicha base. La vulnerabilidad frente a una sequía es compleja, en general, entre menos próspera sea una sociedad u hogar, menor será la cantidad de opciones que tengan en términos de respuesta, sin embargo, su nivel de vulnerabilidad no es el mismo de pobreza, ya que está en dependencia del número de alternativas de respuesta que tenga para enfrentar los impactos de la sequía. (Patrick 2003)

1.6.9 Amenaza

Es la probabilidad de ocurrencia en un tiempo y lugar determinado de un evento o fenómeno físico de origen natural o antrópico que tiene consecuencias negativas para las personas, los bienes, los servicios o para el ambiente. (Jiménez 2008)

1.6.10 Amenaza natural

Peligro latente asociado con la posible manifestación de un proceso de origen natural, vinculado a la formación de la tierra y la dinámica geológica, geomorfológica, climática y oceánica. Forma parte del ambiente natural del ser humano, quien no incide significativamente en su aparición ni puede intervenir para que no suceda. Ante este tipo de amenaza el ser humano solamente puede actuar con el fin de controlar (mitigar) sus impactos sobre la población o en algunos casos, impedir (prevenir) su llegada hasta zonas pobladas. (Lavell 1996)

1.6.11 Amenaza socionatural

Son aquellos fenómenos típicos de las amenazas naturales que se producen o se acentúan por la intervención humana sobre la naturaleza. Estas amenazas se constituyen en variables explicativas como la deforestación, el uso inadecuado de los suelos, malas prácticas de uso y conservación de suelos, contaminación con desechos industriales y domésticos a los cauces fluviales, entre otras, que inducen a mayores inundaciones, deslizamientos, hundimientos, sequías, erosión y agotamiento de acuíferos. (Lavell 1996)

1.6.12 Producción agropecuaria familiar

INIA (2006) define la producción familiar como el conjunto de explotaciones agropecuarias que basan su actividad productiva en el trabajo del productor y su familia, en donde lo producido puede ser destinado para el autoconsumo familiar o vendido a distintos mercados. Además, presenta las características de ser la producción agropecuaria la principal fuente de ingresos, en donde la familia aporta la fracción predominante de la fuerza de trabajo y donde la unidad doméstica y la productiva están integradas.

En el año 2014, declarado por la Asamblea General de las Naciones Unidas como el “Año Internacional de la Agricultura Familiar”, la FAO definió que la agricultura familiar es una forma de organizar la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuicultura y pastoreo, que es administrada y operada por una familia y, sobre todo, que depende preponderantemente del trabajo familiar, tanto de mujeres como hombres. La familia y la granja están vinculadas, co evolucionan y combinan funciones económicas, ambientales, sociales y culturales. (Salcedo *et al* 2014)

En el IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO 2011) de Nicaragua se define como el colectivo familiar de dos o más individuos del mismo hogar o de diferentes hogares que explotan conjuntamente una explotación agropecuaria, donde la toma de decisiones la realizan en conjunto y los beneficios se reparten entre ellos. (INIDE y MAGFOR 2012)

1.6.13 Producción agropecuaria familiar en Nicaragua

En Nicaragua existen más hogares agropecuarios que explotaciones agropecuarias propiamente dichas, debido a que hay hogares que no son propietarios de explotaciones si no que producen en tierras alquiladas o prestadas. Del total de explotaciones agropecuarias existentes en el país, 86.6 % son clasificadas como producción agropecuaria familiar, ya que no contratan mano de obra permanente, este porcentaje a su vez se divide en un 24,5% correspondiente a agricultura familiar diversificada (aporta entre 25 y 50% de los ingresos en el hogar) y un 75,5% de agricultura familiar especializada (aporta más del 50% de los ingresos en el hogar), predominando de esta manera la producción agropecuaria como estrategia de vida de los productores. (Rodríguez *et al* 2013)

Rodríguez *et al* (2013) basado en CENAGRO (2011) menciona que la actividad agropecuaria familiar de Nicaragua se concentra en un 46.2% en la región centro interior compuesta por la zona norte (Matagalpa y Jinotega), Las Segovias (Nueva Segovia, Madriz y Estelí) y la zona central (Boaco y Chontales), un 33,6 % está en occidente (Chinandega y León) y en el Pacífico sur (Managua, Rivas, Masaya, Granada y Carazo), el restante 20,2% se concentra en la región Caribe. Por lo general, en las explotaciones agropecuarias familiares su principal actividad es la producción de granos básicos y la crianza de ganado menor en particular aves y tienen un limitado acceso al mercado, en su mayoría son familias jóvenes, que tienen más unidades de consumo que de producción.

1.6.14 Cosecha de agua

Frasier y Myers (1983) y Frasier (1987) se refieren a la cosecha de agua, como el proceso de recolección y almacenamiento de agua para su posterior uso desde un área tratada para incrementar la escorrentía. Independientemente del uso que se requiera del agua, sea este doméstico o para la actividad agropecuaria, consistirá en un sistema con distintos componentes que faciliten la recolección y el almacenaje de agua de escorrentía, proporcionando agua en áreas donde otros métodos de abastecimiento de agua no son factibles.

Desde hace muchos siglos se han utilizado distintas técnicas de cosecha de agua, muchas de ellas enfocadas a suplir las necesidades requeridas por la producción de alimentos para la población o para el abastecimiento doméstico. (Manso y de Azagra 2007)

En este sentido, Critchley *et al* (1991) definen la cosecha de agua como la recolección de escorrentía para uso productivo. Tomando en consideración que la escorrentía puede ser recolectada desde tejados y superficies del suelo, así como de cursos de aguas intermitentes o efímeros.

Según Boers y Ben-Asher (1982) la cosecha de agua considera inducir, captar, almacenar y conservar la escorrentía superficial para su uso en la agricultura de las regiones áridas y semiáridas.

1.6.15 Captación y aprovechamiento del agua de lluvia

La captación y aprovechamiento del agua de lluvia se refiere a todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo, surgido de la iniciativa de los agricultores o desarrollado científicamente, para aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, de tal manera que pueda ser utilizada posteriormente, bajo condiciones de déficit de lluvias. Toda técnica que sea utilizada para aumentar la cantidad de agua retenida puede ser considerada como de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Por tanto, las prácticas para aumentar la infiltración del agua en el suelo y abastecer el manto acuífero, pueden ser incluidas como captación de lluvia, ya que es un caudal que abastecerá los manantiales de la zona y aumentará la oferta de agua a largo plazo. (Wambeke *et al*. 2013)

UNATSABAR (2004) menciona que la captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano o uso agrícola y que en muchos lugares del mundo donde no existe disposición de agua ya sea en cantidad o calidad para abastecer las necesidades humanas, pero sí condiciones de precipitación favorable, la intercepción, colecta y almacenamiento del agua de lluvia para su posterior uso es una alternativa de abastecimiento.

1.6.16 Captación de agua superficial

El aprovechamiento del agua superficial, data de tiempos remotos en la historia de la humanidad, se tiene conocimiento que fue la primera fuente de abastecimiento, consumo y vías de transporte. Sin embargo, el uso y las técnicas han evolucionado a razón del crecimiento demográfico de las civilizaciones que han tenido que ocupar zonas áridas o semiáridas del planeta, dando origen al desarrollo de distintas formas de captación de aguas de lluvias, como alternativa para el riego de cultivos y el consumo doméstico. (Pizarro et al. 2015)

1.7 Principales resultados

Se analizó el índice de vulnerabilidad a sequía en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo, resultando que:

- El índice de vulnerabilidad por factor biofísico en el territorio de la subcuenca media del río Viejo, se presenta en niveles medios, altos y muy altos distribuyéndose el territorio respectivamente en 7% (2.203 ha) y 85,6% (27.017 ha) y 6% (1.894 ha) del área total. Únicamente, el territorio de El Chagüite-Mesa de los Espejos tiene índice de vulnerabilidad muy alta. Las comunidades Los Carbónales, la Ceiba, Subtiava-El Naranja, Tres Esquinas, Sabana Larga-Ocotillo, Potrerillo y Quebrada de Agua presentan índice de vulnerabilidad media, el resto de comunidades se caracterizan con índice de vulnerabilidad biofísica alta.

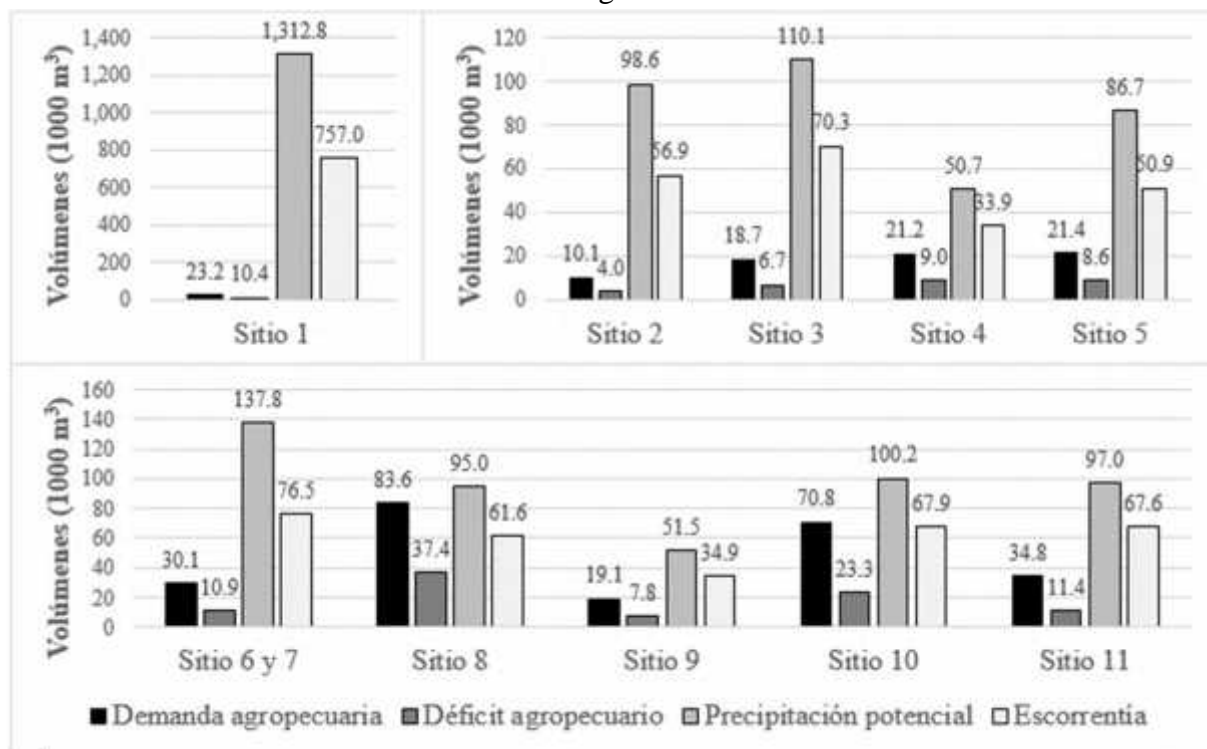
- El índice de vulnerabilidad por factor socioeconómico en el territorio de la subcuenca media del río Viejo, se presenta en niveles medios, altos y muy altos, distribuyéndose respectivamente en 39,2% (12.354 ha), 56,4% (17.791 ha) y 3,1% (1.336 ha) del área total. Las comunidades La Ceiba, Buena Vista, Tres Esquinas y Santa Cruz, se caracterizan con índice de vulnerabilidad socioeconómica muy alta. Las comunidades Rosario Arriba, Mesa de Oyanca, Rosario Abajo, El Cuajiniquil-El Jícaro-El Espino, La Concepción-El Japón, Las Lomas-Los Guácimos, Tomabú-El Tomatal, San Lorenzo-La Laguna, Las Gavetas, Las Tablas, Las Limas, La Cebadilla, La Cañada, Los Carbonales, Potrerillo y La Laguna, se caracterizan con índice de vulnerabilidad socioeconómica media, el resto de las comunidades se caracterizan con índice de vulnerabilidad socioeconómica alta.

- En relación con el índice de vulnerabilidad global, la mayoría de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo presentan un índice de vulnerabilidad alta, el 90,1% (28.437 ha) del territorio de la subcuenca está bajo estas condiciones. Un 8,5% (2.676 ha) correspondiente a las comunidades Los Carbonales, Las Limas, Sabana Larga-Ocotillo, Potrerillo, La Laguna y Rosario Arriba presentan un índice de vulnerabilidad media ante condiciones climáticas de sequía.

Se realizó la identificación y caracterización de 11 sitios para cosecha de agua en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites, encontrándose que todos poseen un buen potencial para abastecer las necesidades hídricas agropecuarias de 10 fincas distribuidas entre las dos microcuencas. En la **Figura 1** se hace una comparación de la demanda y la oferta existente en cada uno de los sitios seleccionados. Con una disponibilidad de escorrentía supera en más de un 65% los volúmenes de déficit de agua en las fincas excepto en el sitio 8 donde la disponibilidad supera siempre el déficit, pero sólo en un 39,3%.

Se realizó una propuesta de obras de cosecha de agua con dimensiones adecuadas al levantamiento de campo y a la consulta realizada a los productores de las fincas se puede apreciar en los **Cuadros 1 y 2**. Los vertedores de exceso de escorrentía para cada obra son los del **Cuadro 3**.

Figura 1. Comparación de la oferta y la demanda de agua para los sitios de cosecha de agua



Cuadro 1. Capacidad de reservorios propuestos Tipo I con dimensiones ajustadas

Sitio	B (m)	L (m)	b (m)	l (m)	h (m)	Capacidad (m ³)	Condiciones de abastecimiento
1	30	40	25,2	35,2	3,2	3.327	0,35 Ha de maíz; 0,7 Ha de frijol; ganado bovino y equino
2	15	20	12	17	2	501	Ganado bovino, equino y caprino
3	25	35	21,3	31,3	2,5	1.191	Ganado bovino y equino
5	15	40	12,0	37,0	2	1.040	Ganado bovino y equino

Cuadro 2. Capacidad de reservorios propuestos Tipo II con dimensiones ajustadas

Sitio	R (m)	h (m)	Capacidad (m ³)	Condiciones de abastecimiento
4	25	1.8	1767	0,20 Ha de pepino, ganado bovino y equino
6	20	1.8	1131	Ganado bovino
7	15	2	707	0,20 Ha de pepino
8	35	2.6	5003	0,7 Ha de tomate, ganado bovino y equino
9	15	2	707	Ganado bovino y equino
10	30	2	2827	Ganado bovino y equino
11	30	2	2827	0,7 Ha de frijol, ganado bovino y equino

Cuadro 3. Vertedores de excesos de escorrentía con dimensiones ajustadas

Sitio	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad (unidad)
1	5	1	4
2	3	0,5	2
3	3,5	0,5	2
4	2	0,5	2
5	2,5	0,5	2
6	3	0,5	2
7	3	0,5	1
8	2,5	0,5	1
9	2,5	0,5	1
10	3	0,5	2
11	2,5	0,5	2

Del análisis de sensibilidad realizado se puede apreciar que el parámetro más sensible del modelo en relación con la estimación de los caudales máximos y los volúmenes de escorrentía, que se producen en cada una de las áreas de drenaje de los sitios identificados es el número de curva (NC). La influencia que tiene el periodo de retardo (Tlag) en la producción de

escorrentía es baja; la sensibilidad, que muestra este parámetro se ve más pronunciada en las cuencas de los sitios 1 y 2, siendo nula o casi nula en el resto de sitios. La sensibilidad del modelo respecto al resto de parámetros es despreciable.

1.8 Principales conclusiones

La situación del índice de vulnerabilidad a sequía que presentan las comunidades, se interpreta principalmente por el mal manejo que se le está dando a los recursos naturales (suelo, agua y bosque), a estas condiciones biofísicas se suman condiciones negativas de carácter socioeconómico importantes como son: poca capacidad económica de las familias para responder a los impactos negativos que dejan las sequías, la baja diversificación de sus actividades agropecuarias, poca oportunidad de optar a empleos que le generen ingresos adicionales, bajos porcentajes de familias con documentos legales de sus tierras y que cuentan con poca infraestructura que les permita almacenar sus productos (granos o semillas) de forma adecuada.

Es evidente la gran demanda de agua que existe en el territorio debido a las actividades agropecuarias, con un predominio de las demandas del sector agrícola (más del 90% del volumen total demandado) sobre el pecuario, asociándose de esta manera las mayores demandas de agua agropecuarias a la época lluviosa. A su vez, los mayores volúmenes de agua agrícola se deben principalmente al cultivo de granos básicos (frijol y maíz) base de la seguridad alimentaria de las familias, ascendiendo los volúmenes que se demandan en estos cultivos alrededor de un 65,4% de la demanda total.

En las áreas de drenaje de los 11 sitios seleccionados para la cosecha de agua se estima un buen potencial en la generación de escorrentía superficial para satisfacer los déficits de agua total de la actividad agropecuaria en 10 fincas de las microcuencas las Ánimas y Los Chagüites.

Se logró realizar una primera propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua para todos los sitios identificados desde un punto de vista conceptual con el fin de abastecer el déficit total en las fincas, sin embargo, se hizo una segunda propuesta con dimensiones ajustadas a los requerimiento y capacidades de los sitios según levantamiento de campo y consulta realizada a los productores.

El modelo HEC-HMS para este estudio con los parámetros utilizados permitió una buena estimación de las avenidas de agua que se generan en las áreas de drenaje de los sitios identificados para el dimensionamiento de la obra de embalse y vertedores de exceso ante eventos de precipitación máximos.

1.9 Literatura citada

- ACF (Acción Contra el Hambre, ES). 2010. Impacto de la sequía en el corredor seco de Nicaragua: Madriz, Nuevasegovia y Estelí. s.l., 8 p.
- Bendaña, G. 2012. Agua, agricultura y seguridad alimentaria en las zonas secas de Nicaragua. Managua, NI, ACF/FAO. 288 p.
- Boers, ThM; Ben-Asher, J. 1982. A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management* 5:145-158.
- Castillo Hernández, E; Calderón Palma, H; Delgado Quezada, V; Flores Meza, Y; Salvatierra Suárez, T. 2006. Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. *Boletín Geológico y Minero* 117(1):127-146.
- CIRA (Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua); PIMCHAS (Programa Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento, CA). 2013. Estudio de calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la subcuenca del río Viejo. Managua, NI, 286 p.
- COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación). 2002a. Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales: Guía para el especialista Managua, NI, 47 p.
- _____. 2002b. Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales en el ámbito municipal de Nicaragua: Guía para la municipalidad. Managua, NI, EDISA. 114 p.
- Critchley, W; Siegert, K; Chapman, C; Finkel, M. 1991. *Water Harvesting: A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production*. Rome, FAO. 154 p. (AGL/MISC/17/91).
- Frasier, GW; Myers, LE. 1983. *Handbook of water harvesting*. Washington D.C, US, USDA. 45 p. (Agriculture Handbook No. 600).
- Frasier, GW. 1987. Water harvesting for collecting and conserving water supplies. *In* P Pathak; S El-Shaify; S Singh; N Raghavan; S Beckerman. eds. *Alfisols in the Semi-Arid Tropics*. Patancheru, IN, ICRISAT. p. 67-77.
- GRUN (Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional, NI). 2010. Estrategia nacional ambiental y del cambio climático: Plan de acción 2010-2015. Managua, NI, 27 p.
- GWP (Global Water Partnership Central America). 2011. Situación de los recursos hídricos en centroamérica: Hacia una gestión integrada. (en línea). Tegucigalpa, HN, 147 p. Consultado 15 dic. 2015. Disponible en http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/SituaciondelosRecursosHidricos.pdf
- INETER (Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales); COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación). 2005. Mapas de amenaza por sequía meteorológica: Recomendaciones técnicas para su elaboración. Managua, NI, 51 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2006. La producción familiar: Avances programáticos de investigación. (en línea). Revista INIA no. 8:32-34. Consultado 20 enero 2016. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807170050.pdf>

- INIDE (Instituto Nacional de Información de Desarrollo, NI); MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 2012. Informe final: IV censo nacional agropecuario. Managua, NI, 70 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. C Field; V Barros; T Stocker; Q Dahe; D Dokken; K Ebi; M Mastrandrea; K Mach; G-K Plattner; Sk Allen; M Tignor; P Midgley. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 582 p.
- Jiménez, F. 2008. Estudio de caso y ejercicio sobre análisis de vulnerabilidad ante amenazas socionaturales en cuencas hidrográficas. Turrialba, CR, CATIE. 25 p.
- Lavell, A. 1996. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. *In* M Fernández. ed. Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres. Lima, PE, LA RED. p. 12-42.
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 2013a. Plan de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en el sector agropecuario, forestal y pesca en Nicaragua. Managua, NI, 131 p.
- _____. 2013b. Compendio de mapas: Uso potencial de la tierra. 2 ed. Managua, NI, 173 p.
- Manso, JM; de Azagra Paredes, AM. 2007. Técnicas de recolección de agua y de oasisificación para el desarrollo de la agricultura y la restauración forestal en regiones desfavorecidas. Cuadernos Geográficos 40(1):67-80.
- Obando, M. 2011. Estructura e infraestructura productiva en zonas rurales pobres de Nicaragua. (en línea). Managua, NI, Programa Estado de la Nación. 37 p. Consultado 19 enero 2016. Disponible en http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/otras_publicaciones/Pobreza%20ruralCA/Informes/Informe%20productivo%20y%20mercados%20-%20NICARAGUA.pdf
- PASOLAC (Programa de Agricultura Sostenible en Laderas de América Central). 2006. Guía Técnica: Manejo y aprovechamiento de agua con fines agropecuarios. Managua, NI, 123 p. (Serie Técnica 9).
- Patrick, E. 2003. Sequía: Vulnerabilidad y crisis en las tierras áridas. (en línea). s.l, PNUD. 2 p. Consultado 20 enero 2016. Disponible en http://www.unisdr.org/2003/campaign/spanish/19_Article_UNDP_spa.pdf
- Pizarro, R; Abarza, A; Morales, C; Calderón, R; Tápia, J; García, P; Cordoba, M. 2015. Manual de diseño y construcción de sistemas de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. Montevideo, UY, UNESCO. 94 p. (Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 36).
- Prieto, R; Montero, M; Sánchez, J; Ojeda, W. 2007. Determinación de periodos de sequía y lluvia intensa en diferentes regiones de México ante escenarios de cambio climático. (en línea). México, IMTA. 101 p. (Informe final del proyecto: INE/A1-

- 056/2007). Consultado 19 ene. 2016. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/e2007p.pdf>
- Ramírez, D; Ordaz, J; Mora, J; Acosta, A; Serna, B. 2010. Nicaragua: Efectos del cambio climático sobre la agricultura. México, DF, CEPAL. 68 p.
- Ravelo, A; Sanz Ramos, R; Douriet Cárdenas, J. 2014. Detección, evaluación y pronóstico de las sequías en la región del Organismo de Cuenca Pacífico Norte, México. *Agriscientia* 31(1):11-24.
- Robleto Molina, J. 2013. Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en Nicaragua. Managua, NI, s.e. 3 p.
- Rodríguez, T; Torres, RM; Gómez, L; Bayres, K; Velásquez, D. 2013. Agricultura familiar en Nicaragua. Santiago, CL, RIMISP. 31 p. (Serie Documentos de Trabajo no. 151).
- Salcedo, S; de la O, AP; Guzmán, L. 2014. El concepto de agricultura familiar en América Latina y el Caribe. *In* Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de política. Santiago, CL, FAO. p.17-33.
- UNATSABAR (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, PE). 2004. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Lima, PE, OPS,CEPIS. 15 p.
- USDA-NRCS (United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service , US). 1999. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2 ed. Washington D.C, 886 p. (Agriculture Handbook No. 436).
- Vammen, K; Hurtado, I; Picado, F; Flores, F; Calderon, H; Deelgado, V; Flores, S; Caballero, Y; Jiménez, M; Saenz, R. 2012. Recursos hídricos en Nicaragua: Una visión estratégica. *In* J Laclette; P Zúñiga. eds. Diagnóstico del agua en las Américas. (en línea). Distrito Federal, MX, FCCyT. p. 359-403. Consultado 19 ene. 2016.
- Wambeke, J van; Prieto Celi , M; Vieira, MJ; Benites, J; Chanduvi, F; Merlet, H; Mejías, P; Román, P; González Loguercio, N; Aravena, D; Grebe, G. 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, CL, FAO. Maval. 276 p.
- Wilches-Chaux, G. 1993. La vulnerabilidad global. *In* Maskrey, A. ed. Los desastres no son naturales. Bogotá, CO, LA RED. p. 11-44.
- WRB (IUSS Working Group). 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014: Update 2015, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome, IT, FAO. 192 p. (World Soil Resources Reports No. 106).
- Zee Arias, A van der; Zee, J van der; Meyrat, A; Poveda, C; Picado, L. 2012. Estudio de caracterización del corredor seco centroamericano, países CA-4. Tegucigalpa, HN, FAO. Tomo 1, 90 p.

2 ARTÍCULO I. ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A SEQUÍA EN LAS COMUNIDADES DE LA SUBCUENCA MEDIA DEL RÍO VIEJO, ESTELÍ, NICARAGUA

RESUMEN

Durante las últimas décadas, Centroamérica ha sido escenario de múltiples eventos extremos, principalmente de origen hidrometeorológicos, destacándose la sequía como una amenaza natural, que pone constantemente en riesgo la seguridad alimentaria de un gran número de personas que se encuentran expuestas a sus constantes eventualidades, que agravan los problemas ambientales y socioeconómicos que enfrentan, constituyéndose así un desafío la gestión local para los países de la región. En la subcuenca media del río Viejo, el estudio de análisis de índice de vulnerabilidad a sequía en sus comunidades se constituye en una herramienta, la cual permite conocer las condiciones, que limitan la capacidad de respuesta del territorio de la subcuenca ante eventos de sequía. Se identificaron las comunidades más vulnerables de la subcuenca media del río Viejo realizando un análisis de variables e indicadores de tipo biofísico y socioeconómico que definen el índice de vulnerabilidad a sequía. Se valoró el índice de vulnerabilidad para los indicadores biofísicos, básicamente usando como datos la información obtenida de los mapas nacionales de suelos, mapas propiamente elaborados a partir del modelo de elevación digital del terreno (MED) y datos meteorológicos, la valoración del índice de vulnerabilidad para los indicadores socioeconómicos se obtuvo a partir de la información contenida en las encuestas realizadas a jefes de familia de las comunidades. Una vez definido el índice de vulnerabilidad por factor biofísico y por factor socioeconómico, se promedió para obtener el índice de vulnerabilidad global de cada comunidad. A nivel general, las comunidades de la subcuenca media del río Viejo, presentan índice de vulnerabilidad alta, excepto las comunidades Los Carbonales, San Lorenzo, Las Gavetas, Las Limas, El Cuajiniquil, El Naranjo, Sabana Larga-Ocotillo y Potrerillo, que presentan índice de vulnerabilidad media ante las condiciones climáticas de sequía.

Palabras clave: amenaza natural, problemas ambientales y socioeconómicos, índice de vulnerabilidad a sequía, comunidades, indicadores biofísicos, indicadores socioeconómicos, índice de vulnerabilidad global

2.1 Introducción

A nivel mundial, Nicaragua se ha catalogado como el cuarto país más afectado por eventos extremos en los últimos 20 años (Kreft *et al.* 2016), históricamente ha sido afectada por importantes eventos naturales de origen hidrometeorológicos, sufriendo grandes impactos negativos que se traducen en pérdidas humanas y económicas que afectan principalmente a la población extremadamente pobre, por su poca capacidad financiera que les limita a acceder a determinados productos y poder recuperarse fácilmente de las adversidades que implican estas eventualidades que cada vez son más recurrentes. (Obando 2011, World Bank 2012) Sumada a estas amenazas hidrometeorológicas, la vulnerabilidad del territorio se ve incrementada por un deterioro de la base de los recursos naturales (agua, suelos y bosques), causados principalmente por la deforestación, aplicación de prácticas y tecnologías agropecuarias inadecuadas, cambio de uso de suelos, urbanización y gestión de los asentamientos humanos que favorecen la concentración poblacional y el avance de la frontera agrícola. (Dietsch *et al.* 2002, GRUN 2010, CIRA y PIMCHAS 2013, MAGFOR 2013, Álvarez y Gutiérrez 2014)

En Nicaragua, la sequía es uno de los fenómenos naturales que más ha causado daños a la población, por su frecuencia de ocurrencia. Los períodos de sequía están altamente relacionados con la aparición del fenómeno El Niño, no obstante, no todos los períodos de sequías, son producto de dicho fenómeno, sino de las alteraciones propias que se manifiestan en la circulación atmosférica. (Bendaña 2012, MAGFOR 2013, Robleto Molina 2013)

Registros de las últimas décadas manifiestan que los mayores daños por este fenómeno se han dado en los años 2001 y 2011, cuando se vio afectado de forma directa el ciclo agrícola productivo del país en los meses de Mayo, Julio, Agosto y Septiembre, ocasionando pérdidas en más de 103.700 Mz (73.170 Ha) de granos básicos en el periodo comprendido de Julio a Agosto del año 2001. Dentro de estos años las áreas afectadas abarcaron 37 municipios del país dentro del Corredor Seco con afectaciones indirectas a más de 2 millones de habitantes y de forma directa a más de 100.000 pobladores de la zona. (Robleto Molina 2013)

La sequía se presenta en las regiones del Pacífico, norte y central de Nicaragua, donde se concentran la mayor parte de las tierras que son utilizadas para la agricultura y que son susceptibles a sequía. (Milán Pérez 2009) En estas áreas conocidas como zonas secas, las condiciones adversas ante eventualidades de sequía, limitan principalmente la actividad agropecuaria (Bendaña 2012), sector fundamental, ya que brinda alimento a la población y desempeña un papel importante dentro de la actividad económica, contribuyendo significativamente al PIB del país. (Ramírez *et al.* 2010, MAGFOR 2013)

Adger (2006) sostiene que el análisis de vulnerabilidad ha sido una poderosa herramienta para describir los estados de susceptibilidad a daños, la impotencia, y la marginalidad de los sistemas físicos y sociales, además es fundamental para guiar el análisis normativo de las acciones que permitan mejorar el bienestar mediante la reducción del riesgo. En este sentido, Ávila (2008) vincula la vulnerabilidad con el proceso por el cual la población y los

ecosistemas están sujetos a riesgo de sufrir daños o amenazas causadas por factores biofísicos y sociales.

Wilches-Chaux (1993) y Zulaica y Ferraro (2016) consideran la vulnerabilidad como un proceso multidimensional que converge en el riesgo y la incapacidad de una población a sufrir daños por no adaptarse a los efectos de un determinado cambio o la permanencia de una serie de factores y características internas y externas que interaccionan en su ambiente.

Zulaica y Ferraro (2016) mencionan que la capacidad que posee la población para prevenir, reducir o afrontar los riesgos (nivel de vulnerabilidad) depende de la interacción de varios factores de origen natural y socioeconómico, de forma similar, Gutiérrez y Espinosa (2010) señalan que la vulnerabilidad está relacionada con un patrón de desarrollo de largo plazo, ligado a distintos factores socioeconómicos y a la degradación biofísica que limitan la capacidad de un territorio para responder a las condiciones adversas de las eventualidades extremas. Ante esto, Meza *et al.* (2010) señala que en la gestión y reducción de los impactos de los desastres, es necesario determinar los factores que determinan la vulnerabilidad, los cuales pueden estar enmarcados entre las presiones dinámicas y crecientes que condicionan la vulnerabilidad (la falta de instituciones, mercados y capacidades a nivel local, el crecimiento poblacional, entre otras) y las condiciones inseguras que inciden en la vulnerabilidad (entre las que se pueden señalar el deterioro del medio ambiente, la prevalencia de grupos en riesgo y la falta de planificación y preparación a desastres).

Nicaragua, como el resto de Centroamérica y Mesoamérica, se caracteriza como una zona de alta vulnerabilidad, por formar parte de los territorios más susceptibles del mundo a sufrir los efectos adversos del cambio climático global y de la variabilidad climática debido a los niveles de exposición ante diferentes amenazas que presenta gran parte de su área, unido esto a un predominio de ecosistemas frágiles, altos índices de pobreza y la carencia de planificación, que se agrava aún más con los altos niveles de sensibilidad existente por los diferentes estímulos climáticos tales como: la frecuencia, simultaneidad, intensidad y alcance de múltiples amenazas, entre las que se destaca la sequía. (Milan Pérez 2009, Gutiérrez y Espinosa 2010)

MAGFOR (2013) menciona que para reducir el riesgo que plantea el cambio climático y la variabilidad climática en los sectores productivos de Nicaragua, es importante definir estrategias en función de los análisis de vulnerabilidad.

En este estudio se pretende determinar el índice de vulnerabilidad a sequía de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo considerando aspectos de tipo biofísico y socioeconómicos a fin de brindar una herramienta que permita conocer las condiciones del territorio de estudio que limitan su capacidad de respuesta ante eventos de sequía.

2.2 Metodología

2.2.1 Localización del área de estudio

La subcuenca media del río Viejo se ubica en el departamento de Estelí y es compartida por los municipios de Estelí, La Trinidad y San Nicolás. Geográficamente, está comprendida entre las coordenadas 12°55'30" a 13°06'30" de latitud Norte y 86°07'30" a 86°21'00" de longitud Oeste, limita al Norte con el municipio de Estelí, al Sur con el municipio de la Trinidad y San Isidro, al Este con el municipio La Trinidad y al Oeste con el municipio de San Nicolás y Estelí.

Figura 2. Mapa de localización del área de estudio: Subcuenca media del río Viejo



2.2.2 Descripción del área de estudio

2.2.2.1 Características biofísicas

La subcuenca media del río Viejo presenta forma oblonga, con un área de 315,48 Km² (31.548 ha), un perímetro de 95,65 Km y un índice de compacidad o de Gravelius de 1,51; la longitud de su cauce principal es de 33,17 Km con una pendiente de 2.84%, el tipo de relieve es accidentado, con una pendiente promedio de la subcuenca de 25%; tiene una densidad de corrientes de 0,69 corrientes por Km² y una densidad de drenaje de 0,76 Km por Km²; en cuanto a elevación tiene una cota máxima de 1.443 msnm, una cota mínima de 500 msnm y una cota media de 870 msnm.

De los municipios que comparten la subcuenca, el que tiene mayor territorio es el municipio de La Trinidad con un 65,22% (205,75 Km²), seguido por Estelí con 29,96% (94,50 Km²) y finalmente el de menor territorio San Nicolás con solo 4,82% (15,23 Km²). En el área de la subcuenca se localizan 58 comunidades, de las cuales 18 pertenecen al municipio de Estelí, 37 al municipio de la Trinidad y 3 al municipio de San Nicolás.

La red de drenaje de la subcuenca forma parte de la cuenca del río San Juan y se encuentra subdividida en 10 microcuencas (MARENA/PIMCHAS 2008), cuyas características físicas se muestran en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Características físicas de las microcuencas

Unidades de microcuenca	Área Km²	% área	Perímetro Km	Altitud msnm	Índice de Gravelius	Forma
Las Ánimas	12,49	4	17,12	566 - 1000	1,36	Ovalada
San Francisco de Jamailí	29,68	9	26,78	566 - 1385	1,38	Ovalada
La Cañada	38,80	12	29,46	660 - 1443	1,33	Ovalada
La Trinidad	26,42	8	26,11	580 - 1215	1,42	Ovalada
La Laguna	38,11	12	32,09	660 - 1380	1,47	Ovalada
Tomabú	36,77	12	28,99	580 - 1443	1,34	Ovalada
Santa Cruz	28,37	9	24,42	740 - 1443	1,28	Ovalada
Los Chagüites	40,22	13	32,11	540 - 1182	1,42	Ovalada
Quebrada de las Burras	34,43	11	28,90	605 - 1340	1,38	Ovalada
Quebrada Honda	30,19	10	23,91	500 - 1002	1,22	Redondeada
Total	315,48	100				

Fuente: Adaptada de MARENA/PIMCHAS 2008

La distribución de las precipitaciones de cada año en el territorio de la subcuenca, está marcada por dos periodos estacionales bien definidos, un periodo lluvioso donde caen aproximadamente el 90% de las precipitaciones desde mediados del mes de mayo hasta finales del mes de octubre y un periodo seco que se extiende de noviembre a abril donde caen alrededor del 10% de las precipitaciones.

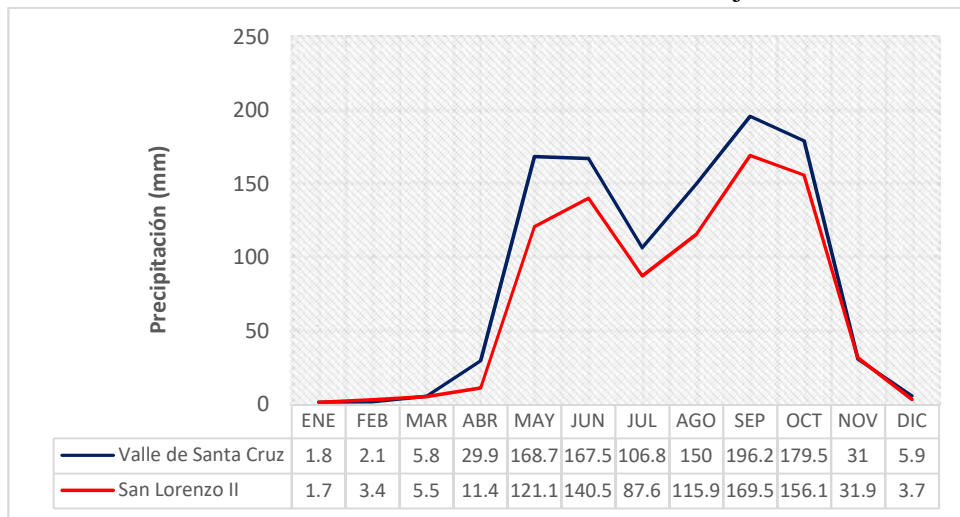
Durante el periodo lluvioso se puede observar un patrón bimodal de precipitación, con valores máximos generalmente presentes en los meses de junio y septiembre. También existe un periodo intraestacional, nombrado periodo canicular que se presenta generalmente entre la segunda quincena del mes de julio y la primera de agosto.

En el territorio de la subcuenca se encuentran dos estaciones meteorológicas de tipo pluviométricas, la estación Valle de Santa Cruz (69063) y la estación San Lorenzo II (69093), cuyos patrones de distribución de la precipitación, correspondiente a los promedios mensuales

del registro pluviométrico se muestra en la figura 2. En promedio, la precipitación que recibe la subcuenca es de 950 mm/año y promedios mensuales que varían entre 1,7 mm y 196,2 mm.

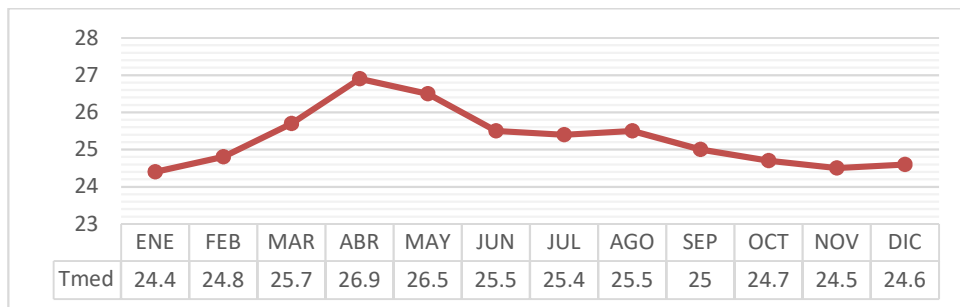
Las temperaturas promedio de la zona en que se encuentra la subcuenca están dadas por el registro histórico continuo disponible de 15 años (1998-2012) de la estación Raúl González (69132), por ser la única de las estaciones más cercana que presenta este tipo de datos (figura 3). La temperatura media mensual se encuentra aproximadamente entre 24 y 27 °C.

Figura 3. Distribución promedio mensual de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas Valle de Santa Cruz y San Lorenzo II de la subcuenca media del río Viejo



Fuente: Elaborado a partir de datos de INETER

Figura 4. Distribución promedio mensual de la temperatura media registrada en la estación Raúl Gonzales de la zona de la subcuenca media del río Viejo.



Fuente: Elaborado a partir de datos de INETER

Geomorfológicamente el territorio de la subcuenca pertenece a la Provincia Tierras Altas del Interior, que se extiende desde el borde Noroccidental de la Depresión Nicaragüense hasta La Llanura Atlántica y desde el punto de vista geológico se incluye en la provincia volcánica terciaria que está representada por el grupo Coyol, identificándose tres unidades geológicas que son Coyol inferior, Coyol superior y depósitos aluviales recientes.

En cuanto a los órdenes de suelo, se identifican 5 órdenes: Alfisoles, Molisoles, Ultisoles, Entisoles y Inceptisoles, este último orden predomina con un 40,07% del área dentro de la subcuenca, localizándose en gran parte de las microcuencas: La Lagunilla, la Trinidad, Los Chagüites, Tomabú, Las Ánimas y Quebrada Honda, y en una pequeña parte de Santa Cruz.

Se identifican cinco categorías de erosión: erosión extrema, erosión severa, erosión leve, erosión moderada y erosión fuerte, siendo esta última la que predomina cubriendo un 43,43% del área total de la subcuenca y se presenta en todas las microcuencas, con mayor incidencia en, La Laguna, Tomabú, La Trinidad, Las Ánimas, San Francisco de Jamailí y la Cañada (MARENA-PIMCHAS 2008).

La confrontación de uso del suelo permite tener una visión cuantificada de la forma en que se está utilizando el territorio y los conflictos que se están generando entre el uso actual y su uso potencial. Al año 2015, en la subcuenca, se identifica que solo el 6,62% del área se encuentra en uso adecuado, seguido por 12,94% en estado de uso subutilizado y el uso sobre utilizado predomina cubriendo el 79,87% del área de la subcuenca. El 0,57% del área pertenece a áreas que debido a su tipo de cobertura no presentan uso potencial agropecuario o forestal, como las superficies de agua y áreas humanizadas. (INETER y UNA 2015)

2.2.2.2 Características socioeconómicas

De la caracterización de la parte media de la subcuenca del río Viejo realizada por MARENA-PIMCHAS (2008), en la caracterización socioeconómica se sintetiza que:

En la subcuenca media del río Viejo habitan 3 114 familias para una población total de 12.007 personas, de las cuales el 52% son hombres y 48% mujeres. Existe un total de 2.613 viviendas, para un promedio de 5 personas por vivienda. Del total de familias el 77,3% (2.407) cuentan con viviendas propias, el 22,1% (688) están posando y solo 0,6% (19) están alquilando. Del total de viviendas, solamente un 26% de estas se encuentran en manos de mujeres, el 63% a nombre de los hombres y el 11% a nombre de ambos miembros de la familia. En el **Cuadro 5** se presenta el detalle de la distribución de la población por microcuenca.

Las principales actividades productivas que se realizan en la microcuenca son la producción de granos básicos, prevaleciendo el frijol y el maíz con 70,9% y 66,67% respectivamente, siendo estos rubros la base de la seguridad alimentaria de las familias de la unidad hidrológica. Por otra parte, son los hombres los que se dedican en un 92,8% a la agricultura, sin embargo, el 3,6% de mujeres también colaboran, fundamentalmente en aquellos hogares en donde el déficit económico y la carencia de mano de obra familiar hace necesario su intervención para el desarrollo socioeconómico de sus hogares, presentándose mayormente esta condición en las microcuencas La Laguna, Santa Cruz, Tomabú y La Cañada.

En lo que respecta a actividad pecuaria, aproximadamente, el 30% de las familias poseen ganado vacuno, de las cuales un 7% son propietarias las mujeres, localizándose esta condición en las microcuencas Tomabú, La Laguna, Santa Cruz y La Cañada; el 60% de las familias poseen entre 1 a 5 cabezas de ganado bovino, el 24% poseen entre 6 a 15 cabezas, el 12% poseen entre 16 a 50 cabezas y solo un 3% familias poseen más de 50 cabezas.

Cuadro 5. Distribución de la población en las microcuencas de la subcuenca media del río Viejo

Unidades de microcuenca	Nº de Familias	Nº de Viviendas	Nº de habitantes	% de Familias	% de habitantes
Las Ánimas	250	213	956	8,03	7,96
San Francisco de Jamailí	613	531	2436	19,69	20,29
La Cañada	57	50	224	1,83	1,87
La Trinidad	83	75	323	2,67	2,69
La Lagunilla	96	84	441	3,08	3,67
Tomabú	141	119	550	4,53	4,58
Santa Cruz	126	104	541	4,05	4,51
Los Chagüites	119	104	459	3,82	3,82
Quebrada de las Burras	910	752	3302	29,22	27,5
Quebrada Honda	719	581	2775	23,09	23,11
Total	3,114	2,613	12,007	100	100

Fuente: Adaptada de MARENA/PIMCHAS (2008)

2.2.3 Descripción del proceso metodológico

Para identificar las comunidades más vulnerables de la subcuenca media del río Viejo se realizó un análisis de variables e indicadores que definen la vulnerabilidad existente en la subcuenca. (Cáceres 2001, Gómez 2003, Reyes 2003, Jiménez et al 2004, Jiménez 2008).

El índice de vulnerabilidad a sequía de la subcuenca se definió mediante aspectos de tipo biofísico y socioeconómico. En el presente estudio se tomó el conjunto de variables e indicadores que se muestran en el **Cuadro 6**.

Gómez (2003) en su estudio de análisis de vulnerabilidad con énfasis en sequía en la subcuenca del río Aguas Calientes, utilizó la mayoría de estos indicadores, sin embargo, se añadieron más indicadores considerando que tienen una influencia importante en el análisis de índice de vulnerabilidad a sequía del presente estudio.

Para este caso, siguiendo la metodología se categorizó el índice de vulnerabilidad en cuatro niveles, a cada uno se le asignó una valoración numérica, que se aplicó a cada indicador a evaluar. Como se puede observar en el **Cuadro 7** esta valoración va de una condición menos

crítica (0) a una condición más crítica (3), indicando que entre mayor es la valoración asignada mayor es el grado del índice de vulnerabilidad en las comunidades de la subcuenca para esa variable.

El índice de vulnerabilidad resultante se estandarizó en forma porcentual, utilizando la escala de valoración del **Cuadro 8**, para lo cual se obtendrá un promedio de la valoración dada a cada indicador de vulnerabilidad en cada comunidad y el resultado se dividió entre 3 que es el valor máximo posible encontrado y finalmente se multiplicó el resultado de la división por 100.

2.2.3.1 Obtención de datos de los indicadores biofísicos

Porcentaje de áreas sobreutilizadas: se obtuvo directamente del mapa nacional de conflictos de uso realizado en el 2015 por la Unidad de Suelos de la Dirección General de Ordenamiento Territorial del INETER en colaboración conjunta con FARENA-UNA en el marco del Programa Regional REDD CCAD GIZ (INETER y UNA 2015). La información para el área de la subcuenca se recortó del mapa en formato TIFF con tamaño de pixel de 20x20 metros de resolución, la que posteriormente se transformó en archivo shape y se unió con el shape de comunidades de la subcuenca, de la tabla de atributos del archivo resultante se obtuvieron las áreas sobreutilizadas para cada comunidad, a partir de las cuales se calcularon los porcentajes en relación al área total de cada una de las comunidades.

Porcentaje de áreas agropecuarias en pendientes mayores al 30%: primeramente, del mapa nacional de coberturas y usos de la tierra elaborado por INETER en el marco del Programa Regional REDD CCAD GIZ, como un esfuerzo conjunto entre varias instituciones del país (INETER, *et al.* 2015), se obtuvo para la subcuenca, las áreas correspondientes a pastos y cultivos anuales, las que suman en total las áreas agropecuarias. La información se procesó del mapa en formato tipo ERDAS IMAGINE con tamaño de pixel de 5X5 metros el que se transformó en archivo tipo shape para extraer las respectivas áreas de interés.

Las áreas con pendientes mayores al 30% se obtuvieron a partir del mapa de pendientes de la subcuenca, el cual fue creado a partir del MED generado a partir de los archivos shape de las curvas de nivel a cada 20 m, capa de cerros y red de ríos de la subcuenca media del río Viejo (MARENA-PIMCHAS 2008). Una vez creado el mapa de pendientes se transformó en archivo tipo shape y se recortó únicamente las áreas con pendientes mayores al 30%. Posteriormente, se combinaron los archivos generados de áreas agropecuarias con el de pendientes mayores al 30%. Finalmente, los valores que describen a este indicador, se obtuvieron de la tabla de atributos del archivo resultante, calculándose los porcentajes respectivamente para cada comunidad.

Precipitación en época de primera y de postrera: los datos de ambos indicadores fueron generados a partir de la realización de los mapas de isoyetas correspondientes a cada periodo, para esto se utilizó el registro histórico continuo de 23 años de las estaciones del

INETER: Valle de Santa Cruz, San Lorenzo II, Raúl González, Aguas Zarcas, El Bocón y Potrerios. Los registros de las estaciones fueron analizados con el programa ExtraQC el cual contiene un conjunto de funciones para el control de calidad de datos climáticos (Aguilar y Prohom 2013) y ACMANT 3.0, esta herramienta permite realizar una homogenización completamente automática de series históricas mensuales y diarias de temperatura y precipitación. (Domonkos 2015)

Presencia de Canícula: se obtuvo del archivo tipo shape correspondiente al estudio de caracterización de la subcuenca media del río Viejo. (MARENA-PIMCHAS 2008)

Agua Subterránea: la presencia de aguas subterráneas en el territorio se obtuvo de los mapas hidrogeológicos a escala 1:250000, de las hojas en formato JPG, Managua (Krásný y Hecht 1998) y Estelí. (Castillo *et al.* 2004)

Número promedio de prácticas de conservación de suelo y agua que se realizan en las fincas: los datos de este indicador se tomaron de información recopilada mediante encuesta realizada a jefes de familias de las comunidades y de la confirmación visual del recorrido por algunas fincas.

2.2.3.2 Obtención de datos de los indicadores socioeconómicos

La información de los indicadores socioeconómicos se recopiló mediante encuesta a jefes de familias de las comunidades. Excepto el indicador de densidad poblacional, el cual se obtuvo con base en la población registrada para cada una de las comunidades en el estudio de caracterización de la subcuenca media del río Viejo. (MARENA-PINCHAS 2008)

Encuestas: para analizar el indicador número promedio de prácticas de conservación de suelo y agua que se realizan en las fincas y los correspondientes al análisis del índice de vulnerabilidad por factor socioeconómico se realizaron 1295 encuestas dirigidas a jefes de familias de cada una de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.

Población de estudio: El estudio se realizó considerando una muestra de la población. Para la selección se tomó como base el total de familias registrada para cada una de las comunidades en el censo realizado por el estudio de caracterización de la subcuenca media del río Viejo en el año 2008. La muestra de población se tomó considerando el Teorema Central del Límite, el cual plantea que el tamaño de la muestra es suficientemente grande si se tienen valores mayores o iguales a 30. (Di Rienzo *et al* 2008)

Cuadro 6. Tipo de factor, variables e indicadores para definir el índice de vulnerabilidad a sequía

Factor	Variables	Indicadores
Biofísico	Intensidad del uso del suelo	Área sobre utilizada Áreas agropecuarias en pendientes mayores de 30%
	Recurso Hídrico	Precipitación promedio en época de primera Precipitación promedio en época de postrera Condición de canícula Agua subterránea
	Prácticas de conservación de suelo y agua	Número promedio de prácticas de conservación de suelo y agua que se realizan en las fincas
Socioeconómico	Población	Densidad poblacional
	Educación	Analfabetismo Niveles máximos de educación
	Cobertura institucional	Número de instituciones presentes % de programas y proyectos que se desarrollan
	Organización comunitaria	% de familias organizadas
	Capacidad económica	Ingreso familiar
	Dependencia económica	% de las familias que se dedican a actividades agropecuarias Número promedio de actividades productivas agropecuarias que se realizan
	Desempleo	% de adultos desempleados
	Instrumentos económicos	% de familias con acceso a créditos y/o financiamiento
	Tenencia de la tierra	% de familias con título de propiedad
	Servicio de agua potable	% de familias con servicio de agua potable Calidad de abastecimiento del servicio de agua potable % de familias con acceso a otras fuentes de agua
Implementación de Tecnologías	% de familias que realizan prácticas de conservación de suelo y agua % de familias con estructuras de cosecha de agua % de familias con estructuras de almacenamiento de granos y/o semilla	
Capacitación	% de familias capacitadas en aspectos de sequía o temas a fines	

Fuente: Adaptado de Gómez 2003

Cuadro 7. Categorización y valoración del índice de vulnerabilidad a sequía

Categorización	Valoración
Muy alta	3
Alta	2
Media	1
Baja	0

Cuadro 8. Escala de valoración del índice de vulnerabilidad a sequía en porcentaje

Valoración en porcentaje	Categorización
0 – 25	Baja
26 – 50	Media
51 – 75	Alta
76 – 100	Muy Alta

2.2.3.3 Estimación del índice de vulnerabilidad a sequía

Estimada la valoración de cada indicador para cada una de las comunidades tanto para el aspecto biofísico como socioeconómico se determinó el promedio de la valoración para cada uno de ellos, se dividió entre 3 (valor máximo) y se multiplicó por 100, de acuerdo con lo descrito anteriormente. El resultado obtenido para el índice de vulnerabilidad por factor biofísico e índice de vulnerabilidad por factor socioeconómico se promedió para obtener el índice de vulnerabilidad global de cada comunidad.

En el análisis que se realizó es importante señalar que no se tomó en cuenta el área de 434,18 ha, correspondiente al casco urbano del municipio La Trinidad y que representa el 1,4% del área total de la subcuenca.

2.2.3.4 Procesamiento y análisis de la información.

Para el análisis, la información correspondiente a Sistema de Información Geográfica (SIG) fue procesada mediante las herramientas que facilita el programa ArcGis. También se hizo uso del programa InfoStat para obtener la valoración de los indicadores socioeconómicos a partir de los resultados obtenidos de las encuestas, utilizando medidas resumen y tablas de contingencia.

Con el programa InfoStat, se realizó un análisis estadístico de datos categorizados mediante tablas de contingencia y análisis multivariado con análisis de correspondencias (Balzarini *et al* 2011) para conocer cuáles de los indicadores aportan más al índice de vulnerabilidad global y también si lo biofísico o lo socioeconómico tiene más peso en el índice de vulnerabilidad global encontrada mediante la metodología antes planteada. En complemento a los programas antes mencionados, se hizo uso de hojas de cálculo de Excel para el procesamiento de la información correspondiente a la valoración y el cálculo final de los indicadores considerados en el estudio.

Las comunidades pequeñas con pocas familias, por análisis estadísticos, fueron agrupadas con otras comunidades, tomando en cuenta su cercanía territorial y que la mayoría de su territorio pertenece a las mismas microcuencas. Para el análisis, La Lagunita se unió con el Hornillo, El Chagüite con Mesa de los Espejos, El Jícara-El Espino con Cuajiniquil, El Japón con La Concepción, El Tomatal con Tomabú, La Laguna Con San Lorenzo, Casa Quemada con Las Lajas, Las Quebradas con Licoroy, El Naranja con Subtiava, Llano Redondo con Guasuyuca y Ocotillo con Sabana Larga.

2.2.3.5 Ponderación para la valoración de los indicadores

El valor del índice de vulnerabilidad explicado por cada uno de los indicadores, se estimó según se especifica en el **Cuadro 9** y **Cuadro 10**.

Cuadro 9. Ponderación del índice de vulnerabilidad para los indicadores biofísicos

Variable	Indicador	Ponderación	Valoración	Vulnerabilidad
Intensidad de uso del suelo	Porcentaje de área sobreutilizada	> 40	3	Muy alta
		26 - 40	2	Alta
		15 - 25	1	Media
	Porcentaje de áreas agrícolas en pendientes mayores de 30%	< 15	0	Baja
		> 35	3	Muy alta
		21 - 35	2	Alta
Recurso Hídrico	Precipitación promedio en época de primera y de postrera	10 - 20	1	Media
		< 10	0	Baja
		< 300	3	Muy alta
		300 - 450	2	Alta
	Condición de la canícula	451 - 600	1	Media
		> 600	0	Baja
		Severa	3	Muy alta
		Acentuada	2	Alta
	Porcentaje de área con agua subterránea	Definida	1	Media
		Benigna	0	Baja
< 5		3	Muy alta	
5 - 15		2	Alta	
Prácticas de conservación de suelo y agua	Número promedio de prácticas de conservación de suelo y agua en las fincas	15 - 30	1	Media
		> 30	0	Baja
		0	3	Muy alta
		1	2	Alta
		2	1	Media
	3	0	Baja	

Fuente: Adaptado de Gómez Rivera (2003)

Cuadro 10. Ponderación del índice de vulnerabilidad para los indicadores socioeconómicos

Variable	Indicador	Ponderación	Valoración	Vulnerabilidad
Población	Densidad poblacional (hab./Km ²)	81 - 100	3	Muy alta
		61 - 80	2	Alta
		40 - 60	1	Media
		< 40	0	Baja
Educación	Porcentaje de jefes de familias que no saben leer y escribir	> 60	3	Muy alta
		41 - 60	2	Alta
		20 - 40	1	Media
		< 20	0	Baja
	Nivel máximo de educación logrado	Con y sin	3	Muy alta
		Primaria	2	Alta
		Secundaria	1	Media
		Superior	0	Baja
Cobertura institucional	Número de instituciones presentes	0	3	Muy alta
		1	2	Alta
		2	1	Media
		3	0	Baja
	Número de programas y/o proyectos que se desarrollan en la comunidad relacionados con sequía	0	3	Muy alta
		1	2	Alta
		2	1	Media
		3	0	Baja
Organización comunitaria	Porcentaje de familias organizadas	< 20	3	Muy alta
		20 - 40	2	Alta
		41 - 60	1	Media
		> 60	0	Baja
Capacidad económica	Ingreso familiar mensual	< 3500	3	Muy alta
		3500 - 5000	2	Alta
		5001 - 6500	1	Media
		> 6500	0	Baja
Dependencia económica	Porcentaje de familias que se dedican a actividades agropecuarias	> 60	3	Muy alta
		41 - 60	2	Alta
		20 - 40	1	Media
		< 20	0	Baja

Cuadro 10 (Cont). Ponderación del índice de vulnerabilidad para los indicadores socioeconómicos

Variable	Indicador	Ponderación	Valoración	Vulnerabilidad	
Dependencia económica	Número promedio de actividades productivas agropecuarias	1 2 3 4	3 2 1 0	Muy alta Alta Media Baja	
	Desempleo	Porcentaje de adultos desempleados	> 40	3	Muy alta
			21 - 40	2	Alta
			10 - 20	1	Media
< 10			0	Baja	
Uso de instrumentos económicos	Porcentaje de familias que han accedido a créditos y/o financiamientos	< 20	3	Muy alta	
		20 - 40	2	Alta	
		41 - 60	1	Media	
		> 60	0	Baja	
Tenencia de la tierra	Porcentaje de familias con título de propiedad	< 20	3	Muy alta	
		20 - 40	2	Alta	
		41 - 60	1	Media	
		> 60	0	Baja	
Servicio de agua potable	Porcentaje de familias con servicio de agua potable	< 20	3	Muy alta	
		20 - 40	2	Alta	
		41 - 60	1	Media	
		> 60	0	Baja	
	Calidad de abastecimiento del servicio de agua potable	No tiene	3	Muy alta	
		Deficiente	2	Alta	
		Regular	1	Media	
		Eficiente	0	Baja	
	Porcentaje de familias con acceso a otras fuentes de agua	< 20	3	Muy alta	
		20 - 40	2	Alta	
41 - 60		1	Media		
> 60		0	Baja		
Implementación de tecnologías	Porcentaje de familias que realizan prácticas de conservación de suelo y agua	< 20	3	Muy alta	
		20 - 40	2	Alta	
		41 - 60	1	Media	
		> 60	0	Baja	

Cuadro 10 (Cont). Ponderación del índice de vulnerabilidad para los indicadores socioeconómicos

Variable	Indicador	Ponderación	Valoración	Vulnerabilidad
Implementación de tecnologías	Porcentajes de familias con estructuras de cosecha de agua	< 20	3	Muy alta
		20 - 40	2	Alta
		41 - 60	1	Media
		> 60	0	Baja
	Porcentaje de familias con estructuras para almacenamiento de granos y/o semillas	< 20	3	Muy alta
		20 - 40	2	Alta
		41 - 60	1	Media
		> 60	0	Baja
Capacitación	Porcentaje de familias que han recibido capacitación en aspectos de sequía	< 20	3	Muy alta
		20 - 40	2	Alta
		41 - 60	1	Media
		> 60	0	Baja

Fuente: Adaptado de Gómez (2003)

2.3 Resultados

Los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores y variables que caracterizan el índice de vulnerabilidad por factor biofísico e índice de vulnerabilidad por factor socioeconómico de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo son los que se describen a continuación.

2.3.1 Intensidad de uso del suelo

Porcentaje de área sobreutilizada: en la **Figura 5** se muestra el mapa de conflictos de uso de suelo para la subcuenca media del río Viejo. A partir de este mapa se pudo cuantificar para cada una de las comunidades, las áreas en las que se está desarrollando alternativas productivas inadecuadas, que contrastan con el potencial de uso del suelo y que pueden significar un alto riesgo para la degradación de los recursos naturales.

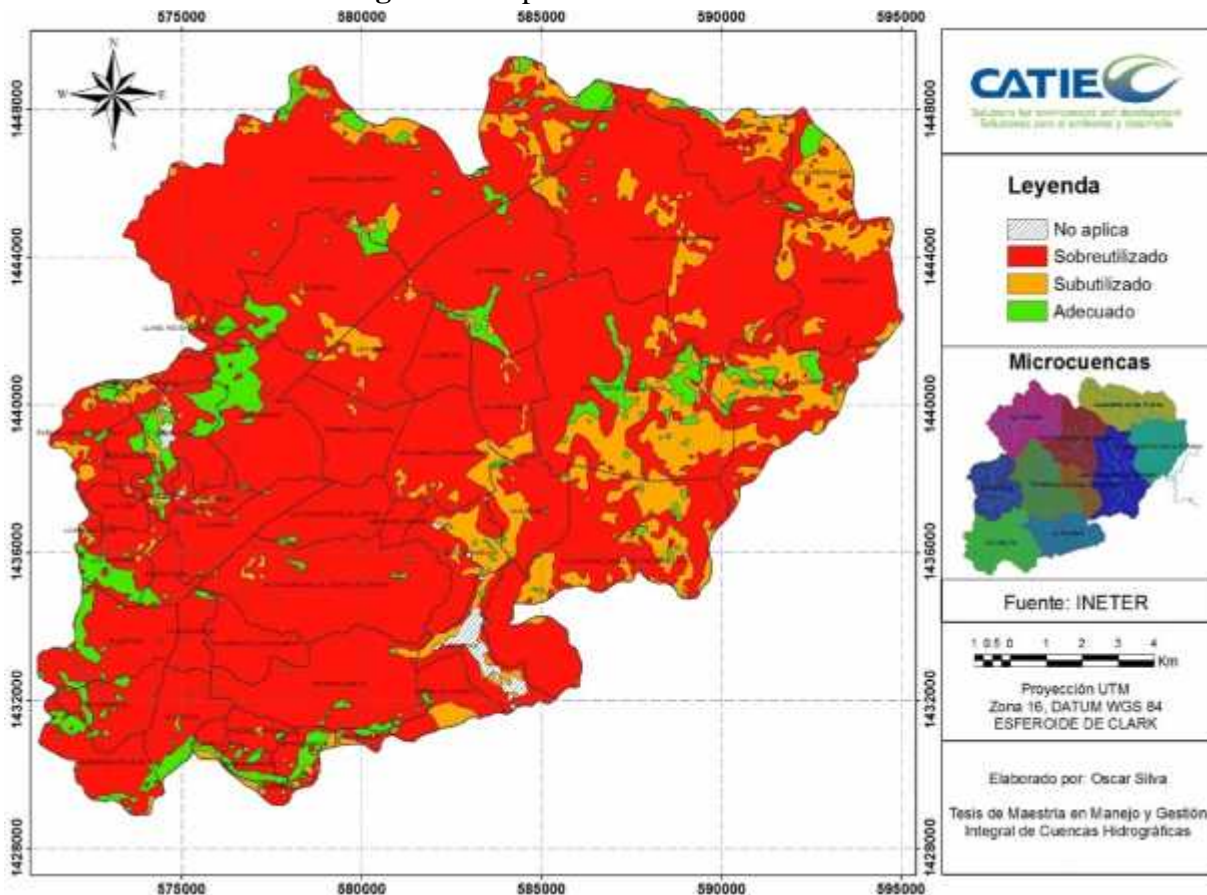
Del cálculo, se tiene que en casi todas las comunidades de la subcuenca existe un sobreuso de suelo mayor al 40% del área de cada comunidad, por lo tanto, según la escala que se presenta en el cuadro 9 para este indicador el nivel de vulnerabilidad es muy alta para estas comunidades, a excepción de la comunidad Los Carbonales que presenta un porcentaje de sobre uso de suelo de 37%, correspondiente a un índice de vulnerabilidad alta. En la **Figura 6** se puede ver una distribución de la vulnerabilidad, en relación con el área de la subcuenca.

Es importante señalar que 26 de las 58 comunidades de la subcuenca tienen entre 80 y 100% de su área en sobreuso, muy por encima del límite para considerarse vulnerabilidad muy

alta, estas comunidades en total representan el 54% (17.115 ha) del área total de la subcuenca. El Hornillo-La Lagunita y Mechapa arriba tienen el 100% de su área en sobre uso de suelo.

En general, el 79% (24.974 ha) de la subcuenca está en condición de sobreuso de suelo. Las áreas de conflicto pertenecen principalmente a áreas de vocación forestal y agroforestal que están siendo utilizadas para el desarrollo de actividades agropecuarias intensivas. Esto en relación con que el 75% (23.661 ha) del territorio de la subcuenca tiene vocación distribuida entre uso forestal y sistemas agroforestales y actualmente el 51% (16.089 ha) del territorio se encuentra intervenido por actividades agropecuarias cuando sólo el 23% (7.256 ha) presenta potencial para estas actividades.

Figura 5. Mapa de conflictos de uso de suelo



Porcentaje de áreas agropecuarias en pendientes mayores al 30%: en directa relación con el hecho de que la pendiente es uno de los parámetros que se utiliza para determinar el uso potencial de los suelos, considerándose como el que más influye en los procesos de degradación de los suelos y que la sobreutilización de los suelos de la subcuenca se debe principalmente al desarrollo de actividades agropecuarias. Se presenta en la **Figura 6** el mapa con las áreas para cada una de las comunidades de las subcuencas donde se están desarrollando actividades agropecuarias en pendientes mayores al 30%.

La Ley General de Medio Ambiente de Nicaragua, en su artículo 96, señala que: “En terrenos con pendientes iguales o superiores a 35%, los propietarios, tenedores o usuarios, deberán mantener la cobertura vegetal del suelo e introducir cultivos y tecnologías aptas para prevenir o corregir la degradación del mismo” (La Gaceta 1996).

Agrológicamente se considera que a mayor pendiente existe una mayor vulnerabilidad erosiva de los suelos, en total correspondencia, en el sistema de capacidad agrológica del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, se considera que suelos en pendientes mayores al 30% pertenecen clases de suelos muy susceptibles a la erosión y con grandes limitaciones para la producción agrícola, aptas para el manejo y protección de los recursos suelo, agua y vegetación y en los casos más extremos no son aptos para ningún uso agropecuario y solo se pueden dedicar para la conservación de los recursos naturales. (Klingebiel y Montgomery 1961)

Al evaluar el índice de vulnerabilidad dada por este indicador, El Waylo, El Hornillo-La Lagunita, La Montañita, Las Tablas, La Cañada y San Antonio-San Pedro están en vulnerabilidad alta. El resto de comunidades 13 están en vulnerabilidad media y 38 en vulnerabilidad baja.

En general, el 11% (3.443 ha) de la subcuenca se encuentra en condición de actividad agropecuaria en pendientes mayores al 30%, caracterizándose según la escala del cuadro 9 en vulnerabilidad media. Para visualizar un poco estos resultados en la **Figura 7** se puede observar el área de la subcuenca que está bajo una determinada vulnerabilidad.

Figura 6. Mapa de áreas agropecuarias en pendientes mayores al 30%

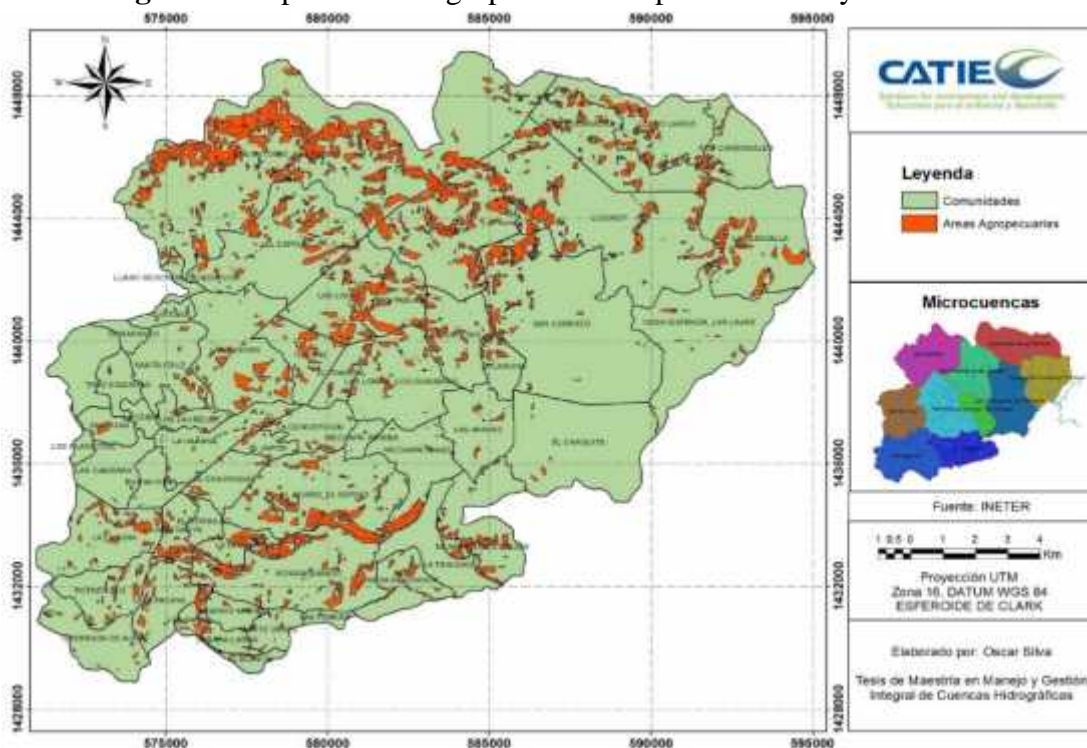
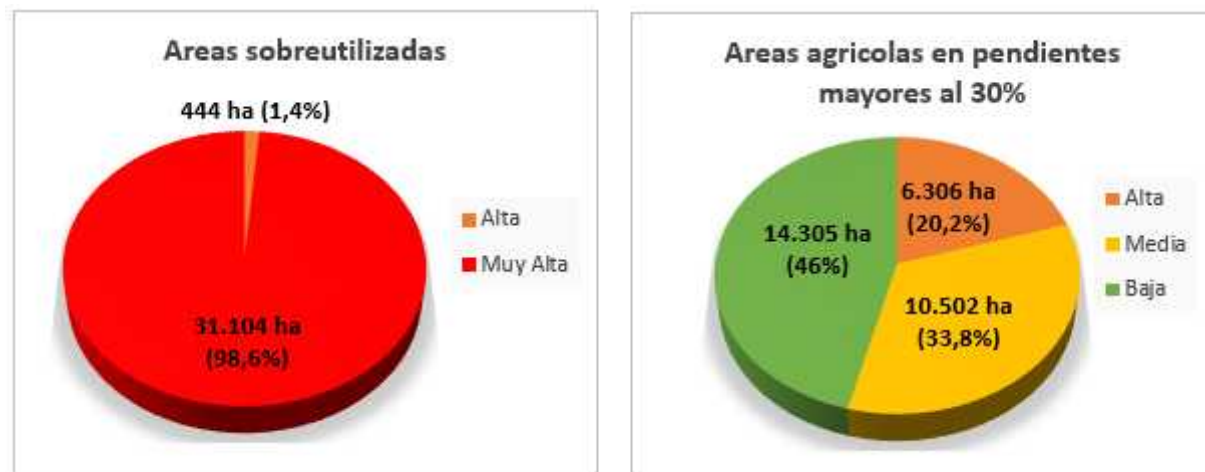


Figura 7. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable intensidad de uso de suelo



2.3.2 Recurso hídrico

Precipitación promedio en época de primera y en época de postrera: en estrecha relación con la dependencia de los cultivos agrícolas que se desarrollan en la zona, con la disponibilidad de precipitación existente en la subcuenca, se estimaron los acumulados de precipitación promedio correspondientes a las épocas de primera y postrera, distribuidas en el territorio, según se presenta en las **Figuras 8 y 9** respectivamente.

De los mapas de isoyetas de precipitación generados, se obtuvo que para la época de primera (primer subperiodo lluvioso comprendido entre el 15 de mayo al 15 de julio) la precipitación acumulada promedio se encuentra entre los 208 a 397 mm y en la época de postrera (segundo subperiodo lluvioso comprendido entre el 15 de agosto y el 31 de octubre), varía entre los 307 a 510 mm.

Para la época de primera, la vulnerabilidad es muy alta en El Chagüite-Mesa de los Espejos, Mechapa abajo, Las Ánimas, Las Lomas-Los Guácimos, San Lorenzo-La Laguna, Las Gavetas, Casa Quemada-Las Lajas, Las Tablas, La Cebadilla, La Cañada y Licoroy-Las Quebradas, y en el caso de las otras comunidades la vulnerabilidad es alta. En la época de postrera, los acumulados de precipitación que se presentan mejoran un poco las condiciones, caracterizándose con vulnerabilidad alta, aquellas comunidades que tienen vulnerabilidad muy alta en la época de primera y con vulnerabilidad media, las otras comunidades. En la **Figura 12** se puede apreciar una gráfica que relaciona la vulnerabilidad debida a estos indicadores y el área de la subcuenca.

Figura 8. Mapa de precipitación media primer subperiodo lluvioso

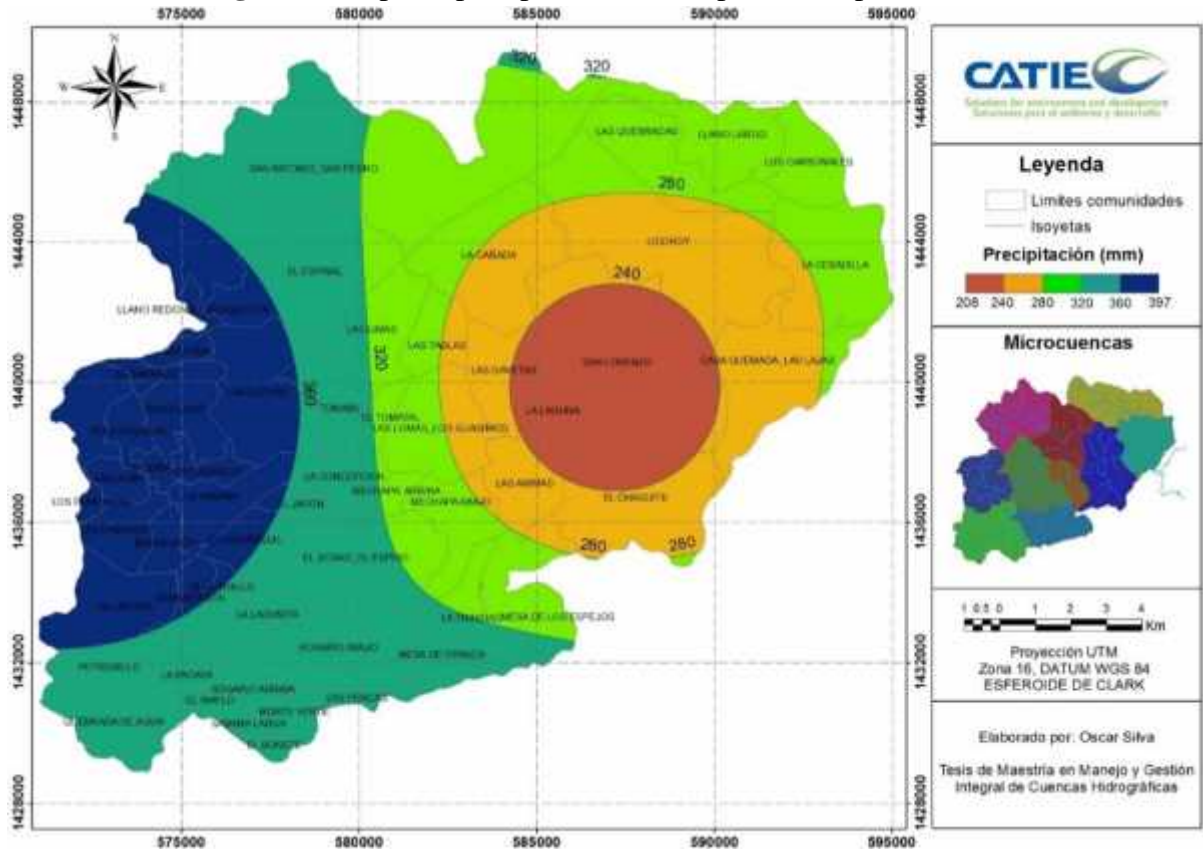
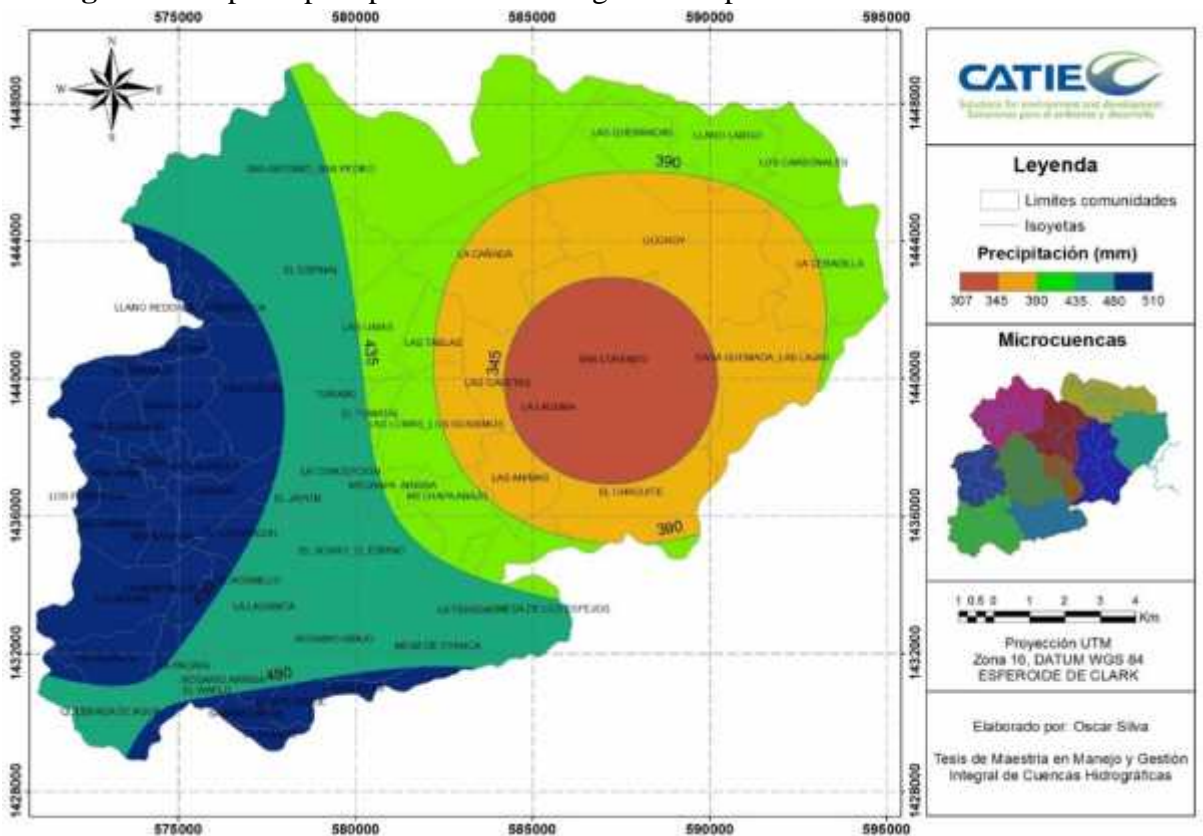


Figura 9. Mapa de precipitación media segundo subperiodo lluvioso

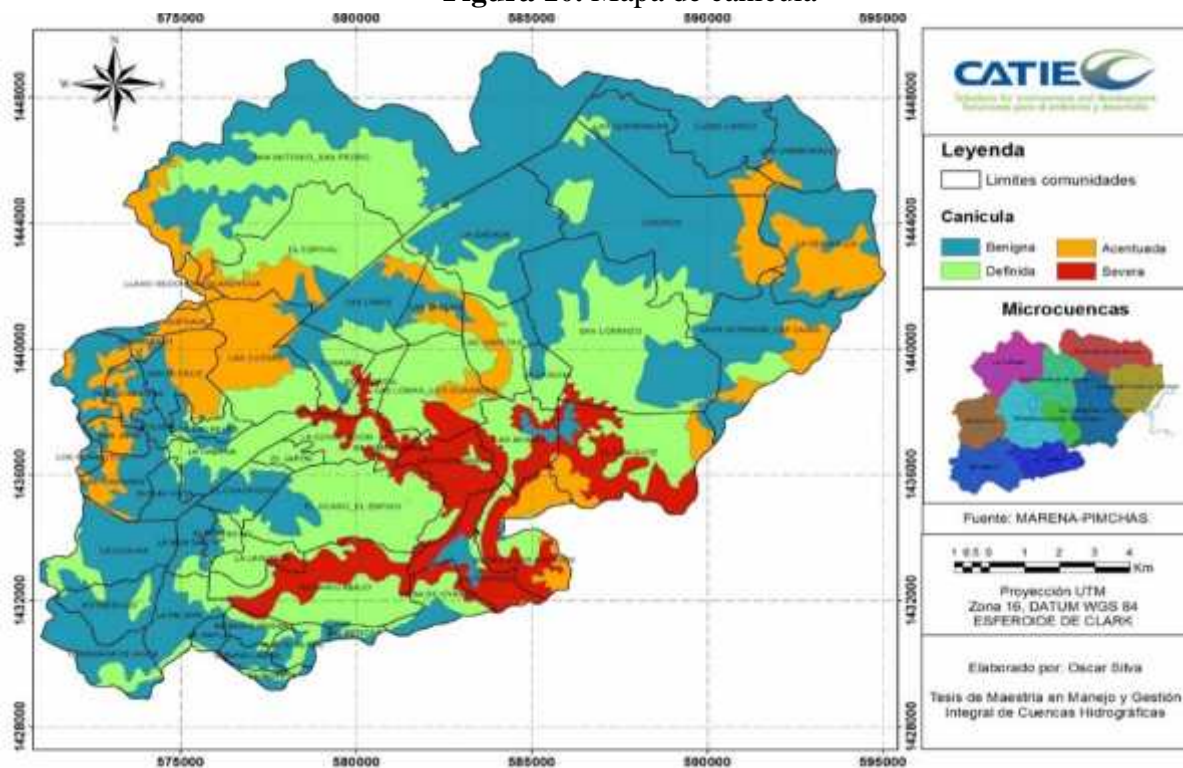


Condición de la canícula: este factor de la variabilidad climática de la zona representa gran importancia por su influencia en el establecimiento y el desarrollo de los cultivos. Para el área de estudio, se estimó su comportamiento, obteniendo una distribución según se muestra en la **Figura 10**.

Los mayores problemas de vulnerabilidad, representada por la canícula, se expone en la comunidad Mechapa abajo con una condición de canícula severa, seguida por las comunidades Rosario Abajo, El Chagüite-Mesa de los Espejos, Mechapa Arriba, Las Ánimas, Las Lomas-Los Guácimos, Llano Redondo-Guasuyuca y las Cuevas donde se presentan canículas de tipo acentuada. Estas comunidades tienden a una mayor probabilidad de riesgo por déficit hídrico para la producción agropecuaria.

De la ponderación realizada para cada una de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo se tiene que en 21 comunidades se manifiesta una canícula benigna (menos de 15 días sin lluvia durante la canícula), cubriendo un área de 12.882 ha, donde la vulnerabilidad es baja según la secuencia que se presenta en la metodología, en 27 de las comunidades la canícula es definida (entre 15 a 25 días sin lluvia durante la canícula), las que abarcan un área de 12.372 ha, correspondiente a vulnerabilidad media, en 9 de las comunidades la canícula es acentuada (entre 26 a 40 días sin lluvia durante la canícula), representando 5.357 ha del área de la subcuenca, con una vulnerabilidad alta y sólo en la comunidad Mechapa abajo la condición de la canícula es severa (mayor a 40 días sin lluvia durante la canícula), está comunidad abarca en área de 503 ha y tiene una vulnerabilidad muy alta para este indicador. En la **Figura 12** se presenta una gráfica de la distribución de la vulnerabilidad.

Figura 10. Mapa de canícula



Porcentaje de área con agua subterránea: en la Figura 11 se presenta el mapa, donde se demarcan las áreas con presencia de agua subterránea en la subcuenca media del río Viejo. Con base en este mapa se cuantificó para cada una de las comunidades las respectivas áreas, encontrándose que existe presencia de agua subterránea en 23 de las comunidades de la subcuenca. La cobertura de área representa el 8% (2.412 ha) del área total de la subcuenca media del río Viejo y los porcentajes de áreas en relación al área respectiva de las comunidades donde existe presencia, varía desde 0,1 % (0,48 ha) en la comunidad de Mechapa abajo hasta 85,95% (74,82 ha) en la comunidad La Ceiba.

Aunque La Ceiba es la comunidad con mayor porcentaje de cobertura de fuentes de agua subterránea, en relación con su área, la comunidad de San Lorenzo es la que tiene mayor área de cobertura con 600,97 ha, lo que representa 28,01% de su área. Sin embargo, al realizar la evaluación de vulnerabilidad para este indicador, la comunidad San Lorenzo con más territorio se encuentra con vulnerabilidad media y la comunidad La Ceiba con vulnerabilidad baja.

Es importante señalar que las 23 comunidades donde existe presencia de aguas subterráneas suman el 60% (18.872 ha) del área de la subcuenca. Sin embargo, en 11 de éstas comunidades, las cuales suman el 40% (12.700 ha) del área de la subcuenca, los porcentajes de áreas que se registran con presencia de agua subterránea son bajos, caracterizando así el territorio de estas comunidades en relación a este indicador con vulnerabilidad alta a muy alta. En resumen, la mayor parte del área de la subcuenca media del río Viejo se encuentra en condiciones de vulnerabilidad críticas, en relación a la presencia de aguas subterráneas, en la **Figura 12** se puede observar la distribución en área de las condiciones de vulnerabilidad para este indicador.

Figura 11. Mapa de áreas con fuentes de agua subterránea

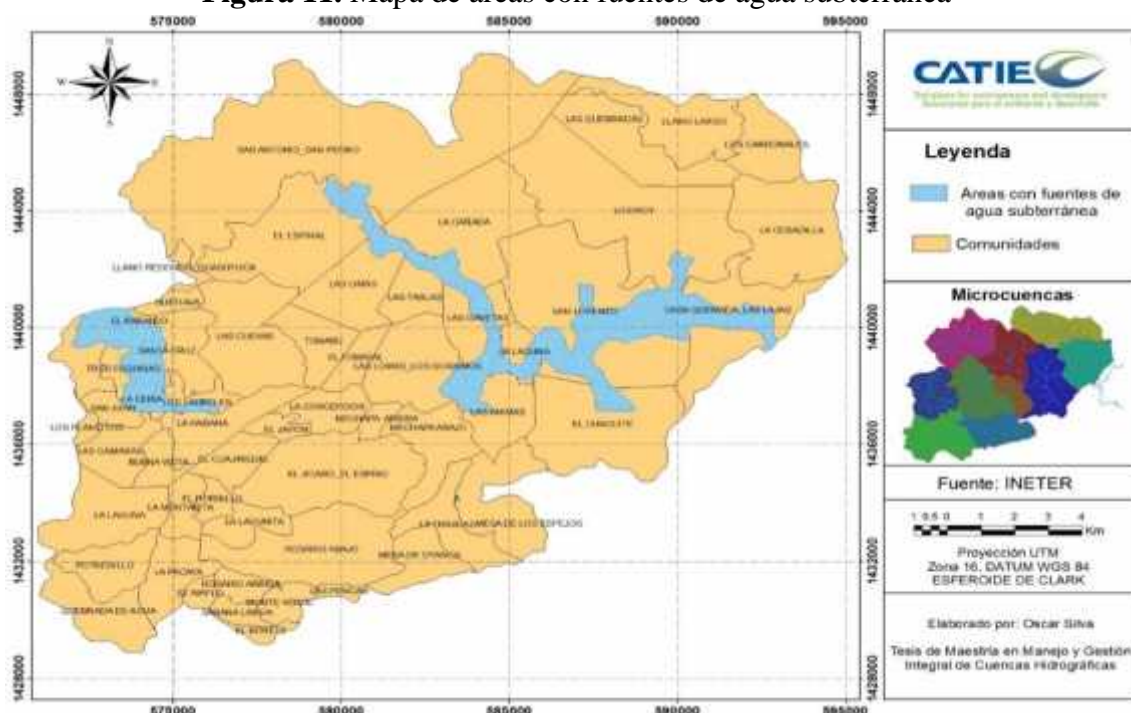
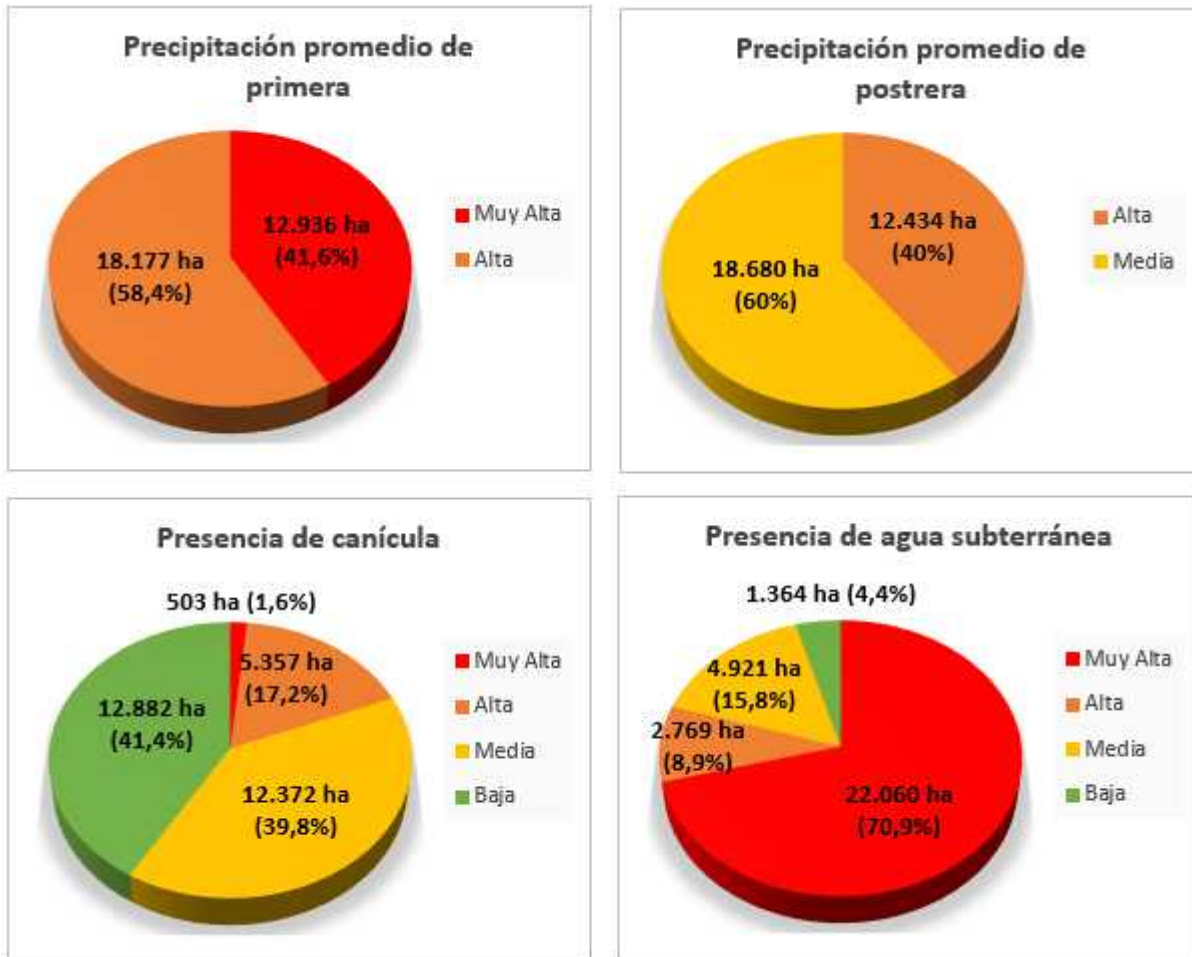


Figura 12. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable recurso hídrico



2.3.3 Prácticas de conservación de suelo y agua

Número promedio de prácticas de conservación de suelo y agua que se realizan en las fincas: son muchas las tecnologías que se pueden implementar para la conservación de los suelos y el agua, la cual estará en dependencia de las características de la zona y el fin último que se le quiera dar. Para el estudio se cuantificó las prácticas que implementan los productores de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo, considerando para el análisis de vulnerabilidad que entre más prácticas de conservación de suelo y agua se realizan en las fincas las condiciones biofísicas del entorno mejoran.

Se encontró que en promedio el 67% de las fincas productoras no implementan y en el 33% de las fincas restantes se implementan entre 1 a 4 tipos de prácticas de conservación de suelo y agua, predominando las barreras vivas y las barreras muertas. Entre otras prácticas están las zanjas de infiltración y de desviación, reincorporación de rastrojos, pequeños diques en quebradas y curvas de nivel.

Para este indicador, la vulnerabilidad de las comunidades varía de media a muy alta según se cuantifica por la escala de valoración de la metodología. En total correspondencia, 26 de las comunidades se caracterizaron con vulnerabilidad muy alta, 25 comunidades con vulnerabilidad alta y sólo en 7 comunidades con condiciones un poco más favorables se tiene vulnerabilidad media. En la **Figura 14** se puede observar una distribución de la vulnerabilidad en relación con el área de la subcuenca.

2.3.4 Población

Densidad poblacional: La distribución de la población en la subcuenca media del río Viejo es como se presenta en **Figura 13**. En ésta se observan las áreas donde existe una mayor o menor presión poblacional y por consiguiente, una mayor o menor demanda sobre los recursos existentes en el territorio. La densidad poblacional en las comunidades de la subcuenca varía desde 5 hab/Km² en las comunidades El Chagüite-Mesa de los Espejos hasta 368 hab/Km² en la comunidad La Ceiba. Las comunidades con mayor densidad poblacional se concentran hacia las microcuencas Santa Cruz, Tomabú y La Laguna.

Según la valoración de vulnerabilidad planteada en la metodología para este indicador, 23 comunidades tienen un nivel de vulnerabilidad muy alta. Sin embargo, comprenden 5.072 ha del área de la subcuenca. Contrario a esto, están 20 comunidades en condiciones de vulnerabilidad baja que representan un área de 20.627 ha. De las otras 15 comunidades, 6 se caracterizan con vulnerabilidad alta y 9 con vulnerabilidad media representando respectivamente 2.878 ha y 2.537 ha del área de la subcuenca. En la Figura 15 se puede observar la distribución de vulnerabilidad respectiva para este indicador.

Figura 13. Mapa de densidad poblacional

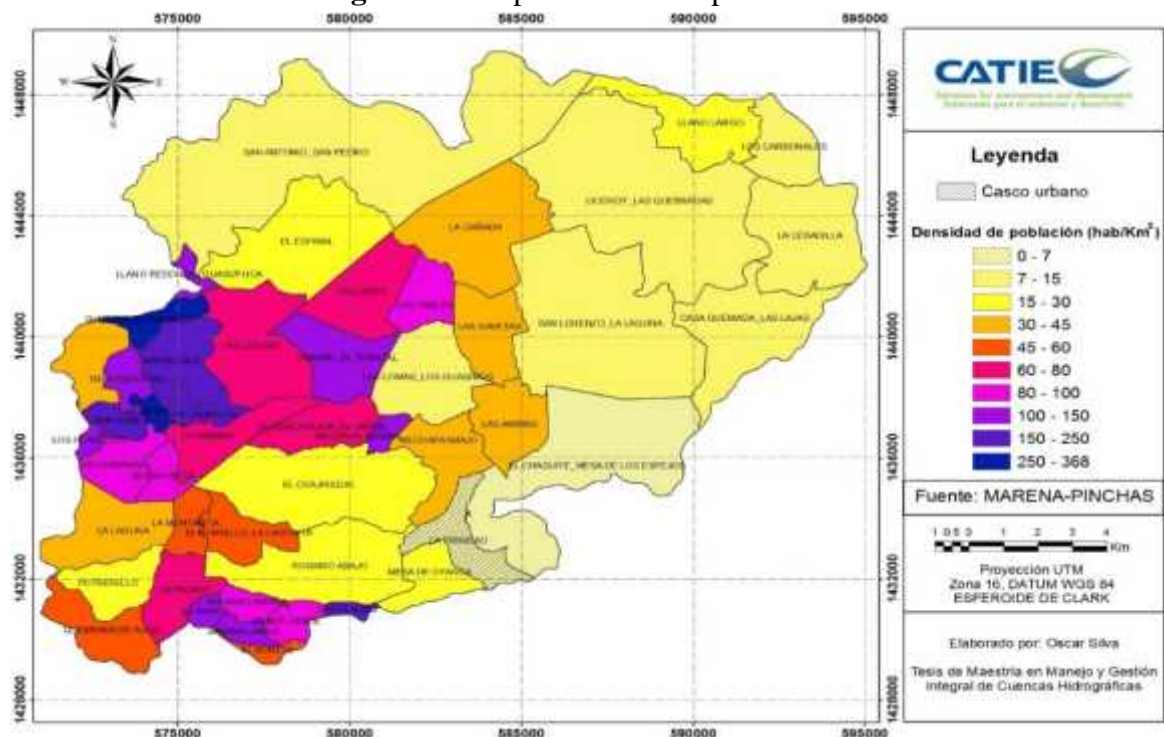


Figura 14. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable prácticas de conservación de suelo y agua

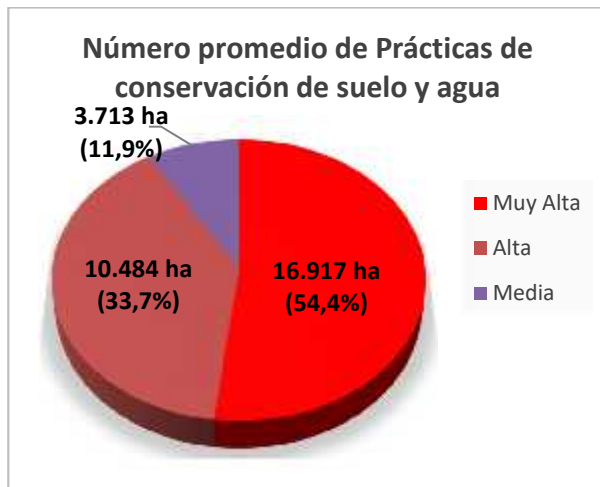


Figura 15. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable población



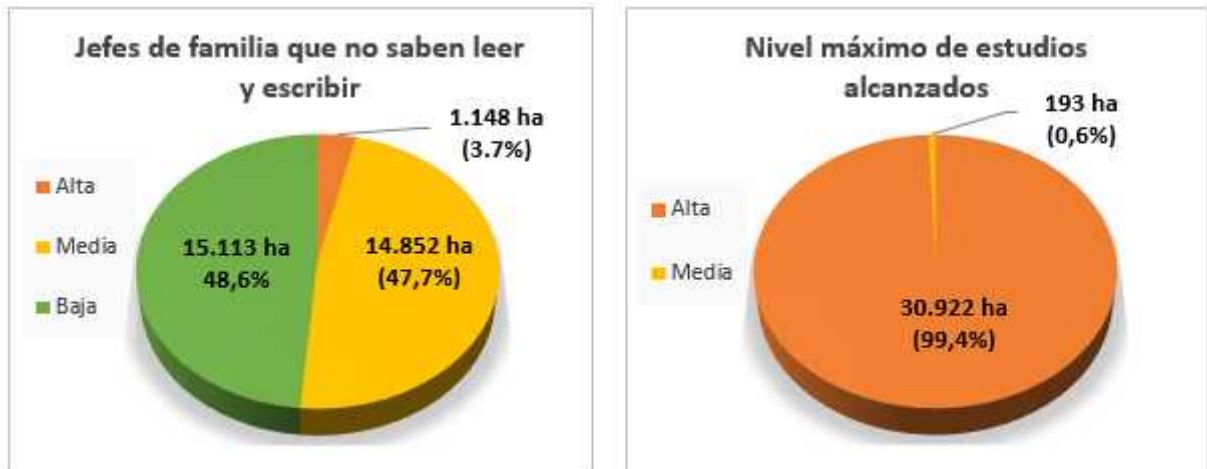
2.3.5 Educación

Porcentaje de jefes de familia que no saben leer y escribir: considerando que, no saber leer y escribir es una de las principales limitantes para el acceso a la información y la participación de la población y que los jefes de familia son principales decisores en las acciones que se realizan en la subcuenca se evaluó este indicador para estimar la vulnerabilidad en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo. De los resultados se tiene que el porcentaje de jefes de familia que no saben leer y escribir en las comunidades varía desde 5% hasta 45%, lo que se resume en 22% para toda la subcuenca.

Al realizar la valorización de la vulnerabilidad, únicamente las comunidades La Montañita y Las Cuevas presentan vulnerabilidad alta, cubriendo un área de 1.148 ha. En 28 de las comunidades se encontró que tienen vulnerabilidad media, abarcando un área de 14.852 y 28 de las comunidades se clasificaron con vulnerabilidad baja, las que suman el restante 15.113 ha. En la **Figura 16** se puede observar la distribución de vulnerabilidad.

Nivel máximo de estudios alcanzados: Se considera que en dependencia del nivel de estudios alcanzados por una población su vulnerabilidad será mayor o menor. En las comunidades de la subcuenca, en promedio un 26 % de los jefes de familia han alcanzado la alfabetización, 49 % ha estudiado uno o todos los grados de la primaria, 20% ha culminado entre uno a todos los años de la secundaria y 5% ha realizados estudios superiores (técnicos o universitarios). Al realizar la valorización, casi todas las comunidades resultaron con vulnerabilidad alta, excepto la comunidad Tres Esquinas, que resultó tener vulnerabilidad media. Ver la distribución de vulnerabilidad de la **Figura 16**.

Figura 16. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable educación



2.3.6 Cobertura institucional

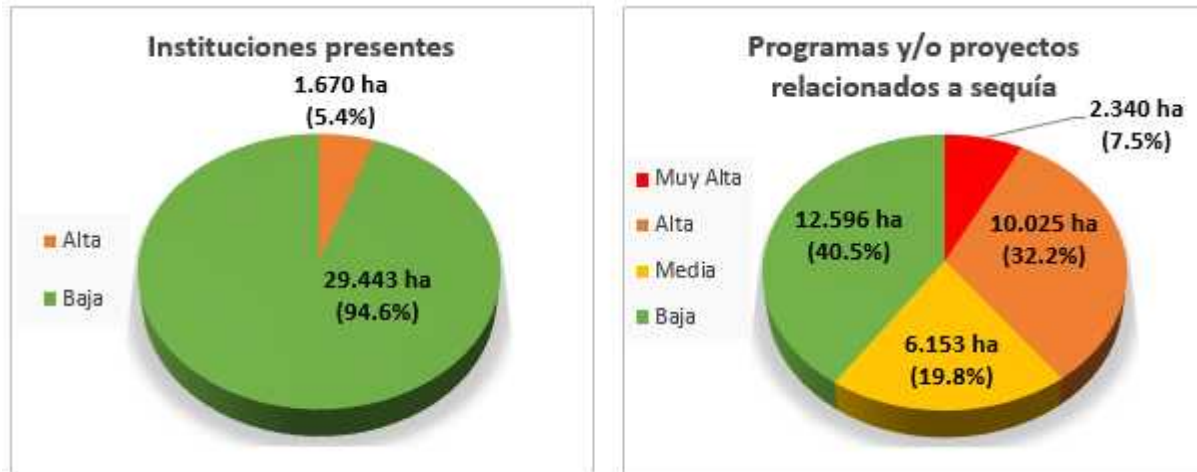
Número de instituciones presentes: este factor es muy importante en el análisis, ya que mientras más presencia de instituciones se tenga en una comunidad se puede pensar en una asistencia técnica más integral, en la que se abarca un mayor apoyo en distintas temáticas que influyen en la vulnerabilidad a sequía, ya sea mediante la capacitación de la población o el desarrollo de programas y proyectos.

En las comunidades Sabana Larga del municipio La Trinidad, Monte Verde, La Ceiba, Llano Redondo-Guasuyuca, San Juan, Los Laureles, Buena Vista, Tres Esquinas y Santa Cruz reciben asistencia de sólo una institución, de forma que tienen vulnerabilidad alta para este indicador. En el resto de las comunidades de la subcuenca, existe una presencia de 3 o más instituciones, presentándose así una vulnerabilidad baja en gran parte del área de la subcuenca. Ver la distribución de vulnerabilidad en la **Figura 17**.

Número de programas y proyectos relacionados con sequía: los programas y proyectos permiten la realización de acciones orientadas a medidas que aportan al desarrollo de las comunidades. En razón de esto se espera que mientras más acciones se realicen en temáticas relacionadas a la sequía, la vulnerabilidad se reduce. En este sentido se estimó la vulnerabilidad dada por este indicador en la subcuenca media del río Viejo.

De los resultados se tiene que en 11 comunidades no existen programas o proyectos relacionados con la sequía, representando así una vulnerabilidad muy alta. En 14 de las comunidades la vulnerabilidad es alta. De las 25 comunidades restantes 11 presentan vulnerabilidad media y 22 vulnerabilidad baja. Para apreciar en relación al área de la subcuenca se muestra una distribución de vulnerabilidad en la **Figura 17**.

Figura 17. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable cobertura institucional



2.3.7 Organización comunitaria

Porcentaje de familias organizadas: la organización comunal de las familias es un indicador importante, ya que genera la participación y permite realizar acciones más integrales para el bienestar de la población y preservación de los recursos naturales dentro de un territorio, para el estudio se habla de la subcuenca media del río Viejo.

La participación de las familias en organizaciones comunales para todas las comunidades resultó baja, los porcentajes de familias organizadas en las comunidades va desde 0% hasta un 35%. En total correspondencia se obtuvo que 55 comunidades se caractericen con una vulnerabilidad muy alta y 3 con vulnerabilidad alta. La **Figura 18** muestra una distribución de la vulnerabilidad para este indicador.

2.3.8 Capacidad económica

Ingreso familiar mensual: para este indicador se consideró que en la medida que las familias o pobladores tengan un ingreso económico suficiente para satisfacer sus necesidades, la presión sobre los recursos naturales se reducirá, lo cual tiene vital importancia en zonas donde los recursos naturales están teniendo impactos por los eventos recurrentes de sequía, como es el caso de la subcuenca media del río Viejo.

En la mayoría de las comunidades de la subcuenca, principalmente en aquellas donde las condiciones rurales son más pronunciadas, los ingresos mensuales por familia, no están de acuerdo con el mínimo aporte económico que un hogar debe contar para satisfacer las necesidades básicas de la familia, esto debido a que la mayoría se dedican a labores agropecuarias de subsistencia en sus fincas, obteniendo aportes monetarios no muy significativos y que ante condiciones de sequía, esta condición se vuelve más crítica.

Al evaluar la vulnerabilidad para este indicador, resulta que 25 comunidades se encuentran en condiciones de vulnerabilidad muy alta, 27 tienen vulnerabilidad alta, 4 vulnerabilidad media y 2 con vulnerabilidad baja. En la **Figura 19** se puede observar una distribución de la vulnerabilidad en relación al área de la subcuenca.



Figura 19. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable organización comunitaria

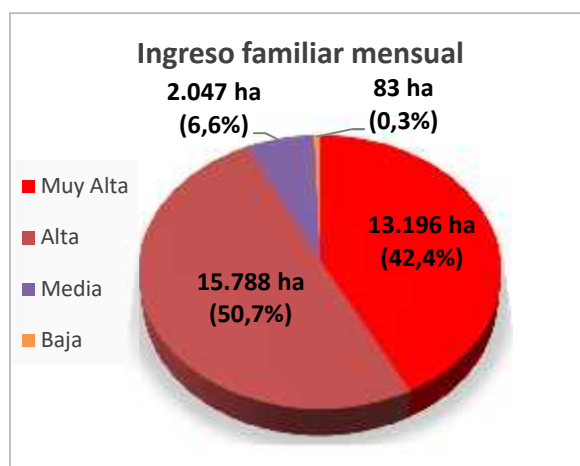


Figura 18. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable capacidad económica

2.3.9 Dependencia económica

Porcentaje de familias que se dedican a actividades productivas agropecuarias: por ser la producción agropecuaria una de las más afectadas por eventos climáticos relacionados con la sequía se ha considerado importante evaluar la vulnerabilidad en relación al porcentaje de personas que se dedican a actividades de este tipo de producción. En la subcuenca, el porcentaje de familias que se dedica a actividades productivas agropecuaria en las comunidades, varía entre 40% y 100%.

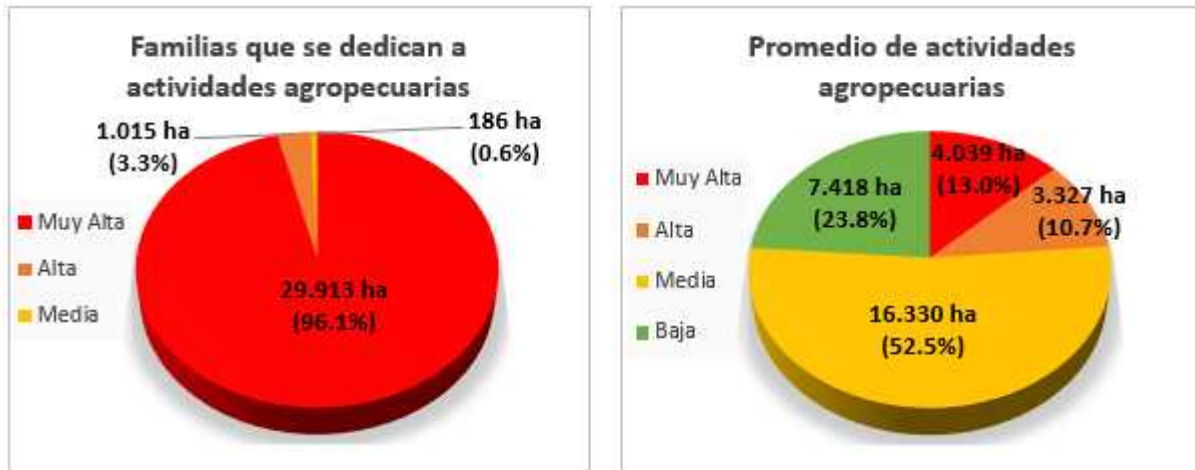
Al evaluar la vulnerabilidad que aporta este indicador, se evidencia que en la mayoría de las comunidades de la subcuenca predomina la actividad agropecuaria, resultando así una vulnerabilidad muy alta para 54 comunidades, vulnerabilidad alta en las comunidades San Juan, las Cámaras y Santa Cruz, y vulnerabilidad media únicamente la comunidad Buena Vista. Ver en la **Figura 20** la respectiva distribución de vulnerabilidad para este indicador.

Número promedio de actividades productivas agropecuarias: se evaluó este indicador considerando que en promedio el 90% de la población económicamente activa de las comunidades se dedica a la producción agropecuaria y que mientras más alternativas de producción tengan las familias, sus capacidades de respuesta ante la sequía mejoran.

En las comunidades de la subcuenca en promedio el 47% de las familias realizan de 2 a menos actividades productivas agropecuarias, prevaleciendo esta condición en 19 comunidades, de las cuales 7 se encuentran en condiciones de muy alta vulnerabilidad y 12

con alta vulnerabilidad. En promedio, el 23% de las familias realizan 3 actividades productivas agropecuarias, caracterizándose así 25 comunidades con vulnerabilidad media y un restante 30% de las familias realizan 4 o más actividades productivas agropecuarias, caracterizándose así 14 comunidades bajo vulnerabilidad baja. En la **Figura 20** se puede observar una distribución de la vulnerabilidad en relación al área de la subcuenca.

Figura 20. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable dependencia económica



2.3.10 Desempleo

Porcentaje de adultos desempleados: este indicador es complementario a los indicadores de la variable dependencia económica, considerándose como una alternativa de ingresos monetarios a las familias, que se suma a los obtenidos de la actividad agropecuaria y posibilita una mayor capacidad de respuesta de la población ante los efectos de fenómenos meteorológicos como la sequía.

Los valores de este indicador para todas las comunidades de la subcuenca describen una vulnerabilidad muy alta, en total correspondencia a las insuficientes actividades de dependencia económica que se desarrollan en la zona, contribuyendo así en un alto porcentaje a la vulnerabilidad de la subcuenca. En la **Figura 21** se puede apreciar la distribución de vulnerabilidad para este indicador.

2.3.11 Uso de instrumentos económicos

Porcentaje de familias que han accedido a créditos y financiamientos: el mayor o menor acceso que pueda tener la población a instrumentos económicos, como créditos, pagos o financiamientos se considera como un indicador de vulnerabilidad importante, por ser una alternativa que compensa los déficits de las familias para satisfacer sus necesidades económicas y con un buen plan pueden contribuir al desarrollo de alternativas que permitan la conservación de los recursos naturales.

En las comunidades de la subcuenca en promedio apenas un 16% de las familias han accedido a créditos o financiamientos. En correspondencia a las pocas familias que han accedido a algún tipo de instrumento de crédito, resultó que en 34 comunidades la vulnerabilidad se clasifica como muy alta, en 22 la vulnerabilidad es alta y sólo en San Lorenzo-La Laguna la vulnerabilidad es media. Una distribución de vulnerabilidad se puede observar en la **Figura 22**.

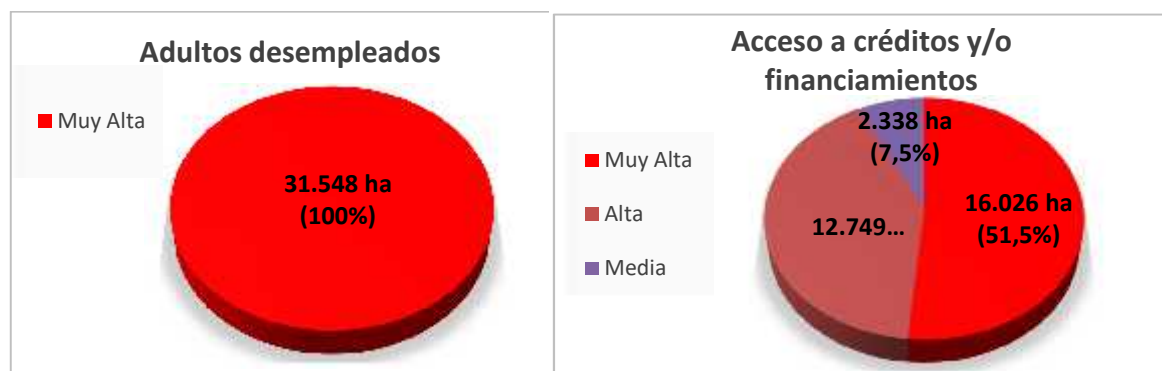


Figura 22. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable desempleo

Figura 21. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable uso de instrumentos económicos

2.3.12 Tenencia de la tierra

Porcentaje de familias con título de propiedad: se evaluó este indicador considerando que las familias que cuentan con los documentos de la tenencia de sus tierras tienen mayores oportunidades de acceder a servicios económicos, beneficios provenientes de programas y proyectos por parte de las instituciones y organizaciones, tecnologías y desarrollo de actividades encaminadas al bienestar de la población y la preservación de los recursos naturales, que aporten a la reducción de la vulnerabilidad.

En promedio un 65% de las familias en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo cuenta con los documentos legales de tenencia de sus tierras. Del análisis de vulnerabilidad para este indicador resultó que en 5 comunidades la vulnerabilidad es alta, en 15 es media y en 38 la vulnerabilidad es baja. La distribución en área de la vulnerabilidad se puede observar en la **Figura 23**.

Figura 23. Gráfico de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable tenencia de la tierra



2.3.13 Servicio de agua potable

Porcentaje de familias con servicio de agua potable: el acceso al agua potable que la población pueda tener, es muy importante en el análisis de vulnerabilidad a sequía, tomando en consideración que el recurso hídrico tiene vital importancia para la población y su disponibilidad se reduce ante eventos de sequías.

De los resultados, se tiene que 16 de las comunidades de la subcuenca no cuentan con el servicio de agua potable, en el resto de comunidades los porcentajes de familias con servicio de agua potable varían de 17 a 100%. En total correspondencia resultó que 16 de las comunidades se encuentran bajo vulnerabilidad muy alta, 6 tienen vulnerabilidad alta, 9 vulnerabilidad media y en 27 de las comunidades los porcentajes de familias con el servicio supera el 60%, presentando así una vulnerabilidad baja.

Calidad de abastecimiento del servicio de agua potable: considerando que las familias pueden tener acceso al servicio de agua potable, pero que la disponibilidad puede variar durante el año, se evaluó este indicador en relación con la percepción que se tiene sobre la eficiencia de disponibilidad del agua potable en las viviendas de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.

Se ponderó la vulnerabilidad de este indicador para cada una de las comunidades de la subcuenca, resultando que en promedio un 43% de los hogares no cuentan con el servicio de agua potable, presentando así 16 comunidades una vulnerabilidad muy alta, en un 9% el servicio es deficiente, de forma que se tienen 18 comunidades con vulnerabilidad alta, en un 17% la calidad del servicio es regular, correspondiente a 15 comunidades donde la vulnerabilidad es media y en un 31% la calidad del servicio es eficiente, quedando así 9 comunidades con vulnerabilidad baja.

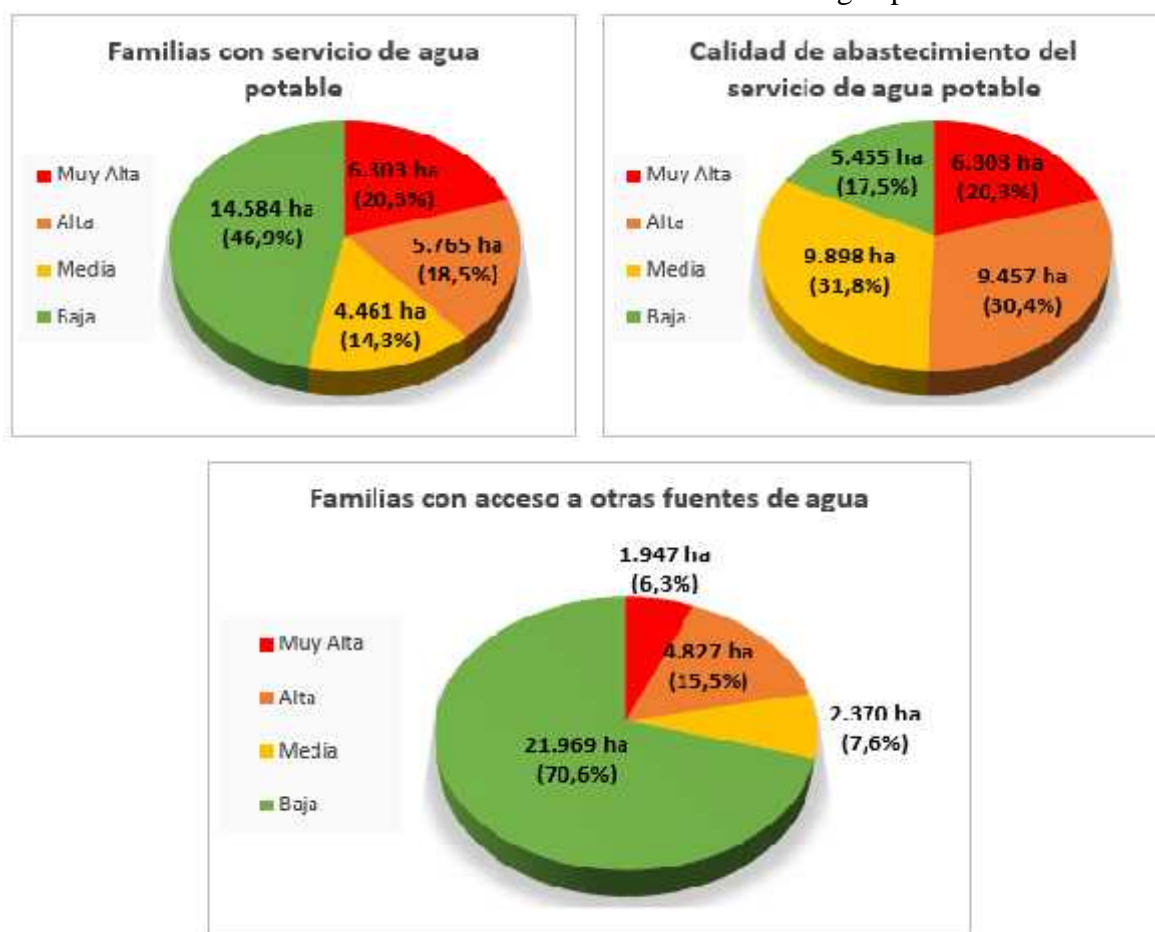
Porcentaje de familias con acceso a otras fuentes de agua: considerando que entre más opciones existan, de donde la población pueda obtener el recurso hídrico para satisfacer sus

necesidades, es de vital importancia para enfrentar distintos déficits que una sequía pueda implicar y que entre más población tenga acceso a estas opciones, la vulnerabilidad a sequía se reduce, se valoró la vulnerabilidad para este indicador

En promedio, un 72% de las familias tiene acceso a otras fuentes de agua (pozos artesanales, ojos de agua, ríos y quebradas) para satisfacer sus necesidades hídricas. Al realizar la respectiva valorización de la vulnerabilidad para este indicador, se tiene que 4 comunidades presentan vulnerabilidad muy alta, otras 7 tienen vulnerabilidad alta, 7 están en vulnerabilidad media y 40 están en condiciones de vulnerabilidad baja.

La **Figura 24** muestra una distribución en relación al área de la subcuenca de las distintas vulnerabilidades según la valorización realizada para los indicadores de la variable servicio de agua potable.

Figura 24. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable servicio de agua potable



2.3.14 Implementación de tecnologías

Porcentaje de familias que realizan prácticas de conservación de suelo y agua: se ha evaluado la vulnerabilidad que aporta este indicador, considerando que entre más familias

implementen tecnologías para la conservación de suelo y agua, las pérdidas de estos recursos en la subcuenca se reducen, posibilitando así mejores condiciones para el desarrollo de las actividades agropecuarias, ante las limitantes que los eventos recurrentes de sequía puedan significar para la zona.

Los resultados de este indicador muestran que en 18 comunidades en promedio un 9% de las familias realizan prácticas de conservación de suelo y agua, quedando así estas comunidades en condiciones de vulnerabilidad muy alta, en 21 comunidades en promedio 32% de las familias implementan algún tipo de práctica, presentando así vulnerabilidad alta, en otras 11 de las comunidades en promedio 53% de las familias aportan para la conservación de los recursos con la implementación de tecnologías, caracterizándose estas comunidades con vulnerabilidad media y en el restante de 8 comunidades en promedio un 61% de las familias contribuyen en la realización de prácticas para conservar el suelo y el agua, caracterizándose estas últimas con vulnerabilidad baja.

Porcentaje de familias con obras de cosecha de agua: tomando en consideración que en la zona se han implementado proyectos de construcción de obras de cosecha de agua, las cuales son una alternativa para que las familias puedan enfrentar meses críticos de escasez del recurso hídrico durante el año y que entre más personas tengan acceso a esta alternativa su vulnerabilidad se reduce, se consideró este indicador importante en el análisis de este estudio.

De la evaluación realizada para este indicador, se tiene que en promedio un 21% de las familias en las comunidades de la subcuenca tiene obras de cosecha de agua, distribuyéndose en relación a la vulnerabilidad estimada según la valorización dada en la metodología, que 23 comunidades están en condiciones de vulnerabilidad muy alta, 28 con vulnerabilidad alta y 7 comunidades donde alcanzan una vulnerabilidad media por contar con mejores porcentajes en relación a las familias que cuentan con algún tipo de obra de cosecha de agua.

Porcentaje de familias con estructuras para el almacenamiento de granos y/o semillas: tomando de referencia que las estructuras para el almacenamiento de granos y/o semillas, son una medida que garantiza a la población el resguardo de sus productos para poder utilizarlos durante las épocas en que las limitantes productivas aumentan, se evaluó la vulnerabilidad para este indicador.

En promedio el 50% de las familias en las comunidades de la subcuenca, cuenta con estructuras para el almacenamiento de granos y semillas. Al evaluar la vulnerabilidad dada por este indicador se encontró que 7 comunidades tienen una vulnerabilidad muy alta, 15 están con vulnerabilidad alta, 13 con vulnerabilidad media y 23 de las comunidades con vulnerabilidad baja.

Para los indicadores de la variable implementación de tecnologías, la **Figura 24** muestra una distribución en relación al área de la subcuenca de las distintas vulnerabilidades según la valorización realizada por la metodología planteada.

2.3.15 Capacitación

Porcentaje de familias que han recibido capacitación en temas relacionados a sequía: considerando que la capacitación es un mecanismo de educación que permite desarrollar en las personas conocimientos, actitudes, habilidades, motivación y compromiso para trabajar individual y colectivamente hacia la solución y prevención de problemas que acontecen en un determinado territorio y que mientras más personas tengan esta condición, las oportunidades de superar los problemas aumentan, se valoró el aporte de vulnerabilidad dado por este indicador.

De los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad dada por este indicador se observa que existe un porcentaje bajo de las familias que han sido capacitadas en temas relacionados a sequía, en promedio un 13% de las familias en las comunidades de la subcuenca, ha recibido capacitación. En correspondencia a lo antes descrito, se tiene que 42 de las comunidades presentan vulnerabilidad muy alta, 14 están en condiciones de vulnerabilidad alta y sólo la comunidad Las Tablas se encontró en condiciones de vulnerabilidad media. En la **Figura 26** se puede observar una distribución en área de la vulnerabilidad descrita para este indicador

Figura 25. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para los indicadores de la variable implementación de tecnologías

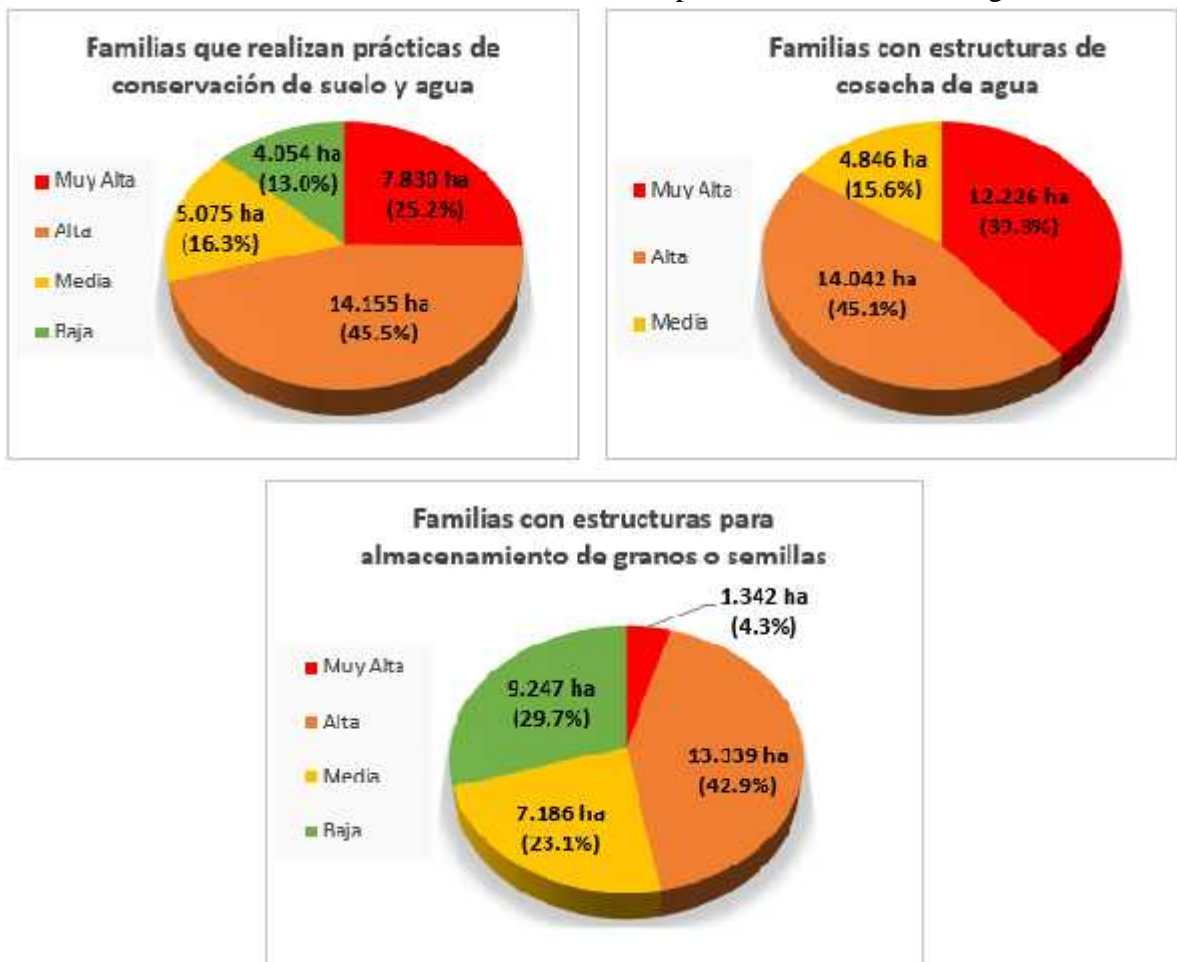


Figura 26. Gráficos de distribución de índice de vulnerabilidad para el indicador de la variable capacitación



2.3.16 Índice de vulnerabilidad por factor biofísico

Basado en la valorización del índice de vulnerabilidad encontrada para los indicadores biofísicos considerados en este estudio, se muestra en la Figura 27 el consolidado de índice de vulnerabilidad por factor biofísico para cada una de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.

Los niveles del índice de vulnerabilidad por factor biofísico en las comunidades varían de medio a muy alto en la subcuenca media del río Viejo. Se puede observar que únicamente El Chagiüte-Mesa de los espejos tiene índice de vulnerabilidad muy alta, correspondiente a un 6% (1.894 ha) del área de la subcuenca, un 85,6% (27.017 ha) del territorio de la subcuenca se encuentra con índice de vulnerabilidad alta y solo en un 7% (2.203 ha) presenta índice de vulnerabilidad media; correspondiente esta última a la suma del área de las comunidades Los Carbónales, la Ceiba, Subtiava-El Naranjo, Tres Esquinas, Sabana Larga-Ocotillo, Potrerillo y Quebrada de Agua.

2.3.17 Índice de Vulnerabilidad por factor socioeconómico

El índice de vulnerabilidad por factor socioeconómico obtenido para cada una de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo, definida por los distintos indicadores socioeconómicos considerados en este estudio se muestra en la **Figura 28**.

Igual que en el índice de vulnerabilidad por factor biofísico, los niveles del índice de vulnerabilidad por factor socioeconómico de las comunidades en la subcuenca media del río Viejo, varían de media a muy alta. Las comunidades La Ceiba, Buena Vista, Tres Esquinas y Santa Cruz que en conjunto representan 3,1% (1.336 ha) del territorio presentan índice de vulnerabilidad muy alta. Las comunidades Rosario Arriba, Mesa de Oyanca, Rosario Abajo, El Cuajiniquil-El Jícaro-El Espino, La Concepción-El Japón, Las Lomas-Los Guácimos, Tomabú-El Tomatal, San Lorenzo-La Laguna, Las Gavetas, Las Tablas, Las Limas, La

Cebadilla, La Cañada, Los Carbonales, Potrerillo y La Laguna, que comprenden 39,2% (12.354 ha) del territorio presentan índice de vulnerabilidad media. El 56,4% (17.791 ha) del territorio, correspondiente a las otras comunidades está con índice de vulnerabilidad alta.

Figura 27. Mapa de índice de vulnerabilidad por factor biofísico en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo

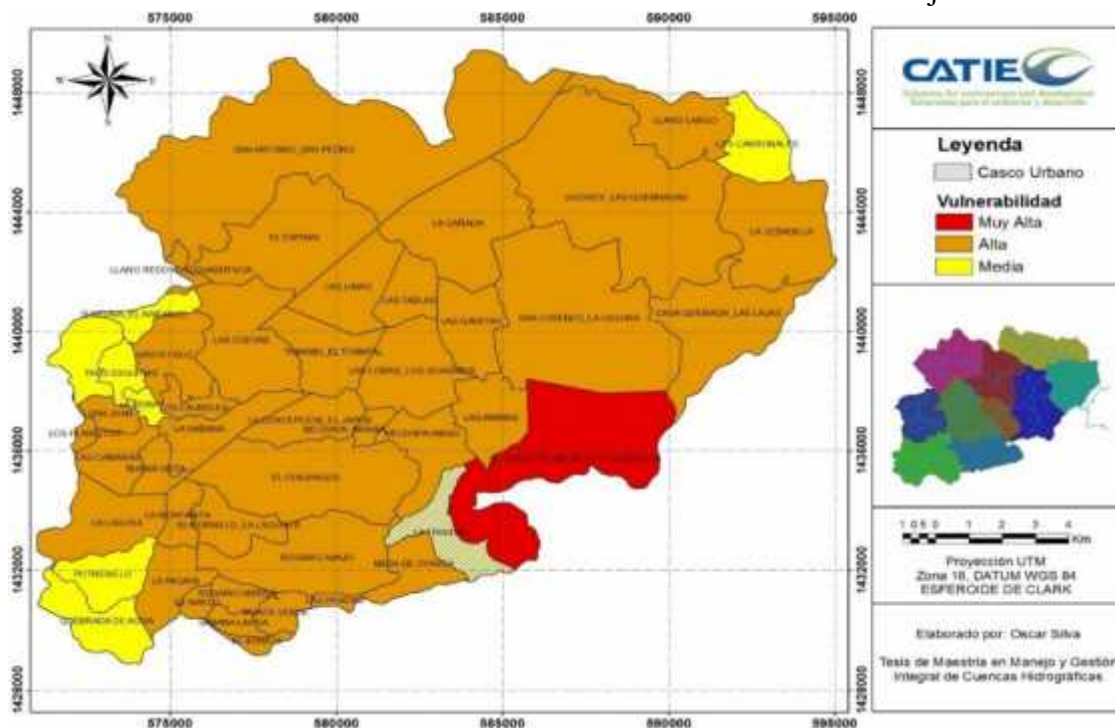
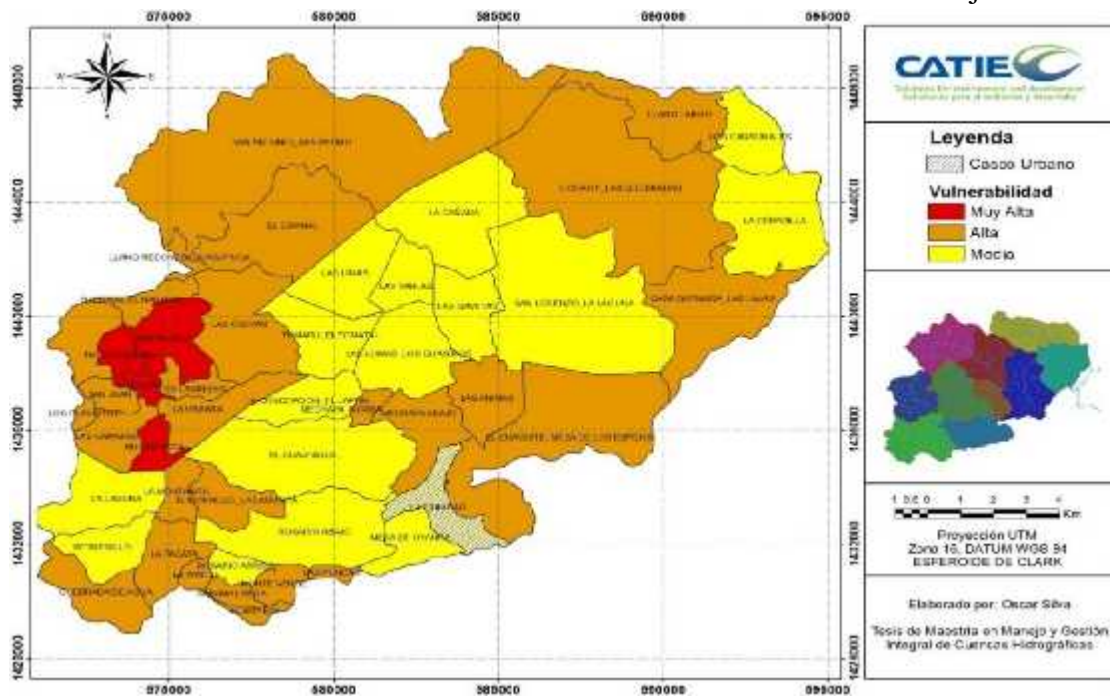


Figura 28. Mapa de índice de vulnerabilidad por factor socioeconómico en las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.

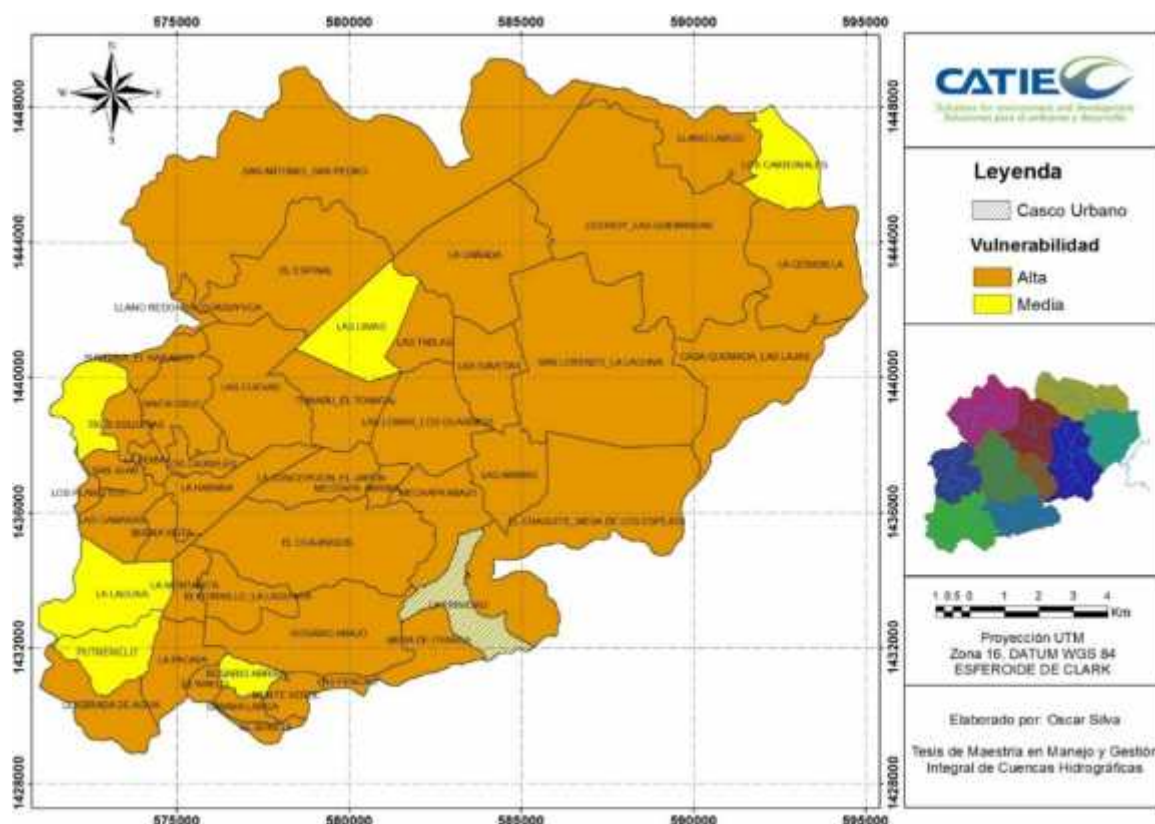


2.3.18 Índice de vulnerabilidad global

Se estimó el índice de vulnerabilidad global en relación con las condiciones biofísicas y socioeconómicas que se presentan en el territorio de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo, resultando que los niveles del índice de vulnerabilidad varían de media a alta y se distribuyen según se presenta en la **Figura 29**.

En su mayoría, las comunidades de la subcuenca media del río Viejo se encuentran con índice de vulnerabilidad alta, en este sentido 90,1% (28.437 ha) del territorio de la subcuenca está bajo estas condiciones. Un 8,5% (2.676 ha) presenta índice de vulnerabilidad media ante condiciones climáticas de sequía.

Figura 29. Mapa de índice de vulnerabilidad global de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.



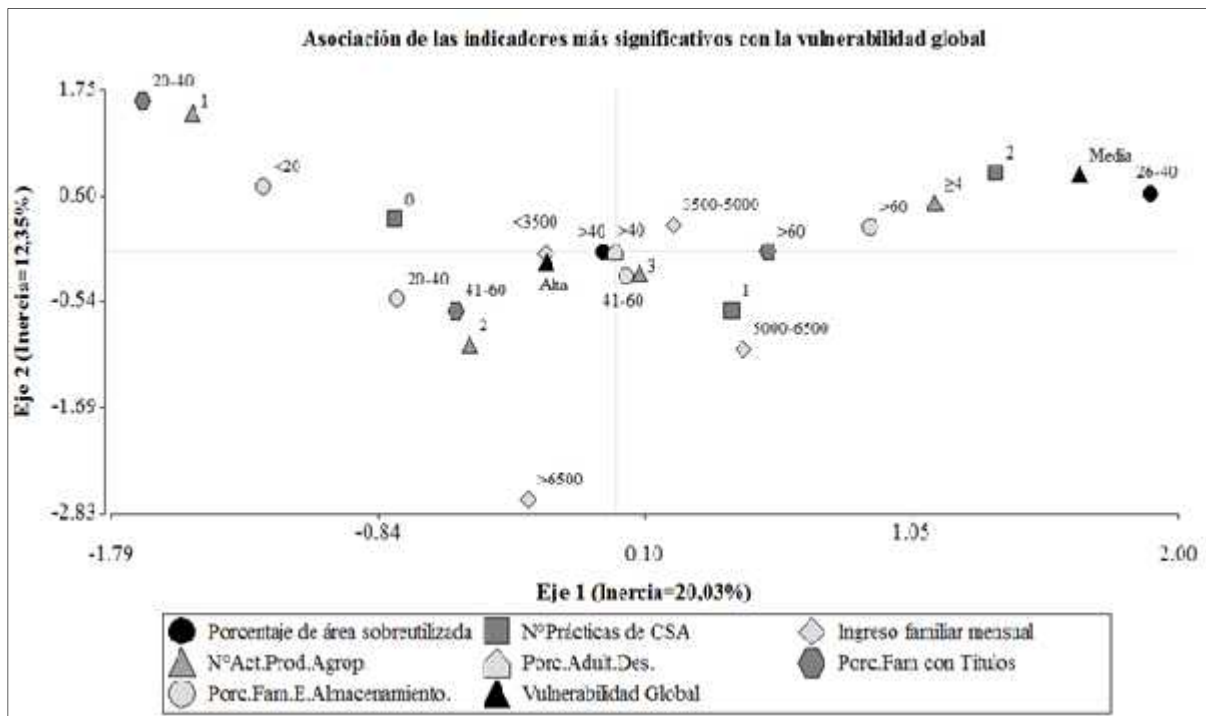
Del análisis estadístico realizado con el programa InfoStat, en el **Cuadro 11** se muestra que los indicadores área sobreutilizada ($p=0,0387$), número promedio de prácticas de conservación de suelo y agua que se realizan en las fincas ($p=0,0162$), ingreso familiar ($p=0,013$), número promedio de actividades productivas agropecuarias que se realizan ($p=0,0371$), porcentaje de adultos desempleados ($p<0,0001$), porcentaje de familias con título de propiedad ($p=0,0422$) y porcentaje de familias con estructuras de almacenamiento de granos y semillas ($p=0,0475$) contribuyen significativamente al índice de vulnerabilidad global.

Cuadro 11. Resumen del estadístico Chi Cuadrado MV-G2 y su valor p del análisis con tablas de contingencia de los indicadores versus el índice de vulnerabilidad global

Indicador	Chi Cuadrado MV-G2	p
Area sobreutilizada	4,27	0,0387
Áreas agropecuarias en pendientes mayores al 30%	2,01	0,3667
Precipitación promedio en época de primera	3,46	0,0629
Precipitación promedio en época de postrera	3,10	0,0783
Condición de canícula	3,62	0,3053
Agua subterránea	2,28	0,5156
Número promedio de prácticas de conservación de suelo y agua que se realizan en las fincas	8,25	0,0162
Densidad poblacional	1,88	0,5984
Analfabetismo	1,06	0,5874
Nivel máximo de educación	0,28	0,5991
Número de instituciones presentes	2,75	0,0972
Porcentaje de programas y proyectos que se desarrollan	3,77	0,2874
Porcentaje de familias organizadas	0,85	0,3569
Ingreso familiar	10,77	0,013
Porcentaje de familias que se dedican a actividades agropecuarias	1,15	0,5639
Número promedio de actividades productivas agropecuarias que se realizan	8,48	0,0371
Porcentaje de adultos desempleados	29,26	<0,0001
Porcentaje de familias con acceso a créditos y/o financiamiento	0,28	0,8682
Porcentaje de familias con título de propiedad	6,33	0,0422
Porcentaje de familias con servicio de agua potable	4,37	0,2244
Calidad de abastecimiento del servicio de agua potable	4,76	0,1901
Porcentaje de familias con acceso a otras fuentes de agua	3,10	0,3763
Porcentaje de familias que realizan prácticas de conservación de suelo y agua	6,21	0,1018
Porcentaje de familias con estructuras de cosecha de agua	2,90	0,2345
Porcentaje de familias con estructuras de almacenamiento de granos y/o semillas	7,93	0,0475
Porcentaje de familias capacitadas en aspectos de sequía o temas afines	0,59	0,7438

En la **Figura 30** se observa que existe una fuerte relación del índice de vulnerabilidad alta en las comunidades de la subcuenca con los ingresos mensuales que tienen las familias, seguidos en orden de importancia por los porcentajes de áreas sobreutilizadas, los porcentajes de adultos desempleados, el número promedio de actividades productivas agropecuarias que se desarrollan, porcentajes de familias con estructuras de almacenamiento de granos y semillas, el porcentaje de familias con títulos de propiedad y en menor peso al número promedio de prácticas de conservación de suelo y agua en las fincas. En tanto que el índice de vulnerabilidad media en las comunidades de la subcuenca está más relacionado con los porcentajes de área sobreutilizada y al número promedio de prácticas de conservación de suelo y agua que se realizan en las fincas.

Figura 30. Gráfico de análisis de correspondencia que relaciona los indicadores más significativos con el índice de vulnerabilidad global.



2.4 Discusión

Las condiciones de índice de vulnerabilidad alta por factor biofísico, encontradas para la mayoría de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo responde principalmente a la sobreexplotación que sufren en su mayoría los suelos de la zona en relación con su vocación, acompañado éste del mal uso y manejo del suelo, así como del recurso hídrico. Se suman un comportamiento negativo y errático de las precipitaciones en relación a sus acumulados y distribución en las distintos subperiodos lluviosos y la poca disponibilidad de agua en fuentes de agua subterránea dando un gran aporte a los resultados obtenidos.

MARENA (2001) menciona que uno de los principales factores de presión sobre los bosques de Nicaragua es el cambio en el uso del suelo sin atender su mejor vocación y a consecuencia de la deforestación acelerada de los últimos 50 años, se planteaba que en la mayoría de los municipios del país existían problemas de abastecimiento y calidad de agua, mismas condiciones que en este estudio se evidencian siguen en aumento.

Vammen (2012) señala que existe un denominador común de deforestación en todas las microcuencas de la cuenca del río Viejo y específicamente que la situación de degradación ambiental de la subcuenca media es agravante, ya que es la zona más seca, por lo que surge la necesidad de priorizar la protección de los suelos por medio de la reforestación. La situación que se presenta en la subcuenca corresponde a la serie de perturbaciones asociadas del cambio climático global (Locatelli *et al* 2010).

En el estudio de caracterización realizado por MARENA-PIMCHAS (2008) se reporta que el 43,87% de la tierra en la subcuenca media del río Viejo se ubicaba en categoría de sobreuso del suelo, predominando sobre las otras categorías y señala en el estudio de “Áreas de Sensibilidad Ambiental” para la subcuenca (MARENA-PINCHAS 2011) que las microcuencas San Francisco de Jamailí, La Trinidad, Tomabú, La Cañada, La Laguna y Las Ánimas, presentaban más del 40% de su área en categoría sobreutilizada. Comparando con los valores de sobreuso de suelo obtenidos para este estudio puede decirse que en la subcuenca existe una continua degradación de los recursos naturales por sobreuso de suelo, cuyo aporte en el índice de vulnerabilidad a sequía de la zona es alto.

Gómez (2003) encontró evidencias sobre el uso inadecuado de los suelos en la subcuenca Aguas Calientes, perteneciente a la zona del Corredor Seco de Nicaragua donde existía un alto porcentaje del área con pendiente mayores al 30% que estaban siendo destinadas a cultivos agrícolas anuales, con escasas o nulas prácticas de conservación de suelos y agua, estando expuestas las mismas a altos niveles de escurrimiento superficial, erosión del suelo y baja infiltración del agua. Condiciones similares se encontraron en el presente estudio para la subcuenca media del río Viejo principalmente en las comunidades El Waylo, El Hornillo-La Lagunita, La Montañita, Las Tablas, La Cañada y San Antonio-San Pedro donde entre el 20 y 35% de sus áreas corresponden a intervenciones agropecuarias que exponen los recursos naturales a su continua degradación.

La baja precipitación y su irregular distribución en la época de primera en la subcuenca, permite considerar que las siembras de la época de primera contienen alto riesgo de pérdida de los cultivos por deficiencia hídrica (MARENA 2008). En la época de postrera según las estimaciones realizadas los acumulados de precipitación son un poco mejor, sin embargo, siempre se tiene la inseguridad de poder tener una buena producción, debido a la irregular distribución de las precipitaciones y la reserva de humedad en los suelos disponible para los cultivos, que pueden significar pérdidas totales en algunos cultivos y baja de rendimientos en otros. (Baethgen 1997 y MARENA 2008)

El déficit hídrico en los suelos de las comunidades con mayor periodo canicular (canícula acentuada y severa) puede alcanzar un grado de criticidad que se traduzca en afectaciones parciales o totales en la producción de los cultivos, principalmente cuando la canícula abarque las etapas de mayor demanda hídrica de los cultivos.

Zee *et al* (2012) en su análisis resume que en la región centroamericana, las afectaciones de la sequía se dan mayormente en el sector agropecuario y ubica en primer orden a la agricultura, seguido por la ganadería y en menor orden los sistemas de recarga de las fuentes de agua, basado en las características que presenta la precipitación, donde las eventualidades se relacionan más con la distribución anómala de la precipitación en el periodo lluvioso y que durante los eventos más críticos, la anomalía de las precipitaciones únicamente es aumentada por un déficit total anual, lo que pone en evidencia la vulnerable que es el sector agropecuario ante eventualidades de sequía.

Mansilla (2010) analiza un conteo de episodios de sequía registrados en la región centroamericana, donde se evidencia un predominio de los eventos de corta y mediana duración (de 1 a 3 meses) sobre los episodios extremos. Estos eventos de corta y mediana duración por sus características se relacionan a canículas prolongadas que han tenido sus efectos principalmente sobre la producción de granos básicos, actividad agrícola más desarrollada por los productores de la zona de estudio.

En relación con el indicador de presencia de agua subterránea se aclara que los resultados obtenidos están limitados a las áreas derivadas por los estudios de masificación hidrogeológica realizados por INETER en la región del Pacífico de Nicaragua (Krásný y Hecht 1998) y el realizado en la región central de Nicaragua (Castillo et al 2004). Por lo cual, en las comunidades donde no se observó presencia de agua subterránea es probable que está se encuentre a niveles más profundos o no fueron registradas en razón de las limitantes de los estudios realizados.

Las áreas donde se conoce que existen reservas de aguas subterráneas son relativamente muy pocas en relación con el área total de la subcuenca, lo que limita y expone a las comunidades en épocas de sequía, tomando en consideración que estas reservas son una alternativa importante para el abastecimiento de las necesidades hídricas humanas y agropecuarias.

El índice de vulnerabilidad alta y muy alta por factor socioeconómico que caracteriza la mayoría de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo se explica principalmente por la densidad poblacional, los bajos porcentajes de jefes de familia que han alcanzado niveles superiores de estudios a la primaria, los bajos números de programas y proyectos relacionados a sequía que se realizan en la mayoría de las comunidades, la pocas familias organizadas, los bajos ingresos, un importante número de la población que se dedica a actividades agropecuarias, el desempleo, el poco acceso que han tenido los pobladores a mecanismos de

crédito y financiamiento, la tenencia, el servicio de agua potable y su mal abastecimiento, pocas familias que realizan prácticas de conservación de suelo y agua, pocas familias que cuentan con estructuras de cosecha de agua y para almacenamiento de granos o semillas y la poca capacitación recibida por la población en temas relacionados a sequía. En contraste, los porcentajes de jefes de familia que no saben leer y escribir, el número de instituciones presentes, el número promedio de actividades agropecuarias y familias que tienen acceso a otras fuentes de agua tienen un efecto bajo en el incremento del índice de vulnerabilidad de la mayoría de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.

Conocer cómo se distribuye la población en la subcuenca media del río Viejo obtuvo gran importancia para este estudio ya que toda acción sobre los recursos de una comunidad que genere la mayor o menor vulnerabilidad ante una amenaza estará en dependencia de las necesidades de todos y cada uno de los habitantes. El índice de vulnerabilidad muy alto que se presenta en las comunidades La Laguna del municipio La Trinidad, Santa Cruz, La Ceiba, Tres Esquinas, Buena Vista y Monte Verde se explica en parte por la influencia que tomó este indicador en estas comunidades.

Se han encontrado condiciones similares al evaluar la vulnerabilidad socioeconómica en algunos estudios como el de Gómez (2003) que en su análisis de vulnerabilidad con énfasis en sequía en la subcuenca Aguas Calientes encontró un relevante incremento de la vulnerabilidad socioeconómica debido a los indicadores densidad poblacional, ingresos económicos, desempleo y el número de estructuras para para almacenar agua, granos y semillas.

Castro (2009) al analizar la vulnerabilidad de fuentes de agua de consumo humano y de las zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca la Concordia, perteneciente a la subcuenca alta del río Viejo, encontró una importante contribución a la vulnerabilidad global relacionada con los indicadores de tipo social (organización y participación), económicos (ingresos, desempleo, dependencia económica e instrumentos económicos de compensación relacionado a servicios ambientales) y educativos (Analfabetismo, capacitación y educación ambiental).

2.5 Conclusiones

A nivel general, las comunidades de la subcuenca media del río Viejo, se caracterizan con índice de vulnerabilidad alta, a excepción de las comunidades Los Carbonales, Las Limas, Sabana Larga-Ocotillo, Potrerillo, La Laguna y Rosario Arriba que se caracterizan con índice de vulnerabilidad media ante condiciones climáticas de sequía.

La situación del índice de vulnerabilidad a sequía que presentan las comunidades, se interpreta principalmente por el mal manejo que se le está dando a los recursos naturales (suelo, agua y bosque), a estas condiciones biofísicas se suman condiciones negativas de carácter socioeconómico importantes como son, la poca capacidad económica de las familias para responder a los impactos negativos que dejan las sequías, la baja diversificación de sus

actividades agropecuarias, la poca oportunidad de optar a empleos que le generen ingresos adicionales, los bajos porcentajes de familias con documentos legales de sus tierras y que cuentan con poca infraestructura que les permita almacenar sus productos (granos y semillas) de forma adecuada.

2.6 Recomendaciones

Se deben impulsar un mayor número de programas y proyectos que incentiven la implementación de tecnologías productivas agropecuarias que permitan minimizar los riesgos de pérdidas por sequía y adaptarse a las condiciones climáticas de la zona.

Promover e implementar constantemente prácticas de conservación de los recursos suelo, agua y bosque, que permitan mejorar el estado biofísico en que se encuentra la subcuenca media del río Viejo.

Las instituciones y organizaciones presentes en la zona deben definir estrategias y concertar acciones integrales y coordinadas que favorezcan el buen manejo y conservación de los recursos naturales.

Se debe incentivar a las familias para que tengan una mayor y mejor participación en las organizaciones locales y a la vez, permitirles alcanzar liderazgo para incidir en las acciones que se implementan en la subcuenca.

Es muy importante realizar y ejecutar un plan de ordenamiento territorial que asegure una planificación adecuada del uso del suelo en las zonas rurales, periurbanas y urbanas y a su vez permita la preservación de los recursos naturales.

Las autoridades locales pueden tomar de referencia este estudio con el fin de orientar sus estrategias y acciones con el fin de reducir el índice de vulnerabilidad a sequía de las comunidades de la subcuenca media del río Viejo.

2.7 Literatura citada

- Adger, WN. 2006. Vulnerability. *Global environmental change* 16(3):268-281.
- Aguilar, E; Prohom, M. 2013. ExtraQC Quality Control Software. (en línea). Tarragona, ES, Centre for Climate Change. 9 p. Consultado 5 oct. 2016. Disponible en http://www.c3.urv.cat/data/manual/Manual_rclimdex_extraQC.r.pdf
- Álvarez Estrada, AA; Gutiérrez Sánchez, R. 2014. Paso a paso en la adaptación al cambio climático en cuatro municipios del departamento de Madriz y la Región Autónoma Costa Caribe Norte. (en línea). s.l, Alianza por la Resiliencia. 6 p. Consultado 12 dic 2016. Disponible en http://lac.wetlands.org/Portals/4/Nicaragua/Nic-PfR-Estudio%20de%20caso%201_web.pdf
- Ávila García, P. 2008. Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México. *Ciencias* (90):46-57.

- Baethgen, WE. 1997. Vulnerability of the agricultural sector of Latin America to climate change *Climate research* 9:1-7.
- Balzarini, MG; Gonzales, L; Tablada, M; Casanoves, F; Di Rienzo, JA; Robledo, CW. 2008. *InfoStat software estadístico: Manual del usuario versión 2008*. Córdoba, Argentina, Editorial Brujas. 336 p.
- Bendaña, G. 2012. *Agua, agricultura y seguridad alimentaria en las zonas secas de Nicaragua*. Managua, NI, ACF/FAO. 288 p.
- Cáceres Johnson, K. 2001. *Metodologías para estimar degradación y vulnerabilidad a desastres naturales: aplicación a la microcuenca Los Naranjos, Lago de Yojoa, Honduras*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 124 p.
- Castillo H, E; Flores M, Y; Peña, E; Dávila L, R; Castro C, M; Ruiz, J; Castaño, R. 2004. *Estudio de mapificación hidrogeológica e hidrogeoquímica de la región central de Nicaragua*. Managua, NI, INETER. 170 p.
- Castro Brenes, JE. 2009. *Análisis de vulnerabilidad de fuentes de agua de consumo humano y de las zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca La Concordia, Jinotega, Nicaragua*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 78 p.
- CIRA (Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua); PIMCHAS (Programa Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento, CA). 2013. *Estudio de calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la subcuenca del río Viejo*. Managua, NI, 286 p.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Gonzalez, L; Tablada, M; Díaz, MP; Robledo, CW; Balzarini, MG. 2008. *Estadística para las ciencias agropecuarias*. Córdoba, Argentina, Brujas. 356 p.
- Dietsch, L; Mena, R; Torres H, RM; Picado, C; Urbina, A; Somarriba, A; Moncada, O. 2002. *Caracterización agrosocioeconómica de la zona seca de Nicaragua*. Managua, NI, UCA. 225 p.
- Domonkos, P. 2015. *ACMANT homogenization software: Manual version 3.0*. (en línea). España, Centre for climate change. 17 p. Consultado 5 oct. 2016. Disponible en http://www.c3.urv.cat/data/manual/Manual_rclimdex_extraQC.r.pdf
- Gómez Rivera, SN. 2003. *Análisis de vulnerabilidad con énfasis en sequía en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 78 p.
- GRUN (Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional, NI). 2010. *Estrategia nacional ambiental y del cambio climático: Plan de acción 2010-2015*. Managua, NI, 27 p.
- Gutiérrez, ME; Espinosa, T. 2010. *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: Diagnóstico inicial, avances, vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica*. Washington, DC, BID, . 84 p.
- INETER (Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales). 1998. *Mapa hidrogeológico: Managua, N.C. 16-15*. 2 ed. Managua, NI, Esc. 1:250.000. color.
- _____. 2004. *Mapa hidrogeológico: Estelí, ND 16-11*. Managua, NI, Esc. 1:250.000. color.

- INETER (Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales); INAFOR (Instituto Nacional Forestal, NI); MAG (Ministerio Agropecuario, NI); MARENA (Ministerio de Ambiente y Los Recursos Naturales, NI). 2015. Mapa de coberturas y usos de la tierra de la república de Nicaragua. Managua, NI, Esc. 1:750.000. color.
- INETER (Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales); UNA (Universidad Nacional Agraria, NI). 2015. Mapa de conflictos de uso de la república de Nicaragua. Managua, NI, Esc. 1:750.000. color.
- Jiménez, F; Velásquez, S; Faustino, J. 2004. Análisis integral de la vulnerabilidad a amenazas naturales en cuencas hidrográficas de América Central. *In* VI Semana Científica del CATIE (2004, Turrialba, CR). Resúmenes. p. 50-53.
- Jiménez, F. 2008. Estudio de caso y ejercicio sobre análisis de vulnerabilidad ante amenazas socionaturales en cuencas hidrográficas. Turrialba, CR, CATIE. 25 p.
- Klingebiel, AA; Montgomery, PH. 1961. Land-Capability Classification. Washington, D.C, USDA. 21 p. (Agriculture Handbook No. 210).
- Krásný, J; Hecht, G. 1998. Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la región del Pacífico de Nicaragua. Managua, NI, INETER. 154 p.
- Kreft, S; Eckstein, D; Melchior, I. 2016. Global climate risk index 2017. (en línea). 12 ed. Berlin, DE, Germanwatch e.v. 32 p. Consultado 10 dic. 2016. Disponible en <http://germanwatch.org/de/download/16411.pdf>
- La Gaceta. 1996. Ley general de medio ambiente y los recursos naturales. Managua, NI, Año C, No. 105.
- Locatelli, B; Brockhaus, M; Buck, A; Thompson, I; Bahamondez, C; Murdock, T; Roberts, G; Webbe, J. 2010. Forests and adaptation to climate change: challenges and opportunities (en línea). *In* G Mery; P Katila; G Galloway; R Alfaro; M Kanninen; M Lobovikov; J Varjo. eds. Forests and society-Responding to global drivers of change. Vienna, Austria, IUFRO. p. 21-42. Consultado 25 feb. 2017. Disponible en <http://www.iufro.org/science/special/wfse/forests-society-global-drivers>
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 2013. Plan de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en el sector agropecuario, forestal y pesca en Nicaragua. Managua, NI, 131 p.
- Mansilla, E. 2010. Elementos y patrones constitutivos del riesgo de sequia en america central. s.l, ISDR. 37 p.
- MARENA (Ministerio de Ambiente y Los Recursos Naturales, NI). 2008. Informe síntesis: Evaluación de la vulnerabilidad actual de los sistemas recursos hídricos y la agricultura ante el cambio climático en la cuenca No. 64. Managua, NI, 39 p.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales, NI). 2001. Informe del estado ambiental en Nicaragua. Managua, NI, 118 p.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales, NI); PIMCHAS (Programa Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento,CA). 2008. Caracterización y diagnóstico de la parte media de la subcuenca del río Viejo: Río La Trinidad. La Trinidad, NI, 59 p.

- _____. 2011. Áreas de sensibilidad ambiental y social de la subcuenca del río Viejo. Estelí, NI, 34 p.
- Meza, L; Corso, S; Soza, S. 2010. Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile: Estudio piloto sobre la vulnerabilidad y la gestión local del riesgo. Santiago,CL, FAO. 117 p.
- Milan Pérez, J. 2009. Apuntes sobre el cambio climático en Nicaragua. Managua, NI, Bolonia Printing. 231 p.
- Obando, M. 2011. Estructura e infraestructura productiva en zonas rurales pobres de Nicaragua. (en línea). Managua, NI, Programa Estado de la Nación. 37 p. Consultado 19 enero 2016. Disponible en http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/otras_publicaciones/Pobreza%20OruralCA/Informes/Informe%20productivo%20y%20mercados%20-%20NICARAGUA.pdf
- Ramírez, D; Ordaz, J; Mora, J; Acosta, A; Serna, B. 2010. Nicaragua: Efectos del cambio climático sobre la agricultura. México, DF, CEPAL. 68 p.
- Reyes Sandoval, WM. 2003. Vulnerabilidad a desastres naturales, determinación de áreas críticas y propuesta de mitigación en la microcuenca del Río Talgua, Catacamas, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 116 p.
- Robleto Molina, J. 2013. Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en Nicaragua. Managua, NI, s.e. 3 p.
- Vammen, K. 2015. Conclusiones del estudio “Calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la subcuenca del río Viejo”; aportes para lograr un estado ambientalmente equilibrado en beneficio a la población. *Universidad y Ciencia* 6(9):24-30.
- WB (World Bank, US). 2012. Can small farmers protect themselves against bad weather? . (en línea). Washington, DC, 4 p. (From evidence to policy). Consultado 14 nov 2016. Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/22638/713920BRI0E2P007023020120Box370072B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wilches-Chaux, G. 1993. La vulnerabilidad global. In Maskrey, A. ed. Los desastres no son naturales. Bogotá, CO, LA RED. p. 11-44.
- Zee Arias, A van der; Zee, J van der; Meyrat, A; Poveda, C; Picado, L. 2012. Estudio de caracterización del "Corredor seco" centroamericano (comprende los países CA-4): Anexos. Managua, NI, FAO. Tomo 2, 226 p.
- Zulaica, L; Ferraro, R. 2016. Vulnerabilidad socioambiental en Monte Caseros, Corrientes: aportes al estudio de las problemáticas socio-espaciales de la localidad. *Journal de Ciencias Sociales* 4(7):93-114.

3 ARTÍCULO II. PROPUESTA DE SITIOS CON POTENCIAL PARA LA COSECHA DE AGUA DEMANDADA POR LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA FAMILIAR EN LAS MICROCUENCAS LAS ÁNIMAS Y LOS CHAGÜITES, SUBCUENCA MEDIA DEL RÍO VIEJO, LA TRINIDAD, ESTELI, NICARAGUA

RESUMEN

En las zonas secas de Nicaragua se hace evidente el déficit de agua existente para abastecer las necesidades hídricas de la actividad agropecuaria y también, el gran potencial existente en la producción de aguas superficiales, principalmente debido a los grandes volúmenes de escorrentía que se producen durante eventos de lluvia en la época de invierno, la cual se pierde normalmente en su transporte por medio de cauces a depósitos finales como lagos y mares, ya que no existe una gestión, ni manejo del recurso que permita ser aprovechado para abastecer los déficits de agua existente. En las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites se plantea una problemática en relación con la pérdida y baja producción en la actividad agropecuaria, debido a la poca disponibilidad de agua. Ante las condiciones adversas que se presentan durante el gobierno de Nicaragua a nivel nacional ha tomado acciones para cumplir con el Plan Nacional de Desarrollo Humano 2012-2016 impulsando la captación y el almacenamiento de agua de lluvia y su uso para la agricultura y otros fines, en conjunto con la cooperación Suiza a través del “Proyecto de cosecha de agua para la adaptación de la agricultura al cambio climático en Nicaragua”. En este sentido, el presente estudio plantea una metodología de identificación y caracterización de sitios para cosecha de agua en la que por medio de un taller participativo con productores de las microcuencas se hizo una primera aproximación para definir posibles sitios, los cuales a su vez fueron caracterizados, el proceso se complementó con recorrido y levantamiento de campo en compañía de los productores y además, con la evaluación de datos de Sistema de Información geográfica disponibles de la zona. Por otro lado, también se realizó una evaluación de potencial de agua existente para la cosecha de agua determinándose la demanda de agua de los cultivos y los requerimientos pecuarios en las fincas donde se ubican los sitios identificados y se comparó con la disponibilidad de agua por escorrentía de las áreas de drenaje de dichos sitios la cual se estimó con el modelo HEC-HMS, haciendo uso de los datos de precipitación diaria de la estación San Lorenzo II. También fue posible plantear una propuesta de obra para cosecha de agua en cada sitio para abastecer todo el déficit agropecuario de las fincas y una segunda propuesta ajustada a la disponibilidad de espacio de los sitios identificados, el diseño de estas obras se realizó con base en el modelo HEC-HMS. Un análisis de sensibilidad del modelo fue realizado para evaluar los parámetros utilizados. Fue posible la identificación de 11 sitios, los cuales presentan áreas de drenaje con buen potencial para abastecer las necesidades hídricas agropecuarias. El empleo del HEC-HMS permitió realizar propuestas de diseño conceptuales de las obras de cosecha de agua con un parámetro NC sensible en su variación para la estimación de la escorrentía, pero al igual que los otros parámetros componen un modelo con buenos resultados.

Palabras clave: déficit de agua, necesidades hídricas, actividad agropecuaria, identificación y caracterización de sitios, cosecha de agua, potencial de escorrentía, modelo HEC-HMS.

3.1 Introducción

En comparación con distintos países del mundo, Nicaragua es un país especialmente privilegiado en recursos hídricos, pero ha sido catalogado en situación de escasez de agua en relación con su distribución y disponibilidad, debido al mal uso y aprovechamiento del recurso y la contaminación de los cuerpos de agua principal mente sus fuentes de agua superficiales (Vammen *et al* 2012). Es evidente la gran degradación ambiental del recurso al observar en el territorio: ríos sedimentados, distintas fuentes secas durante gran parte del año, pérdida de capacidad de infiltración de los suelos y la mayor frecuencia de las sequías. (Zee 2012)

La gran importancia que radica en el agua para el desarrollo del ser humano, los animales y las plantas, hace necesario garantizar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuada (Cajina y Faustino 2007, Ramakrisnan *et al* 2009, Ghani 2013), sin embargo, llevar a concretar esta gestión requiere contar con buenos recursos financieros (Vammen *et al* 2012), lo cual es una gran limitante en el país principalmente en las zonas rurales donde hay un predominio de personas pobres y en extrema pobreza (Obando 2011, World Bank 2012). Como alternativas económicas y muy fáciles de implementar Cajina (2006), Cajina y Faustino (2007), Lara *et al* (2007), Gualdrón (2014) y Rojas (2015) proponen la implementación de obras de cosecha de agua.

En todo el mundo, para territorios ubicados en zonas secas y que presentan escasez de agua como las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites de la subcuenca media del río Viejo en Estelí, Nicaragua se ha considerado el agua de lluvia como una fuente alternativa para abastecer las distintas necesidades hídricas que padece la población local. (Elewa *et al* 2012, Isioye *et al* 2012, Ziadat *et al* 2012, Mahmoud 2015, Ammar *et al* 2016, Javaid *et al* 2016)

Para el aprovechamiento de esta fuente es fundamental la identificación de sitios con las características biofísicas y socioeconómicas más adecuadas para implementar obras de cosecha de agua que mejor se adapten y permitan realizar la captación y el almacenamiento de agua de forma eficiente (Gupta 1997, Bamne *et al* 2014, Ramakrisnan *et al* 2009, Buraihi y Mohamed 2015). Es también muy importante para la sostenibilidad de las obras el diseño que garantice el buen aprovechamiento del agua y el buen uso del recurso (M. Shinde y I. Smout 2004, Ramakrisnan *et al* 2009).

Los bajos rendimientos de la producción agropecuaria en zonas áridas y semiáridas del mundo con poca o muy bajas precipitaciones (300 – 800 mm, o menos) es bien conocida por lo que contar con obras de cosecha de agua para retener las aguas pluviales que se generan en escorrentía son necesarias para la implementación de riego suplementario de los cultivos que permita mejorar la productividad agrícola. (Lara *et al* 2007)

En este estudio se ha propuesto realizar una identificación y caracterización de sitios para la cosecha de agua en fincas de las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites haciendo un primer acercamiento mediante consulta realizada a productores en un taller participativo y

complementada con una evaluación de campo y procesamiento de datos de sistemas de información geográfica (SIG). Del mismo modo, se ha planteado conocer el potencial de escorrentía existente en el área de drenaje de los sitios identificados y una propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua.

3.2 Metodología

3.2.1 Localización y descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la subcuenca media del río Viejo, centrándose en el territorio de las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites (Figura 29), ambas pertenecientes al municipio La Trinidad. La microcuenca Las Ánimas tiene un área de 12,49 Km² (1.249 ha), un perímetro de 17,12 Km, el rango de elevaciones varía de 566 a 1000 msnm y su población es de 956 habitantes que se distribuyen en 250 familias. El área de la microcuenca Los Chagüites es de 40.22 Km² (4.022 ha), con un perímetro de 32.11 Km, un rango de elevaciones que varía de 540 a 1182 msnm y una población de 459 habitantes que se distribuyen en 119 familias. (MARENA-PIMCHAS 2008)

La precipitación promedio en las microcuencas es de 848.3 mm al año, siendo el mes más seco enero con 1,7 mm y el mes más lluvioso septiembre con 169,5 mm de lluvia (datos del registro pluviométrico continuo de 31 años en la estación San Lorenzo II ubicada en la microcuenca los chagüites), la temperatura media mensual oscila entre 24 y 27 °C, siendo en teoría abril el mes más cálido del año y enero el mes más frío (basado en el registro de 15 años continuos de la estación Raúl González, la más cercana a las microcuencas que presenta este tipo de datos).

Figura 31. Mapa de localización del área de estudio: Microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites



La cobertura y uso de la tierra predominante en las microcuencas son los bosques latifoliados (ralos y densos) y los pastos. Estas últimas comprenden las tierras dedicadas a pastoreo permanente por un periodo de dos o más años e incluye áreas con pasto mejorado, pasto natural, pasto con maleza y parcelas de cultivo en descanso (áreas agropecuarias). En la microcuenca Las Ánimas los bosques cubren el 38.7 % de su área y las áreas agropecuarias corresponden al 46.4 %, en el caso de la microcuenca los chagüites estos porcentajes son 28.8% y 39.5% respectivamente. (INETER et al. 2015)

3.2.2 Identificación y caracterización de sitios para la cosecha de agua

Se realizó un taller participativo con productores de las microcuencas Las Ánimas y los Chagüites. En este taller, como primer ejercicio, se elaboró un mapa participativo del territorio de las microcuencas, siguiendo la metodología del mapa de recursos naturales y uso de la tierra. (Geilfus 2002)

Se entregó por grupo de productores un mapa base de las microcuencas, el cual fue complementado por los participantes plasmando su visión del uso de la tierra, los recursos naturales, población y la producción agrícola y pecuaria. Se realizó un cuestionario mediante lluvia de ideas preguntando a los participantes ¿Cuál es la importancia de captar agua de lluvia? ¿En las microcuencas Las Ánimas y los Chagüites se puede captar agua de lluvia? ¿Dónde se puede captar agua de lluvia? y ¿Qué uso puede dársele al agua de lluvia captada?

En el taller se presentó una breve descripción de la importancia de las cuencas hidrográficas en la captación de agua de lluvia, se facilitó información sobre lo que se conoce de las microcuencas de estudio, precipitación promedio anual, temperatura promedio, pendiente, área total de cada microcuenca, vulnerabilidad a sequía e información de suelo. Todo esto con el fin de crear ideas en los participantes sobre criterios, a partir de los cuales organizados en grupos pudieran identificar y caracterizar las áreas con potencial para captar y almacenar agua para la producción agropecuaria utilizando una adaptación de la metodología participativa del mapa de servicios y oportunidades. (Geilfus 2002)

Finalmente, en el mapa participativo del territorio de las microcuencas, previamente elaborado, se pudo identificar y caracterizar las áreas con potencial para captar y almacenar agua de lluvia que pueda utilizarse para satisfacer necesidades hídricas demandadas por la producción agropecuaria. En el mapa se mostró un sitio para la microcuenca Las Ánimas y dos sitios para la Microcuenca Los Chagüites, donde por criterios técnicos presentaban potencial para la construcción de tecnologías de cosecha de agua y se les solicitó a los participantes que en base a sus criterios mencionaran las características que estos sitios ofrecían para la cosecha de agua. Posteriormente se les consultó a los participantes identificar en el mapa otros sitios que ellos consideraban deberían ser seleccionados para la cosecha de agua e igualmente que mencionaran los beneficios o características por lo cual estos otros sitios tienen potencial para ser seleccionados para la cosecha de agua.

Los sitios señalados en los mapas participativos de las microcuencas fueron levantados en campo mediante el uso de un GPS, con el que se registrarán coordenadas y elevación, esto se realizó mediante recorrido por las microcuencas en compañía de informantes claves que conocen el territorio. Con el uso del ArcGis se elaboró mapa donde se muestra la ubicación georreferenciada de cada sitio.

3.2.3 Estimación de la demanda de agua agropecuaria en las fincas

Para la estimación de la demanda de agua, primeramente, se hizo necesario tener información del área de estudio del uso del suelo en cuanto a cultivos agrícolas y producción pecuaria, la cual se tomó de la caracterización de los sitios identificados para la cosecha de agua.

Respecto a cultivos agrícolas existentes en la zona de estudio, se estimaron el uso consuntivo basado en el cálculo por medio de la expresión (Allen et al 1998, 2006; Wambeke et al 2013):

$$ET_c = K_c * ET_0$$

Donde ET_c es el uso consuntivo o requerimiento de agua de un cultivo dado en mm por unidad de tiempo (mm/día, mm/mes o mm/estación), K_c el factor del cultivo, este depende de la especie o variedad cultivada y de la etapa de crecimiento de la planta (Cuadro 12) y ET_0 la evapotranspiración del cultivo de referencia en mm por unidad de tiempo.

Cuadro 12. Factores de cultivo (K_c).

Cultivo	K_c inicio	K_c medio	K_c fin	K_c global
Maíz	0,30	1,15	1,05	0,85
Frijol	0,40	1,15	0,35	0,65
Sorgo	0,30	1,05	0,55	0,65
Sandía	0,40	1,00	0,75	0,7
Pipián	0,50	0,95	0,75	0,75
Pepino	0,50	1,00	0,75	0,75
Ayote	0,50	1,00	0,80	0,75
Tomate	0,60	1,15	0,80	0,85
Chiltoma	0,60	1,05	0,90	0,85
Frutales	0,70	0,65	0,70	0,70
Musáceas	0,50	1,10	1,00	0,85

Fuente: Allen *et al* 2006

Para estimar la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia se utilizó el método de Penman-Monteith, el cual ha sido reportado a nivel global que genera resultados relativamente exactos y consistentes tanto en climas áridos como en húmedos y además es el recomendado por la FAO como método estándar de cálculo. (Allen *et al* 1998, 2006)

$$ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \left(\frac{e_s - e_a}{r_a} \right)}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$

Donde R_n es la radiación neta, G es el flujo del calor en el suelo, $(e_s - e_a)$ representa el déficit de presión de vapor del aire, ρ_a es la densidad media del aire a presión constante, c_p es el calor específico del aire, γ representa la pendiente de la curva de presión de vapor de

saturación, e_s es la constante psicrométrica, r_s la resistencia superficial y r_a la resistencia aerodinámica.

La estimación se realizó usando el software ETo Calculator desarrollado por FAO para resolver la ecuación del método (Raes 2012). Ya que en las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio se carece de los datos necesarios, para este estudio se hizo la estimación basada en datos meteorológicos de la base de datos globales del NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) la cual cuenta con un conjunto de registros continuos (Saha *et al* 2014). Actualmente se pueden obtener registros de 36 años correspondiente de 1979 a 2014, CFSR ha demostrado presentar buenos resultados en relación a datos observados y presentan una opción viable para la estimación de parámetros climáticos e hidrológicos en zonas con escasez de datos. (Fuka *et al* 2013, Dile y Srinivasan 2014)

Para la demanda de agua por producción pecuaria se tomó en consideración el promedio de consumo por día de cada especie (**Cuadro 13** por el número de animales existentes. La suma de todos los productos por especie permitió estimar la demanda total pecuaria. (Wambeke *et al* 2013)

Cuadro 13. Consumo diario de agua de especies animales.

Especie	Demanda de agua (l/día)
Bovino	45
Equino	38
Caprino	6
Porcino	11
Aves	0,23

Fuente: Wambeke *et al* 2013

3.2.4 Estimación del déficit de agua en la actividad agropecuaria de las fincas

Dentro del déficit de agua en la actividad agropecuaria, el déficit agrícola se estimó tanto para el ciclo vegetativo de los cultivos en época de primera como para la época de postrera, lo cual consistió en realizar el balance existente entre la lluvia de diseño (Pd) y el requerimiento de agua de los cultivos (ETc), de modo que se considera que existe déficit si Pd es menor que ETc (Wambeke *et al* 2013).

El déficit pecuario se estimó como escases de agua total para el periodo seco de seis meses, característico de la zona de estudio (MEFCCA *et al* 2016).

3.2.4.1 Estimación de la lluvia de diseño

Para conocer la lluvia que permitirá satisfacer el requerimiento de agua de los cultivos fue necesario conocer la fecha de siembra de los cultivos en la zona de estudio la cual está en directa dependencia del comportamiento de las precipitaciones en la época lluviosa, presentándose así dos periodos para el desarrollo de cultivos, una época de primera que

corresponde de mediado de mayo a finales de julio y una época de postrera que corresponde desde mediado de agosto hasta finales de octubre y que muchas veces se puede prolongar a mediados de noviembre (Gómez 2003, MARENA-PIMCHAS 2008, Bendaña 2012).

Se consideró también la duración del ciclo vegetativo del cultivo, en el caso del maíz se tomó en consideración la variedad NB-S (100 días de madurez) recomendadas para zonas secas como el departamento de Estelí (INTA 2010), el frijol la variedad INTA-Rojo que se puede cultivar en todo el país (INTA 2009). Esta información se complementó con los estimados por FAO en dependencia de las zonas climáticas (Allen 2006). El valor del ciclo vegetativo de cada cultivo se obtuvo del **Cuadro 14**.

Cuadro 14. Duración del ciclo vegetativo del cultivo

Cultivo	L inicio	L medio	L fin	L global
Maíz	30	60	10	100
Frijol	20	45	10	75
Sorgo	20	75	30	125
Sandía	20	60	30	110
Pipián	25	60	15	100
Pepino	20	70	15	105
Ayote	20	60	20	100
Tomate	25	80	25	130
Chiltoma	25	80	25	130

Fuentes: Allen *et al* 2006, INTA 2009 y INTA 2010

Se procedió a estimar una lluvia con una probabilidad de excedencia del 75% recomendada para zonas semiáridas y subhúmedas (Wambeke *et al* 2013), como es el caso de la zona de estudio donde se tiene una alta variabilidad de la precipitación. La estimación se basó en los datos de precipitación mensual de la estación San Lorenzo II, cercana a la zona de estudio con un registro histórico continuo de 34 años (1980 al 2013). La probabilidad de los valores observados se calculó mediante la siguiente ecuación, la cual representa un método sencillo para estimar el volumen de lluvia para diferentes niveles de probabilidad. (Critchley *et al* 1991, Veenhuizen 2000, Wambeke *et al* 2013)

$$P = \frac{m - 0,375}{N + 0,25} \times 100$$

Donde P es la probabilidad en porcentaje, m es el número de orden y N el número total de observaciones.

Se realizó el cálculo de la precipitación efectiva que se puede utilizar para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos en crecimiento siguiendo la metodología del USDA-SCS, basado en las ecuaciones que se muestran a continuación, las cuales son fácil de resolver si tiene la precipitación mensual y el requerimiento de agua del cultivo (Martín y Gilley 1993).

Este es un método muy utilizado por su simplicidad y según Hess (2010), no requiere calibración local.

$$P_{ef} = SF(0,70917Pt^{0,82416} - 0,11556)(10^{0,02426ETc})$$

$$SF = (0,531747 + 0,295164D - 0,057697D^2 + 0,003804D^3)$$

Donde P_{ef} es la precipitación efectiva mensual, Pt la precipitación pluvial mensual, ETc la evapotranspiración del cultivo, SF el factor de almacenamiento de agua en el suelo, y D es el agua útil almacenada en el suelo.

La lluvia de diseño corresponde a la de menor valor entre la lluvia con probabilidad de excedencia del 75% y la lluvia efectiva, la cual se estimó de forma mensual en razón del ciclo vegetativo de los cultivos de la zona de estudio.

3.2.5 Estimación del agua disponible

Para la estimación del agua disponible primeramente se delimitaron las áreas de drenaje de los sitios con el programa Arc Gis en su versión Arc Gis 10.4.1 haciendo uso del modelo de elevación digital (MED) y la red de drenaje, se obtuvo así el área de aporte de cada sitio y las longitudes de los cauces principales. Luego se hizo la estimación de los volúmenes de escorrentía promedio que se producen en las áreas de drenaje de los sitios, usando el modelo hidrológico HEC-HMS en su versión HEC-HMS 4.2, este es un modelo de lluvia escorrentía, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (USACE), diseñado para ser aplicado en una amplia gama de áreas geográficas para resolver distintos problemas que se generan en una cuenca hidrográfica, como la disponibilidad de agua, avenidas máximas y la estimación del escurrimiento en pequeñas áreas urbanas o rurales (USACE 2016).

HEC-HMS es una herramienta sencilla y muy utilizada debido a que ofrece una serie de métodos que permiten una buena estimación de la escorrentía que se produce en una cuenca. (Oleyiblo y Li 2010, González *et al* 2011, Magaña *et al* 2013) La simulación hidrológica para estimar la producción de escorrentía de este estudio se basó en el método del número de curva (NC) desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los estados unidos USDA-SCS usado para predecir el volumen de escorrentía directa para un evento de lluvia dado (Mockus 1964, USDA-NRCS 2004), muy utilizado en la modelación hidrológica y ambiental debido a su simplicidad y los datos que se requieren. (Ponce y Hawkins 1996, 2015; López 2001; Woodward *et al* 2002)

Debido a que el método ofrece la representación de la condición media de la cuenca en relación con sus características físico-geográficas, entre más homogénea sea el área de la cuenca la confiabilidad de los resultados es mayor. (López 2001, Estrada y Pacheco 2012) Su mejor aplicación se relaciona con cuencas agrícolas. (López 2001, Halwatura y Najim 2013)

La transformación de la lámina de exceso de lluvia a hidrograma de escorrentía directa, se realizó en base al hidrograma unitario del USDA-SCS (USDA-NRCS 2007). Es un método de fácil aplicación y ofrece buenos resultados al combinarse con el método del número de curva (Estrada y Pacheco 2012), el modelo HEC-HMS para la aplicación de este método únicamente solicita ingresar el tiempo de retardo, el cual es 0,6 del tiempo de concentración, por lo cual se calculó el tiempo de concentración mediante el método de Kirpich expresado en la siguiente ecuación, aplicable para pequeñas cuencas agrícolas. (Thompson 2006, Fang *et al* 2008)

$$T_c = 0.0195 \left(\frac{L^{1.1}}{H^{0.3}} \right)$$

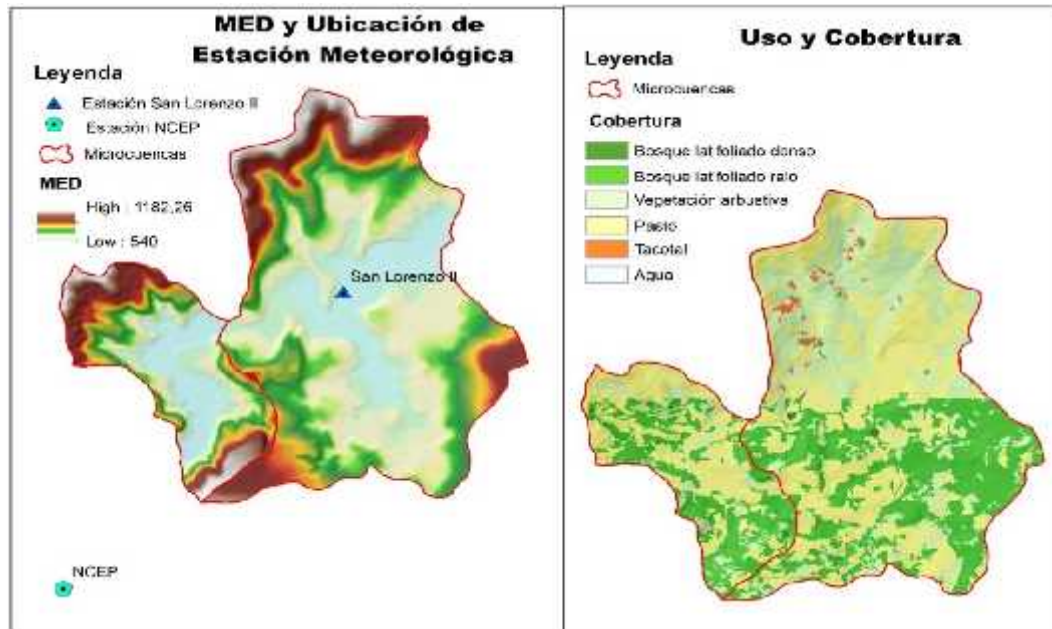
Donde T_c es tiempo de concentración en minutos, L es la máxima longitud del recorrido del agua en metros y H el desnivel entre el punto más alejado y la salida del agua en metros.

Para la aplicación del modelo en el presente estudio la topografía que describe el área de drenaje está dada por el modelo de elevación digital (MED) que se generó a partir de los archivos shape de las curvas de nivel a cada 20 m, capa de cerros y red de ríos de la subcuenca media del río Viejo (MARENA-PIMCHAS 2008). El uso y la cobertura de la tierra se obtuvo directamente del mapa nacional de coberturas y usos de la tierra con resolución espacial en tamaños de celda de 5X5 metros (INETER, *et al.* 2015). Los usos y coberturas que se obtuvieron del mapa tuvieron que reclasificarse de acuerdo a la descripción de coberturas de la tierra establecidas en las tablas del método del número de curva. Se clasificó los suelos de las áreas de drenaje por grupo hidrológico del método del USDA-SCS en base al mapa nacional de textura de suelos (MAGFOR 2013a). Según el mapa todas las áreas de drenaje presentan suelos con textura franco-arcillosa.

Se utilizaron los datos de precipitación diaria del registro histórico de la estación meteorológica San Lorenzo II del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), por ser la más cercana al área de estudio, el registro corresponde a 31 años (1983 al 2013). A partir de estos datos de precipitación se estimó la precipitación media para cada día del año y así generar con el HEC-HMS la escorrentía media que se produce en la cuenca tanto para la época de primera como para la época de postrera.

En la **Figura 32**, se puede observar el comportamiento de la topografía por medio del MED, la ubicación de la estación meteorológica y también apreciar el uso y la cobertura de los suelos de las microcuencas las Ánimas y los Chagüites.

Figura 32. MED y ubicación de estación meteorológica - uso y cobertura en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites.



3.2.6 Propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua

Conocido el potencial de escorrentía existente en las áreas de drenaje de cada uno de los sitios identificados, se hizo una propuesta de dimensionamiento de las obras de cosecha de agua, determinando las capacidades conforme al balance de los volúmenes requeridos para satisfacer la demanda y las pérdidas que se puedan generar por evaporación, considerando que las obras van a ser impermeabilizadas. (Salinas 2010, MVOTMA 2011)

Se estima la evaporación por el método combinado aerodinámico y de balance de energía (Chow *et al* 1988), tomando de referencia la base de datos globales del NCEP. Por balance de energía la evaporación se estimó en base a las siguientes ecuaciones

$$E_r = \frac{Rn}{l_v \cdot w}$$

$$l_v = 2,501 \times 10^6 - 2,370T$$

Donde E_r es la evaporación que se produce debido a la fuente de energía calórica, Rn es la radiación neta, l_v es el calor latente de vaporación, w es la densidad del agua y T es la temperatura media.

En razón de las condiciones aerodinámicas la evaporación se estimó con base en las ecuaciones.

$$E_a = B (e_{as} - e_a)$$

$$B = \frac{0,622K^2 \rho_a u_2}{\rho \rho_w [\ln(z_2/z_0)]^2}$$

$$e_{as} = 611 \exp\left(\frac{17,27T}{253,3+T}\right)$$

$$e_a = R_h e_{as}$$

Donde E_a es la evaporación debido a las condiciones aerodinámicas, B el coeficiente de transferencia de vapor, K es la constante de Von Karman que usualmente es 0,4, ρ_a es la densidad del aire, u_2 es la velocidad del viento, p es la presión atmosférica, ρ_w es la densidad del agua, z_2 es la altura de medición del viento, z_0 altura de rugosidad en superficies naturales, e_{as} presión de vapor en la superficie o de saturación, T es la temperatura media, e_a presión de vapor en el aire o real y R_h es la humedad relativa.

Finalmente, la evaporación ponderada se determinó mediante el método combinado (Chow *et al* 1988), el cual se expresa en las ecuaciones.

$$E = \frac{E_r}{\Delta} + \frac{E_a}{\Delta}$$

$$\Delta = \frac{4,098e_a}{(237,3 + T)^2}$$

$$\gamma = \frac{C_p K_h p}{0,6221_v K_w}$$

Donde E es la evaporación, Δ es el gradiente de la curva de presión de saturación del vapor, γ es la constante psicrométrica, C_p es el calor específico, K_h es la difusividad de calor y K_w difusividad de vapor, la relación K_s/K_w se toma comúnmente como 1.

Se realiza una modelación hidrológica en HEC-HMS, para dimensionar la obra de exceso ante cualquier amenaza de evento extremo, considerando un evento máximo de dos días de duración (Rivera 2002, Salgado 2005, USACE 2015). El evento de frecuencia corresponde a 10 años de periodo de retorno, dada la importancia de las obras (Salinas 2010), estimándose las profundidades de precipitación parcial a partir de las curvas IDF generadas en base a los datos diarios de la estación San Lorenzo, para esto se utilizó hoja de cálculo en Excel de la plataforma HidrojING (Oliveras 2013), que estima las curvas IDF, cuando únicamente se tienen registros de pluviómetros basándose en las predicciones de lluvia horaria y diaria, obtenidas a partir de las fórmulas de Bell y Chen. (Campos y Gómez 1990, Campos 2012)

Para este modelo se realizó un análisis de sensibilidad, en el cual mediante la herramienta Uncertainty Analysis Manager del HEC-HMS se creó un muestreo automático de los parámetros del modelo (USACE 2016). El análisis se configuró para que se generaran resultados de 500 modelos alternativos de estimación de la avenida máxima debido a los parámetros que describen las áreas de drenaje y niveles de elevación máximo en el caso de los parámetros que caracterizan a los reservorios, esto se realizó de forma independiente para cada

parámetro de influencia en el modelo, posteriormente a partir de los resultados obtenidos, se determinó el índice de sensibilidad mediante la ecuación descrita por Nearing *et al* (1989).

$$IS = \left| \frac{(O_{Máx} - O_{Mín})/O_M}{(I_{Máx} - I_{Mín})/I_M} \right|$$

Donde $I_{Máx}$ es el valor máximo del parámetro a analizar, $I_{Mín}$ es el valor mínimo del parámetro, I_{med} es el valor medio del parámetro, $O_{Máx}$ es el valor máximo de la variable de salida, $O_{Mín}$ es el valor mínimo de la variable y O_{med} es el valor medio de la variable.

3.3 Resultados

3.3.1 Identificación y caracterización de sitios para la cosecha de agua

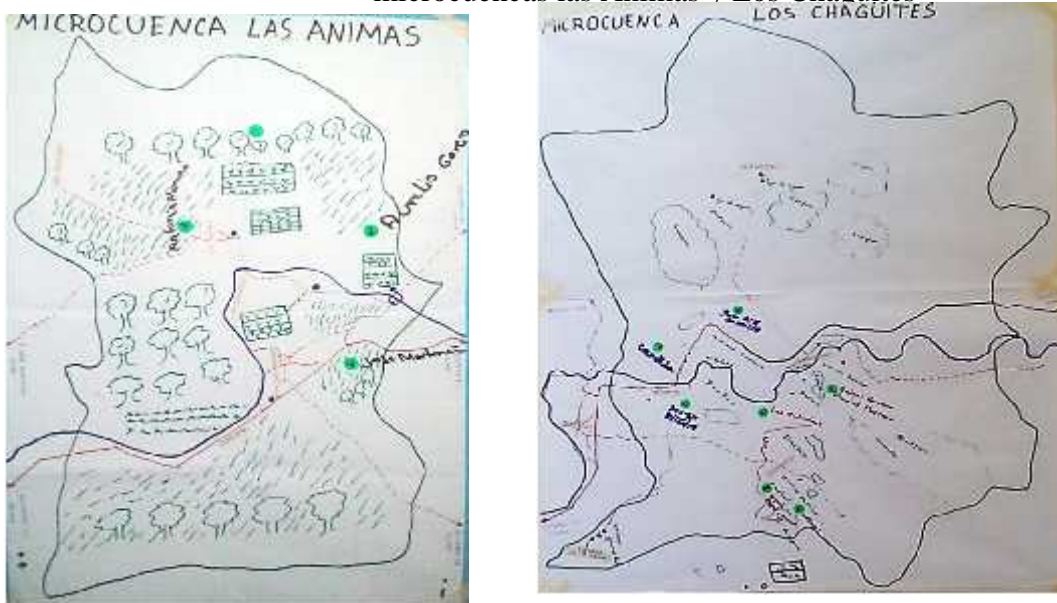
Del taller participativo realizado con productores de las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites se lograron identificar y caracterizar 11 sitios para la cosecha de agua, de estos sitios, 7 pertenecen a la microcuenca Los Chagüites y 4 a la microcuenca Las Ánimas. Del ejercicio realizado con los productores de estas dos microcuencas para la identificación de los sitios se obtuvo el mapa de la **Figura 33** para cada una de las microcuencas, donde los participantes han caracterizado el territorio y ubicado los sitios que ellos han identificado ofrecen potencial para la cosecha de agua.

De la caracterización realizada, los productores de la microcuenca Las Ánimas consideran que su principal fuente de agua es el río La Trinidad donde extraen el recurso para hacer riego de hortalizas y aguar ganado, pero según los productores no es un recurso perenne ya que se seca para el periodo de verano producto de las pocas precipitaciones del periodo de invierno, además cuentan con una serie de pozos artesanales privados que son utilizados para el riego y también con un proyecto de agua potable que abastece todas las comunidades de Las Gavetas y Las Lomas de forma permanente. En el territorio se considera un predominio del suelo franco arcilloso, con pocos afloramientos rocosos, utilizados para el cultivo de granos básicos, hortalizas, pastos y frutal. El bosque de esta microcuenca se caracteriza por ser seco, entre las especies que más predominan están Brasilillo (*Diphysa carthagenensis*), Madero negro (*Gliricidia sepium*), Jiñocuabo (*Bursera simaruba*), cedro (*Cedrela odorata*).

Los productores de la microcuenca Los Chagüites consideran que entre sus fuentes de agua que tienen para satisfacer sus necesidades hídricas están 18 pozos de tipo permanente que utilizan para el riego de hortalizas, aguar el ganado y en algunos casos para el consumo humano, 2 pozos públicos que abastecen parte de las comunidades de la microcuenca, 4 ojos de agua y el río La Trinidad de tipo semipermanente, donde extraen para hacer riego de hortalizas y aguar ganado. Los suelos que predominan son los arcilloso y franco arcilloso con afloramientos rocosos, para el cultivo de granos básicos, hortalizas, pastos y frutales. Existen pequeñas zonas montañosas y predominan los tacotales.


Ambas microcuencas se consideran una población en la que predomina el pequeño productor, dedicado principalmente a la producción anual de cultivos de granos básicos y pequeñas áreas de hortalizas, también tienen la actividad pecuaria que involucra la crianza de ganado de doble propósito (carne y leche), aves de corral y cerdo. Entre las tecnologías que utilizan para la producción agrícola están pequeños invernaderos, barreras vivas, barreras muertas y acequias. Perciben que la escasez de agua afecta principalmente la agricultura y la ganadería en verano y parte del invierno.

Figura 33. Mapas participativos de identificación de sitios de las microcuencas las Ánimas v Los Chagüites





La percepción de los productores sobre la importancia de captar agua de lluvia radica en almacenarla para utilizarla en periodos críticos de escasez del recurso, como un complemento para la producción agrícola, abreviar ganado y para satisfacer algunas necesidades de la demanda por actividad doméstica. Consideran que ambas microcuencas se puede realizar la captación de agua de lluvia ya que existen varios sitios apropiados que ellos han observados ofrecen buenas características. Estos sitios son áreas bajas donde se concentran escorrentías y es conocido en el territorio, el predominio de los suelos con alto contenido de arcilla, también consideran que si se tienen suelos arenosos pueden tratarse o utilizar tecnologías que permitan la impermeabilización.


Según los productores se puede hacer la captación de agua de lluvia en áreas con uso de potreros, techos de las viviendas y en algunos sitios donde se tiene buena cobertura de bosque y son áreas de recarga. Entre los usos que le darían al agua captada están hacer pequeñas áreas de riego por goteo, uso doméstico como lavar ropa, crianza de peces, fumigación de cultivos, abreviar el ganado, riego de pequeños huertos familiares y si se hace el debido tratamiento sanitario al agua la utilizarían para el consumo humano. Una breve descripción de los sitios identificados se muestra a continuación y en la **Figura 34** se muestra la ubicación de los sitios.



<p style="text-align: center;">Datos generales</p> <p>Sitio N°: 1 Ubicación: X: 588719 Y: 1439659 Microcuenca: Los Chagüites Comunidad: San Lorenzo Finca: El Tempisque Productor: Daniel Herrera</p>	<p style="text-align: center;">Ubicación sitio 1</p> 
<p style="text-align: center;">Caracterización de la finca</p> <p>Área total: 42,3 Ha Área de cultivo: 4,23 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p>Frijol: 2,11 Ha Maíz: 0,71 Ha Sandía: 1,41 Ha Bosque: 5,64 Ha Pasto/Matorrales: 21,17 Ha Tacotal: 11,26 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p>Bovino: 80 Equino: 1 Porcino: 5 Aves: 30</p>	<p style="text-align: center;">Percepción de la amenaza a sequía</p> <p>La sequía ha afectado a los productores, sintiéndose con mayor impacto durante los años 2014 y 2015. En estos años se presentaron muy bajos rendimientos en los cultivos de maíz y frijoles y muerte de ganado vacuno en el 2014. Los pozos existentes en la finca, bajaron sus niveles durante estos años.</p>
<p style="text-align: center;">Caracterización del sitio 1</p> <p>Acceso: Regular Pendiente: Semiplana (5-15%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 100m Cobertura: Rala Uso de suelo: Pasto con árboles</p>	<p style="text-align: center;">¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Aprovechan agua de pozo excavado propio, para abrevar ganado y hacer riego complementario en época de primera como en época de postrera.</p> <p>El riego de los cultivos, lo realizan básicamente por observación, cuando notan que han pasado dos o tres días sin llover o cuando los cultivos están empezando a marchitarse, considerando que la disponibilidad de agua en los pozos se baja considerablemente durante la sequía.</p> <p>Almacenan rastrojos de los cultivos y pastos para el ganado.</p>



<p align="center">Datos generales</p> <p>Sitio N°: 2 Ubicación: X: 588083 Y: 1439158 Microcuenca: Los Chagüites Comunidad: San Lorenzo Finca: El Tamarindo Productora: Josefa Martínez</p>	<p align="center">Ubicación sitio 2</p> 
<p align="center">Caracterización de la finca</p> <p>Área total: 9,9 Ha Área de cultivo: 1,76 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p>Frijol: 1,42 Ha Maíz: 0,35 Ha Bosque: 1,42 Ha Pasto/Matorrales: 5,29 Ha Tacotal: 1,42 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p>Bovino: 12 Equino: 1 Caprino: 1 Porcino: 5 Aves: 30</p>	<p align="center">Percepción de la amenaza a sequía</p> <p>La sequía afectó mucho en el 2014 y 2015. El pasto y el agua para el ganado era muy escasa, provocando pérdidas de peso y algunas muertes.</p> <p align="center">¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Establecimiento de pequeñas parcelas de pastos forrajeros (Gamba).</p> <p>Siembra de millón, como forraje para cortar y almacenar, para la época seca.</p>
<p align="center">Caracterización del sitio 2</p> <p>Acceso: Regular Pendiente: Plana (0-4%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 80m Cobertura: Media Uso de suelo: Tacotal</p>	<p align="center">Camino de acceso sitios 1 y 2</p> 


<p style="text-align: center;">Datos generales</p> <p style="text-align: center;">Sitio N°: 3 Ubicación: X: 587201 Y: 1439849 Microcuenca: Los Chagüites Comunidad: San Lorenzo Finca: El Coyol Productor: José Castillo</p>	<p style="text-align: center;">Ubicación sitio 3</p> 
<p style="text-align: center;">Caracterización de la finca</p> <p style="text-align: center;">Área total: 225,8 Ha Área de cultivo: 2,12 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p style="text-align: center;">Sorgo: 2,12 Ha Bosque: 70,56 Ha Pasto/Matorrales: 141,12 Ha Tacotal: 12,00 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p style="text-align: center;">Bovino: 80 Equino: 7 Porcino: 7 Aves: 20</p>	<p style="text-align: center;">Percepción de la amenaza a sequía</p> <p>Gran afectación en los últimos 3 años (2013, 2014 y 2015). Principalmente la ganadería y el cultivo de granos básicos. En estos años hubo pérdidas completas de los cultivos y muerte de ganado.</p>
<p style="text-align: center;">Caracterización del sitio 3</p> <p style="text-align: center;">Acceso: Bueno Pendiente: Plana (0-4%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 150m Cobertura: Rala Uso de suelo: Pasto con árboles</p>	<p style="text-align: center;">¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Dejar de cultivar granos básicos porque ocasiona muchas pérdidas.</p> <p>Siembra de millón y pasto como forraje para cortar y almacenar, para la época seca.</p> <p>Vender dos terceras partes del ganado que logró mantenerse con vida en los últimos 3 años.</p>


<p align="center">Datos generales</p> <p>Sitio N°: 4 Ubicación: X: 585527 Y: 1439515 Microcuenca: Los Chagüites Comunidad: La Laguna Finca: El Cenízaro Productora: Cándida Lazo</p>	<p align="center">Ubicación sitio 4</p> 
<p align="center">Caracterización de la finca</p> <p>Área total: 17,6 Ha Área de cultivo: 3,53 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p>Frijol: 2,12 Ha Hortaliza: 1,41 Ha Frutales: 0,35 Ha Bosque: 7,06 Ha Pasto/Matorrales: 6,66 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p>Bovino: 8 Equino: 4 Porcino: 1 Aves: 10</p>	<p align="center">Percepción de la amenaza a sequía</p> <p>La sequía ha afectado mucho desde el año 2013 al 2015, perturbando todas las actividades productivas (cultivo de granos básicos y hortalizas, árboles frutales y la ganadería). Los árboles frutales se han secado, aproximadamente más del 80 % de los que habíamos plantados. El río que es una de las principales fuentes de agua se ha secado, impidiendo realizar riego de hortalizas como antes lo hacían.</p>
<p align="center">Caracterización del sitio 4</p> <p>Acceso: Bueno Pendiente: Moderada (15-30%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 50m Cobertura: Rala Uso de suelo: Pasto con árboles</p>	<p align="center">¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Con la ayuda del INTA han podido establecer pequeñas parcelas silvopastoriles.</p> <p>Cultivar pequeñas parcelas de pasto de corte y hacer pequeñas reforestaciones.</p> <p>Implementar tecnología de riego por goteo, para tener una mayor eficiencia en el aprovechamiento del recurso hídrico durante los meses que se tiene disponibilidad. Con el fin de cultivar hortalizas, para luego venderlas y así generar ingresos.</p>

<p style="text-align: center;">Datos generales</p> <p style="text-align: center;">Sitio N°: 5 Ubicación: X: 587375 Y: 1436325 Microcuena: Los Chagüites Comunidad: El Chagüite Finca: El Genízaro Productor: Miguel Cruz</p>	<p style="text-align: center;">Ubicación sitio 5</p> 
<p style="text-align: center;">Caracterización de la finca</p> <p style="text-align: center;">Área total: 20,5 Ha Área de cultivo: 2,82 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p style="text-align: center;">Frijol: 0,71 Ha Maíz: 0,71 Ha Sorgo: 1,41 Ha Bosque: 2,12 Ha Pasto/Matorrales: 15,55 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p style="text-align: center;">Bovino: 24 Equino: 2 Porcino: 2 Aves: 4</p>	<p style="text-align: center;">Percepción de la amenaza a sequía</p> <p>La sequía afectó más en el año 2014 principalmente los cultivos de granos básicos (maíz, frijol y sorgo) y la ganadería. Ocasionó pérdidas parciales y en algunos casos totales, la producción de leche bajó mucho, por falta de pasto para las vacas y también hubo muerte de ganado por la falta de agua y alimento.</p>
<p style="text-align: center;">Caracterización del sitio</p> <p style="text-align: center;">Acceso: Bueno Pendiente: Semiplana (5-15%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 80m Cobertura: Media Uso de suelo: Pasto con árboles</p>	<p style="text-align: center;">¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Tuvo que vender parte del ganado para poder comprar forrajes traídos de otros lugares del país donde no afecta la sequía.</p> <p>Transportar parte del ganado a fincas de familiares donde no afecta la sequía, cuando ya no podía seguir comprándoles alimentos.</p>

<p align="center">Datos generales</p> <p>Sitio N°: 6 y 7 Ubicación: X: 584879 Y: 1438376 Microcuenca: Los Chagüites Comunidad: Las Ánimas Finca: Cerro Maderas Negras Productor: José Martínez</p>	<p align="center">Ubicación sitio 6</p> 
<p align="center">Caracterización de la finca</p> <p>Área total: 21,2 Ha Área de cultivo: 5,65 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p>Frijol: 4,94 Ha Hortaliza: 0.71 Ha Bosque: 2,82 Ha Pasto/Matorrales: 12,73 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p>Bovino: 35</p>	<p align="center">Percepción de la amenaza a sequía</p> <p>Hubo grandes afectaciones por sequía en el año 2015. En este año la sequía ocasionó pérdidas totales en las áreas cultivadas con granos básicos. Hubo pocas pasturas para alimentar el ganado y escases de agua, provocando muerte de animales.</p>
<p align="center">Caracterización del sitio 6</p> <p>Acceso: Regular Pendiente: Semiplana (5-15%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 80m Cobertura: Rala Uso de suelo: Pasto</p>	<p align="center">¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Vendió parte del ganado para poder solventar algunas pérdidas.</p>
<p align="center">Caracterización del sitio 7</p> <p>Acceso: Bueno Pendiente: Moderada (15-30%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 50m Cobertura: Media Uso de suelo: Pasto con árboles</p>	<p align="center">Ubicación sitio 7</p> 

<p>Datos generales</p> <p>Sitio N°: 8 Ubicación: X: 584127 Y: 1439169 Microcuenca: Las Ánimas Comunidad: Las Gavetas Finca: Santo Tomás Productor: Marco García</p>	<p>Ubicación sitio 8</p> 
<p>Caracterización de la finca</p> <p>Área total: 13,41 Ha Área de cultivo: 8,82 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p>Frijol: 1,41 Ha Maíz: 2,82 Ha Sorgo: 0,71 Ha Frutales: 0,35 Ha Hortaliza: 3,88 Ha Musáceas: 0,35 Ha Bosque: 0,35 Ha Pasto/Matorrales: 3,54 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p>Bovino: 14 Porcino: 2 Aves: 15</p>	<p>Percepción de la amenaza a sequía</p> <p>La sequía en el 2015 afectó la producción de granos básicos, hortalizas y la ganadería. Hubo una gran deficiencia de precipitaciones, que provocó muy bajos rendimientos en los cultivos. Cada vez las sequías son más frecuentes e intensas y los costos de producción aumentan.</p>
<p>Caracterización del sitio 8</p> <p>Acceso: Bueno Pendiente: Moderada (15-30%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 80m Cobertura: Media Uso de suelo: Pasto con árboles</p>	<p>¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Tecnificó su finca, implementando bombeo de agua de un pozo propio y realizando riego por goteo.</p> <p>Cultiva pasto de corte como forraje.</p> <p>Área de recarga</p> 

<p style="text-align: center;">Datos generales</p> <p>Sitio N°: 9 Ubicación: X: 582309 Y: 1438747 Microcuena: Las Ánimas Comunidad: Las Lomas Finca: Los Tamarindos Productor: Efraín Moreno</p>	<p style="text-align: center;">Ubicación sitio 9</p> 
<p style="text-align: center;">Caracterización de la finca</p> <p>Área total: 14,1 Ha Área de cultivo: 2,82 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p>Frijol: 1,41 Ha Maíz: 0,71 Ha Sorgo: 0,71 Ha Bosque: 0,71 Ha Pasto/Matorrales: 10,57 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p>Bovino: 40 Equino: 4 Aves: 20</p>	<p style="text-align: center;">Percepción de la amenaza a sequía</p> <p>La sequía afectó más en el año 2015 principalmente los cultivos de granos básicos (maíz, frijol y sorgo) y la ganadería. La producción fue casi nula, con rendimientos muy bajos y en el caso de la ganadería no había pastura y el agua para abreviar era muy escasa, provocando así algunas muertes.</p>
<p style="text-align: center;">Caracterización del sitio 9</p> <p>Acceso: Regular Pendiente: Semiplana (5-15%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 100m Cobertura: Media Uso de suelo: Pasto con árboles</p>	<p style="text-align: center;">¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Construir un pozo para sacar agua y abreviar el ganado en los meses que las quebradas se quedan sin agua.</p> <p>Cultivar sorgo millón como forraje para luego ensilar y almacenarlo para alimentar el ganado en la época seca</p>

<p>Datos generales</p> <p>Sitio N°: 10 Ubicación: X: 581629 Y: 1438897 Microcuenca: Las Ánimas Comunidad: Los Guácimos Finca: Los Guácimos Productor: Antonio Moreno</p>	 <p style="text-align: center;">Ubicación sitio 10</p>
<p>Caracterización de la finca</p> <p>Área total: 77,6 Ha Área de cultivo: 14,11 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p>Frijol: 14,11 Ha Bosque: 1,41 Ha Pasto/Matorrales: 62,08 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p>Bovino: 100 Equino: 5 Porcino: 4 Aves: 10</p>	
<p>Caracterización del sitio 10</p> <p>Acceso: Bueno Pendiente: Semiplana (5-15%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 200m Cobertura: Rala Uso de suelo: Cultivo de granos básicos</p>	<p>¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Abrevar el ganado con agua de pozos que tuvieron que construirse para abastecerse en los meses más críticos.</p> <p>Cultivar sorgo millón como forraje para luego ensilar y almacenarlo para alimentar el ganado en la época seca.</p>


<p>Datos generales</p> <p>Sitio N°: 11 Ubicación: X: 581547 Y: 1438361 Microcuenca: Las Ánimas Comunidad: Los Guácimos Finca: Los Guácimos Productor: Gerónimo Moreno</p>	 <p style="text-align: center;">Ubicación sitio 11</p>
<p>Caracterización de la finca</p> <p>Área total: 28,9 Ha Área de cultivo: 7,06 Ha</p> <p>Distribución en área por tipo de cultivo y otras coberturas:</p> <p>Frijol: 7,06 Ha Bosque: 1,41 Ha Pasto/Matorrales: 20,43 Ha</p> <p>Número de animales por especie:</p> <p>Bovino: 15 Equino: 3</p>	
<p>Caracterización del sitio 11</p> <p>Acceso: Bueno Pendiente: Semiplana (5-15%) Textura: Franco arcilloso Longitud de pendiente: 200m Cobertura: Rala Uso de suelo: Pasto con árboles</p>	<p>¿Cómo enfrentan la sequía?</p> <p>Tener que vender gran parte del ganado ya que no se contaban con recursos para mantenerlos y con los ingresos poder solventar pérdidas. Obteniendo también de esta forma cargas de animales más bajas para poder manejarlos mejor en los meses críticos de sequía y evitar grandes pérdidas.</p> <p>Cultivar sorgo millón como forraje para luego ensilar y almacenarlo para alimentar el ganado en la época seca</p>

Figura 34. Mapa de ubicación de sitios para cosecha de agua en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites



3.3.2 Demanda de agua agropecuaria en las fincas.

La demanda de agua agropecuaria para cada una de las fincas de los sitios identificados en las microcuencas Las ánimas y los Chagüites se descompone en la demanda agrícola y pecuaria que se muestran en el **Cuadro 15** y **16** respectivamente. En el **Cuadro 17** se resume la demanda total agropecuaria.

Cuadro 15. Demanda de agua agrícola en las fincas.

Finca	Sitio	Cultivos	Área (Ha)	Demanda parcial (m³/año)	Demanda total (m³/año)
El Tempisque	1	Maíz	1,41	6.028,46	21.862,02
		Frijol	4,23	10.372,49	
		Sandía	1,41	5.461,07	
El Tamarindo	2	Maíz	0,70	2.992,85	9.907,84
		Frijol	2,82	6.914,99	
El Coyol	3	Sorgo	4,23	17.287,48	17.287,48
El Cenízaro	4	Frijol	4,23	10.372,49	21.010,94
		Pepino	2,82	10.638,45	
El Genízaro	5	Maíz	1,41	6.028,46	21.010,95
		Frijol	1,41	3.457,50	
		Sorgo	2,82	11.524,99	
Cerro Maderas Negras	6 y 7	Frijol	9,86	24.177,95	29.497,18
		Pepino	1,41	5.319,23	
Santo Tomás	8	Maíz	5,63	24.071,07	83.352,88
		Frijol	2,82	6.914,99	
		Sorgo	1,41	5.762,49	
		Tomate	5,63	31.292,38	
		Ayote	0,7	2.640,75	
		Sandía	0,7	2.711,17	
		Frutales	0,35	4.498,08	
Musáceas	0,35	5.461,95			
Los Tamarindos	9	Maíz	1,41	6.028,46	18.705,94
		Frijol	2,82	6.914,99	
		Sorgo	1,41	5.762,49	
Los Guácimos	10	Frijol	28,17	69.076,36	69.076,36
Los Guácimos	11	Frijol	14,08	34.525,92	34.525,92

Cuadro 16. Demanda de agua Pecuaria en las fincas.

Finca	Sitio	Especie Animal	Cantidad	Consumo (l/día)	Demanda (l/día)	Demanda (m ³ /año)	Demanda total (m ³ /año)
El Tempisque	1	Bovinos	80	45	3.600	1.314	1.350,51
		Equinos	1	38	38	13,87	
		Porcinos	5	11	55	20,08	
		Aves	30	0,23	7	2,56	
El Tamarindo	2	Bovinos	12	45	540	197,10	223,38
		Equinos	1	38	38	13,87	
		Caprinos	1	6	6	2,19	
		Porcinos	2	11	22	8,03	
		Aves	28	0,23	6	2,19	
El Coyol	3	Bovinos	80	45	3.600	1.314	1.441,03
		Equinos	7	38	266	97,09	
		Porcinos	7	11	77	28,11	
		Aves	20	0,23	5	1,83	
El Cenízaro	4	Bovinos	8	45	360	131,40	191,63
		Equinos	4	38	152	55,48	
		Porcinos	1	11	11	4,02	
		Aves	10	0,23	2	0,73	
El Genízaro	5	Bovinos	24	45	1.080	394,20	430,34
		Equinos	2	38	76	27,74	
		Porcinos	2	11	22	8,03	
		Aves	4	0,23	1	0,37	
Cerro Maderas Negras	6 y 7	Bovinos	35	45	1.575	574,88	574,88
Santo Tomás	8	Bovinos	14	45	630	229,95	239,08
		Porcinos	2	11	22	8,03	
		Aves	15	0,23	3	1,10	
Los Tamarindos	9	Bovinos	20	45	900	328,50	385,81
		Equinos	4	38	152	55,48	
		Aves	20	0,23	5	1,83	
Los Guácimos	10	Bovinos	100	45	4.500	1.642,50	1.728,64
		Equinos	5	38	190	69,35	
		Porcinos	4	11	44	16,06	
		Aves	10	0,23	2	0,73	
Los Guácimos	11	Bovinos	15	45	675	246,38	287,99
		Equinos	3	38	114	41,61	

Cuadro 17. Demanda total agropecuaria en las fincas.

Finca	Sitio	Demanda agropecuaria (m³/año)
El Tempisque	1	23.212,53
El Tamarindo	2	10.131,22
El Coyol	3	18.728,51
El Cenízaro	4	21.202,57
El Genízaro	5	21.441,29
Cerro Maderas Negras	6 y 7	30.072,06
Santo Tomás	8	83.591,96
Los Tamarindos	9	19.091,75
Los Guácimos	10	70.805,00
Los Guácimos	11	34.813,91

3.3.3 Déficit de agua agropecuario en las fincas.

Considerando que en la zona existen dos periodos para el cultivo, correspondiente a la época de primera y época de postrera, se muestra en los **Cuadros 18 y 19** el déficit de agua para ambas épocas de la actividad agrícola y el resumen del déficit total agrícola. El déficit para la actividad agropecuaria fue considerado para los seis meses (182 días) correspondiente al periodo seco, los déficits pecuarios pueden apreciarse en el **Cuadro 20**. Un resumen del déficit total agropecuario de las fincas se muestra en el **Cuadro 21**.

Cuadro 18. Déficit de agua agrícola por cada cultivo en las fincas.

Finca	Sitio	Cultivos	Área (Ha)	Época de Primera		Época de Postrera	
				Déficit (mm)	Déficit (m ³)	Déficit (mm)	Déficit (m ³)
El Tempisque	1	Maíz	0,71	238,24	1.679,59	236,41	1.666,69
		Frijol	2,12	102,21	2.161,74	57,41	1.214,22
		Sandía	1,41	-	-	213,94	3.016,55
El Tamarindo	2	Maíz	0,35	238,24	833,84	236,41	827,44
		Frijol	1,41	102,21	1.441,16	57,41	809,48
El Coyol	3	Sorgo	2,12	179,50	3.796,43	103,17	2.182,05
El Cenízaro	4	Frijol	2,12	102,21	2.161,74	57,41	1.214,22
		Pepino	1,41	209,58	2.955,08	182,03	2.566,62
El Genízaro	5	Maíz	0,71	238,24	1.679,59	236,41	1.666,69
		Frijol	0,71	102,21	720,58	57,41	404,74
		Sorgo	1,41	179,50	2.530,95	103,17	1.454,70
Cerro Maderas Negras	6 y 7	Frijol	4,93	102,21	5.038,95	57,41	2.830,31
		Pepino	0,71	209,58	1.477,54	182,03	1.283,31
		Maíz	2,82	238,24	6.706,46	236,41	6.654,94
Santo Tomás	8	Frijol	1,41	102,21	1.441,16	57,41	809,48
		Sorgo	0,71	179,50	1.265,48	103,17	727,35
		Tomate	2,82	263,39	7.414,43	333,86	9.398,16
		Ayote	0,35	209,58	733,53	182,03	637,11
		Sandía	0,70	-	-	213,94	1.497,58
Los Tamarindos	9	Maíz	0,71	238,24	1.679,59	236,41	1.666,69
		Frijol	1,41	102,21	1.441,16	57,41	809,48
		Sorgo	0,71	179,50	1.265,48	103,17	727,35
Los Guácimos	10	Frijol	14,09	102,21	14.396,28	57,41	8.086,20
Los Guácimos	11	Frijol	7,04	102,21	7.195,58	57,41	4.041,66

Cuadro 19. Déficit de agua agrícola total en las fincas.

Finca	Sitio	Déficit de primera (m ³)	Déficit de postrera (m ³)	Déficit total (m ³)
El Tempisque	1	3.841,33	5.897,46	9.738,79
El Tamarindo	2	2.275,00	1.636,92	3.911,92
El Coyol	3	3.796,43	2.182,05	5.978,48
El Cenízaro	4	5.116,82	3.780,84	8.897,66
El Genízaro	5	4.931,12	3.526,13	8.457,25
Cerro Maderas Negras	6 y 7	6.516,49	4.113,62	10.630,11
Santo Tomás	8	17.561,06	19.724,62	37.285,68
Los Tamarindos	9	4.386,23	3.203,52	7.589,75
Los Guácimos	10	14.396,28	8.086,20	22.482,48
Los Guácimos	11	7.195,58	4.041,66	11.237,24

Cuadro 20. Déficit de agua Pecuario en las fincas.

Finca	Sitio	Especie Animal	Cantidad	Consumo (l/día)	Déficit (m³)	Déficit total (m³)
El Tempisque	1	Bovinos	80	45	655,20	673,38
		Equinos	1	38	6,92	
		Porcinos	5	11	10,01	
		Aves	30	0,23	1,26	
El Tamarindo	2	Bovinos	12	45	98,28	111,46
		Equinos	1	38	6,92	
		Caprinos	1	6	1,09	
		Porcinos	2	11	4,00	
		Aves	28	0,23	1,17	
El Coyol	3	Bovinos	80	45	655,20	718,46
		Equinos	7	38	48,41	
		Porcinos	7	11	14,01	
		Aves	20	0,23	0,84	
El Cenízaro	4	Bovinos	8	45	65,52	95,60
		Equinos	4	38	27,66	
		Porcinos	1	11	2,00	
		Aves	10	0,23	0,42	
El Genízaro	5	Bovinos	24	45	196,56	214,56
		Equinos	2	38	13,83	
		Porcinos	2	11	4,00	
		Aves	4	0,23	0,17	
Cerro Maderas Negras	6 y 7	Bovinos	35	45	286,65	286,65
Santo Tomás	8	Bovinos	14	45	114,66	119,29
		Porcinos	2	11	4,00	
		Aves	15	0,23	0,63	
Los Tamarindos	9	Bovinos	20	45	163,80	192,30
		Equinos	4	38	27,66	
		Aves	20	0,23	0,84	
Los Guácimos	10	Bovinos	100	45	819,00	862,01
		Equinos	5	38	34,58	
		Porcinos	4	11	8,01	
		Aves	10	0,23	0,42	
Los Guácimos	11	Bovinos	15	45	122,85	143,60
		Equinos	3	38	20,75	

Cuadro 21. Déficit total agropecuario en las fincas.

Finca	Sitio	Déficit agropecuario (m ³ /año)
El Tempisque	1	10.412,17
El Tamarindo	2	4.023,38
El Coyol	3	6.696,94
El Cenízaro	4	8.993,26
El Genízaro	5	8.649,55
Cerro Maderas Negras	6 y 7	10.916,76
Santo Tomás	8	37.404,97
Los Tamarindos	9	7.782,05
Los Guácimos	10	23.344,49
Los Guácimos	11	11.380,84

3.3.4 Agua disponible en las áreas de drenaje de los sitios identificados

La disponibilidad corresponde a la escorrentía estimada para el periodo lluvioso de la zona, que es cuando se tiene la mayor producción de agua y en correspondencia una mayor demanda por la actividad agrícola, que genera los mayores déficits de agua en la zona de estudio. En el **Cuadro 22** se muestran los resultados obtenidos de la producción de escorrentía, en época de primera, época de postrera y el consolidado del periodo lluvioso.

Cuadro 22. Escorrentía disponible en las áreas de drenaje de los sitios identificados.

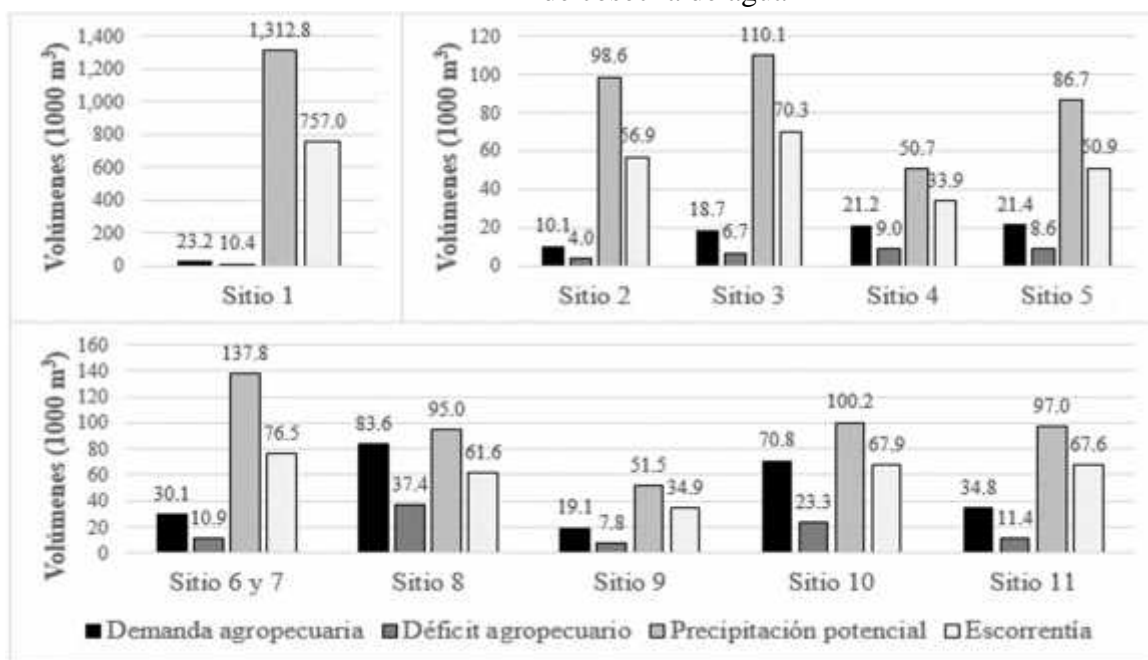
Sitio	Área (Ha)	Época de Primera		Época de Postrera		Escorrentía Total (m ³ /año)
		Escorrentía (mm)	Escorrentía (m ³)	Escorrentía (mm)	Escorrentía (m ³)	
1	154,18	243,64	375.644,15	247,36	381.379,65	757.023,80
2	11,58	243,64	28.213,51	247,36	28.644,29	56.857,80
3	12,93	269,95	34.904,54	273,81	35.403,63	70.308,17
4	5,95	282,51	16.809,35	286,43	17.042,59	33.851,93
5	10,18	248,14	25.260,65	251,89	25.642,40	50.903,05
6	11,79	234,51	27.648,73	238,17	28.080,24	55.728,97
7	4,39	234,51	10.294,99	238,17	10.455,66	20.750,65
8	11,16	274,18	30.598,49	278,06	31.031,50	61.629,98
9	6,05	286,62	17.340,51	290,55	17.578,28	34.918,79
10	11,77	286,62	33.735,17	290,55	34.197,74	67.932,91
11	11,39	294,69	33.565,19	298,66	34.017,37	67.582,57

En la **Figura 35** se muestra una comparación de la demanda y la oferta de agua en los sitios identificados para cosecha de agua, como se puede observar para todos los sitios la disponibilidad supera por mucho la demanda y el déficit, considerándose un gran potencial

para la cosecha de agua, el sitio 8 presenta una disponibilidad mucho más ajustada con la demanda y el déficit, pero sin embargo se considera igualmente en el sitio un buen potencial para la cosecha de agua.

Para todos los casos existe un déficit de aproximadamente entre 30 a 45% en relación a la demanda total, lo que evidencia claramente que hacer las obras de cosecha de agua para aprovechar la escorrentía disponible tiene significancia en la zona de estudio. Sumado a lo anterior está la disponibilidad de escorrentía supera en más de un 65% los volúmenes de déficit de agua en las fincas excepto en el sitio 8 donde la disponibilidad supera siempre el déficit, pero sólo en un 39,3%.

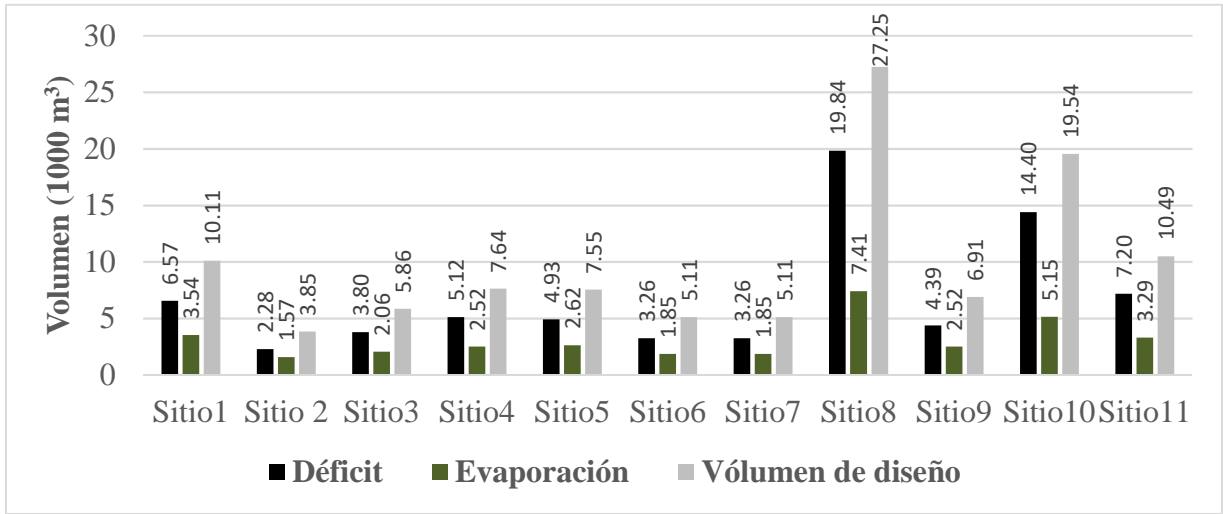
Figura 35. Comparación de la oferta y la demanda de agua para los sitios de cosecha de agua



3.3.5 Propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua

Para la propuesta de diseño en la **Figura 36** se puede apreciar el déficit agropecuario que la obra debe abastecer. El valor de este déficit corresponde a la demanda mayor que se produce entre el déficit agrícola que se tiene en época de primera y el déficit agrícola que se tiene en la época de postrera más el déficit pecuario, esto debido a que la escorrentía que se produce en cada época es capaz de abastecer ambas demandas de forma independiente. En la figura también se puede apreciar un volumen de evaporación que se considera el más crítico aquel que se producirá durante los 182 días de la época seca. Este volumen de evaporación fue estimado a partir del espejo de agua de las obras propuesta y la profundidad de evaporación de 7,2 mm/día, que resultado del análisis realizado para la zona de estudio. De la suma del volumen del déficit más el de la evaporación en la figura se obtiene el volumen de requerimiento o de diseño que la obra debe ser capaz de almacenar para abastecer la demanda.

Figura 36. Déficit total de las fincas, evaporación y volumen de diseño de las obras de cosecha de agua propuestas



La propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua, contempla reservorios de dos tipos. En las **Figuras 37 y 38** se muestra un esquema de la configuración geométrica de cada tipo de reservorio. Las dimensiones y capacidad de almacenamiento de las obras se pueden observar en los **Cuadros 23 y 24**.

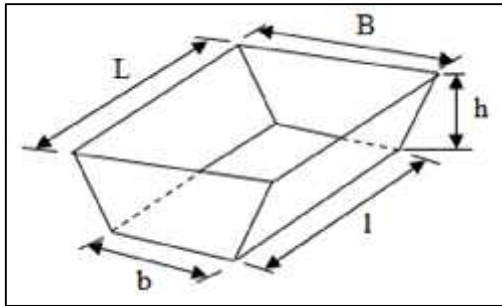


Figura 37. Esquema de reservorios Tipo I

Cuadro 23. Capacidad de reservorios propuestos Tipo I para abastecer déficit total de las fincas

Sitio	B (m)	L (m)	b (m)	l (m)	h (m)	Capacidad (m³)
1	45	60	38,6	53,6	4,3	10.213
2	30	40	24	34	4	4.007
3	35	45	28,3	38,3	4,5	5.940
5	40	50	43,3	33,3	4,5	6.514

Cuadro 24. Capacidad de reservorios propuestos Tipo II para abastecer déficit total de las fincas

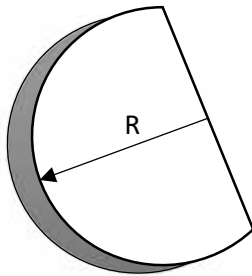
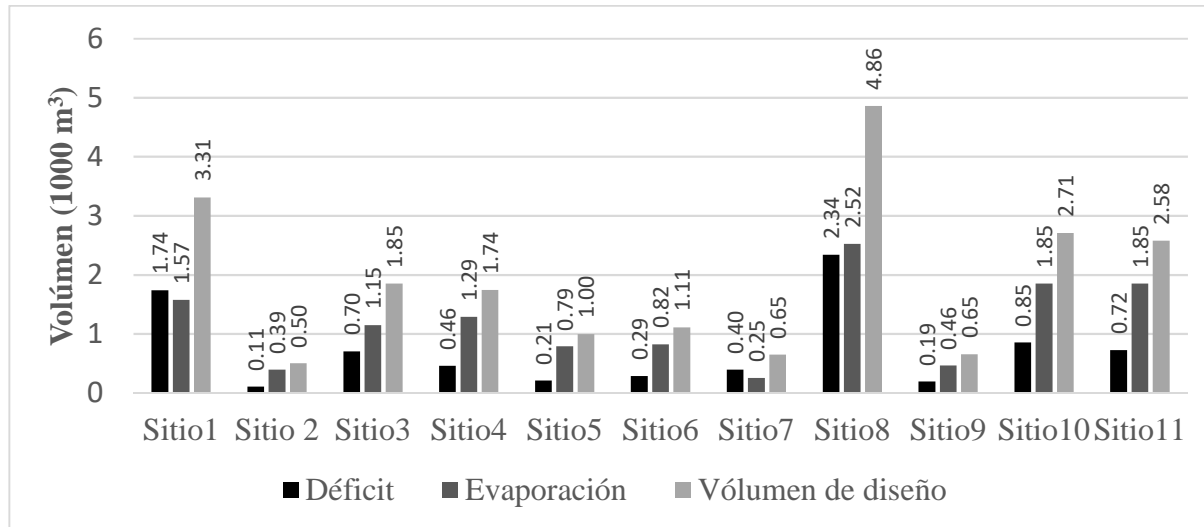


Figura 38. Esquema de reservorios Tipo II

Sitio	R (m)	h (m)	Capacidad (m³)
4	35	4	7.697
6	30	3,8	5.372
7	30	3,8	5.372
8	60	5	28.274
9	35	3,6	6.927
10	50	5	19.635
11	40	4,2	10.556

Una propuesta de las dimensiones de las obras más adecuadas al levantamiento de campo y a la consulta realizada a los productores de las fincas se puede apreciar en los **Cuadros 25 y 26**. Los volúmenes de déficits, evaporación y de diseño son los de la **Figura 39**.

Figura 39. Déficit parcial de las fincas, evaporación y volumen de diseño de las obras de cosecha de agua propuestas



Cuadro 25. Capacidad de reservorios propuestos Tipo I con dimensiones ajustadas

Sitio	B (m)	L (m)	b (m)	l (m)	h (m)	Capacidad (m³)	Condiciones de abastecimiento
1	30	40	25,2	35,2	3,2	3.327	0,35 Ha de maíz; 0,7 Ha de frijol; ganado bovino y equino
2	15	20	12	17	2	501	Ganado bovino, equino y caprino
3	25	35	21,3	31,3	2,5	1.191	Ganado bovino y equino
5	15	40	12,0	37,0	2	1.040	Ganado bovino y equino

Cuadro 26. Capacidad de reservorios propuestos Tipo II con dimensiones ajustadas

Sitio	R (m)	h (m)	Capacidad (m³)	Condiciones de abastecimiento
4	25	1.8	1767	0,20 Ha de pepino, ganado bovino y equino
6	20	1.8	1131	Ganado bovino
7	15	2	707	0,20 Ha de pepino
8	35	2.6	5003	0,7 Ha de tomate, ganado bovino y equino
9	15	2	707	Ganado bovino y equino
10	30	2	2827	Ganado bovino y equino
11	30	2	2827	0,7 Ha de frijol, ganado bovino y equino

Para evacuar los volúmenes de exceso que se puedan generar durante un evento extremo, los reservorios deberán contar con vertederos. En el **Cuadro 27 y 28**, se describe sobre las dimensiones y número de vertederos necesarios para cada reservorio.

Cuadro 27. Vertedores de excesos de escorrentía abastecer déficit total de las fincas

Sitio	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad (unidad)
1	5	1	4
2	2,5	0,5	2
3	3	0,5	2
4	2	0,5	1
5	2	0,5	2
6	3	0,5	2
7	3	0,5	1
8	2	0,5	1
9	2	0,5	1
10	1,75	0,5	2
11	2,5	0,5	2

Cuadro 28. Vertedores de excesos para escorrentía con dimensiones ajustadas

Sitio	Longitud (m)	Altura (m)	Cantidad (unidad)
1	5	1	4
2	3	0,5	2
3	3,5	0,5	2
4	2	0,5	2
5	2,5	0,5	2
6	3	0,5	2
7	3	0,5	1
8	2,5	0,5	1
9	2,5	0,5	1
10	3	0,5	2
11	2,5	0,5	2

Del análisis de sensibilidad realizado se puede apreciar que el parámetro más sensible del modelo en relación a la estimación de los caudales máximos y los volúmenes de escorrentía que se producen en cada una de las áreas de drenaje de los sitios identificados es el número de curva (NC), en el caso de las pérdidas iniciales (Ia) prácticamente el modelo no es sensible a este, por tanto, independientemente de su magnitud el aporte de escorrentía que se genere en las áreas de drenaje debido a las precipitaciones será usualmente el mismo.

La influencia que tiene el periodo de retardo (Tlag) en la producción de escorrentía es baja, la sensibilidad, que muestra este parámetro, se ve más pronunciada en las cuencas de los sitios 1 y 2, siendo nula o casi nula el resto de sitios. Ver gráficos en la **Figura 40**. De acuerdo con el índice de sensibilidad el nivel que pueda alcanzar lámina de agua durante un evento máximo de precipitación, es muy poco sensible al nivel que tenga la lámina al inicio del evento.

La sensibilidad alrededor del coeficiente de descarga dentro del vertedor es prácticamente nula, de forma que se obtuvieron valores muy similares de elevación de la lámina de aguas para distintos coeficientes. En el **Cuadro 29** se observan los valores del índice de sensibilidad estimado para cada parámetro y cada sitio.

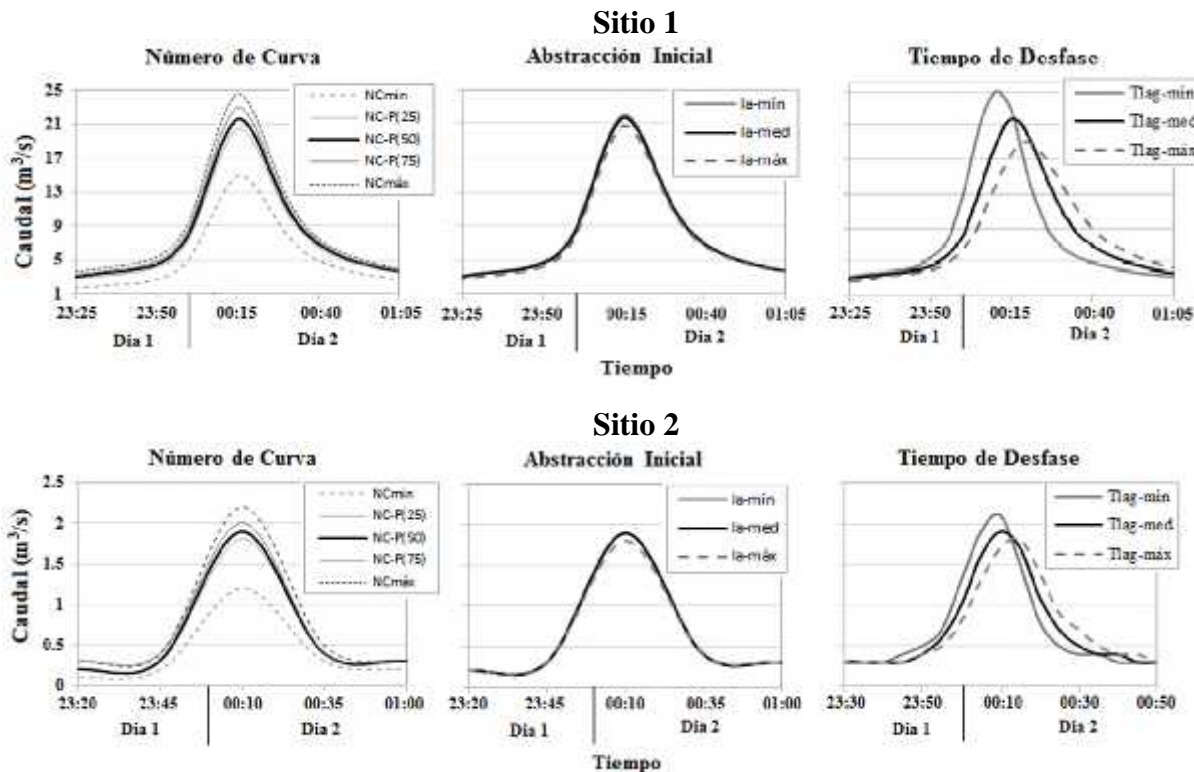
La **Figura 40** muestra que existe poca a nula variabilidad en la estimación de los caudales máximos y los volúmenes de escorrentía, independientemente del valor que se utilice dentro del rango posible que pueden tomar los parámetros NC, Ia y Tlag. Se observa que valores altos

del NC permitirán resultados más conservadores y que los valores medios utilizados en este estudio para todos los parámetros ofrecen resultados satisfactorios para las propuestas de obras de cosecha de agua.

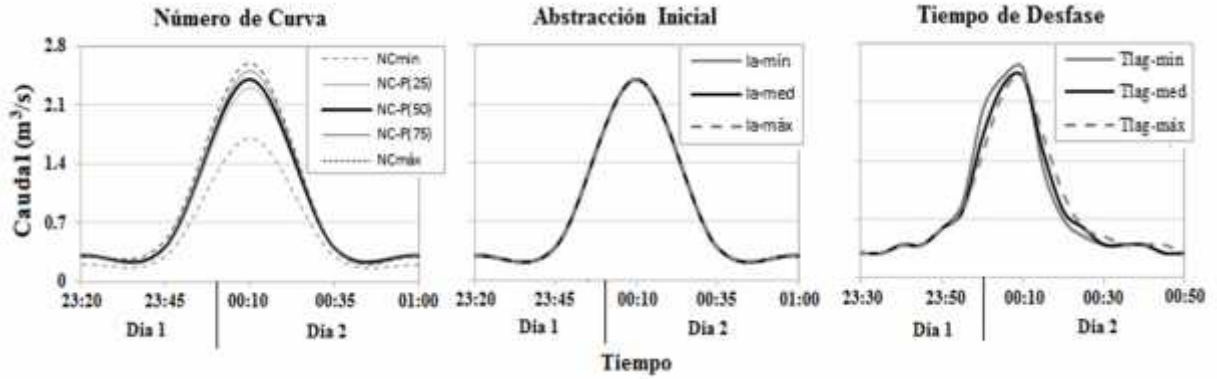
Cuadro 29. Índice de sensibilidad de los parámetros del modelo hidrológico de cada sitio identificado para cosecha de agua

Sitio	Parámetros evaluados				
	NC	Ia	Tlag	Nivel de agua	Coefficiente de descarga
1	1,65	0,02	0,35	0,06	0,0010
2	1,67	0,02	0,23	0,06	0,0004
3	1,51	0,01	0,06	0,07	0,0004
4	1,43	0,01	0,00	0,06	0,0004
5	1,45	0,01	0,08	0,07	0,0004
6	1,52	0,02	0,03	0,09	0,0004
7	1,49	0,02	0,00	0,07	0,0003
8	1,37	0,01	0,02	0,08	0,0003
9	1,39	0,01	0,01	0,04	0,0003
10	1,40	0,01	0,04	0,03	0,0002
11	1,43	0,01	0,10	0,07	0,0003

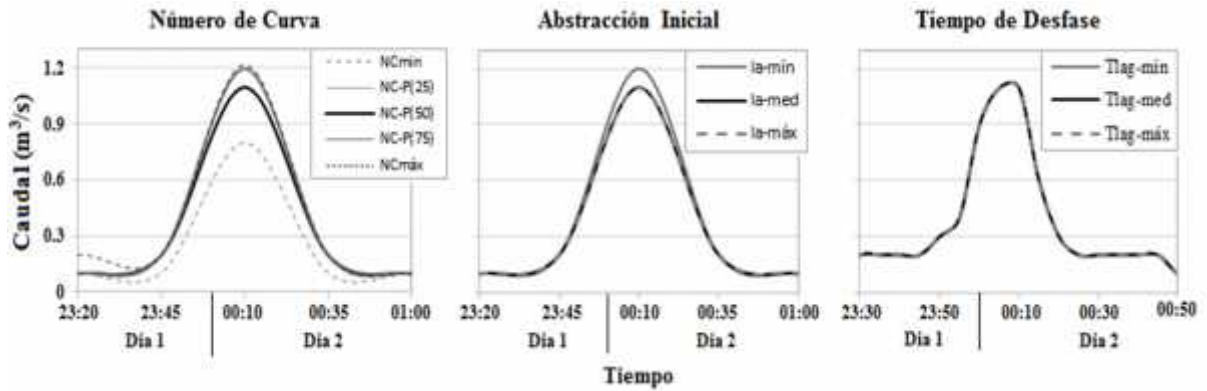
Figura 40. Gráficos del análisis de sensibilidad de los parámetros, NC, Ia y Tlag del modelo hidrológico de las áreas de drenaje para cada sitio identificado para cosecha de agua



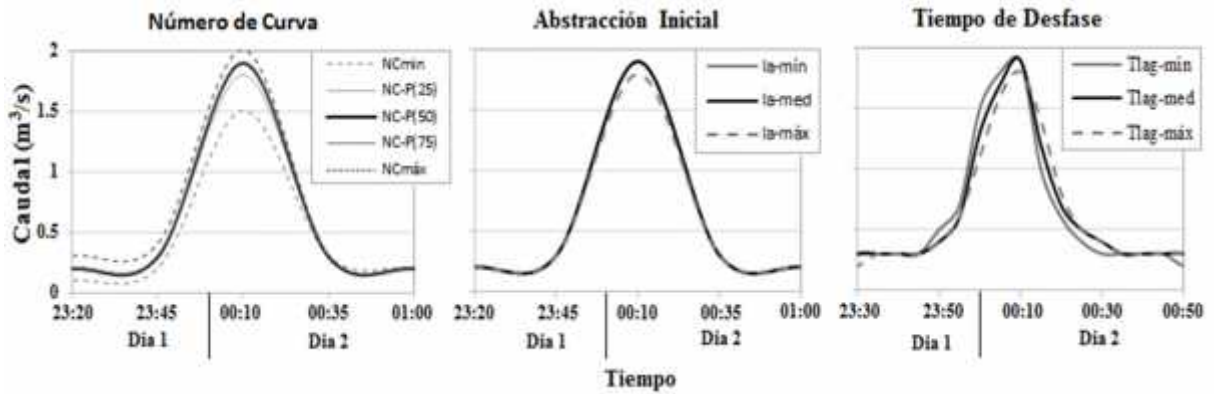
Sitio 3



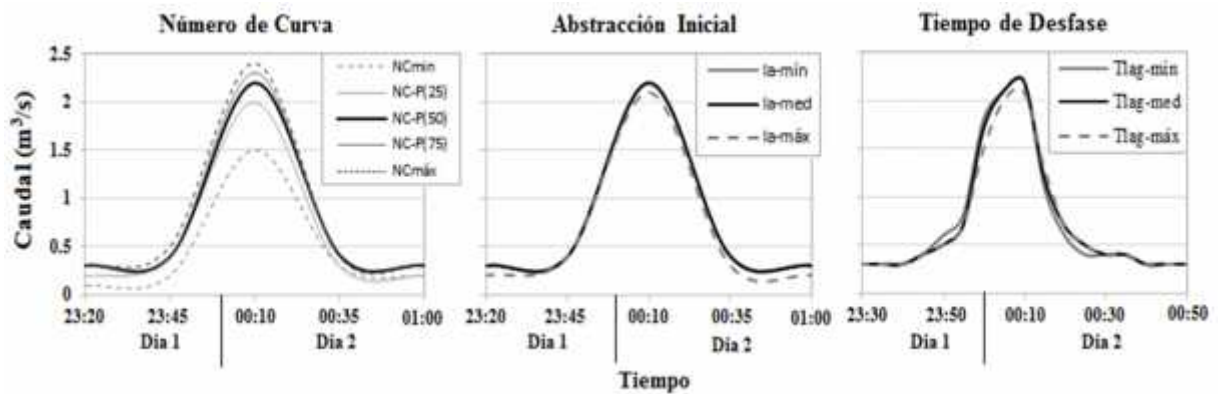
Sitio 4



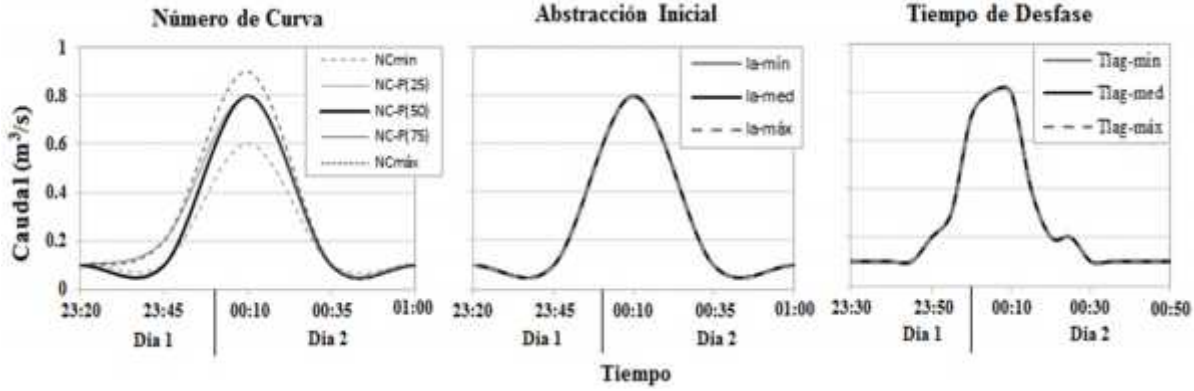
Sitio 5



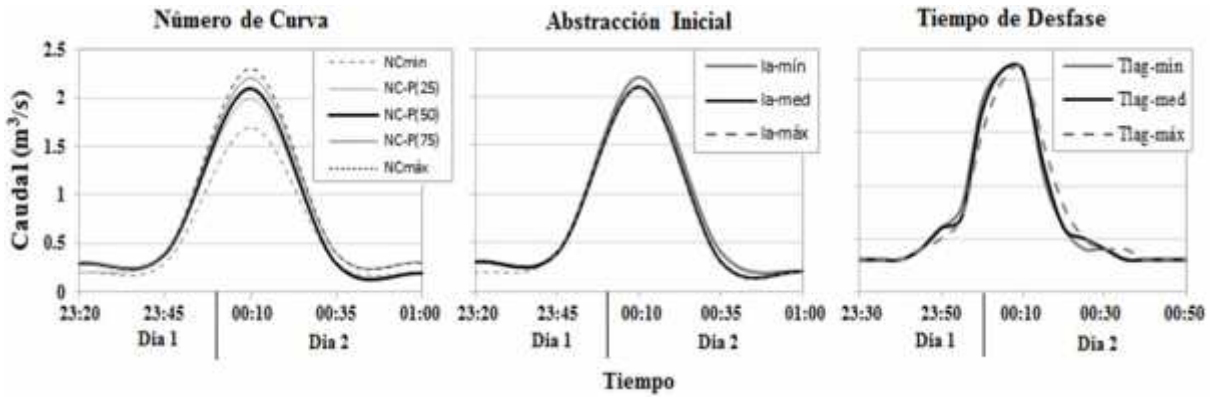
Sitio 6



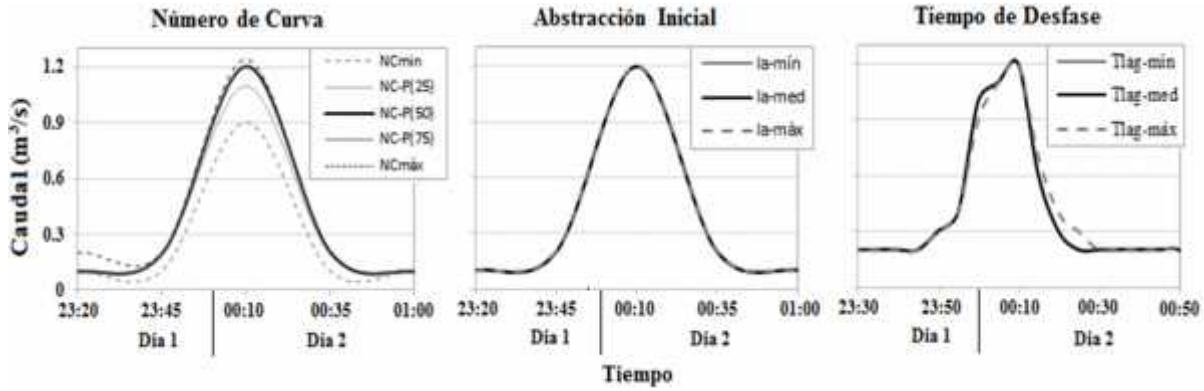
Sitio 7



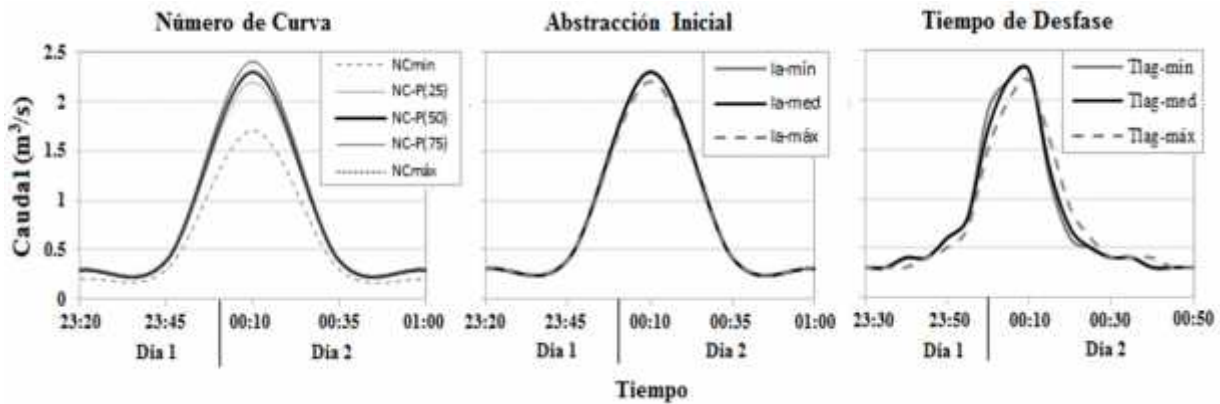
Sitio 8



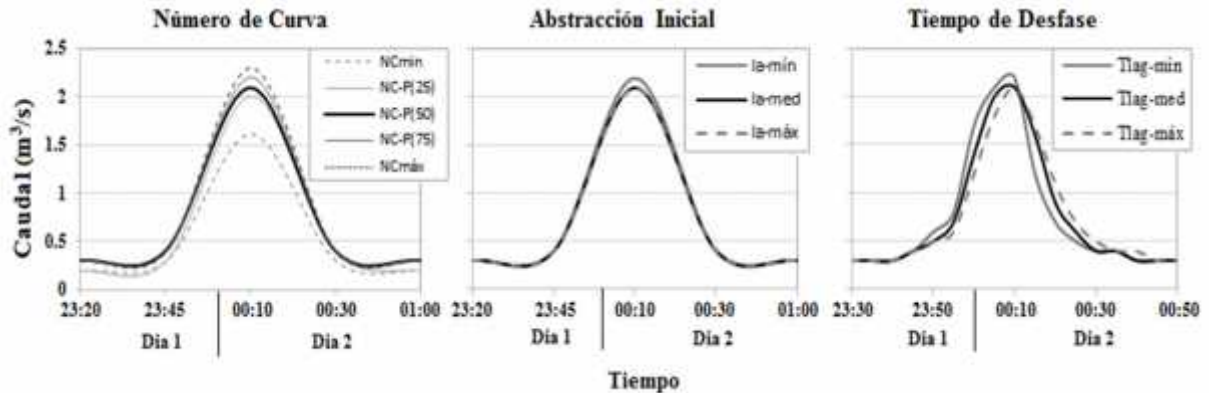
Sitio 9



Sitio 10



Sitio 11



3.4 Discusión

3.4.1 Identificación y caracterización de sitios para la cosecha de agua

El presente estudio permitió identificar 11 sitios para la cosecha de agua distribuidos en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites, con el fin de abastecer el déficit agropecuario de las fincas en que se ubican. Para la identificación de sitios que pueden ser utilizados para la cosecha de agua existen distintas herramientas metodológicas que incluyen la evaluación de distintos factores de interés biofísico y socioeconómico, estas herramientas pueden ser simples o complejas por lo cual en dependencia de la información que se tenga y con el fin de priorizar la ubicación de un sistema de cosecha de agua, varios estudios se han enfocado en emplear una metodología específica, una combinación o una derivación de metodologías para asegurar el buen funcionamiento de las obras. (Sekar y Randhir 2007, Adham *et al* 2016a, 2016b)

El éxito de las obras de cosecha de agua se centra en la buena identificación de los sitios para establecer las obras (León *et al* 2013, Javaid *et al* 2016, Sayl *et al* 2016), el proceso comprende un paso importante hacia el aprovechamiento de la disponibilidad de agua y la productividad de la tierra (Mbilyinyi *et al* 2007, Isioye *et al* 2012, Al-shabeeb 2016), en este sentido, para este estudio sin seguir el procedimiento de una metodología específica, pero si tomando en consideración la participación de la población y la influencia de factores biofísicos locales se ha logrado identificar sitios en las microcuencas de interés que demuestran tener potencial y buena capacidad para la cosecha de agua permitiendo abastecer la demanda agropecuaria de 10 fincas ubicadas en el territorio.

Es evidente que en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites existe una total percepción por parte de los productores de la zona en relación a las afectaciones que han sufrido en los últimos años sus actividades agropecuarias que perturban directamente su economía y por tanto también su seguridad alimentaria, sometiéndolos a tomar medidas drásticas como vender su ganado o dejar de cultivar sus tierras, estas afectaciones reflejan y describen los mismos resultados planteados en informes de estudios realizados en las zonas secas a las que pertenecen las microcuencas (ACF 2010, Bendaña 2012, MAGFOR 2013b, Robleto 2013).

Ante la situación que viven los productores, sienten que tienen una oportunidad en contar con obras de cosecha de agua que les permitan complementar las necesidades de agua de sus actividades agropecuarias durante los periodos críticos de escases del recurso y hacen referencia que en ambas microcuencas a su percepción existen varios sitios que por observación propia ofrecen buenas características para la cosecha de agua, ya que por estos sitios durante un evento de lluvia se generan buenos volúmenes de escorrentías y hay conocimiento del predominio de suelos con alto contenido de arcilla que permiten fácilmente la impermeabilización de las obras.

Diversos estudios de identificación de sitios para cosecha de agua se han realizado en regiones similares al área de estudio, que presentan problemas de disponibilidad de agua para abastecer necesidades hídricas, algunas metodologías se enfocan únicamente en criterios biofísicos y otros integran también criterios socioeconómicos, en la actualidad es muy común la utilización de sistema de información geográfica en combinación con modelos hidrológicos y análisis multicriterio. (Adham *et al* 2016b)

Los 11 sitios identificados presentan características que desde un punto de vista biofísico señalan el buen potencial que representan para la cosecha de agua, a estas características se le anexa la aceptación por parte de los productores participantes del taller realizado, quienes a su percepción hicieron una primera identificación y caracterización de los sitios que posteriormente fue complementada con análisis técnicos, mediante la visita de campo y localización con GPS, se complementó con la evaluación de datos mediante sistema de información geográfica definiéndose de forma cualitativa y cuantitativa factores como: acceso, pendiente, textura, longitud de pendiente, cobertura, uso del suelo, precipitación y disponibilidad de escorrentía.

Gupta *et al* (1997), Oweis *et al* (1998), Patel *et al* (2011), Elewa *et al* 2012, Bamne *et al* 2014 y Javaid *et al* 2016 aplicaron sistemas de información geográfica y teledetección para identificar sitios apropiados para cosecha de agua, otros como Al-Adamat *et al* (2012) y Ziadat *et al* (2012) combinaron la consulta a comunidades locales con sistema de información geográfica, Ramakrishnan *et al* (2009), Jedhe (2014) y Ghani *et al* 2013 combinaron sistema de información geográfica con modelos hidrológicos. Independientemente del enfoque, criterio o herramientas utilizadas, los resultados obtenidos de la identificación de sitios para cosecha de agua en estos estudios, se enfocó principalmente en la topografía, el suelo, la vegetación, meteorología e hidrología, aspectos importantes que han sido considerados en el presente estudio.

3.4.2 Demanda de agua agropecuaria en las fincas.

En todas las fincas es evidente una demanda de agua agrícola que supera por mucho a la demanda pecuaria, se observa que el volumen de agua agropecuario demandado en las fincas se genera en más de un 90% por la actividad agrícola, lo que apunta a que durante cada año las

mayores demandas del sector agropecuario se encuentran asociadas a la época lluviosa que a su vez se relaciona a los periodos de cultivo en la zona. (Gómez 2003, MARENA-PIMCHAS 2008, Bendaña 2012)

Como señala Paz *et al* (2012) en una cuenca de Colombia donde la mayor demanda también se asocia al comportamiento bimodal de la lluvia, los resultados obtenidos en relación a las magnitudes de las demandas encontradas son un reflejo de los datos encontrados en estudios a nivel nacional donde se señala que la mayor demanda de recursos hídricos se relaciona con el sector agropecuario, que históricamente ha sido la principal actividad económica del país, de esta actividad predominan los requerimientos del sector agrícola (Castillo *et al* 2006, Vammen 2012, Zegarra y Chirinos 2016). Similar a lo antes mencionado en una cuenca del norte de Nicaragua Cajina y Faustino (2007) destacan el predominio de la demanda agua de los cultivos en relación a la demanda animal.

El mayor volumen de agua de la actividad agropecuaria demandado en las fincas de los sitios identificados para cosecha de agua se debe principalmente al cultivo de granos básicos (Frijol y Maíz), cultivos predominantes del país y de la región centroamericana en general ya que es la base alimentaria de las familias (Zee *et al* 2012, INIDE y MAGFOR 2013), representando estos dos cultivos volumen de demanda agua sumado para todos los sitios de 217.876,98 m³, el cual relacionándolo con la demanda total agropecuaria de 333.090,80 m³ representa un 65,4 % de la demanda total.

3.4.3 Déficit de agua agropecuario en las fincas.

Un mayor déficit agrícola se observa en la época de primera para la mayoría de las fincas, excepto para las fincas El Tempisque (sitio1) y Santo Tomás (sitio 8), en las cuales el mayor déficit de la actividad se pronuncia en la época de postrera, esto se debe a que en esta época en las dos fincas a diferencia de las otras se agrega la demanda del cultivo de sandía. Coincidiendo con el estudio de Rapidel y Rodríguez (1990) se observa que en esta zona la siembra de primera es arriesgada por las bajas precipitaciones que se presentan mientras que en la época de postrera las cantidades de precipitación mejoran y brindan una mayor seguridad para la siembra. El mayor o menor déficit está directamente en dependencia de la fecha de siembra de los cultivos, Gómez (2003) encontró que la época de primera para el cultivo de granos básicos (maíz y frijol), la mejor satisfacción hídrica de los cultivos se presenta cuando se establecen los cultivos en la cuarta pentada de del mes de mayo y en caso de la época de postrera para el caso del cultivo de frijol la mejor satisfacción hídrica se presenta cuando se establece el cultivo en la primera pentada de septiembre.

En correspondencia a la gran demanda de agua existente de los cultivos de granos básicos (frijol y maíz), existe un déficit del recurso que también sobre sale en estos cultivos con un volumen de 81.279,66 m³, el cual comparado con un déficit total agropecuario de 129.604,42 m³ representa un 62,7% del déficit total de agua agropecuario estimado para todas las fincas que involucran los sitios identificados para cosecha de agua. De los dos cultivos es fácil

apreciar que el maíz es el que presenta mayor déficit de agua por finca, un ejemplo claro de observar está en la finca El Genízaro (sitio 5) donde para las mismas áreas de cultivo el déficit de agua en el cultivo de maíz supera al obtenido en el cultivo de frijol en más de dos veces en época de primera y en más de cuatro veces en época de postrera. Por tanto, es muy probable que con una mayor frecuencia las precipitaciones de la zona no logren cubrir las necesidades de agua del cultivo de maíz, pero si satisfacer las necesidades de agua en el cultivo de frijol coincidiendo así con lo mencionado por Maraux y Rapidel (1990) en su estudio realizado en Estelí, Nicaragua.

Es evidente ante el comportamiento actual de las precipitaciones el gran déficit agropecuario que se registra en la zona, el cual puede aumentar ya que Nicaragua está en la región tropical donde se prevén los mayores cambios en el clima y como señala Bouroncle *et al* (2014) en relación a resultados obtenidos de modelos climáticos, los aumentos de temperatura en el país serán más críticos para la región central del país (1,5°C) a donde se encuentran ubicadas las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites y por tanto, habrá periodos secos más intensos, mayor frecuencia e intensidad de las sequías y disminución de las precipitaciones, agravándose a razón de esto el déficit de agua.

Bouroncle *et al* (2014) menciona que el frijol es uno de los más sensibles a los cambios previstos en el clima y se prevé que disminuirán las áreas aptas para su cultivo en todo el país, lo que toma gran importancia para el área de este estudio ya que por fincas hay un predominio de áreas estipuladas para el cultivo de frijol y siendo este base de la seguridad alimentaria se hace necesario en el área contar con alternativas de adaptación que permitan a los agricultores asegurar sus cosechas.

Maraux y Rapidel (1990) y Gómez (2003) toman limitaciones de analizar en relación al cultivo del maíz únicamente para la época de primera, tomando en consideración que en las áreas de cultivo la práctica que predomina es el cultivo de frijol en relevo del maíz, sin embargo, en este estudio si se observan el déficit del cultivo de maíz que se obtienen en cada una de las fincas son similares para ambas épocas superado por unas décimas de volumen la época de postrera. Por tanto, se espera que este cultivo en ambas épocas se puede desarrollar de la misma manera sin estar limitado únicamente a la época de primera, siempre que sea interés del agricultor de realizar la siembra en ambas épocas y se tenga en las fincas la disponibilidad de agua para abastecer los déficits.

El déficit pecuario para todos los casos se ve superado por el déficit agrícola y dentro el déficit pecuario las especies de animales bovinos y equinos aportan los mayores déficits en el área de estudio, predominio que también se refleja en el estudio realizado por Cajina (2006) en la cuenca de Aguas Calientes al norte del país.

3.4.4 Agua disponible en las áreas de drenaje de los sitios identificados.

Existe una buena disponibilidad de agua debido a la esorrentía en todas las áreas de drenaje de los sitios identificados y por tanto existe un potencial en los sitios que puede ser aprovechado mediante obras de cosecha de agua que permitan compensar los déficits de agua y a su vez mejorar las condiciones existentes de la producción agropecuaria de las fincas a las que pertenecen dichos sitios. Las obras de cosechas de agua en zonas con características biofísicas similares a la de este estudio han demostrado ser alternativas de adaptación que permiten aumentar el potencial de agua disponible para abastecer las necesidades hídricas de la población. (Prinz 1996, Ziadat *et al* 2006, Patel *et al* 2011, Tsiko y Haile 2011)

La disponibilidad de agua debido a la esorrentía que se produce en todas las áreas de drenaje en época de postrera supera en un pequeño porcentaje a la disponibilidad de agua de la época de primera, coincidiendo así la época de menor disponibilidad con el mayor déficit, sin embargo, al comparar los volúmenes de agua de la oferta supera por mucho a la demanda, permitiendo así tener un potencial de agua que puede ser aprovechada para la producción agropecuaria de las fincas. Los volúmenes de esorrentía que se generan en las áreas de drenaje superan entre 30 a 45 % el volumen potencial debido a las precipitaciones de la zona. Las cifras obtenidas en relación con la producción de agua por esorrentía en las áreas de drenaje son proporcionales a los grandes volúmenes de esorrentía que se estiman a nivel nacional. (Castillo *et al.* 2006, Vammen *et al* 2012)

3.4.5 Propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua

Para los 11 sitios identificados con potencial para la cosecha de agua en las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites se realizaron dos propuestas de diseño de las obras, una primera propuesta consiste en dimensiones establecidas para abastecer los déficits totales de agua en la actividad agropecuaria de las fincas, considerando que existe una buena oferta en todos los sitios capaz de abastecer toda la demanda, sin embargo se hizo una segunda propuesta debido a que el levantamiento de campo y la consulta a los productores en relación al espacio disponible, limita a dimensiones de las obras, ante esto último es importante señalar que las dimensiones establecidas garantizan abastecer la prioridad de uso de las obras según consulta a los productores.

Para el diseño se estimó un volumen de pérdidas de evaporación de los reservorios, este volumen en el caso de las obras propuestas para abastecer el déficit total de las fincas representa en promedio un 33% de la capacidad total del reservorio y en el caso de las obras ajustadas para abastecer un déficit parcial representa en promedio un 63% de la capacidad total del reservorio. Silva *et al* (2000) considera para una zona semiárida en Brasil un 50% de pérdidas totales incluyendo infiltración y evaporación en relación con el volumen útil del embalse, MEFCCA *et al* (2016) consideran en promedio pérdidas por evaporación de 5mm/día en climas del trópico seco nicaragüense menor al 7,2 mm/día estimado en este estudio. Por lo que los porcentajes de pérdidas por evaporación en cada uno de las obras de cosecha de agua con las dimensiones propuesta en estudio son aceptables.

Del análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo hidrológico utilizado como base para el diseño de las obras de cosecha de agua, se estimó para todas las áreas de drenaje una sensibilidad al NC, obteniéndose mayor variación de los caudales máximos o volúmenes de escorrentía para valores bajos del parámetro y una menor variación para valores altos próximos al valor medio utilizado, la sensibilidad en los otros parámetros del modelo es prácticamente nula. González et al (2011) y López *et al* (2012) mediante la misma ecuación estimaron la sensibilidad de los parámetros del modelo en una cuenca grande en España y encontraron una gran sensibilidad del NC destacando que su variación tiene un gran efecto sobre el caudal simulado principalmente para valores altos a diferencia del presente estudio. Umaña (2014) realizó un análisis de sensibilidad del modelo con base en el cambio porcentual de los resultados relacionados a la variación de los parámetros y encontró también una alta sensibilidad del número de curva. Rojas (2005) también destacó una alta sensibilidad del modelo al parámetro NC. Para este estudio los valores de los parámetros utilizados permiten una estimación conservadora de las avenidas máximas para el diseño de las obras de cosecha de agua según se observa del análisis de sensibilidad realizado.

3.5 Conclusiones

La consulta realizada mediante taller participativo a los productores de las microcuencas las Ánimas y Los Chagiüites, en conjunto con una verificación mediante visitas de campo complementada con el análisis de datos de sistemas de información geográfica, permitió identificar y caracterizar 11 sitios para la cosecha de agua de lluvia que permitan satisfacer las necesidades hídricas demandadas para la producción agropecuaria en 10 fincas ubicadas en las microcuencas, que desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo presentan características biofísicas con buen potencial para captar y almacenar agua de lluvia.

Es evidente la gran demanda de agua que existe en el territorio debido a las actividades agropecuarias, con un predominio de las demandas del sector agrícola (más del 90% del volumen total demandado) sobre el pecuario, asociándose de esta manera las mayores demandas de agua agropecuarias a la época lluviosa. A su vez los mayores volúmenes de agua agrícola se deben principalmente al cultivo de granos básicos (Frijol y Maíz) base de la seguridad alimentaria de las familias, ascendiendo los volúmenes que se demandan en estos cultivos alrededor de un 65,4% de la demanda total.

En correspondencia a la gran demanda de agua que presentan los cultivos de frijol y maíz existe un déficit de abastecimiento de agua de gran importancia en la actividad agropecuaria, siendo este déficit alrededor de un 62,7% en relación al déficit total de la actividad.

Es claro que existe una baja oferta potencial de precipitación efectiva para satisfacer las necesidades hídricas agropecuarias en las fincas de las microcuencas las Ánimas y Los Chagiüites, sin embargo, se destaca un potencial en la producción de agua debido a la escorrentía, que puede ser aprovechada mediante obras de cosecha de agua que permitan la

debida captación y almacenamiento para su posterior uso, como una alternativa de compensación de las necesidades hídricas de la producción agropecuaria.

En las áreas de drenaje de los 11 sitios seleccionados para la cosecha de agua se estima un buen potencial en la generación de escorrentía superficial para satisfacer los déficits de agua total de la actividad agropecuaria en 10 fincas de las microcuencas las Ánimas y Los Chagüites.

Se logró realizar una primera propuesta de diseño de las obras de cosecha de agua para todos los sitios identificados desde un punto de vista conceptual con el fin de abastecer el déficit total en las fincas, sin embargo, se hizo una segunda propuesta con dimensiones ajustadas a los requerimiento y capacidades de los sitios según levantamiento de campo y consulta realizada a los productores.

Las obras de cosecha de agua propuesta fueron diseñadas únicamente para compensar pérdidas por evaporación, por lo cual debe de garantizarse durante la construcción mediante la impermeabilización que las pérdidas por infiltración sean despreciables.

El modelo HEC-HMS para este estudio con los parámetros utilizados permitió una buena estimación de las avenidas de agua que se generan en las áreas de drenaje de los sitios identificados para el dimensionamiento de la obra de embalse y vertedores de exceso ante eventos de precipitación máximos.

3.6 Recomendaciones

En las fincas de las microcuencas Las Ánimas y Los Chagüites, así como en otras microcuencas de la zona seca de Nicaragua con características similares, se recomienda implementar obras de cosecha de agua como alternativas de adaptación que permitan mejorar las condiciones actuales de déficits de agua para la producción agropecuaria, contribuyendo así a la seguridad alimentaria de las familias.

Con el fin de garantizar la eficiencia de una obra de cosecha de agua se deben de realizar los debidos estudios hidrológicos y estudios de suelos que permitan poder determinar la disponibilidad de agua en sus áreas de drenaje, en relación al potencial de precipitaciones y volúmenes de escorrentía, así como la estimación de pérdidas por evaporación e infiltración complementada con criterios topográfico de los sitios y recomendaciones del productor.

Para evitar la posible contaminación de las aguas en las obras de cosecha de agua propuesta debido a excretas de ganados, es necesario construir estructuras tipo abrevaderos que permitan un debido uso de las aguas por parte del componente pecuario.

Se recomienda que los productores deban contar con la realización de un plan de finca, fácil de ejecutar y que cuente con un componente del mejor uso que le pueden dar al agua de las obras de cosecha de agua, permitiéndoles hacer un uso eficiente del recurso.

Los productores tienen que llevar un control detallado por observación del desarrollo de los cultivos tanto en época de primera como de postrera, que les permita hacer un uso eficiente del agua y poder evitar al máximo las pérdidas de cosecha.

Se recomienda realizar un análisis de costo beneficio detallado que permita conocer la factibilidad de inversión para la construcción de las obras de cosecha de agua que se proponen en este estudio.

Se deben promover en el área de estudio un mayor número de programas y proyectos que incentiven la implementación de obras de cosecha de agua que permitan a los productores minimizar los riesgos de pérdidas de sus cultivos por déficits de agua.

3.7 Literatura citada

- ACF (Acción Contra el Hambre, ES). 2010. Impacto de la sequía en el Corredor seco de Nicaragua: Madriz, Nuevasegovia y Estelí. s.l., 8 p.
- Adham, A; Riksen, M; Ouessar, M; Ritsema, C. 2016a. A methodology to assess and evaluate rainwater harvesting techniques in (semi-) arid regions. *Water* 85:198.
- _____. 2016b. Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. *International Soil and Water Conservation Research* 4(2):108-120.
- Al-Adamat, R; AlAyyash, S; Al-Amoush, H; Al-Meshan, O; Rawajfih, Z; Shdeifat, A; Al-Harashsheh, A; Al-Farajat, M. 2012. The combination of indigenous knowledge and geo-informatics for water harvesting siting in the Jordanian Badia. *Journal of Geographic Information System* 4(4):366-376.
- Al-shabeeb, AR. 2016. The Use of AHP within GIS in Selecting Potential Sites for Water Harvesting Sites in the Azraq Basin—Jordan. *Journal of Geographic Information System* 8(1):73-88.
- Allen, R; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Rome, IT, FAO. 300 p. (FAO Irrigation and drainage paper 56).
- _____. 2006. Evaporación del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, IT, FAO. 323 p. (Estudio FAO, Riego y Drenaje 56).
- Bamne, Y; Patil, K; Vikhe, S. 2014. Selection of appropriate sites for structures of water harvesting in a watershed using remote sensing and geographical information system. *Int. J. Emerg. Tech. Adv. Eng* 4(11):270-275.
- Bendaña, G. 2012. Agua, agricultura y seguridad alimentaria en las zonas secas de Nicaragua. Managua, NI, ACF/FAO. 288 p.

- Bouroncle, C; Imbach, P; Läderach, P; Rodríguez, B; Medellín, C; Fung, E. 2014. La agricultura de Nicaragua y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación? Palmira, CO, CGIAR. 8 p.
- Buraihi, FH; Mohamed Shariff, AR. 2015. Selection of rainwater harvesting sites by using remote sensing and GIS techniques: a case study of Kirkuk, Iraq. *Jurnal Teknologi* 76(15):75-81
- Cajina Canelo, JM. 2006. Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 206 p.
- Cajina Canelo, MJ; Faustino Manco, J. 2007. Alternativas de captación de agua, la esperanza de mejores cosechas y la conservación ambiental: cogestión de actores locales y acción colectiva en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. Turrialba, CR, CATIE. 44 p. (Serie Técnica. Informe Técnico / CATIE no. 355).
- Campos-Aranda, DF. 2012. Relación y estimación de predicciones de lluvia horaria-diaria en dos zonas geográficas de México. *Tecnología y ciencias del agua* 3(2):141-152.
- Campos, AD; Gómez, DR. 1990. Procedimiento para obtener curvas I-D-Tr a partir de registros pluviométricos. *Ingeniería hidráulica en México* 5(2):39-52.
- Castillo Hernández, E; Calderón Palma, H; Delgado Quezada, V; Flores Meza, Y; Salvatierra Suárez, T. 2006. Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. *Boletín Geológico y Minero* 117(1):127-146.
- Critchley, W; Siegert, K; Chapman, C; Finkel, M. 1991. *Water Harvesting: A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production*. Rome, FAO. 154 p. (AGL/MISC/17/91).
- Chow, VT; Maidment, DR; Mays, LW. 1988. *Applied hydrology*. New York, McGraw-Hill. 572 p.
- Dile, YT; Srinivasan, R. 2014. Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data scarce watersheds: an application in the Blue Nile River Basin. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 50(5):1226-1241.
- Elewa, HH; Qaddah, AA; El-Feel, AA. 2012. Determining Potential Sites for Runoff Water Harvesting using Remote Sensing and Geographic Information Systems-Based Modeling in Sinai. *American Journal of Environmental Sciences* 8(1):42-55.
- Estrada Sifontes, V; Pacheco Moya, RM. 2012. Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 33(1):71-80.
- Fang, X; Thompson, DB; Cleveland, TG; Pradhan, P; Malla, R. 2008. Time of concentration estimated using watershed parameters determined by automated and manual methods. *Journal of irrigation and drainage engineering* 134(2):202-211.
- Fuka, DR; Walter, MT; MacAlister, C; Degaetano, AT; Steenhuis, TS; Easton, ZM. 2013. Using the Climate Forecast System Reanalysis as weather input data for watershed models. *Hydrological Processes* 28(22):5613-5623.
- Geilfus, F. 2002. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. San José, CR, IICA. 217 p.

- Ghani, MW; Arshad, M; Shabbir, A; Mehmood, N; Ahmad, I. 2013. Investigation of potential water harvesting sites at Potohar using modeling approach. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 50(4):723-729.
- Gómez Rivera, SN. 2003. Análisis de vulnerabilidad con énfasis en sequía en la subcuenca del río Aguas Calientes, Somoto, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 78 p.
- González, MÁ; Scaini, A; Goñi, M; Valdenebro, JV; López, JJ. 2011. Análisis del modelo HEC-HMS para la simulación de las avenidas del río Arga en Pamplona (C.-Agua y ciudad). (en línea). *In Jornadas de Ingeniería del Agua* (2, 2011, Barcelona, España). Resumen. Barcelona, ES. p. 10. Consultado 20 ene. 2017. Disponible en www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2011/pdf/p488.pdf
- Gualdrón Becerra, N. 2014. Captación de agua lluvia como alternativa comunitaria ante la escasez y la contaminación para el consumo humano y actividades agropecuarias en las veredas El Salado y La Aguada del municipio de Lebrija Santander, Colombia Tesis Mag. Sc. Manizales, CO, Universidad de Manizales. 92 p.
- Gupta, K; Deelstra, J; Sharma, K. 1997. Estimation of water harvesting potential for a semiarid area using GIS and remote sensing. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences* 242:53-62.
- Halwatura, D; Najim, M. 2013. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. *Environmental modelling & software* 46:155-162.
- Hess, T. 2010. Estimating green water footprints in a temperate environment. *Water* 2(3):351-362.
- INETER (Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales); INAFOR (Instituto Nacional Forestal, NI); MAG (Ministerio Agropecuario, NI); MARENA (Ministerio de Ambiente y Los Recursos Naturales, NI). 2015. Mapa de coberturas y usos de la tierra de la república de Nicaragua. Managua, NI, Esc. 1:750.000. color.
- INIDE (Instituto Nacional de Información de Desarrollo, NI); MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 2012. Informe final: IV censo nacional agropecuario. Managua, NI, 70 p.
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2009. Guía tecnológica: Cultivo del Frijol. 2 ed. Managua,, NI, 32 p.
- _____. 2010. Guía tecnológica: Cultivo del Maíz. 2 ed. Managua,, NI, 36 p. (Proyecto Agroalimentario de Semilla).
- Isioye, OA. 2012. A Multi Criteria Decision Support System (MDSS) for identifying rainwater harvesting site (S) in Zaria, Kaduna state, Nigeria. *International Journal of Advanced Scientific Engineering and Technological Research* 1(1):53-71.
- Javaid, A; Khan Ghauri, BM; Nasar-u-Minallah, M. 2016. Criteri maps for rainwater harvesting in Potohar region. *Science International* 28(3):2617-2620.
- Jedhe, YS. 2014. Runoff Map Preparation for Khadakwasla using Arc-CN Runoff Tool. *The International Journal of Science and Technoledge* 2(11):131-135.
- Lara Borrero, JA; Torres Abello, AE; Campos Pinilla, MC; Duarte Castro, L; Echeverri Robayo, JI; Villegas González, PA. 2007. Aprovechamiento del agua lluvia para riego

- y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). *Ingeniería y Universidad* 11(2):193-202.
- León Villalobos, JM; Anaya Garduño, M; Oropeza Mota, JL; Ojeda Trejo, E; Rodríguez Trejo, DA; García Rodríguez, JL. 2013. Aptitud territorial para establecer sistemas de captación del agua de lluvia para combatir incendios forestales. *Revista mexicana de ciencias forestales* 5(21):42-56.
- López Alonso, R. 2001. Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del Soil Conservation Service. *Montes: Ciencia y Técnica* 66:92-97.
- López, JJ; González, M; Scaini, A; Goñi, M; Valdenebro, JV; Gimena, FN. 2012. Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas. *Obras y proyectos* (12):15-30.
- M. Shinde, SG; I. Smout, UK. 2004. Design and performance indicators for water harvesting irrigation tanks in India. *In WEDC International Conference: People-centred approaches to water and environmental sanitation* (30, 2004, Vientiane), Lao PDR. p. 398-404.
- Magaña Hernández, F; Bá, KM; Guerra Cobián, VH. 2013. Estimación del hidrograma de crecientes con modelación determinística y precipitación derivada de radar. *Agrociencia* 47(8):739-752.
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 2013a. Plan de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en el sector agropecuario, forestal y pesca en Nicaragua. Managua, NI, 131 p.
- _____. 2013b. Compendio de mapas: Uso potencial de la tierra. 2 ed. Managua, NI, 173 p.
- Mahmoud, SH; Adamowski, J; Alazba, A; El-Gindy, A. 2015. Rainwater harvesting for the management of agricultural droughts in arid and semi-arid regions. *Paddy and water environment* 14(1):231-246.
- Maraux, F; Rapidel, B. 1990. La simulación del balance hídrico: aplicación para la determinación de fechas de siembra. Turrialba, CR, CATIE. 31 p. (Proyecto Regional de agrometeorología CATIE-CIRAD-ORSTOM).
- MARENA (Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales, NI); PIMCHAS (Programa Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento, CA). 2008. Caracterización y diagnóstico de la parte media de la subcuenca del río Viejo: Río La Trinidad. La Trinidad, NI, 59 p.
- Martin, D; Gilley, J. 1993. Irrigation water requirements: Chapter 2. Washington, DC, USDA-SCS. 284 p. (Part 623 National Engineering Handbook).
- Mbilinyi, B; Tumbo, S; Mahoo, H; Mkiramwinyi, F. 2007. GIS-based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 32(15):1074-1081.
- MEFCCA (Ministerio de Economía Familiar Comunitaria Cooperativa y Asociativa, NI); COSUDE (Agencia Suiza Para el Desarrollo y la Cooperación); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2016. Guía de selección de sitios y construcción: Reservorios. Managua, NI, 60 p.

- Mockus, V. 1964. Estimation of direct runoff from storm rainfall. *In* National Engineering Handbook, Section 4. Washington, DC, USDA-SCS. p. 27.
- MVOTMA (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, UY). 2011. Manual de diseño y construcción de pequeñas presas. 2 ed. Montevideo, UY, 112 p.
- Nearing, MA; Foster, GR; Lane, LJ; Finkner, SC. 1989. A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. *Transactions of the ASAE* 32(5):1587-1593.
- Obando, M. 2011. Estructura e infraestructura productiva en zonas rurales pobres de Nicaragua. (en línea). Managua, NI, Programa Estado de la Nación. 37 p. Consultado 19 ene. 2016. Disponible en http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/otras_publicaciones/Pobreza%20OruralCA/Informes/Informe%20productivo%20y%20mercados%20-%20NICARAGUA.pdf
- Oleyiblo, JO; Li, ZJ. 2010. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. *Water Science and Engineering* 3(1):14-22.
- Oliveras, J. 2013. Obtener curvas IDF (parte I). (en línea). España, HidrojING. Consultado 23 nov. 2016. Disponible en <http://www.hidrojing.com/obtener-curvas-idf-parte/>
- Oweis, T; Oberle, A; Prinz, D. 1998. Determination of potential sites and methods for water harvesting in central Syria. *Advances in GeoEcology* 31:83-88.
- Patel, DP; Dholakia, MB; Naresh, N; Srivastava, PK. 2011. Water harvesting structure positioning by using geo-visualization concept and prioritization of mini-watersheds through morphometric analysis in the Lower Tapi Basin. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 40(2):299-312.
- Paz, SM; Muñoz Agudelo, V; Echeverri, AF; Urrutia Cobo, N. 2012. Escenario de demanda hídrica agrícola para la optimización del riego de los pequeños productores de la zona plana de la cuenca del río Guabas. *Informador Técnico* 76:5-12.
- Ponce, VM; Hawkins, RH. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity?. (en línea). *Journal of hydrologic engineering* 1(1):11-19. Consultado 21 ene. 2017. Disponible en <http://ponce.sdsu.edu/runoff11view.html>
- _____. 2015. Runoff curve number: Has it reached maturity? (en línea). Consultado 21 ene. 2017. Disponible en http://ponce.sdsu.edu/runoff_curve_number_has_it_reached_maturity.html
- Prinz, D. 1996. Water harvesting: past and future. *In* LS Pereira. ed. Sustainability of irrigated agriculture, Rotterdam, Balkema. p. 135-144.
- Raes, D. 2012. The ETo Calculator: Evapotranspiration from a reference surface. Rome, IT, FAO. 38 p. (Reference Manual Version 3.2).
- Ramakrishnan, D; Bandyopadhyay, A; Kusuma, K. 2009. SCS-CN and GIS-based approach for identifying potential water harvesting sites in the Kali Watershed, Mahi River Basin, India. *Journal of Earth System Science* 118(4):355-368.
- Rapidel, B; Rodríguez, J. 1990. Zonificación agrometeorológica de las lluvias en Nicaragua. Turrialba, CR, CATIE. 33 p. (Proyecto regional de agrometeorología CATIE-CIRAD-ORSTOM).

- Rivera Torres, LH. 2002. Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la microcuenca La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 176 p.
- Robleto Molina, J. 2013. Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en Nicaragua. Managua, NI, s.e. 3 p.
- Rojas Castro, UI. 2016. La agricultura protegida de pequeña escala, como una alternativa de producción agrícola y seguridad alimentaria para la zona de Somoto, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 75 p.
- Rojas, R. 2005. Evaluación preliminar del modelo HEC-HMS. Mérida, VE, CEFAP. 24 p.
- Saha, S; Moorthi, S; Wu, X; Wang, J; Nadiga, S; Tripp, P; Behringer, D; Hou, Yu-Tai; Chuang, H-y; Iredell, M; Ek, M; Meng, J; Yang, R; Peña Mendez, M; Dool, H van den; Zhang, Q; Wang, W; Chen, M; Becker, E. 2014. The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of Climate* 27(6):2185-2208.
- Salgado Montoya, RA. 2005. Análisis integral de riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 172 p.
- Salinas Acosta, A. 2010. Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización. Nicoya, CR, CEMEDE-UNA. 96 p. (Documento: D-06).
- Sayl, KN; Muhammad, NS; Ahmed, E; Dahham, A. 2016. GIS based for Pre-selection of suitable site for Water Harvesting in arid areas case study in the West of Iraq. *In International Conference on Engineering and Innovative Technology* (1, 2016, Kurdistan, Iraq). Resumen. Kurdistan, IQ, SU-ICEIT. p. 6.
- Sekar, I; Randhir, T. 2007. Spatial assessment of conjunctive water harvesting potential in watershed systems. *Journal of Hydrology* 334(1):39-52.
- Silva, A de S; Porto, ER; Araujo, FP de; Pérez Arana, S. 2000. Embalse para riego de salvación, Brasil. *In RV Veenhuizen; M Prieto-Celi. eds. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: Experiencias en américa latina.* Santiago,CL, FAO. p. 94-117. (Serie zonas áridas y semiáridas, N° 13)
- Thompson, DB. 2006. The Rational Method. Texas, US, Department Texas Tech University. 7 p.
- Tsiko, RG; Haile, TS. 2011. Integrating Geographical Information Systems, Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process in Modelling Optimum Sites for Locating Water Reservoirs. A Case Study of the Debub District in Eritrea. *Water* 3(1):254-290.
- Umaña Quirós, BE. 2014. Análisis hidrológico de la cuenca del río Toyogres utilizando el modelo HEC-HMS. Cartago,, CR, ICO TEC. 91 p.
- USACE (US Army Corps of Engineers). 2015. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Applications guide. Davis, US, 159 p.
- _____. 2016. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Users manual 4.2. Davis, US, 598 p.

- USDA-NRCS (United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service). 2004. Hydrologic Soil-Cover Complexes. *In* Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Washington, DC. p. 14.
- _____. 2007. Hydrographs. *In* Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Washington, DC. p. 23.
- Vammen, K. 2015. Conclusiones del estudio “Calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la subcuenca del río Viejo”; aportes para lograr un estado ambientalmente equilibrado en beneficio a la población. *Universidad y Ciencia* 6(9):24-30.
- Veenhuizen, Rv. 2000. Revisión de bases técnicas. *In* Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: Experiencias en América Latina. Santiago, CL, FAO. p. 6-24. (Serie zonas áridas y semiáridas, N° 13)
- Wambeke, J van; Prieto Celi , M; Vieira, MJ; Benites, J; Chanduvi, F; Merlet, H; Mejías, P; Román, P; González Loguercio, N; Aravena, D; Grebe, G. 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, CL, FAO. Maval. 276 p.
- WB (World Bank, US). 2012. Can small farmers protect themselves against bad weather? . (en línea). Washington, DC, 4 p. (From evidence to policy). Consultado 14 nov 2016. Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/22638/713920BRI0E2P007023020120Box370072B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Woodward, DE; Hawkins, RH; Hjelmfelt, AT; Van Mullem, JA; Quan, QD. 2002. Curve number method: Origins, applications and limitations. *In* US Geological Survey Advisory Committee on Water Information–Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference. Derwood, MD. p. 10.
- Zee Arias, A van der; Zee, J van der; Meyrat, A; Poveda, C; Picado, L. 2012. Estudio de caracterización del "Corredor seco" centroamericano (comprende los países CA-4): Anexos. MANagua, NI, FAO. Tomo 2, 226 p.
- Zegarra, E; Chirinos, O. 2016. Diagnóstico sobre la situación y potencial del sector riego en Nicaragua. Inter-American Development Bank. 114 p. (NOTA TÉCNICA N° IDB-TN- 1063).
- Ziadat, FM; Mazahreh, SS; Oweis, TY; Bruggeman, A. 2006. A GIS based approach for assessing water harvesting suitability in a Badia benchmark watershed in Jordan. *In* International Soil Conservation Organization Conference: Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments (14, 2006, Marrakech, Morocco). p. 4.
- Ziadat, F; Bruggeman, A; Oweis, T; Haddad, N; Mazahreh, S; Sartawi, W; Syuof, M. 2012. A participatory GIS approach for assessing land suitability for rainwater harvesting in an arid rangeland environment. *Arid land research and management* 26(4):297-311.