



Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

**Análisis de la sequía y alternativas de adaptación y mitigación en  
la subcuenca del río Guacerique, Honduras**

por

Claudia Cecilia Lardizábal Joya

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar por el grado de

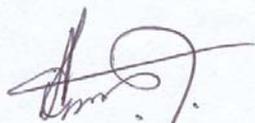
*Magister Scientiae* en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas

Turrialba, Costa Rica, 2008

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

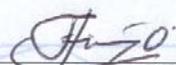
**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO INTEGRADO  
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**FIRMANTES:**



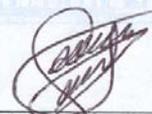
---

Sergio Velásquez, M.Sc.  
Consejero Principal



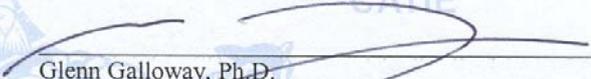
---

Francisco Jiménez, Dr.Sc.  
Miembro Comité Consejero



---

Fernando Casanoves, Ph.D.  
Miembro Comité Consejero



---

Glenn Galloway, Ph.D.  
Decano de la Escuela de Posgrado



---

Claudia Cecilia Lardizábal Joya  
Candidata

## **DEDICATORIA**

A los dos grandes amores de mi vida, mi esposo Reynerio Barahona gracias por ser mi pilar y ser como es, sin su amor y su apoyo jamás lo habría logrado y a mi hija Emilie Lucía Barahona que es la que me motiva a seguir.

A mis padres Douglas Lardizábal y Ercilia Joya, las palabras no bastan para agradecerles.....

A mi hermano Douglas Fernando seguí adelante y nunca te rindas...

A Dios..... gracias por la vida...

**Claudia Lardizábal**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera especial: a mi profesor consejero Sergio Velásquez, M.Sc. cuya orientación y fabulosas ideas facilitaron este trabajo, además su inagotable paciencia para explicármelo todo. Al Dr. Fernando Casanoves por su interminable conocimiento de bioestadística y su paciencia para explicármela, al Dr. Francisco Jiménez por todo su apoyo y sus ideas.

Al CATIE por brindarme la oportunidad de mejorar mis conocimientos y abrirme las puertas, por facilitarme conocer a muchas personas con las que compartí momentos importantes de mi vida.

De manera infinita a mis compañeros cuencólogos, en especial a los compatriotas Jorge, Raquel y Kelvin, y vos Elías que sabes que sos hondureño honorario. Al restante de la comunidad estudiantil de CATIE, al Consejo Estudiantil por permitirme ser parte de ustedes.

Al Servicio Alemán DAAD por facilitarme el recurso económico para realizar esta maestría.

Al Departamento de Manejo de Cuencas del SANAA, por la gran ayuda para la realización de los talleres, en especial al director y al Departamento de Gestión.

**GRACIAS A TODOS**

## **BIOGRAFÍA**

La autora nació en Tegucigalpa, Honduras el 28 de abril de 1979. Se graduó de la Facultad de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), en el 2003, con el título de Licenciada en Biología con orientación en Zoología. Laboró como instructora de Zoología de Invertebrados, Vertebrados y Biología General de la UNAH. Adicionalmente como parte de su formación profesional laboró en el Proyecto de Bosques y Productividad Rural en el tema de ordenamiento territorial, bajo la orientación del Ing. Carlo Foletti. También trabajo como integrante de INFOAGRO de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, en el departamento de Sistemas de Información Geográfica. Actualmente ejerce el cargo de catedrática de la UNAH en la clase de Manejo de Cuencas Hidrográficas, del Departamento de Biología. En el año 2008 obtuvo el título el Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas.

# CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE ANEXOS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Caracterización de la problemática.....	1
1.2 Justificación e importancia.....	2
1.3 Objetivos del estudio.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos y preguntas de investigación.....	4
1.4 Hipótesis del estudio.....	5
2 MARCO REFERENCIAL.....	6
2.1 Definiciones y tipos de sequía.....	6
2.2 Metodologías de análisis.....	6
2.3 Efectos de la sequía.....	8
2.4 Vulnerabilidad a sequía.....	10
2.5 Medidas de mitigación y adaptación a la sequía.....	11
3 METODOLOGÍA.....	14
3.1 Localización y descripción del área de estudio.....	14
3.1.1 División política.....	14
3.1.2 Topografía.....	14
3.1.3 Clima.....	14
3.1.4 Suelos.....	15
3.1.5 Red hídrica.....	15
3.1.6 Caracterización poblacional.....	15

3.2	Procedimientos metodológicos.....	17
3.2.1	Fase I Determinación y predicción de sequía.....	17
3.2.2	Fase II Determinación de zonas de riesgo.....	22
3.2.3	Fase III Determinación de recomendaciones para mejoramiento hidrológico y medidas de adaptación y mitigación de la sequía.....	23
3.2.4	Fase IV Determinación de la inserción de la cuenca en las políticas nacionales e institucionales de lucha contra la desertificación.....	24
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
3.3	Patrones de sequías que ha sufrido la cuenca en los últimos años.....	26
3.3.1	Índice de Precipitación Estandarizado.....	26
3.3.2	Índice de reconocimiento de sequía.....	34
3.3.3	Balance hídrico por microcuenca.....	40
3.4	Identificación de zonas de riesgo al fenómeno de la sequía en la cuenca y categorización según su uso.....	44
3.4.1	Cobertura del suelo:.....	44
3.4.2	Densidad poblacional.....	49
3.4.3	Áreas de recarga hídrica.....	51
3.4.4	Potencial de erosión.....	53
3.4.5	Precipitación.....	55
3.4.6	Amenaza de sequía.....	59
3.5	Propuesta de actividades de conservación de suelos y aguas para mejorar la condición hidrológica de los suelos y propiciar un uso del suelo acorde con su capacidad.....	63
3.6	Grado de inserción de los actores de la cuenca en las políticas y programas nacionales e institucionales de la lucha contra la desertificación.....	66
4	CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	69
4.1	Conclusiones.....	69
4.2	Recomendaciones.....	71
5	LITERATURA CITADA.....	73

## RESUMEN

**LARDIZABAL JOYA, CC.** 2008. Análisis de Sequía, medidas de adaptación y mitigación de la subcuenca del río Guacerique, Honduras.

Palabras claves: Honduras, sequía, balance hídrico, índice de sequía, índice de aridez, mejoramiento hidrológico de suelos, captación de agua.

La incidencia de sequía meteorológica y agrícola de la subcuenca del río Guacerique fue analizada. Esta cuenca provee 25% de la demanda de agua potable para Tegucigalpa por medio del embalse Los Laureles y adicionalmente se encuentra sujeta a grandes presiones antropogénicas. Mediante el uso de índices sequía se determinó el grado aridez y la incidencia de sequía meteorológica y agrícola a que se ve expuesta la subcuenca. Adicionalmente se identificaron las áreas de la cuenca más vulnerables a la ocurrencia de este fenómeno, y se propusieron medidas de mitigación y adaptación que se encuentren dentro de la realidad de los pobladores que posteriormente fueron priorizadas tomando en cuenta criterios como costo, mantenimiento y utilidad entre otros. Los resultados muestran que a pesar de los reportes de sequía para la subcuenca y la falta del recurso hídrico para los cultivos, la subcuenca no presenta ni ha presentado fenómenos de sequía, sino mas bien se ha catalogado como una subcuenca sub húmeda a húmeda, clarificación que fue corroborada al calcular el índice de aridez de la FAO. Dado que no se encontró una sequía como tal se calculó un balance hídrico anual de la cuenca con el cual se encontró un déficit del recurso en toda la cuenca por lo cual se infiere que la falta de agua se debe primordialmente a un uso irracional del mismo. Se proponen medidas de mitigación y conservación que propicien un mejoramiento hidrológico de los suelos que podrían ayudar a disminuir el deterioro de los recursos hídricos de la cuenca.

## **SUMMARY**

**LARDIZABAL JOYA, CC.** 2008. Drought Analysis, mitigation and adaptation methodologies in the Guacerique River Watershed, Honduras.

Key words: Honduras, drought, water balance, drought index, aridity index, hydrologic improvement of soils, water captation.

The incidences of agricultural and meteorological drought in the Guacerique River Watershed were analyzed. This watershed provides 25% of the water supply for the Honduran capital Tegucigalpa, through Los Laureles reservoir and is additionally subject to intense anthropogenic pressure. Indexes of watershed exposure to drought and aridity were calculated. Additionally its critical areas to drought were identified and mitigation and adaptation methodologies were proposed taking into account the reality of the population. Results show that despite reports of drought in the watershed and the lack of water for agricultural purposes, the watershed is not and has not been subject to meteorological and agricultural drought, but has rather been cataloged as a sub humid to humid watershed, result that was reconfirmed by calculating the FAO aridity index.

Since no drought was found, yearly water balance was calculated. This balance showed a major water deficit that can be attributed to irrational water use. Mitigation and adaptation methodologies have been proposed to improve the hydrological soil conditions and diminish the degradation of the watershed water resources.

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Rangos de Valor del Índice de Precipitación Estandarizado .....	18
Cuadro 2. Estaciones de la subcuenca del río Guacerique .....	26
Cuadro 3. Ejemplo del resumen de cálculo del IPE de los años 2004 a 2006 para la época seca .....	27
Cuadro 4. Prueba de Rachas para las estaciones de la subcuenca Guacerique.....	30
Cuadro 5. Distribución de los valores promedio del IPE por microcuenca.....	31
Cuadro 6. Índice de Precipitación Estandarizado para la estación del 21 de Octubre.....	32
Cuadro 7. Índice de Reconocimiento de Sequía, resumen de la subcuenca del río Guacerique, años 2005 y 2006 .....	34
Cuadro 8. Distribución de los valores promedio del IRS por microcuenca .....	35
Cuadro 9. Clasificación de zonas según el Índice de Aridez de la FAO .....	40
Cuadro 10: Balance hídrico por microcuenca de la subcuenca Guacerique (miles de m3).....	42
Cuadro 11. Cobertura de la subcuenca del río Guacerique.....	47
Cuadro 12. Clasificación de la densidad poblacional a vulnerabilidad a la sequía en la subcuenca del río Guacerique .....	49
Cuadro 13. Clasificación de las áreas de recarga hídrica .....	51
Cuadro 14. Clasificación del potencial de erosión de la subcuenca del río Guacerique .....	53
Cuadro 15. Clasificación de la precipitación de la subcuenca del río Guacerique .....	55
Cuadro 16. Peso asignado a cada variable para el cálculo de vulnerabilidad de la subcuenca del río Guacerique.....	57
Cuadro 18: Distribución de la vulnerabilidad a la sequía por microcuenca. ....	57
Cuadro 18. Distribución de la probabilidad de ocurrencia de sequía por microcuenca .....	59
Cuadro 19. Distribución del riesgo a sequía por microcuenca: .....	61
Cuadro 20. Cuadro resumen de la problemática y soluciones planteadas en talleres de la subcuenca del río Guacerique .....	64
Cuadro 21. Medidas de Mitigación y Adaptación a Sequía .....	64
Cuadro 22. Medidas de Captación de Agua Lluvia .....	65
Cuadro 23. Priorización de las Medidas de Adaptación y Mitigación Propuestas .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Riesgo a Sequía de Honduras.....	10
Figura 2. Ubicación de la subcuenca del río Guacerique .....	16
Figura 3. Distribución por edades de la población de la subcuenca del río Guacerique .....	17
Figura 4. Metodología de la Fase I.....	17
Figura 5. Flujograma de metodología para la Fase II.....	22
Figura 6. Metodología para la Fase III .....	24
Figura 7. Metodología de la Fase IV .....	25
Figura 8. IPE promedio para la subcuenca del río Guacerique.....	28
Figura 9. Índice de Precipitación Estandarizado Promedio para la subcuenca del río Guacerique.....	29
Figura 10. IPE para la Estación 21 de octubre.....	33
Figura 11. Índice de Reconocimiento de Sequía de la Subcuenca Guacerique.....	36
Figura 12. Índice de Reconocimiento de Sequía promedio de la subcuenca del río Guacerique .....	37
Figura13. Índice de Aridez de la subcuenca Guacerique para el 2006.....	38
Figura 14. Índice de Aridez de la FAO de la subcuenca del río Guacerique.....	39
Figura 15. Balance hídrico anual por microcuenca de la subcuenca del río Guacerique .....	43
Figura 16. Mapa de cobertura de suelos .....	46
Figura 17. Cobertura de suelos por microcuenca en porcentaje .....	48
Figura 18. Mapa densidad poblacional de la subcuenca del río Guacerique.....	50
Figura 19. Mapa de recarga de hídrica de la subcuenca del río Guacerique .....	52
Figura 20. Mapa de potencial de erosión de suelos de la subcuenca del río Guacerique .....	54
Figura 21. Mapa de precipitación anual promedio de la subcuenca del río Guacerique .....	56
Figura 22. Mapa de vulnerabilidad de la subcuenca del río Guacerique.....	58
Figura 23. Amenaza de ocurrencia de sequía subcuenca del río Guacerique.....	60
Figura 24. Riesgo a sequía en la subcuenca Guacerique .....	62

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1a: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación La Brea .....	78
Anexo 1b: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Quiebramontes .....	79
Anexo 1c: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Batallón .....	79
Anexo 1d: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Tegucigalpa	80
Anexo 1e: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación 21 de Octubre .....	80
Anexo 1f: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Santa Lucía	80
Anexo 1g: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación San Matías.	81
Anexo 1h: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Escarbadero	82
Anexo 1i: Datos de Temperatura de la Subcuenca del río Guacerique, estación Tegucigalpa	82
Anexo 1j: Datos de Temperatura de la Subcuenca del río Guacerique, estación Quiebramontes .....	82
Anexo 1k: Datos de Temperatura de la Subcuenca del río Guacerique, estación El Batallón .	83
Anexo 1l: Datos de Temperatura de la Subcuenca del río Guacerique, de la base de datos FAO CLIM .....	84
Anexo 2: Clasificación de Cobertura de la Subcuenca del río Guacerique .....	85
Anexo 3: Índice de Precipitación Estandarizado calculado para cada estación.....	89
Anexo 3 (Cont.): Índice de Precipitación Estandarizado calculado para cada estación .....	90
Anexo 3 (Cont.): Índice de Precipitación Estandarizado calculado para cada estación .....	91
Anexo 4a: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica.....	92
Anexo 4b: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica .....	93
Anexo 4c: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica.....	93
Anexo 4d: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica .....	94
Anexo 4e: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica.....	94
Anexo 4f: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica .....	95
Anexo 4g: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica .....	96
Anexo 5 Análisis de Varianza .....	96
Anexo 6: Aprovechamiento Actual del Recurso Hídrico en la Subcuenca del río Guacerique	98
Anexo 7: Talleres Realizados en la Subcuenca del río Guacerique .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

- CIAT: Centro Internacional para Agricultura Tropical
- CIDH: Centro Independiente del Desarrollo de Honduras
- CME: Cuadrado Medio del Error
- ENOS: El Niño Oscilación Sur
- ETP: Evapotranspiración Potencial
- FAO: *Food and Agriculture Organization*
- FORGAES: Proyecto de Fortalecimiento de la Gestión Ambiental de El Salvador
- GEF: Fondo Mundial para el Medio Ambiente
- IDAS: Índice de Disponibilidad de Agua Superficial
- IGN: Instituto Geográfico Nacional
- IHC: Índice de Humedad del Cultivo
- IPE: Índice de Precipitación Estandarizado
- IPPN: Índice de Porcentaje de la Precipitación Normal
- IRS: Índice de Reconocimiento de Sequía
- ISHP: Índice de Sequía Hidrológico de Palmer
- ISSP: Índice de Severidad de Sequía de Palmer
- NMDC: *National Mitigation Drought Center*
- MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio
- MED: Modelo de Elevación Digital
- PATH: Proyecto de Administración de Tierras de Honduras
- PBPR: Proyecto de Bosque y Productividad Rural
- PMA: Programa Mundial de Alimentos
- RAS: Recarga Acuífera Subterránea
- SAG: Secretaria de Agricultura y Ganadería
- SANAA: Servicio Autónoma Nacional de Acueductos y Alcantarillados
- SIG: Sistema de Información Geográfico
- SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission*
- UNAH: Universidad Nacional Autónoma de Honduras

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Caracterización de la problemática

Los fenómenos de la naturaleza siempre han estado presentes, ya sean estos erupciones volcánicas, ciclones, sismos, inundaciones, sequías, entre otros. Estos fenómenos naturales causantes de desastres han actuado a lo largo de la historia de la Tierra. El siglo XX fue testigo de muchas catástrofes en Centroamérica, entre las cuales se pueden mencionar el sismo de 1972 que casi destruyó Managua y el huracán Mitch que afectó en mayor grado a Honduras (Hubp e Inbar 2002).

Según Hubp e Inbar (2002) la distribución geográfica de los desastres más catastróficos en América Latina es más acentuada en el Caribe, el sur de México y Centroamérica. En América Latina el crecimiento de población sin planificación acrecentó la vulnerabilidad de zonas de riesgo que fueron pobladas. La sequía es uno de los desastres que afecta muchos países centroamericanos. Se define como un proceso climático prolongado en el tiempo, que evoluciona lentamente dominando un territorio cada vez mayor. A diferencia de otros desastres naturales repentinos y violentos, es más dañina ya que los efectos más fuertes son la escasez de agua y alimentos que favorecen epidemias y mayor mortalidad infantil así como migraciones masivas y mortandad de las cabezas de ganado (Hubp e Inbar 2002).

El año 1999 fue de graves sequías, lo cual coincidió con el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS). ENOS conlleva grandes anomalías climáticas que generan sequías en América Latina como en el año 1999, fuertes lluvias como en 1998, entre otros; además provoca pérdidas humanas, afecta cosechas, la salud y la forma de vida de las personas debido a su incidencia recurrente. La sequía provoca impactos drásticos en las zonas afectadas como cuando en el año 2001 Guatemala declaró estado de emergencia nacional en las provincias de Jocotán y Camotán en las cuales disminuyeron drásticamente los ingresos por causa de la sequía que afectó el cultivo del café, del cual dependían los pobladores de la zona (Villagrán 2002).

Los cambios relacionados con ENOS producen grandes variaciones en las condiciones climáticas; a su vez, estas repercuten profundamente sobre la sociedad al causar sequías, inundaciones, olas de calor y otros que puede afectar fuertemente la agricultura, la pesca, las

condiciones ambientales en general y por ende el suministro y la calidad del agua (Quirós 1990). Las sequías repercuten directamente sobre los patrones de precipitación en una forma tal que no permiten la recuperación de las zonas de la recarga acuífera, fomentando sucesos como los incendios forestales que pueden alterar indirectamente la oferta hídrica de una región.

Además de la oferta del recurso hídrico, disminuye la calidad del agua, ya que mientras más cerca se encuentre una cuenca productora de agua a una zona urbana más propensa se encuentran a presiones de degradación ambiental por su disposición para expansiones urbanas. Estas actividades no adecuadas, en zonas productoras de agua, conllevan a un sobre uso del suelo, que frecuentemente ocasiona erosión.

En Honduras la sequía ha afectado en general a gran parte del país, pero en el 2006 fue principalmente a los departamentos de Choluteca, El Paraíso y Valle, en donde reside un sexto de la población nacional, los más afectados. En el 2005 se perdieron 135 mil toneladas de cosechas que correspondían al alimento de 65 mil familias (Muñoz 2007). La subcuenca del río Guacerique también ha sido blanco de sequías como la ocurrida en el 2001 que virtualmente secó la represa los Laureles que abastece de agua a la capital, esto provocó que se decretara estado de emergencia y se estableciera un fuerte programa de racionamientos de agua. Este fenómeno no solo causó la disminución del recurso hídrico disponible, sino también la pérdida de cosechas de frijoles, maíz y maicillo (BBC 2001). Según la Fiscalía del Medio Ambiente, cerca de 300 árboles son talados a diario en el área de la subcuenca, lo que produce pérdida de biodiversidad, erosión, reducción de la capacidad de infiltración del suelo esto se puede evidenciar en la orilla de la parte plana del embalse, unos 25 m hacia adentro del mismo, en donde los contornos presentan fuerte resequedad, agrietándose inclusive el suelo (Carías 2005).

## **1.2 Justificación e importancia**

La subcuenca del río Guacerique provee 25% del agua potable para Tegucigalpa a través del embalse los Laureles y está sujeta a grandes presiones socioeconómicas (Hernández 2003). Esta subcuenca se encuentra fuertemente deforestada, lo que provoca en el periodo lluvioso que las aguas arrastren el suelo superficial de las laderas hacia el río, causando una fuerte

sedimentación en la represa. Se estima que la erosión promedio de las laderas asciende a 800 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año; el área de la subcuenca es de 202 km<sup>2</sup>, por lo que la pérdida anual de suelo es de 200,000 m<sup>3</sup>/año, o sea, más de un 2% de su volumen anualmente. Otras fuentes de erosión a lo largo del río y las quebradas, de construcciones y de calles sin asfaltar, le sugieren a diversos especialistas que la pérdida del volumen de suelo puede ser tan alta como 5%, particularmente en los años de mayor precipitación (Lee 1996).

En el año 2005, la Fiscalía del Medio Ambiente predijo una vida útil restante de 5 años para la represa, debido a la fuerte deforestación de roble y pino lo cual acabaría con su potencial de fuente productora de agua. Asimismo se aúna a esto la construcción de complejos habitacionales en la periferia del embalse y el ser utilizado como botadero de muertos y balneario (La Tribuna 2001). Actividades agrícolas y urbanas ocupan el 20% del área territorial de la cuenca, con un 75% de estas tierras con usos considerados incompatibles con su función como fuente abastecedora de agua potable (Lee 1996).

Para el 2006, la represa los Laureles, durante la época seca, sólo pudo abastecer 500 litros de agua por segundo, lo que obligó a racionar severamente al 21% de las colonias de Comayagüela, la ciudad gemela de Tegucigalpa, por lo cual el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) se vio forzada a perforar seis pozos en la subcuenca, lo que afectará aún más su balance hídrico, al disminuir las pocas reservas de agua subterránea (El Heraldo 2006).

Como parte de las actividades para tratar de mitigar la degradación de la subcuenca, el SANAA ha definido políticas ambientales de acción para su conservación, a través de la creación en 1992 de un Departamento Técnico, que ha implementado diversas estrategias que incluyen alianzas con actores claves y la firma de un convenio entre el Centro Independiente del Desarrollo de Honduras (CIDH) y el SANAA para establecer el manejo de la parte baja de la subcuenca del río Guacerique mediante el cual se han implementado diversas actividades orientadas a la recuperación ambiental (Ordoñez 2002).

Una investigación comprensiva de eventos futuros de sequía es esencial para encontrar soluciones sostenibles para la problemática de manejo del recurso hídrico y una asesoría adecuada en el riesgo de sequía (Bordi, et ál. s.f.). La sequía a diferencia de otros desastres, evoluciona más lentamente a lo largo del tiempo, sus impactos generalmente se expanden a lo largo de un periodo prolongado de tiempo más allá de la duración del fenómeno. Estas

características hacen posible una mitigación más efectiva de sus efectos más adversos, si se tiene un monitoreo de alerta oportuno de una sequía venidera (Cancelliere et ál. 2007).

Las cuencas de Honduras, incluyendo la del río Guacerique, son mucho más susceptibles a estos eventos por la falta de monitoreo y preparación para este tipo de desastres. Esta falta de preparación causa, que cada vez más, estos desastres mitigables causen pérdidas millonarias, estrés y pérdidas humanas. Tegucigalpa es la capital de Honduras y sus problemas de escasez de agua potable afectan a la mayoría de la población todos los años, situación que se agudiza con el pasar de los años (Hernández 2003). Es por esta razón que se justifica la realización de estudios que conduzcan a mitigar y prevenir desastres como la sequía que pueden ser predecibles y caracterizables. También son importantes los estudios que recomienden acciones que les permitan a los pobladores de las cuencas adaptarse a la situación, pero que también contribuyan a disminuir los efectos del fenómeno, que vaya de acorde a las necesidades de la población, pero que puedan ser ejecutadas por ellos mismos dentro de sus actividades productivas. Este es el caso de la subcuenca del río Guacerique y para la cual los resultados del estudio pueden servir a las autoridades técnicas, políticas y administrativas de apoyo para la toma de decisiones.

### **1.3 Objetivos del estudio**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Realizar un análisis de la sequía en la subcuenca del río Guacerique, identificando las zonas más vulnerables por sector socioeconómico de la población y proponer políticas, lineamientos, programas y acciones que promuevan el mejoramiento de la condición hidrológica de los suelos de la cuenca.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos y preguntas de investigación***

1. Realizar un análisis de sequías en la cuenca para distintos periodos de retorno.  
¿Cuál es la frecuencia e intensidad de los fenómenos de sequía que afectan la cuenca?
2. Identificar las zonas vulnerables al fenómeno de la sequía en la cuenca y categorizarlas.  
¿Cuáles son las zonas críticas de la cuenca propensas a sequías?

3. Proponer de forma participativa actividades de conservación de suelos y aguas que mejoren la condición hidrológica de los suelos y que propicien un uso del suelo acorde con su capacidad.

¿Cuáles son las recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad a la sequía en la subcuenca?

¿Cuáles son las políticas, lineamientos, programas y acciones y prácticas conservacionistas que son mejor aceptadas y que se adaptan al área de estudio y que promueven el mejoramiento de la condición hidrológica de los suelos?

4. Proponer de manera participativa estrategias de adaptación a la sequía que sean apropiadas a las condiciones socioeconómicas de la población.

¿Cuáles estrategias de adaptación están dispuestos los distintos actores a implementar para reducir el impacto negativo de las sequías?

5. Determinar el grado de inserción de los actores de la cuenca en las políticas y programas nacionales e institucionales de la lucha contra la desertificación.

¿Cuál es la participación de los actores locales en las políticas y programas nacionales e institucionales de la lucha contra la desertificación?

Si la participación es deficiente o no existe, ¿Cuáles son los organismos, mecanismos y oportunidades de integración en las que podrían involucrarse?

## **1.4 Hipótesis del estudio**

La subcuenca del río Guacerique se encuentra sujeta a sequías meteorológicas y agrícolas lo que ha disminuido el agua disponible para satisfacer el uso consuntivo y no consuntivo de la subcuenca.

## **2 MARCO REFERENCIAL**

### **2.1 Definiciones y tipos de sequía**

La definición más general es la que considera la sequía como una disminución significativa de la disponibilidad del agua durante un periodo largo de tiempo sobre un área grande. Se considera un fenómeno tridimensional que puede ser caracterizado por su severidad o intensidad, duración y extensión geográfica (Tsakiris et ál. s.f.). La sequía es también definida como un fenómeno temporal que resulta de la escasez o mala distribución prolongada de la precipitación y de la evaporación en exceso, de manera que la combinación resultante provoca un importante déficit entre la necesidad de las plantas y el agua que absorben desde el suelo (Benegas 2006).

Existen tres tipos de sequía: meteorológica, hidrológica y agrícola. La sequía meteorológica involucra una reducción en la precipitación en algún periodo de tiempo por debajo del promedio a largo plazo en cierto periodo de tiempo. Su definición se basa en datos de precipitación. La sequía hidrológica es aquella que trata de una reducción de los recursos acuáticos como nivel o flujo de cuerpos de agua superficiales, subterráneos por debajo del nivel promedio en un tiempo dado. Este tipo de sequía solo incorpora datos de disponibilidad y tasa de consumo con base en el uso normal del sistema como lo es el uso doméstico, industrial y agrícola. El tercer tipo de sequía es la agrícola que se considera un efecto de las sequías meteorológicas e hidrológicas. Es la más difícil de identificar, ya que esta puede ser causada por diversos factores, entre los cuales se encuentra la baja de humedad del suelo, por lo cual no se puede suponer que la sequía meteorológica y la agrícola sean iguales (Jiménez 2007).

### **2.2 Metodologías de análisis**

Se han propuesto varias metodologías para la identificación, cuantificación y monitoreo de la sequía. Entre ellas, las más usadas son los índices de sequía, los cuales son combinaciones especiales de indicadores que utilizan datos meteorológicos e hidrológicos, entre otros. Estos índices se consideran extremadamente útiles, ya que simplifican interrelaciones complejas y permiten evaluar cuantitativamente anomalías climáticas. Esto

facilita el análisis de sequías históricas y sus tiempos de retorno. Los índices se pueden agrupar en dos categorías: generales y específicos. Los generales son aquellos que presentan un vista general de la ocurrencia de la sequía y su severidad, mientras que los específicos son más útiles para correlacionar eventos de sequía con daños que se anticipan por la sequía en los sectores ambientales y socioeconómicos (Tsakiris et ál. s.f.).

Entre los índices más utilizados para evaluar la sequía se encuentran el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP), el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE), el Índice de Porcentaje de la Precipitación Normal (IPPN) y el Índice de Sequía de Reconocimiento (ISR) Además de los índices anteriormente mencionados, hay otros menos utilizados que son derivados de los tres anteriormente mencionados. Estos son: Índice de Humedad del Cultivo (IHC); Índice de Sequía Hidrológica de Palmer (ISHP) y el Índice de Disponibilidad de Agua Superficial (IDAS) (Tsakiris et ál. s.f.).

El ISSP toma en cuenta la intensidad y los tiempos de inicio y finalización del periodo de sequía. Este índice es considerado de tipo meteorológico y toma en cuenta la precipitación, evapotranspiración y humedad del suelo, los cuales son factores determinantes de sequías hidrológicas. Es por esto que este índice se recomienda para evaluar la disponibilidad de agua. Además ha sido estandarizado para facilitar comparaciones directas de ISSP entre regiones (Alley 1984). El IPE involucra el ajuste de series históricas de precipitación mensual a la función de distribución probabilística Gamma (Monitoreo de la Sequía s.f.). Este índice se considera el mejor para reconocer las sequías, realizar comparaciones espaciales y cuantificar la duración, severidad y magnitud de las mismas. Asimismo permite el análisis de las sequías a diferentes escalas temporales y la identificación de los diferentes tipos de sequía como las agrícolas e hidrológicas (Cuadrat-Prats et ál. 2004).

El IPPN toma en cuenta la relación existente entre la precipitación acumulada en un periodo de tiempo determinado y la precipitación media anual de una región, expresada de manera porcentual (Monitoreo de la Sequía s.f.). Este índice es obtenido por cálculo simple y es usado por profesionales en general. Asimismo es mayormente usado para comparar una región o temporada (Tsakiris et ál. s.f.). El ISR muestra ventajas significativas sobre otros índices al incluir aparte de la precipitación, la evapotranspiración potencial. El ISR responde de manera similar que el IPE, sin embargo es más sensitivo y apropiado para aquellas cuencas con una ambiente cambiante. Asimismo este índice puede ser calculado para cualquier periodo

de tiempo, puede ser asociado efectivamente con la sequía agrícola. Está directamente ligado a las condiciones climáticas de la región, ya que con el valor anual puede ser comparado con el índice de aridez de la FAO (Tsakiris et ál. 2007).

### **2.3 Efectos de la sequía**

La sequía ha causado estragos a distintos niveles y afecta a todos los niveles sociales y a todas las sociedades desde los países en vías de desarrollo hasta los desarrollados. Solamente en la década de los 90 el 86% de las muertes relacionadas con desastres fueron causadas por amenazas naturales y solo el 14% por desastres tecnológicos, tales como transportes y accidentes industriales. Asia por si solo sufrió el 75% de muertes por desastres naturales. Un total de 640 sequías han sido reportadas en las últimas tres décadas; estas no resultan en daños de infraestructura sino más bien en grandes pérdidas de granos y ganadería. Las sequías cubren vastas áreas de tierra y usualmente afectan a varios países vecinos. Estas pueden ser asociadas con problemas meteorológicos y factores ambientales; además las sequías son predecibles especialmente a lo largo de varios años. En Etiopía las sequías causaron aproximadamente 500,000 muertes entre 1960 y 1990, pero se estima que el número aproximado de personas que perecieron por la gran sequía de Etiopía 1984-1985 ascendió de 600,000 a un millón de personas. Esto es bastante notable ya que muertes por sequía raramente ocurren, más bien usualmente son registradas como muertes por enfermedades infecciosas (Guha-Sapir et ál. 2004).

En la región centroamericana 8 millones de personas viven en las áreas rurales de un “corredor de sequía”, definido por el Programa Mundial de Alimentos (PMA) como un área seca continua con una estación seca de seis meses o más, situada en la costa Pacífica de América Central que están más propensas a desastres naturales y deficiencia ocasional de alimentos (Benegas 2006). En América Latina se pueden mencionar varias sequías que causaron pérdidas significativas: Brasil en 1978 que conllevó una pérdida de 2.3 billones de dólares, Bolivia en 1983 reportando pérdidas de 0.55 billones de dólares y Nicaragua en 1994 con 0.16 billones de dólares (Guha-Sapir et ál. 2004).

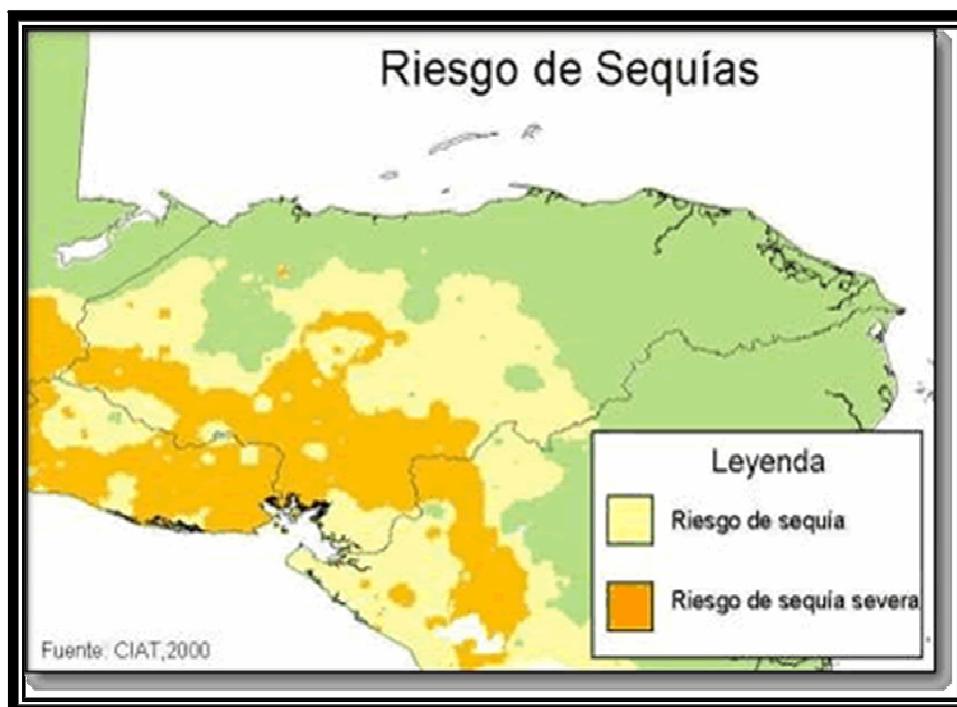
El primer sector en ser afectado por la sequía es el sector agrícola, ya que el fenómeno afecta la calidad de tierra y al combinarse con prácticas inadecuadas de la misma, en especial

en áreas semiáridas, puede iniciar o acelerar la desertificación (Benegas 2006). En el año 2001 se perdieron de 50 a 100% de los cultivos debido a la severa sequía. Se estima que aproximadamente 1.4 millones de personas han sido afectadas, de estas 775,798 han fueron afectadas severamente en la seguridad alimentaria. Los principales afectados han sido los agricultores de subsistencia, sus reservas alimenticias han disminuido considerablemente en los últimos 5 años, debido a las sequías causadas por el fenómeno del Niño, luego el huracán Mitch y finalmente las sequías que los han afectado desde 1999 (WFP 2001).

En los distintos países latinoamericanos se han visto diferentes niveles de sequía; México ha sufrido sequía los últimos 10 años, evidenciado en una escasez de agua cada vez más pronunciada, al igual que Lima, Perú, en la cual la escasez ha causado epidemias como la de cólera en 1991. En Chile, la escasez de agua debilitó a tal grado los embalses, que hubo apagones generalizados en la década de los noventas (Jiménez et ál. 2004).

Centroamérica es una de las regiones más propensas a los desastres en el mundo. Las características climáticas, geomorfológicas, geográficas y socioeconómicas, la degradación y la mala gestión ambiental aumentan la capacidad de afectación de las amenazas naturales, primordialmente ciclones tropicales, inundaciones, deslizamientos, sismos y sequías (Jiménez et ál. 2004). Esta región ha sido fuertemente golpeada por la sequía, reportándose 49 sequías desde 1974-2003, de las cuales la mayoría, un total de 33, han ocurrido de 1994-2003. En el 2001 se observó la sequía considerada la más grave de la historia reciente provocando como consecuencia una epidemia de hambre que está afectando fuertemente a las regiones más pobres de cada país (Quesada 2001). Otro gran ejemplo es El Salvador, en las áreas de clase media, en las cuales el agua se encuentra siempre racionada (Latin Trade 2002). Honduras ha sido afectada históricamente por una serie de eventos naturales que han causado diversos efectos sobre la sociedad, economía, recursos naturales y por ende en el desarrollo del país. Según el CIAT (2001), Honduras tiene la probabilidad de tener de 0 a 1 sequías por año, especialmente en sus zonas Centro y Sur en donde el riesgo es de sequías severas (Figura 1). En los últimos 100 años se han visto un promedio de una sequía severa cada 15 a 20 años y de sequía cada 2 ó 3 años, en el periodo de enero, febrero y marzo, los cuales han sido tradicionalmente los meses más secos del año. En Honduras particularmente se han registrado varias sequías, de 1994-1998 se reportó una, de 1999 al 2003 se reportaron cuatro lo que

demuestra un dramático aumento de desastres de este tipo en la última década (Guha-Sapir et ál. 2004).



*Figura 1. Riesgo a Sequía de Honduras.*

Fuente: CIAT 2000.

Lo anterior evidencia que los efectos más fuertes de la sequía han sido en las últimas décadas durante la ocurrencia del fenómeno del Niño Oscilación Sur (ENOS). ENOS induce anomalías de precipitación negativas en donde se ve una reducción en los patrones de precipitación sobre la zona intertropical de convergencia y Sur América Ecuatorial. Asimismo se han encontrado anomalías en las temperaturas troposféricas, lo que incide en las anomalías de precipitación al interactuar con la convección húmeda (Chou y Lo 2007). Esto evidencia que por estos fenómenos, la región Centroamericana se encuentra muy vulnerable a desastres como la sequía, incrementándose esta con la ocurrencia de ENOS y la acelerada degradación de los recursos naturales.

## **2.4 Vulnerabilidad a sequía**

La vulnerabilidad se refiere al grado de daño o pérdida que puede sufrir un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento de una

magnitud e intensidad dada. El análisis y evaluación de la vulnerabilidad contribuye en gran forma al conocimiento del riesgo el cual es producto de la interacción entre amenaza y vulnerabilidad (Jiménez et ál. 2004).

El análisis de vulnerabilidad es el proceso en el cual se determinan y priorizan los componentes críticos débiles o susceptibles de daño o interrupción en los diversos servicios y elementos, así como las medidas de prevención, preparación y mitigación que se deben tomar ante una amenaza específica o un grupo de ellas, con el fin de lograr una reducción o eliminación de dicha vulnerabilidad (Jiménez 2007b). La determinación de vulnerabilidad a sequía se realiza mediante distintas metodologías, en este caso se determinarán variables e indicadores para cada tipo de vulnerabilidad según la metodología propuesta por Jiménez (2007a).

## **2.5 Medidas de mitigación y adaptación a la sequía**

La mitigación es la planificación y ejecución de medidas de intervención encaminadas a disminuir el riesgo. Específicamente son las actividades que se llevan a cabo para disminuir el impacto que provoca un desastre natural (Lorio 2004). Con la identificación de las áreas más vulnerables a sequía, se procede a buscar medidas para su mitigación, como lo es el problema de escasez de agua que se suscita durante estos fenómenos. Para ello una de las medidas es el manejo de los suelos con fines de mejoramiento de la capacidad hidrológica de los mismos, respetando siempre la actividad productiva que se lleva a cabo en el lugar, ajustando las técnicas de manejo para que se adapten al uso de la tierra.

Las medidas de conservación van encaminadas al control del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie y del agua de escorrentía. Existen tres principales técnicas de conservación de suelos: medidas generales de cultivos, medidas especiales de cultivo e infraestructuras para conservar el suelo y el agua. Las medidas generales de cultivo son prácticas que pueden lograr el mantenimiento de la capacidad productiva del suelo y por lo general no suponen un aumento de los costos de producción. Las medidas especiales de cultivo son aquellas que se planifican antes de la introducción de un nuevo cultivo o realizar una nueva plantación al tomar un nivel alto en la percepción de la utilidad del suelo como recurso natural (Porta et ál. 1999).

La introducción de infraestructuras para conservar el suelo y el agua se traducen en un alto grado de percepción de la utilidad del suelo y de los problemas de degradación que puede tener el lugar por degradación. Existen muchas técnicas entre las cuales podemos nombrar terrazas que favorecen la infiltración y permiten el control de escorrentía, barreras vegetales que son formas más baratas para conservar el suelo y el agua y concentración parcelaria que favorecen la conservación del suelo y el agua, entre otras (Porta et ál. 1999).

La adaptación se define como el ajuste en la respuesta de los sistemas ecológico, social o económico la situación esperada, sus efectos o impactos. Es decir los cambios en procesos, cambios o estructuras para moderar o contrarrestar los efectos potenciales o tomar ventaja de las situaciones que se presentan con los fenómenos naturales. La adaptación es el ajuste de un sistema para moderar los impactos de los disturbios y tomar ventajas de las oportunidades o enfrentarse y recuperarse de las consecuencias de los desastres naturales (Lorio 2004).

Según Fernández et ál. (2003), todas las sociedades se adaptan a la variabilidad climática, los gobiernos poseen conciencia de la necesidad de medidas de adaptación a desastres naturales como sequía y la adaptación del sector hídrico al cambio climático es un proceso que involucra diversos factores.

El gobierno de Honduras ha realizado actividades a favor de la adaptación al cambio climático como la firma de un memorando de entendimiento sobre iniciativas al cambio climático que incluyen la realización de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). El primero, ya en ejecución, es uno en la Central Hidroeléctrica de la Esperanza que genera reducciones certificadas de emisiones (diariodigitalagrario.net 2006).

En materia de adaptación al cambio climático, en el año 2003 se firmó el Proyecto de Generación de Capacidades para la Adaptación al Cambio Climático apoyado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). Actualmente se ha realizado la primera etapa del proyecto que consiste en un estudio modelo en Tlaxcala, México que abarca tres sectores (agricultura, bosques y agua) y que propuso mostrar la vulnerabilidad actual y futura del medio ambiente y ofrecer propuestas de adaptación al calentamiento global.

Los resultados mostraron que en agricultura la mayor amenaza es la erosión, que aún cuando los campesinos saben de algunas técnicas de conservación de suelos, la erosión continua. Además, la disminución de la humedad de los suelos podría convertirse en sequía

agrícola. Como respuestas de adaptación se propusieron reuniones periódicas con grupos focales de productores que fomenten la elaboración de mapas de suelos, zonas con disponibilidad de agua, de bosques y de fauna además de identificar los peligros climáticos que más afectan a la agricultura.

En el área hídrica se propusieron estrategias a largo plazo como conservación de las zonas de recarga, regulaciones para controlar directamente el uso del agua y tierra, protección de bosques riparios, restauración de los lechos de los ríos sus formas naturales y reducción de la contaminación del agua. Además se propone considerar una mejor planeación y preparación para sequías e inundaciones, cuidado de la calidad de agua, mediciones y cobro de uso del agua en zonas que no lo hagan, reglas de operación de los acuíferos ante el cambio climático y mejoras en la infraestructura hidráulica (Rodríguez 2007).

## **3 METODOLOGÍA**

### **3.1 Localización y descripción del área de estudio**

La presente investigación se realizó en la subcuenca del río Guacerique (Figura 2). Esta subcuenca se encuentra ubicada en el sur oeste de Honduras, delimitada por la montaña de Yerbabuena al Norte, la ciudad de Tegucigalpa al este, la cuenca de la Concepción al sur y el pueblo de Lepaterique al oeste. Está ubicada en el departamento de Francisco Morazán, en los municipios del Distrito Central y Lepaterique. La cuenca del río Guacerique tiene un área superficial de 203.34 km<sup>2</sup>, con una altura mínima de 1020 msnm y una altura máxima de 2020 msnm.

#### ***3.1.1 División política***

La subcuenca del río Guacerique se encuentra ubicada en el departamento de Francisco Morazán, entre los municipios de Lepaterique y el Distrito central.

#### ***3.1.2 Topografía***

La topografía del área es bastante quebrada con pendientes escarpadas y cauces intermitentes que se secan en la época seca y que llevan flujos torrenciales altamente fluctuantes en la época lluviosa (Lee 1996). Se encuentra ubicada en 156214.367 N, 1550129.274 S, 453916.735 O y 4744228.922 E, en la hoja cartográfica # 1628 y 1636c de Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGN).

#### ***3.1.3 Clima***

El régimen climático para los fines de este trabajo se caracteriza por una estación seca que abarca de noviembre a abril y una lluviosa de mayo a octubre. Los meses más húmedos son junio y septiembre y los más secos de enero a marzo. La precipitación promedio anual (Figura16) es de 998.9 mm y una temperatura promedio de 20.8 °C según los datos calculados de las estaciones meteorológicas de la subcuenca (Anexo 1).

### ***3.1.4 Suelos***

Según el mapa de suelos generado por el SANAA, se determinó que los suelos de la subcuenca corresponden a las series Salalica, Cocona, Ojojona, Suelos de los Valles, Yauyupe, Milile y Chandala. Correspondiendo estas series con la topografía de pendientes onduladas a fuertes, profundidad efectiva limitada exceptuando la serie Milile y con restricciones variadas por humedad, drenaje, estructura y pedregosidad para los usos agrícolas (Hernández 2003).

### ***3.1.5 Red hídrica***

El drenaje de la subcuenca se clasifica como un patrón de drenaje dendrítico, con una corriente principal y sus afluentes primarios y secundarios, uniéndose libremente en todas direcciones lo que indica una pendiente inicial relativamente plana y compuesta de materiales uniformes (Bitriago 2006).

### ***3.1.6 Caracterización poblacional***

De acuerdo al último censo poblacional del Instituto Nacional de Estadística (INE) del 2001, dentro de la subcuenca se encuentran ubicados 44 caseríos o asentamientos humanos, con un total de 9432 de habitantes, de los cuales 4853 son hombres que representa 51.45 % y 4579 son mujeres, representando un 48.54%.

Las edades se encuentran distribuidas con una mayoría de juvenil menores de 20, lo que representa un 53% de la población (Figura 3).

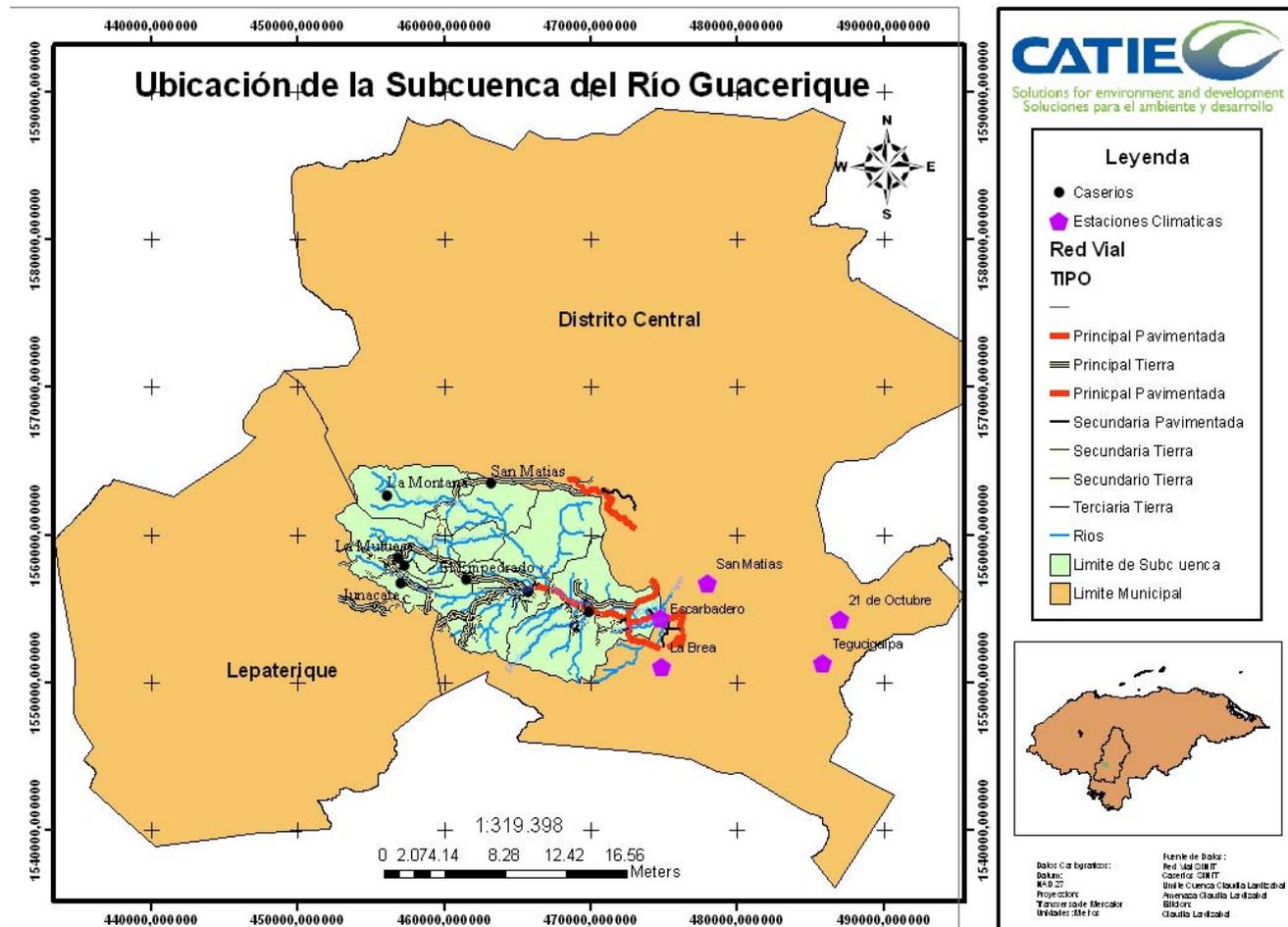


Figura 2. Ubicación de la subcuenca del río Guacerique

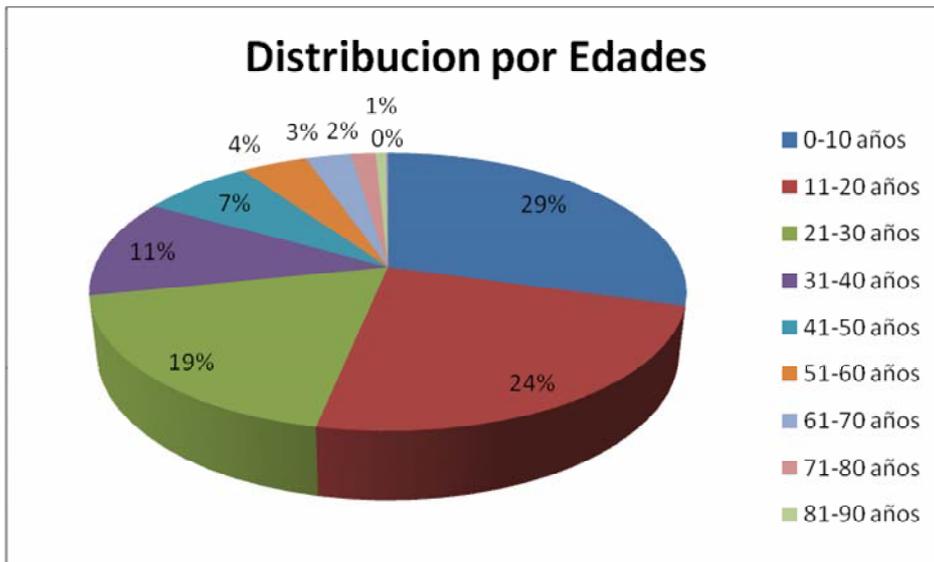


Figura 3. Distribución por edades de la población de la subcuenca del río Guacerique

### 3.2 Procedimientos metodológicos

Para el presente trabajo fue necesario recopilar diferentes datos, mismos que dependían del objetivo específico o actividad a la que aportaban. Por ello se pueden clasificar en tres grupos:

1. Datos para calcular índices de sequía
2. Datos espaciales para la identificación de áreas críticas
3. Información para establecer la inserción de la cuenca en políticas de sequía

#### 3.2.1 Fase I Determinación y predicción de sequía

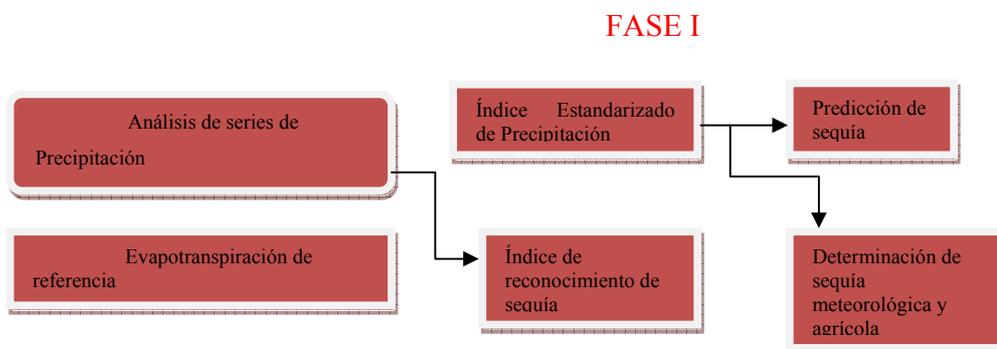


Figura 4. Metodología de la Fase I

La determinación y predicción de sequía se realizó mediante el cálculo de Índices de Sequía, (Figura 4) analizando las series de precipitación de ocho estaciones meteorológicas (Tegucigalpa, El Batallón, San Matías, Queibramontes, La Brea, Escarbadero, 21 de Octubre y Santa Lucía) y los datos de evapotranspiración de referencia de las estaciones disponibles. Debido a la falta de datos de temperatura y evapotranspiración se utilizó la base de datos de FAO CLIM, de donde se obtuvo la temperatura, la cual se usó para llevar a cabo un regresión lineal en conjunto con la elevación, tomando como base la premisa que existe una relación inversa entre la temperatura y la elevación y por consiguiente la evapotranspiración. Se generó una ecuación de regresión por cada mes del año, que se evaluó con el MED para obtener la ETP por mes, por píxel. Después de una revisión sistemática de diversos índices se decidió usar el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) y el Índice de Reconocimiento de Sequía (IRS) por la poca información necesaria para calcularlos, su aplicabilidad universal y por su efectividad para describir y comparar sequías entre diferentes periodos de tiempo.

Según Cancelliere (2007), el IPE es ideal para evaluar el riesgo a sequía, además predice un horizonte de tiempo M como una función de valores pasados de precipitación mensual. Asimismo se estimó la precisión del pronóstico de sequía a través del cuadrado medio del error, lo que permite derivar intervalos de confianza para las predicciones. Finalmente se valida la expresión derivada comparando los valores observados y los pronósticos teóricos del índice. La metodología utilizó los rangos (Cuadro 1) provistos por el Centro Nacional de Mitigación de Sequías de los Estados Unidos (NMDC 2007) y consistió de los siguientes pasos:

Cuadro 1. Rangos de Valor del Índice de Precipitación Estandarizado

Valores del IPE	
Valor	Categoría
2.0+	Extremadamente húmedo
1.5 to 1.99	Muy húmedo
1.0 to 1.49	Moderadamente húmedo
-.99 to .99	casi normal
-1.0 to -1.49	Moderadamente seco
-1.5 to -1.99	Severamente seco
-2 y menos	Extremadamente seco

Fuente: NMDC

1. Calcular la media mensual de precipitación usando  $\mu_t = \sum_{i=0}^{k-1} \mu_{t-i}$  donde  $t$  es el mes y  $k$  son los meses agregados.
2. Establecer tiempo de agregación de meses ( $k$ ). En este trabajo el tiempo de agregación correspondió a las épocas de lluvia y épocas secas de la zona. Estas se calcularon a partir de la moda mensual; de toda la serie de precipitaciones, los seis meses que presentaron la mayor moda se tomaron como la época lluviosa y los otros seis se tomaron como la época seca. Para ello se tomaron los valores mensuales de precipitación y a los seis mayores se los indicó con una  $x$  repitiendo la operación todos los años, luego se sumaron las  $x$  para cada mes y aquellos 6 meses con la mayor cantidad de  $x$  fueron los meses lluviosos y los restantes los meses secos.
3. Calcular la precipitación agregada para ese intervalo de meses  $Y_{v,t}(k) = \sum_{i=0}^{k-1} \mu_{t-i}$
4. Calcular la desviación estándar de precipitación en el mes  $t$  bajo hipótesis de valores no correlacionados con el tiempo  $\sigma_t^{(k)} = \sqrt{\sum_{i=0}^{k-1} \sigma_{t-i}^2}$
5. Calcular el Índice Estandarizado de Precipitación (IPE) bajo la hipótesis de precipitación mensual agregada en una escala de tiempo  $k$  distribuida normal  $IPE_{v,t}^{(k)} = \frac{Y_{v,t}^{(k)} - \mu_t^{(k)}}{\sigma_t^{(k)}}$  con  $Y_{v,t}^{(k)} = \sum_{i=0}^{k-1} \mu_{t-i}$  de precipitación agregada en  $k$  meses.
6. Calcular la auto covarianza a un lapso  $M$  de  $IPE_{y,t+M}^{(k)}$  por ende la covarianza

$$\left[ IPE_{v,t-M}^{(k)}, IPE_{v,t}^{(k)} \right] = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=0}^{k-1} \sigma_{t+M-i}^2 \sum_{j=0}^{k-1} \sigma_{t-j}^2}} \rho \sum_{i=0}^{k-M-1} \sigma_{t-i}^2$$



evapotranspiración de referencia. En la mayoría de la estaciones no existía medidas de evapotranspiración ni de temperatura, por lo cual se procedió a calcularla mediante una regresión lineal, utilizando la base de datos de FAOCLIM y el modelo de elevación digital de la subcuenca, calculándose de esta manera, la ETP por píxel.

El IRS puede ser calculado para cualquier periodo de tiempo, está directamente relacionado con las condiciones climáticas de la región, ya que su valor anual puede ser comparado con el índice de aridez de la FAO y puede ser usado bajo condiciones de inestabilidad climática para examinar la significancia de varios de ellos. La metodología es la siguiente:

1. Calcular el valor inicial del IRS ( $\alpha_0$ ) que puede ser calculado para cada mes, pero en

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}, \quad i=1(1)N \text{ y } j=1(1)12. \text{ En donde } P_{ij} \text{ y}$$

$PET_{ij}$  son la precipitación y la evapotranspiración potencial del  $j$ -ésimo año e  $i$ -ésimo año y  $N$  es número total de años de los datos disponibles.

2. Calcular el  $IRS_n^{(i)}$  normalizado para cada año, utilizando la media aritmética de alfa,

$$IRS_n^{(i)} = \frac{\alpha_0^{(i)} - \bar{\alpha}_0}{\alpha_0}, \text{ en donde } \bar{\alpha}_0 \text{ es la media aritmética de}$$

los valores de  $\alpha_0$ , calculados para los  $N$  años de datos.

3. Calcular el  $IRS_{st}$  estandarizado  $IRS_{st(k)}^i = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\sigma_{y_k}}$  en donde  $y_k^{(i)}$  es el

$$\ln(\alpha_0^{(i)}), \bar{y}_k \text{ es la media aritmética y } \sigma_{y_k} \text{ es su desviación estándar.}$$

4. El IRS estandarizado se comporta de manera similar al ISP, por lo que se puede comparar con los mismos rangos del ISP.

Se procedió realizar el cálculo de los índices y las predicciones para cada estación meteorológica, usando Excel. Los índices resultantes fueron interpolados con el Arc GIS 9.2, mediante el método de IDW, para de esa manera espacializarlos.

### 3.2.2 Fase II Determinación de zonas de riesgo

En la Figura 5 se presenta el flujograma metodológico utilizado para la determinación de zonas de riesgo.

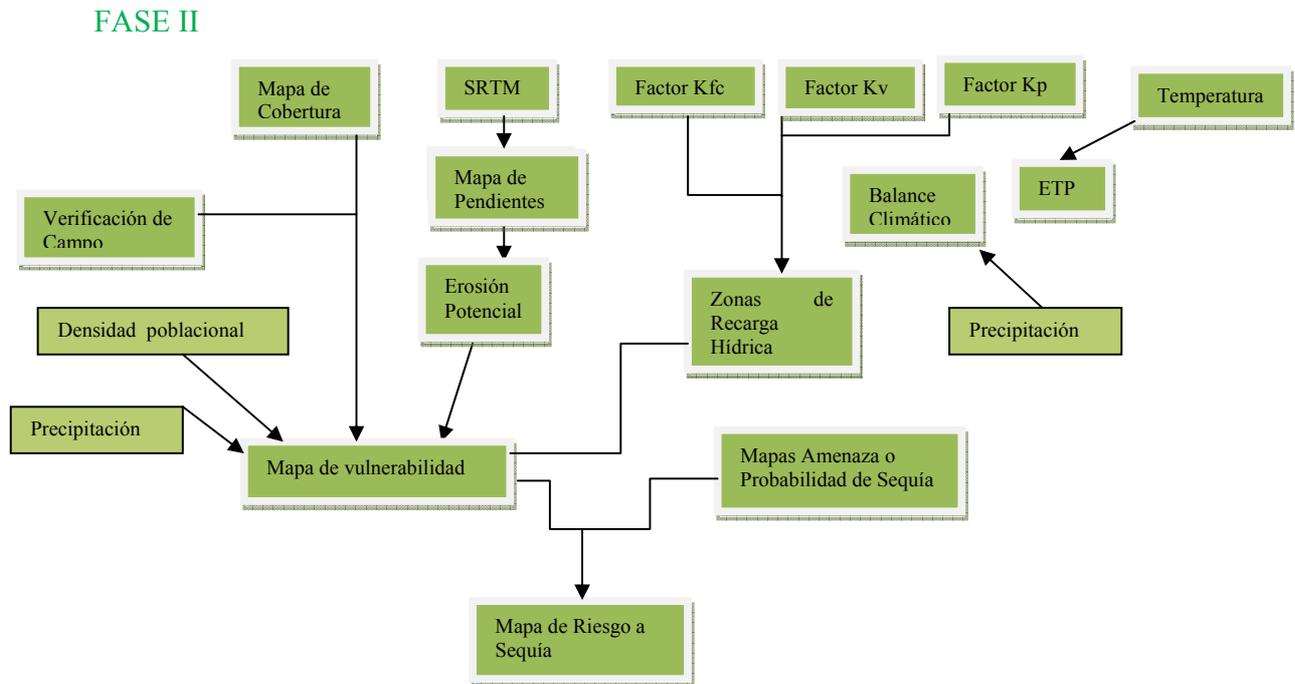


Figura 5. Flujograma de metodología para la Fase II

No existe una definición exacta y uniforme para áreas críticas. Una propuesta práctica de determinación de zonas de riesgo incluye la priorización de actividades con base en varios parámetros principales que incluyen los aspectos más importantes de índole ambiental, sociológica y económica. Se toman en cuenta variables como erosión y sedimentación, expansión de la frontera agrícola, zonas de recarga hídrica, infraestructura construida y por construir, potencial de uso de suelos en la parte alta de la cuenca y potencial de uso de suelos de la parte baja de la cuenca, periodicidad o amplitud de eventos o desastres naturales y antropogénicos (González 2001).

En este estudio de tesis se calcularon las zonas de riesgo usando como parámetros el potencial de erosión, cobertura de suelos, precipitación, densidad poblacional, áreas de recarga hídrica y probabilidad de ocurrencia de sequía. Para ello se elaboró, utilizando el Arc GIS 9.2, primero el modelo de elevación digital (MED), tomando como base el SRTM de 90 m del área y a partir de esto, se derivó el mapa de pendientes. El siguiente paso fue la elaboración un

mapa de cobertura de suelos, tomando como base las ortofotos de la subcuenca provistas por el Proyecto de Administración de Tierras de Honduras (PATH), que se utilizan como base para la realización de catastro de la zona. Luego se interpretaron las ortofotos, clasificando la cobertura en diversas categorías (Anexo 2).

Se elaboró el mapa potencial de erosión para el que se usaron como insumos básicos el mapa de uso actual del suelo y el mapa de pendientes. Adicionalmente se elaboró el mapa de zonas de recarga hídrica siguiendo el método RAS propuesto por el Proyecto FORGAES. Este método es sencillo, aplicable, está basado en datos existentes, es reproducible y da como resultado el potencial de la recarga hídrica de una zona.

Se han considerado como los factores más importantes el clima, la geología en conjunto con la vegetación, la topografía y el uso de suelos. El método RAS especifica la utilización de la precipitación anual y la temperatura anual para dar lugar al mapa de balance climático. Seguidamente se elaboraron los mapas de los factores  $K_p$ ,  $K_v$ ,  $K_{fc}$  que se derivan de los mapas de pendiente, textura y uso de suelos, respectivamente. Estos coeficientes pueden determinar la cantidad de agua que potencialmente se infiltra en una zona.

Para el mapa de zonas de recarga hídrica se multiplica el mapa de balance climático con el resultante de la suma de los tres factores. Como la última capa de información necesaria se tomó el mapa del fenómeno de sequía de la cuenca.

Con todos los productos básicos anteriormente descritos, a excepción de la sequía, se elaboró un análisis en el cual se le dio un peso de acuerdo a importancia a cada capa y con ello se generó el mapa de vulnerabilidad categorizado en cinco niveles. Este fue multiplicado por el mapa de amenaza (probabilidad de sequía) de sequía de la cuenca, dando como resultado el mapa de riesgo a sequía que posteriormente fue socializado y validado.

### ***3.2.3 Fase III Determinación de recomendaciones para mejoramiento hidrológico y medidas de adaptación y mitigación de la sequía***

Para la determinación de las recomendaciones, medidas de adaptación y mitigación se realizaron cuatro talleres en los que participaron representantes de los diferentes sectores y organizaciones dentro del área de estudio. La identificación y convocación de los integrantes

de los talleres fue realizado por la Unidad de Gestión y Componente Agrícola del SANAA a través de las Juntas de Agua de la zona (Figura 6).

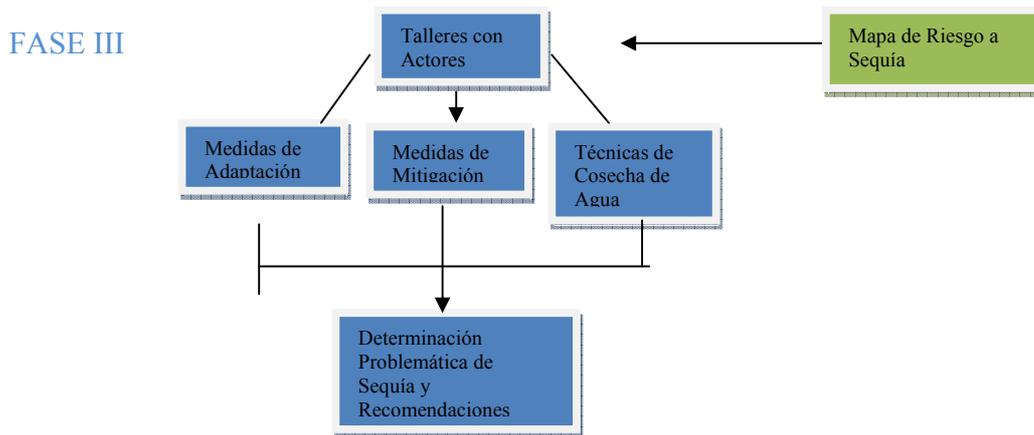


Figura 6. Metodología para la Fase III

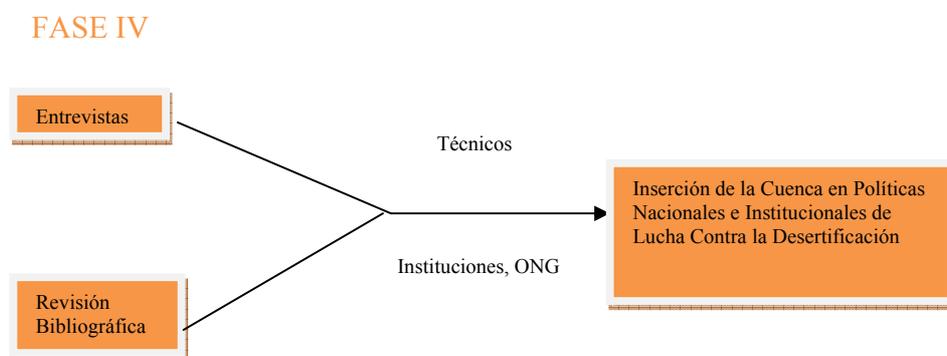
Estos talleres se realizaron en zonas estratégicas de la cuenca en donde se tenía mejor acceso de la población. En los talleres se determinaron medidas de adaptación, mitigación y cosecha de agua que mejor se adecuan a las condiciones socioeconómicas y culturales de los pobladores, tomando como base la metodología de obtención y priorización de medidas propuesta por Cajina (2006).

Se comenzó con la enumeración de los principales problemas junto con sus causas y efectos que consideraron los pobladores asociados a la sequía mediante la técnica del árbol de problemas (Chevalier 2006). Seguidamente se determinaron las medidas de mitigación y adaptación actualmente en uso, mediante un foro abierto.

### ***3.2.4 Fase IV Determinación de la inserción de la cuenca en las políticas nacionales e institucionales de lucha contra la desertificación***

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica y entrevistas a los técnicos del departamento de Manejo de Cuencas del SANAA de las unidades de Gestión Ambiental, Monitoreo de Cuenca y Extensión Agrícola. Las entrevistas se dirigieron a averiguar si existía alguna política, proyecto o legislación vigente en la cuenca que aborde la lucha contra la desertificación y cuál es la participación de los actores locales en ello. En caso de no existir, en cuales organismos,

mecanismos u oportunidades de integración como alguna cuenca modelo en la materia con la cual podrían orientarse y tratar de replicarlo (Figura 7).



*Figura 7. Metodología de la Fase IV*

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.3 Patrones de sequías que ha sufrido la cuenca en los últimos años

Antes de tomar acciones para contrarrestar la sequía se debe identificar en donde ocurre, con qué frecuencia y de qué tipo es. Para esto se utilizan los siguientes índices.

#### 3.3.1 Índice de Precipitación Estandarizado

Para la identificación de los patrones de sequía se analizaron las series de precipitación de las diferentes estaciones meteorológicas en los alrededores de la subcuenca. Los años de datos de las estaciones (Cuadro 2) fueron muy variables desde la estación La Brea con 34 años de registro de datos, hasta la estación El Escarbadero con solo 4 años de registro.

Cuadro 2. Estaciones de la subcuenca del río Guacerique

Estación	Ubicación	Coordenadas	Tipo de Estación	Años de Registro	Fecha de Inicio de Registro
Tegucigalpa	Distrito	-87.131	B	12	1996
	Central	14.0331			
El Batallón	Distrito	-87.1527	B	18	1990
	Central	13.595			
San Matías	Distrito	-87.2036	C	22	1985
	Central	14.082			
Quiebramontes	Distrito	-87.1822	B	16	1991
	Central	13.595			
La Brea	Distrito	-87.2329	C	34	1973
	Central	14.0312			
El Escarbadero	Distrito	-87.2333	C	4	2003
	Central	14.0612			
Santa Lucía	Valle de	-87.55	C	12	1996
	Ángeles	14.6003			
21 de Octubre	Distrito	-87.12	C	13	1995
	Central	14.06			

Tipo A: Todos los parámetros    Tipo B: Temperatura y Precipitación    Tipo C: Precipitación

El Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) se calculó usando la fórmula según Cancelliere (2007) y una hoja electrónica de Excel (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ejemplo del resumen de cálculo del IPE de los años 2004 a 2006 para la época seca

Estación	Precipitación			Media	Desviación Estándar	Índice		
	Agregada					2004	2005	2006
	2004	2005	2006					
Tegucigalpa	235.7	65.4	178.9	97.6	57.69	2.3935	-0.558	1.409
El Batallón	173.3	102.2	175.7	95.7	51.09	1.517	0.125	1.564
Santa Lucía	215.3	85.8	172	130.9	59.295	1.423	-0.761	0.6924
Quebramontes	148.1	86.8	161	104.3	49.9071	0.8765	-0.351	1.1349
San Matías	290.5	132.2	190.1	128.1	71.07	2.285	0.0581	0.8727
21 de Octubre	186.3	45.1	126.8	84.9	42.542	2.38	-0.936	0.9838
La Brea	223.1	176.9	310.1	128.4	76.8010	1.233	0.631	2.366
Escarbadero	256.8	100.9	232.6	158.4	102.86	0.957	-0.559	0.7213

Los resultados obtenidos fueron evaluados con base en la tabla de rangos del Centro Nacional de Mitigación de Sequías de los Estados Unidos (NMDC, <http://drought.unl.edu/whatis/indices.htm>) y que se pueden observar en el Cuadro 1.

Al realizar los cálculos se encontró que en promedio los IPE calculados para la subcuenca Guacerique no demuestran sequías meteorológicas (Figura 8). El IPE promedio se calcula ingresando los índices ya calculados (Anexo 2) en InfoStat y generando un diagrama de dispersión con la función suavizada

Como se puede observar en el diagrama de dispersión, la mayoría de los valores del IPE calculados se encuentran en el rango considerado normal (-0.99 a +0.99), el cual está representado por las dos líneas horizontales en la porción central del diagrama, con muy pocos valores extremos de sequía o de humedad. Adicionalmente la línea vertical separa el año 1983, a partir del cual se tienen valores en más de una estación meteorológica.

Es de hacer notar que los periodos en los que el IPE se muestra con valores positivos relativamente altos, corresponden a la influencia de los fenómenos de El Niño (ENOS) ocurridos durante los años 1982-83, 1996-97 y 2006. Por el contrario, los valores más bajos podrían estar coincidiendo con los periodos normales o bien con los periodos conocidos como La Niña. Esto implica, que la llamada sequía en el área de estudio, no es más que la agudización de los problemas de abastecimiento de agua de la subcuenca, agravados por un fenómeno de carácter global.

Debido que no se encontraron tendencias claras para demostrar un patrón cíclico de los IPE en función del tiempo para el promedio de todas las estaciones y obtenido mediante un

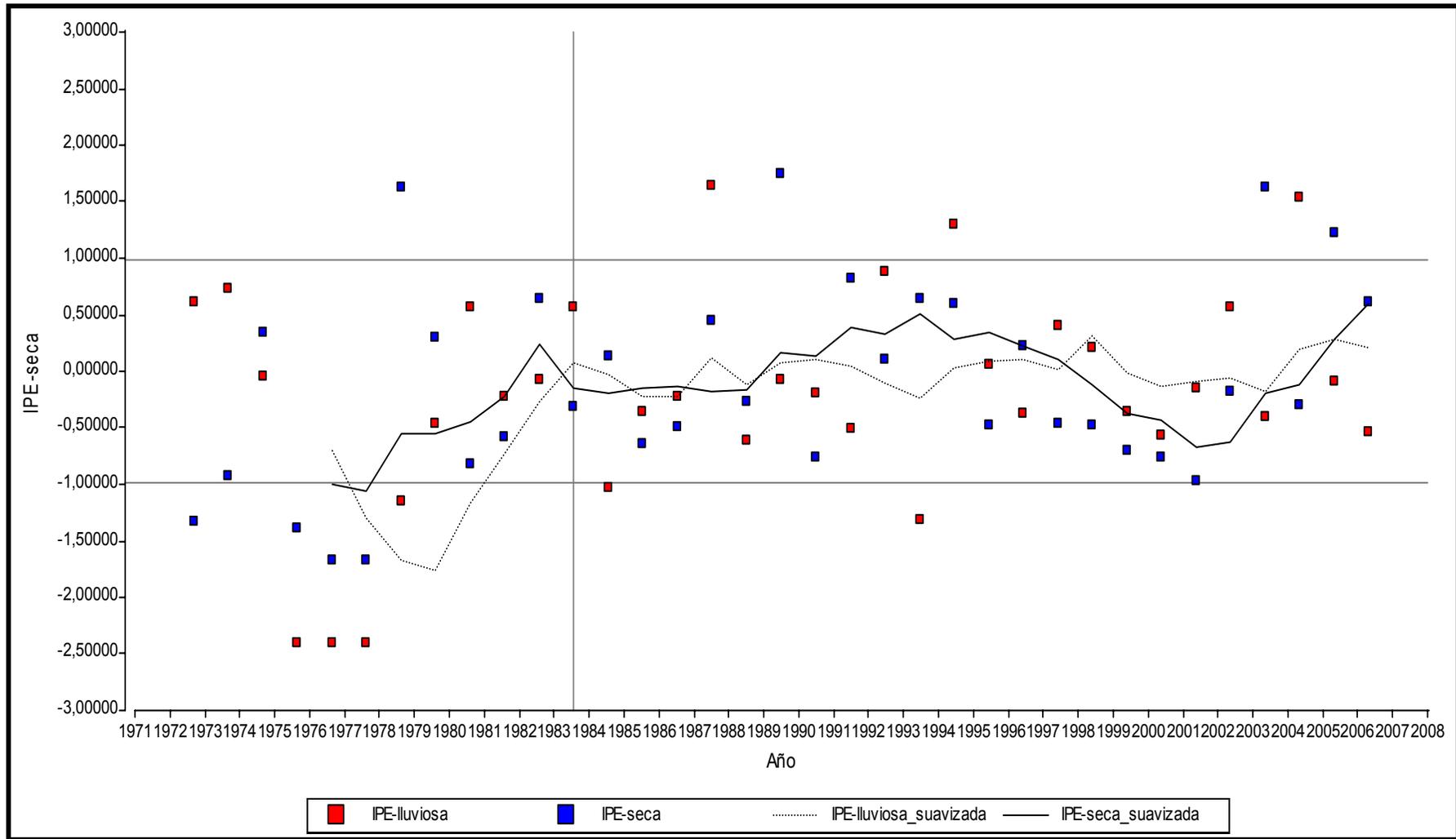


Figura 8. IPE promedio para la subcuenca del río Guacerique.

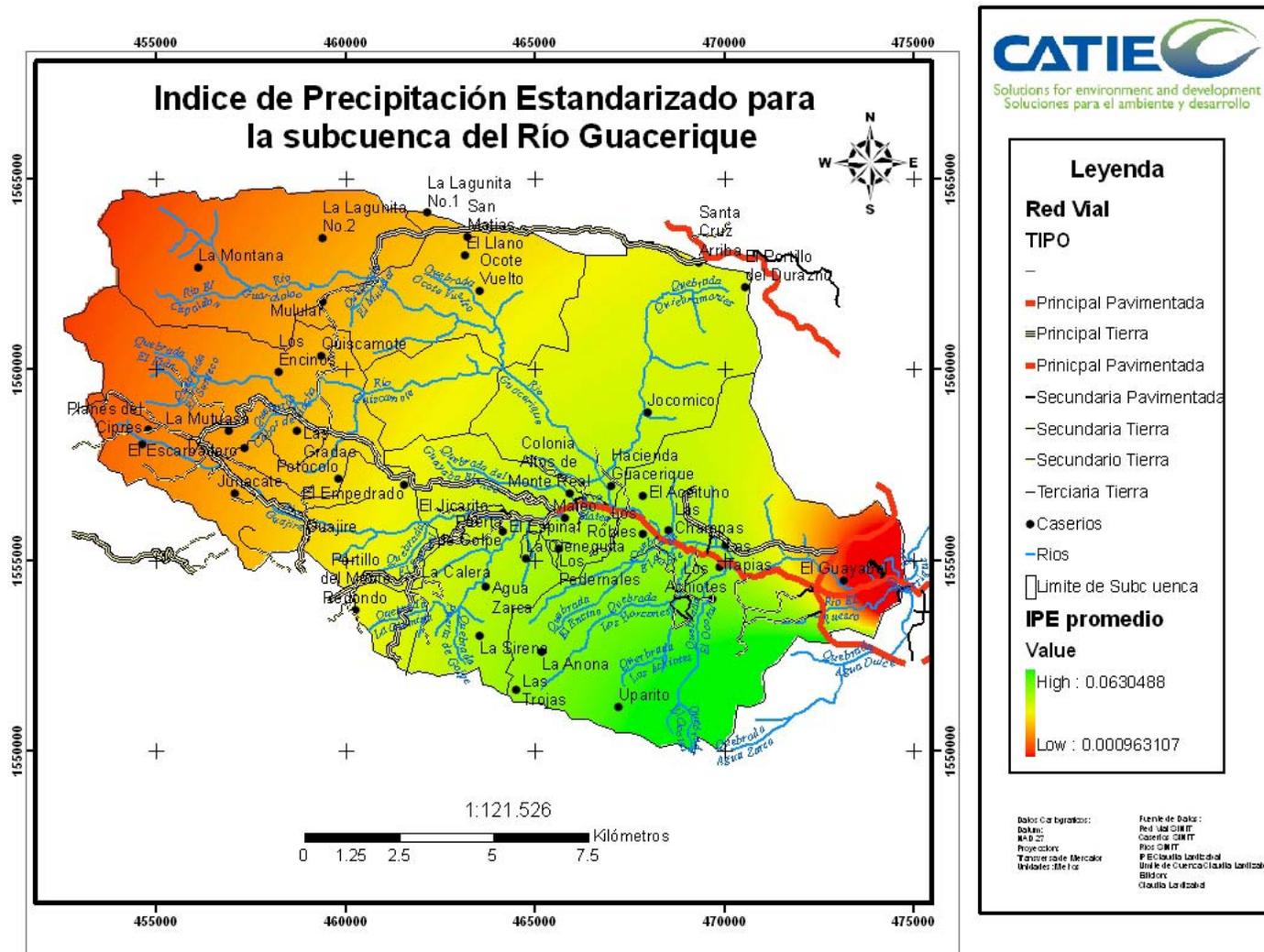


Figura 9. Índice de Precipitación Estandarizado Promedio para la subcuenca del río Guacerique

ajuste por media móvil no centrada, con un *lag* de 5, se realizó una prueba de rachas para cada estación (Cuadro 4) y cada periodo con el fin de determinar si al menos en algunas estaciones se encontraba un patrón de la distribución del IPE en función del tiempo. El *lag* es el intervalo de tiempo, en este caso en años, y se escogió en función de la separación de tiempo o el tiempo de ocurrencia de los fenómenos ENOS.

Como se observa en el mapa (Figura 9) el área al norte, este y oeste de la subcuenca específicamente las áreas cercanas a Guayabo, San Matías, El Llano, Ocote Vuelto, La Lagunita No. 2, La Montaña, Santa Cruz Arriba y Planés del Ciprés tienen una tendencia a presentar niveles más bajos del IPE, lo que significa una mayor tendencia a la sequía, mientras que el restante de la subcuenca tiende a mantenerse en lo que se considera casi normal. Es de hacer notar que los anteriores resultados se obtuvieron mediante la interpolación de estaciones con una distribución geográfica no ideal para tal fin, por lo cual una mejor distribución de estaciones en la subcuenca podría afectar en menor grado la distribución de las tendencias del índice, mas no los índices como tales.

Cuadro 4. Prueba de Rachas para la variable IPE en las estaciones de la subcuenca Guacerique

época	estación	(n1+n2)	n1	n2	rachas	E(R)	p-valor
lluviosa	21 de octubre	13	6	7	3	7,46	0,0076
	El Batallón	17	11	6	11	8,76	0,9423
	Escarbadero	4	3	1	3	2,50	>0,9999
lluviosa	La Brea	34	16	18	19	17,94	0,7051
	Quebramontes	16	8	8	10	9,00	0,7855
	San Matías	22	12	10	14	11,91	0,8751
lluviosa	Santa Lucía	12	6	6	6	7,00	0,3918
	Tegucigalpa	13	7	6	8	7,46	0,7331
	21 de octubre	13	6	7	7	7,46	0,5000
seca	El batallón	17	9	8	7	9,47	0,1573
	Escarbadero	4	2	2	4	3,00	>0,9999
	La brea	34	17	17	16	18,00	0,3028
seca	Quebramontes	16	8	8	10	9,00	0,7855
	San Matías	22	10	12	12	11,91	0,6050
	Santa Lucía	12	5	7	6	6,83	0,4242
seca	Tegucigalpa	13	6	7	7	7,46	0,5000
	seca						

En el Cuadro 5 se observa la distribución en ha. de los valores promedio del IPE en las microcuencas de la subcuenca del río Guacerique observándose que las microcuencas de Guacerique Abajo, Quiscamote Arriba y Guaralalao Arriba tienen los valores con más tendencia a mostrar sequía, mientras que las demás tienden a mostrar valores intermedios. La microcuenca con los valores más cercanos a los considerados por los índices como sequía es Guacerique Abajo por lo que se debe mantener bajo monitoreo más cercano. Sin embargo el 60 % de la subcuenca presenta valores medios, situación que debe procurar mantenerse y es un posible indicador de la evolución de la subcuenca en futuros análisis.

Cuadro 5. Distribución de los valores promedio del IPE por microcuenca

Microcuenca	Áreas del IPE promedio en ha									
	Muy Bajo	%	Bajo	%	Medio	%	Alto	%	Muy Alto	%
Guacerique Abajo	156.5	2.9	308.5	5.7	1038.3	19.3	3165.0	59	696.0	12.9
Quiebramontes	0.0	0	0.0	0	2582.8	48.1	421.5	7.8	0.0	0
Mateo	0.0	0	0.0	0	1135.5	21.2	1413.0	26.3	0.0	0
Guajire	0.0	0	250.5	4.6	1675.0	31.2	0.0	0	0.0	0
Quiscamote Abajo	0.0	0	0.0	0	754.5	14.1	0.0	0	0.0	0
Guaralalao Abajo	0.0	0	0.0	0	1783.3	33.2	0.0	0	0.0	0
Quiscamote Arriba	0.0	0	605.8	11.3	1870.0	34.9	0.0	0	0.0	0
Guaralalao Arriba	0.0	0	1028.8	19.2	1404.5	26.2	0.0	24.6	0.0	0

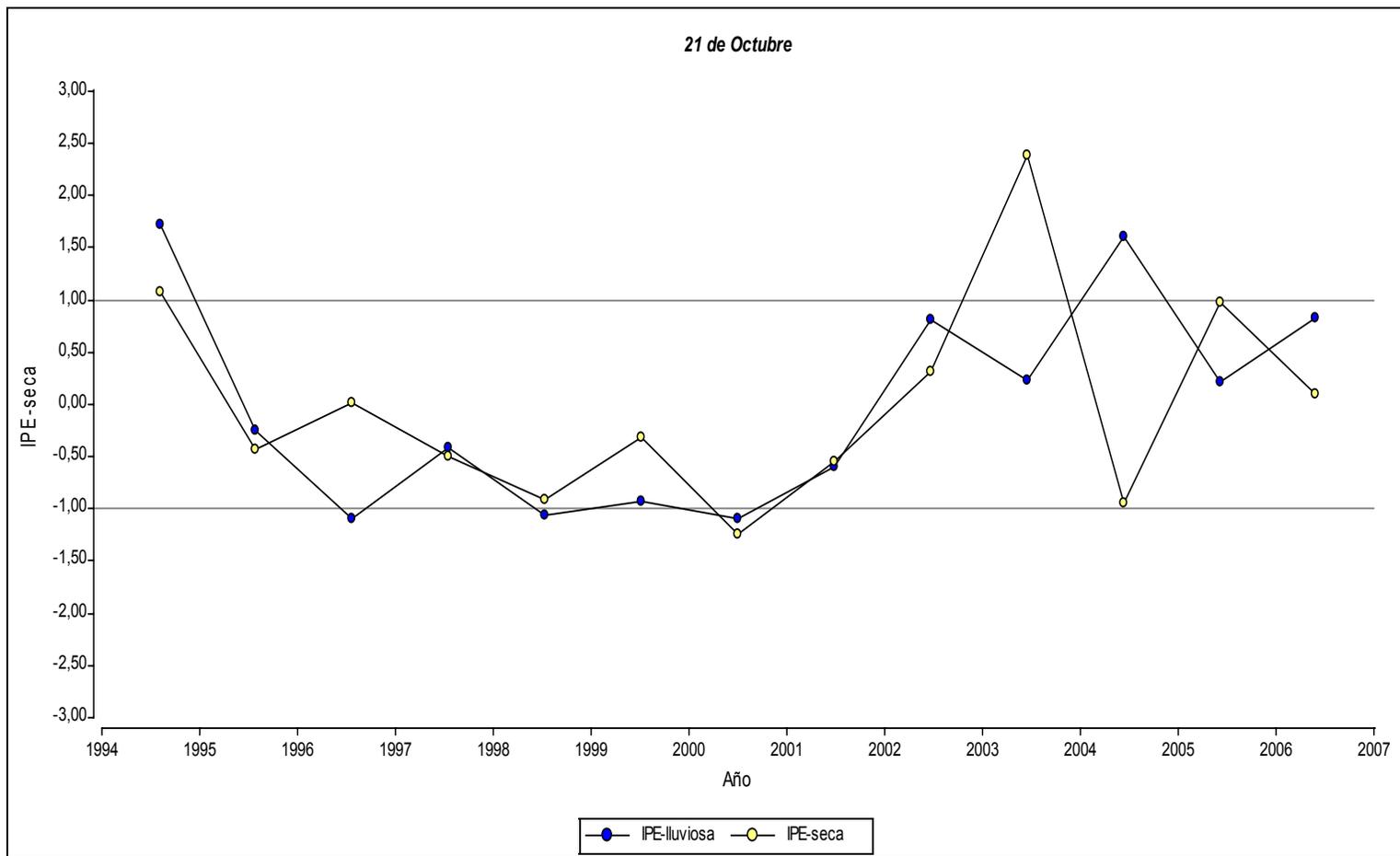
En lo referente a la prueba de rachas, se comprobó que la distribución de los valores positivos y negativos del IPE es aleatoria versus la hipótesis alternativa que postula que los datos tienen un patrón no aleatorio. Solo en la estación 21 de Octubre se rechazó la hipótesis nula ( $p = 0.0076$ ) y se puede observar un patrón con aproximadamente 2 ciclos completos (Cuadro 6 y Figura 10). Esto implica que debido a la falta de series de precipitación de un mínimo de 30 años, no se puede llegar a identificar patrones que no correspondan a las fluctuaciones influenciadas por ENOS, ya que dichos ciclos podrían ser de *lags* más amplios que los actuales de 5 años.

Cuadro 6. Índice de Precipitación Estandarizado para la estación del 21 de Octubre

Año	Época Seca	Época Lluviosa
1995	1.073	1.7279
1996	-0.429	-0.252
1997	0.020	-1.087
1998	-0.911	-0.417
1999	-0.911	-1.067
2000	-0.311	-0.928
2001	-1.249	-1.087
2002	-0.549	-0.594
2003	0.321	0.8113
2004	2.382	0.2301
2005	-0.936	1.6152
2006	0.097	0.834

Debido a que algunas estaciones meteorológicas pertenecían a la cuenca y otras no, con el fin de corroborar la hipótesis que los IPE calculados en las estaciones pertenecientes a la cuenca no difieren de aquellos calculados para las estaciones afuera de la cuenca, se realizó un análisis de varianza (Anexo 5) usando como variables de clasificación a la época (seca y lluviosa) y la ubicación (dentro o fuera de la cuenca).

Dada la presencia de estos factores de clasificación en el modelo, también se incluyó la interacción época por ubicación de la estación. La variable analizada fue el valor absoluto del IPE para cada caso. Sin embargo no se encontró interacción entre la estación y la época ( $p = 0.9427$ ), ni diferencias entre estaciones ( $p = 0.4786$ ) ni entre épocas ( $p = 0.6905$ ). Es decir que la variabilidad de los datos debido a la ubicación no es suficiente como para afectar los resultados, ni significativa como para indicar que el rango de la época varíe debido a su ubicación.



*Figura 10. IPE para la Estación 21 de octubre*

### 3.3.2 Índice de reconocimiento de sequía

Para el cálculo de este índice se necesitaron las series de precipitación (Anexo1) y evapotranspiración para las estaciones de la subcuenca. Debido a que no existen datos de evapotranspiración para la mayoría de las estaciones ni de temperatura, se procedió a realizar una regresión lineal con dos factores: elevación y temperatura; con esta regresión se calculó la evapotranspiración por pixel en el mapa de la cuenca. Este dato de ETP fue utilizado para las estaciones de San Matías, Escarbadero y la Brea, en donde no se disponía de series de temperatura. Para las restantes, en donde sí se disponía de series de temperatura, se calculó la ETP usando el método de Thornthwaite, a excepción de la estación de Santa Lucía, de la cual no se pudo conseguir dato alguno.

Al realizarse los cálculos del IRS (Anexo 3) y compararlos con los rangos establecidos en el Cuadro 1, se determinó que en promedio la subcuenca no ha sufrido sequías agrícolas (Cuadro 7, Figuras 11 y 12)

Cuadro 7. Índice de Reconocimiento de Sequía, resumen de la subcuenca del río Guacerique, años 2005 y 2006

Estación	Años	
	2005	2006
Tegucigalpa	0.621	-0.066
El Batallón	-0.116	0.665
21 de Octubre	1.206	0.539
Quiebramontes	0.639	0.993
San Matías	1.157	0.392
La Brea	0.733	0.694
El Escarbadero	1.128	0.142
Santa Lucía	ND	ND

ND: No disponible

A pesar de que actualmente no se ha encontrado sequía agrícola existen áreas que se encuentran con valores muy cercanos a los considerados como sequía al observar los índices para todos los años disponibles (Anexo 3), por lo cual se puede inferir que dichas zonas, como

la circundante al Batallón y a la 21 de Octubre, se encuentran más susceptibles a ser influenciadas por las fluctuaciones climáticas y por ende deben ser monitoreadas más de cerca.

Según la distribución espacial del IRS en la subcuenca, las áreas más susceptibles a la ocurrencia de la sequía agrícola son aquellas más cercanas a la capital en donde existe una concentración de suelos desnudos (Figura 14). En el Cuadro 8 se observa que únicamente la microcuenca Guacerique Abajo presenta valores de IRS muy bajos y bajos, indicando su tendencia a la sequía agrícola, contrastada con valores altos y muy altos en las demás microcuencas. Es de hacer notar que estas comparaciones son solamente relativas y que por lo tanto indican tendencias y no valores absolutos.

Cuadro 8. Distribución de los valores promedio del IRS por microcuenca

Microcuenca	Áreas del IRS promedio en ha									
	Muy Bajo	%	Bajo	%	Medio	%	Alto	%	Muy Alto	%
Guacerique Abajo	136.25	2.5	247	4.6	423	7.88553852	2086.75	38.9	2471.25	46.1
Quiebramontes	0	0.0	0	0.0	0	0	881.5	29.3	2122.75	70.7
Mateo	0	0.0	0	0.0	0	0	8	0.3	2540.5	99.7
Guajire	0	0.0	0	0.0	0	0	1011.5	52.5	914	47.5
Quiscamote Abajo	0	0.0	0	0.0	0	0	129.5	17.2	625	82.8
Guaralalao Abajo	0	0.0	0	0.0	0	0	1041.25	58.4	742	41.6
Quiscamote Arriba	0	0.0	0	0.0	0	0	2326.25	94.0	149.5	6.0
Guaralalao Arriba	0	0.0	0	0.0	0	0	2433.25	100.0	0	0.0
	136.25	0.7	247	1.2	423	2.1	9918	48.9	9565	47.1

En el área de estudio se han observado algunos eventos de sequía agrícola, especialmente en los años de ocurrencia de ENOS, sin embargo estos comprenden la minoría y no se les puede atribuir los reportes constantes de deficiencia de agua.

El Índice de Aridez de la FAO se calcula de la misma manera que el IRS inicial (PP/ETP) y por ende se considera que puede ser comparado con el IRS, sirviendo de corroboración para el índice calculado (Tsakiris 2007), y se clasifica según el Cuadro 9.

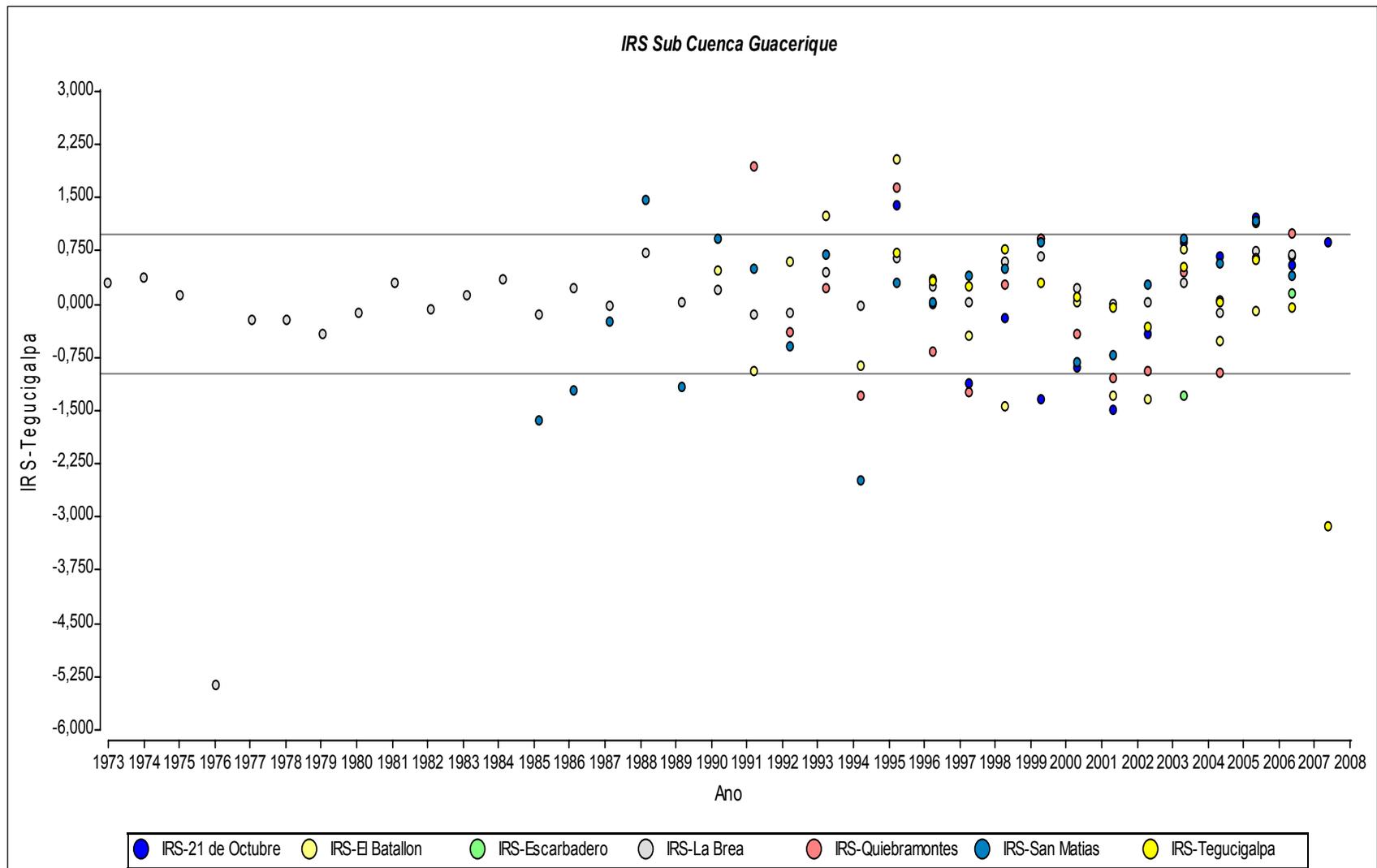


Figura 11. Índice de Reconocimiento de Sequía de la Subcuenca Guacerique

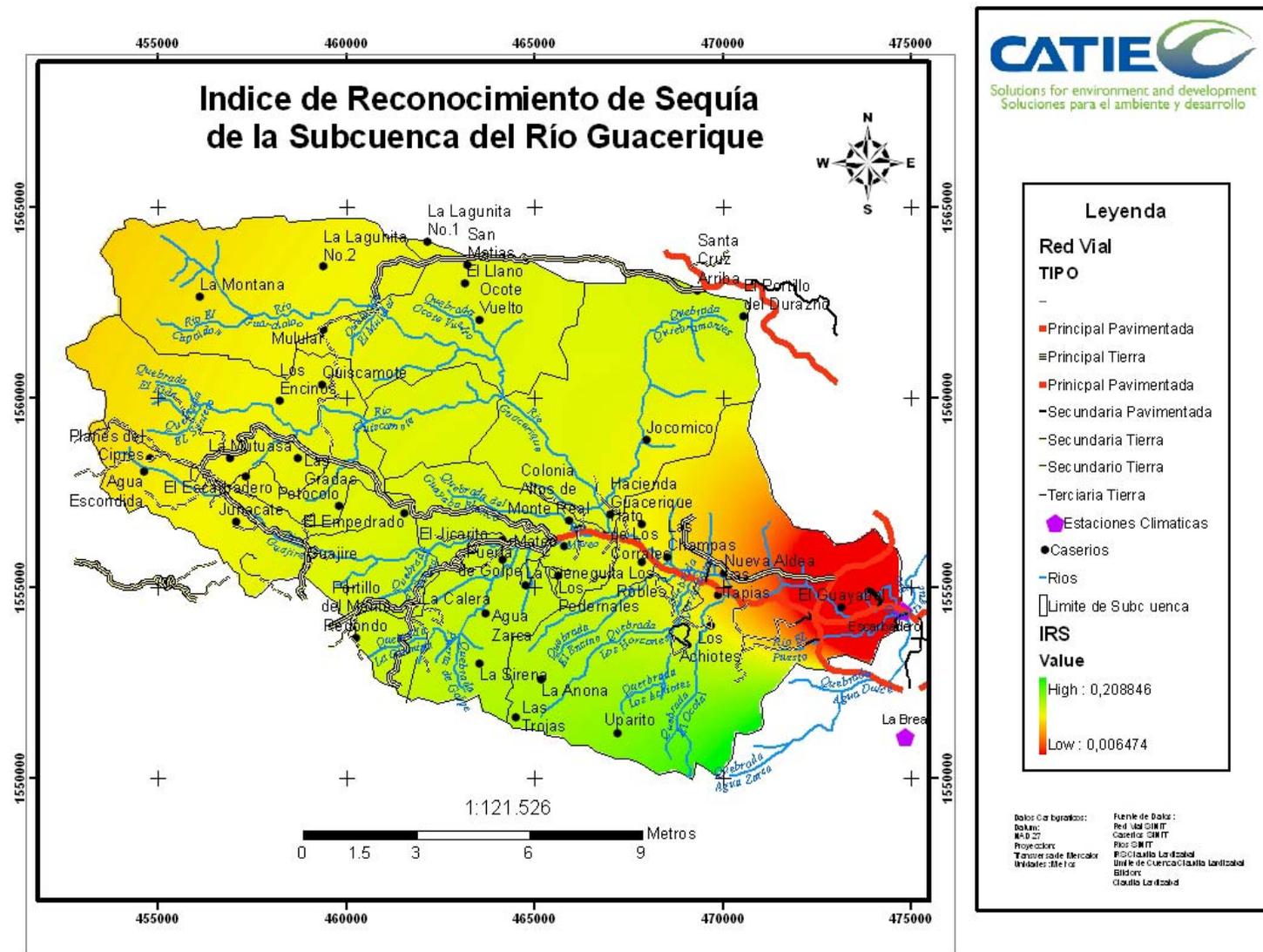


Figura 12. Índice de Reconocimiento de Sequía promedio de la subcuenca del río Guacerique

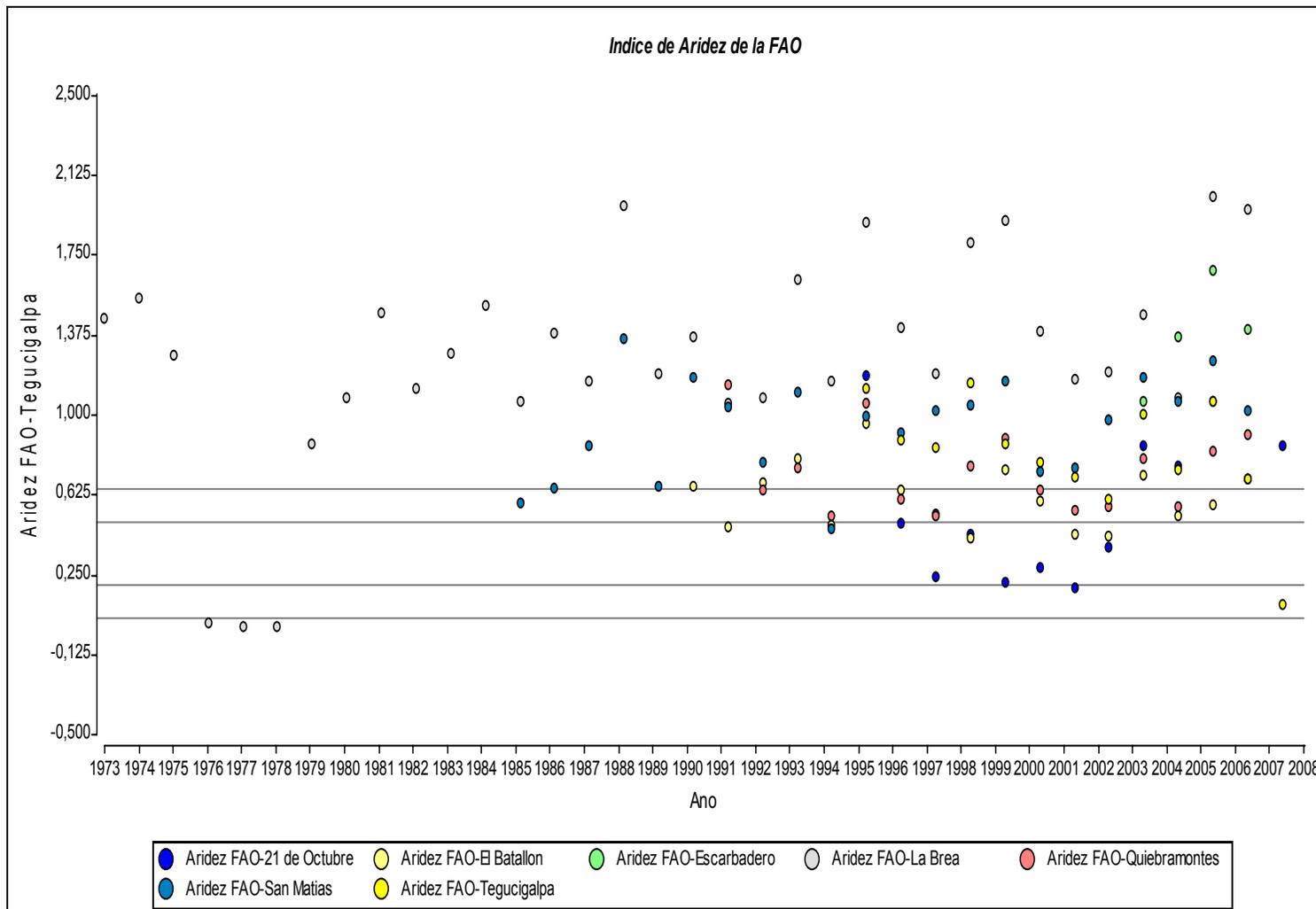


Figura 13. Índice de Aridez de la subcuenca Guacerique para el 2006

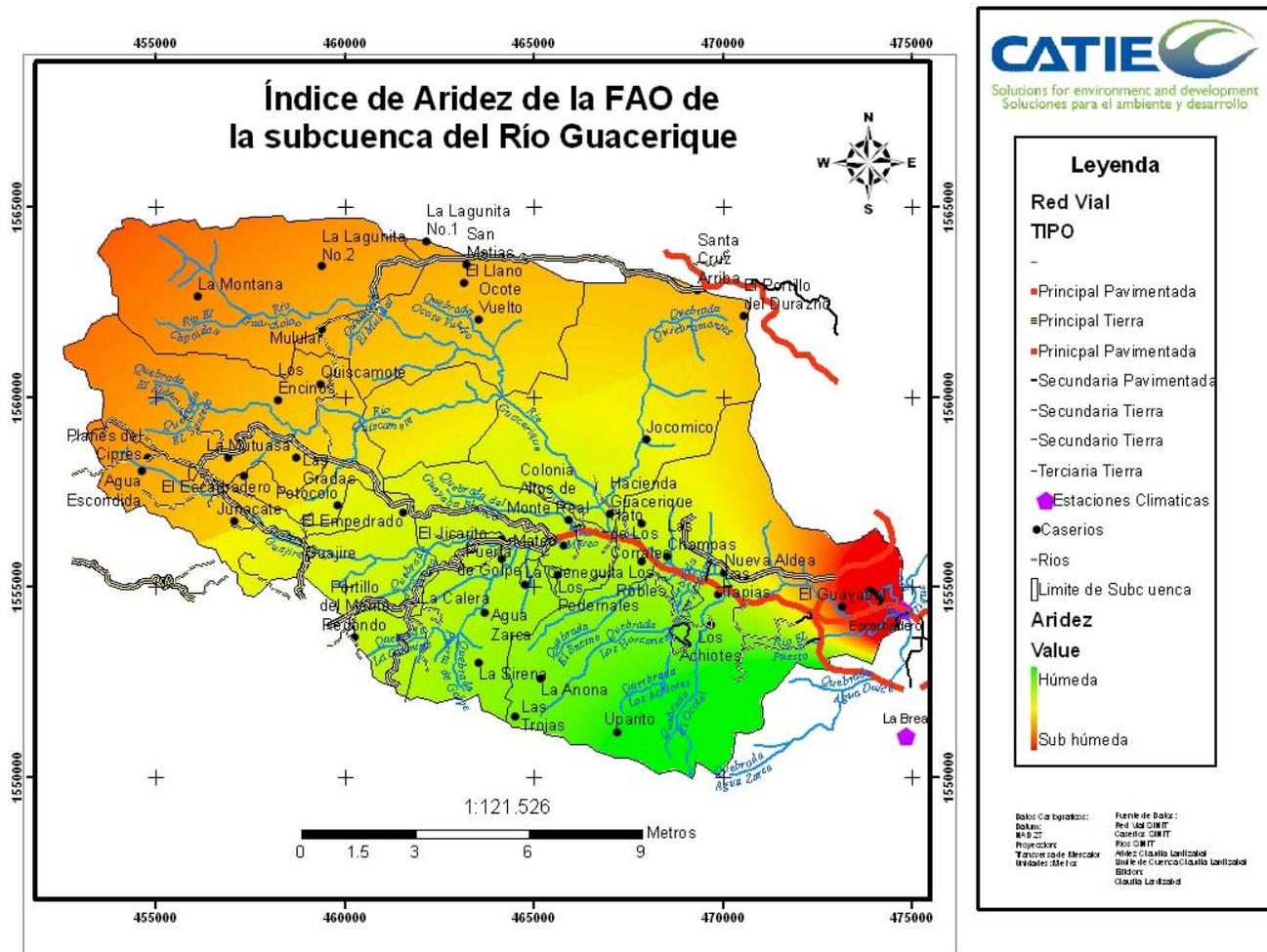


Figura 14. Índice de Aridez de la FAO de la subcuenca del río Guacerique

Cuadro 9. Clasificación de zonas según el Índice de Aridez de la FAO

<i>Clasificación</i>	<i>Índice de aridez</i>
Hiperáridas	<0.05
Áridas	0.05 – 0.20
Semiáridas	0.20 – 0.50
Secas-subhúmedas	0.50 – 0.65

Fuente: FAO, Índice de Aridez

La mayoría de los valores calculados del índice de aridez se observan por encima de 0.65 (Figura 13) que indica el límite superior del intervalo que clasifica la subcuenca como húmeda. Esto indica que la cuenca en su mayoría no se clasifica como una cuenca árida ni seca (Figura 14). Sin embargo, en ciertos años, los valores descienden por debajo del límite de 0.65, llegando a valores que podrían considerarse áridos y semiáridos, pero de nuevo no son sostenidos en el tiempo, ocurriendo generalmente asociado a años secos influenciados por fenómenos como el ENOS.

Ambos índices utilizados en la cuenca demuestran que no existe sequía meteorológica (IPE), sequía agrícola (IRS), ni es la cuenca una zona árida o seca (índice de aridez de la FAO) a pesar de las constantes sequías reportadas por el Comité Permanente de Contingencias (COPECO) y diversos medios de comunicación del país. Es de puntualizar que las series de precipitación existentes son limitadas, sin embargo este hecho perjudica únicamente la capacidad de predicción del método al no poderse observar patrones repetitivos que permitan dichas predicciones, mas no la confiabilidad del índice. Sin embargo una mayor cantidad de datos para futuros cálculos es deseable.

### **3.3.3 Balance hídrico por microcuenca**

Con el fin de adicionar más información a los índices se procedió a elaborar el balance hídrico anual por microcuenca (Cuadro 10) según la clasificación propuesta por Hernández (2003).

El cálculo del balance hídrico se llevó a cabo usando la siguiente fórmula:

$$BH = Entradas - Salidas \text{ (m}^3\text{/año)}$$

donde la única entrada constituye la precipitación.

$$\pm\Delta AS = \text{Precipitación} - (ETP + Q + DT)$$

donde:

Q= Caudal

DT= Demanda Total

ETP= Evapotranspiración potencial

$$DT = D_{Agrícola} + D_{Animal} + D_{Humana} + D_{Industrial}$$

El balance anterior asume que todo se lleva a cabo en un solo evento, no toma en cuenta el agua subterránea o de reserva presente, asume un periodo único de cultivo de 60 días al año, con riego promedio por gravedad o aspersión, mínimo de agua (40 l/día) para el ganado y asumiendo un consumo de agua de 100 l/persona/día en el área rural y una finca avícola con 5000 aves. Adicionalmente por falta de información no se incluyó el consumo de la fábrica de ladrillos ni la embotelladora de agua.

Las microcuencas con un mayor déficit de agua concuerdan con aquellas más cercanas a núcleos de actividades agrícolas, en donde la demanda de agua para riego es mayor. A pesar de la existencia de diversos núcleos poblacionales en la subcuenca, la demanda humana no es significativa, sino más bien la principal demanda de agua la constituye el riego, por lo cual un sistema más eficiente como el de riego por goteo sería recomendable.

La microcuenca con el déficit más grande es la de Quiscamote Arriba, ubicada en la parte alta de la subcuenca (Figura 15) y en donde hay una fuerte actividad agrícola (Cuadro 10) que representa el consumo más fuerte de agua. Quiscamote Abajo es la cuenca que presenta el déficit más bajo, sin embargo esto se debe en gran parte a la escasa población y la poca actividad agrícola en ella.

Cuadro 10: Balance hídrico por microcuenca de la subcuenca Guacerique (miles de m<sup>3</sup>)

Microcuenca	PP	Q	Demanda Humana	Demanda Agrícola	Demanda Animal	Demanda Industrial	ETP	Balance
Guacerique Abajo	55327	15440.7	86.8	1487	3.9	0.9	48194.7	9887.1
Quebramontes	30237.7	14846.9	29.6	76	78.5	0	26077.1	10870.4
Mateo	27143.6	12258.4	95.6	1069	0	0	21397.2	7676.5
Guajire	21418.6	16791.2	49.6	5079	0	0	14405.2	14906.3
Quiscamote Abajo	8081.3	3657.6	0	390	0	0	6570	2536.3
Guaralalao Abajo	18239.9	6404.8	35.6	460	41	0	15245.1	3946.6
Quiscamote Arriba	26537.8	20187.6	38.4	4300	1.8	0	18354.1	16344.0
Guaralalao Arriba	25169.1	11231.1	9.1	837	3.6	0	18047.6	4959.2

Fuente: \* Caudal (Hernández, 2003), \*\* Demanda Humana y Animal según datos de Dimas (2002), Demanda Industrial según García (2005), Demanda Agrícola según Pagador (2002). \*\*\* ETP calculada por regresión lineal con Temperatura y elevación

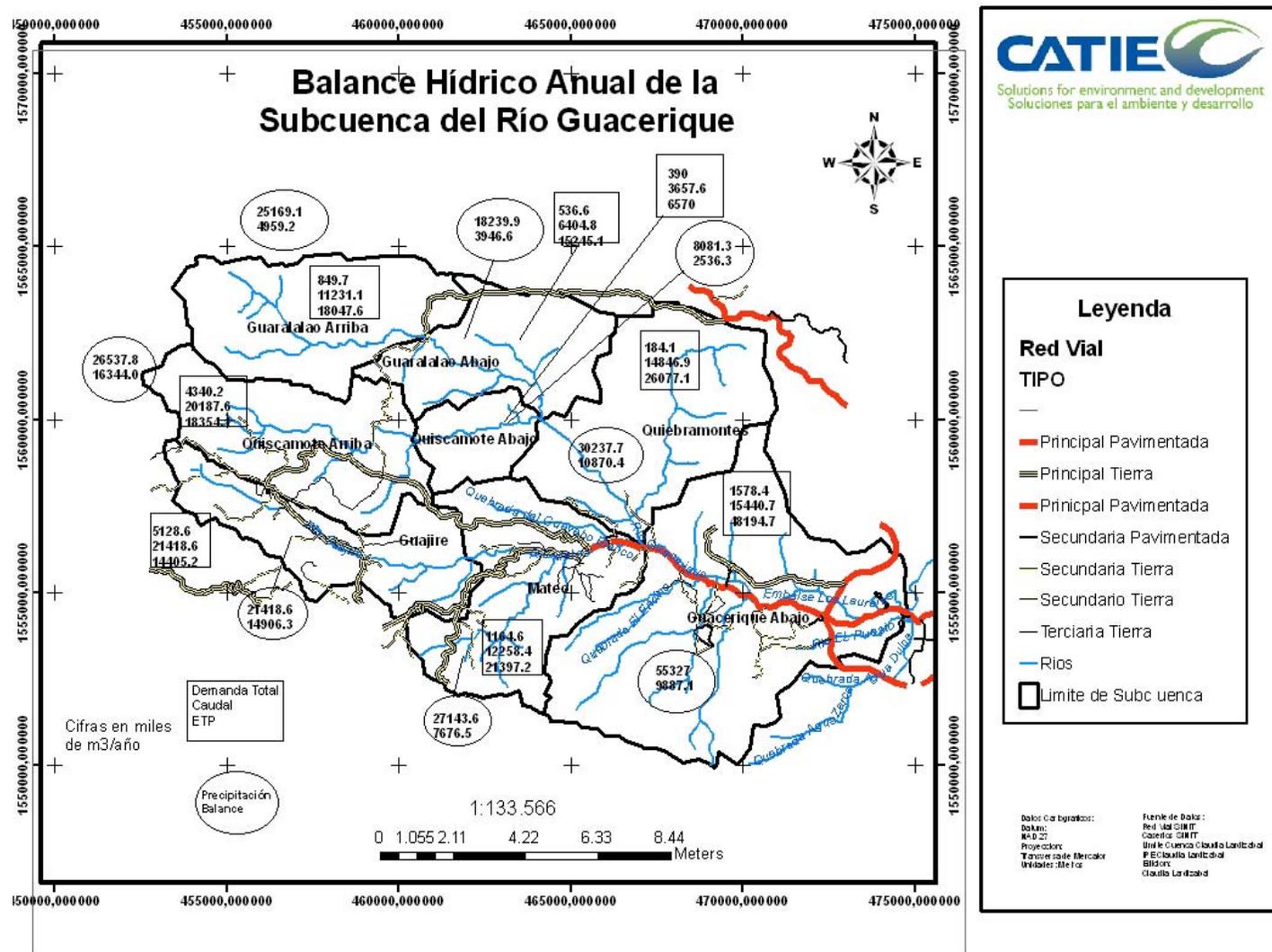


Figura 15. Balance hídrico anual por microcuenca de la subcuenca del río Guacerique

Como se puede observar, la cuenca presenta un déficit total de 71,126.4 miles de m<sup>3</sup>/año que se traduce 0.35 mm de lluvia anual (0.35 lt/m<sup>2</sup>). Este déficit “anual”, podría ser mejor entendido si se hubiera hecho un balance hídrico mensual, que hubiera resaltado los meses críticos en los cuales se genera el faltante de agua, sin embargo, se considera que esta aproximación brinda una idea bastante clara de la problemática de la escasez del recurso hídrico percibido por los habitantes, principalmente en los meses del período seco. Esto nos lleva a concluir que la “sequía” percibida por los habitantes de la cuenca, es en realidad la manifestación de la escasez del recurso para los diferentes usos y sectores, debido a un uso no planificado del agua disponible y al estrangulamiento no controlado de ríos y nacientes con bombas y politubos para extracción de agua para riego (fotografías en el Anexo 6).

### **3.4 Identificación de zonas de riesgo al fenómeno de la sequía en la cuenca y categorización según su uso**

Para identificar las zonas más vulnerables a la sequía, se decidió utilizar un análisis multicriterio. Al realizar el análisis de los diferentes elementos para identificar la vulnerabilidad se asignó un peso a los factores de acuerdo a su importancia.

#### **3.4.1 Cobertura del suelo:**

Las definiciones utilizadas en este trabajo para cada tipo de cobertura se pueden ver en el Anexo 2. La mayor vulnerabilidad a la sequía se le asignó al área agrícola y el suelo desnudo (valor 5) debido a la poca protección que las prácticas agrícolas tradicionales proveen al suelo exponiéndolo a altas tasas de pérdida por evaporación, pero primordialmente debido a que estas áreas requieren agua en un tiempo y una cantidad dada, que de faltar resulta en la pérdida de las cosechas. A las áreas urbanas y asentamientos humanos se les asignó el valor 4, debido a su susceptibilidad a la falta de agua. A los pastos, que al igual que los cultivos requieren de agua para su subsistencia y de faltar esta causa que se seque y no pueda sostener la misma carga animal (ganado) se le asignó el valor 3. Los matorrales se consideraron con una vulnerabilidad relativamente baja debido a su enraizamiento más profundo que los pastos y por lo tanto tienen la posibilidad de tomar agua de otros estratos (valor 2), al igual que el bosque (valor 1) (Figura 15)

Las zonas de mayor actividad agropecuaria se encuentran en las partes medias a medias altas de la subcuenca (Figura 16) en Guajire y Quiscamote Arriba, situación difícil, ya que son estas áreas las consideradas críticas en un sistema de cuenca debido a que cualquier alteración que ocurra en esas zonas puede repercutir negativamente en la disponibilidad del recurso hídrico (Figura 18).

La cobertura con una mayor distribución en la subcuenca corresponde al bosque que ofrece la mejor protección y menor vulnerabilidad a la sequía por su capacidad de retención de humedad, situación que debe ser protegida y evitar el avance en la deforestación, ya que una pérdida de esta cobertura implicaría un aumento en la vulnerabilidad a sequía.

Los pastos se encuentran distribuidos equitativamente (Figura 16) en las subcuencas a pesar de que la mayoría de la carga vacuna (Cuadro 10) se encuentra en la microcuenca de Quiebramontes. La microcuenca de Guacerique Abajo presenta una cobertura de pasto mayor que las demás microcuencas debido en gran parte a la presión humana que existe en esta área, por su proximidad a la capital y a la necesidad de expansión para soluciones habitacionales, razón por la que primero se sustituye la cobertura forestal por pastos y luego se procede a urbanizarla. La mayor cobertura de matorrales se ubica en porción media baja de la subcuenca en la microcuenca de Quiebramontes (Figura 16), situación que podría corresponder a parcelas agrícolas en barbecho, abandono o preparación previa para cultivo, y la más baja en la parte alta de la subcuenca en la microcuenca de Guaralalao Arriba, en donde el acceso es más difícil, la densidad poblacional menor y por lo tanto, existe menor actividad que cause un cambio de cobertura, hacia pastos o urbanizaciones.

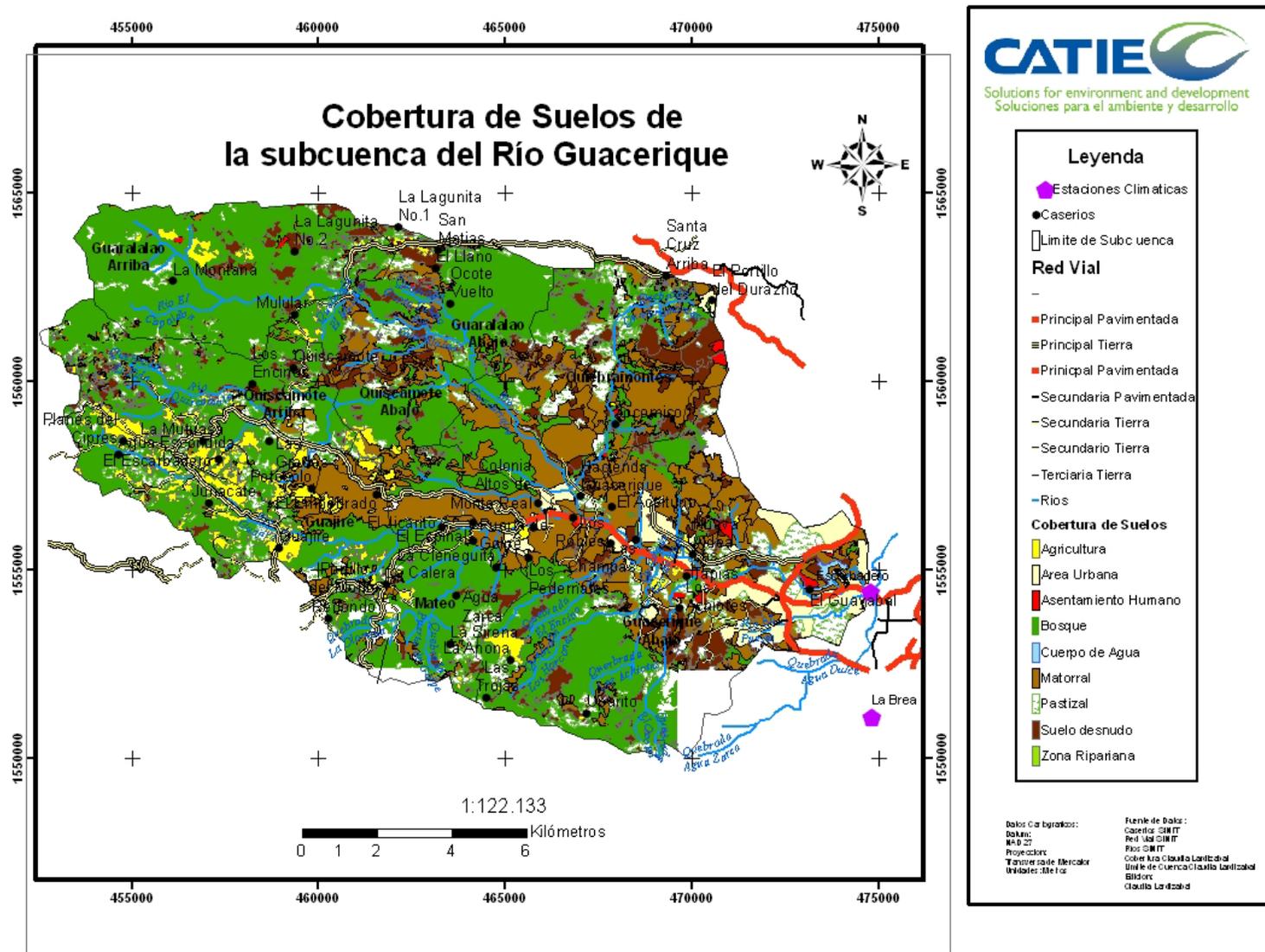


Figura 16. Mapa de cobertura de suelos

Cuadro 11. Cobertura de la subcuenca del río Guacerique

Microcuenca	Área		Distribución uso (ha)										Distribución de uso %							
	(Ha)	%	Agro	Pasto	Matorral	S.D.	Bosq	A.H	A.U.	Z.R.	C.A.	Agro	Pasto	Matorral	S. D.	Bosq.	A.H.	A.U.	Z.R.	
Guacerique Abajo	5253.6	25.4	148.9	644.1	1531.5	643.7	1473.1	52,1	665.6	5.6	24.9	2.8	12.3	29.2	12.3	28	1	12.7	0.1	0.5
Quiebramontes	3060.4		7.6	321.6	1206	550.5	863.4	35.4	53.8	20.1	0.52	0.2	10.5	39.4	18	28.2	1.2	1.8	0.7	0
Mateo	2576.8	12.5	106.9	123	721.4	181.1	1306	6.5	76.6	0	0	4.1	4.8	28	7	50.7	0.3	3	0	0
Guajire	2197.5	9.5	507.9	230	325.8	66.7	1046.1	11.3	0	0	0	23.1	10.5	14.8	3	47.6	0.5	0	0	0
Quiscamote Abajo	770.9	3.7	39	37.6	174.9	100.6	418.8	0	0	0	0	5.1	4.9	22.7	13	54.3	0	0	0	0
Guaralalao Abajo	1803.6	8.8	46	135.2	317.8	292.4	997.3	14.8	0	0	0	2.6	7.5	17.6	16.2	55.3	0.8	0	0	0
Quiscamote Arriba	2612.1	12.2	430	272.3	256.6	235.8	1412.5	4.8	0	0	0	16.5	10.4	9.8	9	54.1	0.2	0	0	0
Guaralalao Arriba	2443.7	12	83.7	126.2	42.6	236.6	1993.2	21.4	0	0	0	3.4	5.2	1.7	9.7	81.6	0.9	0	0	0
TOTAL	20718.6	100	1370	1890	4576.6	2307.4	9510.4	146.3	796	25.7	25.4	6.6	9.1	22.1	11.1	45.9	0.7	3.8	0.1	0.1

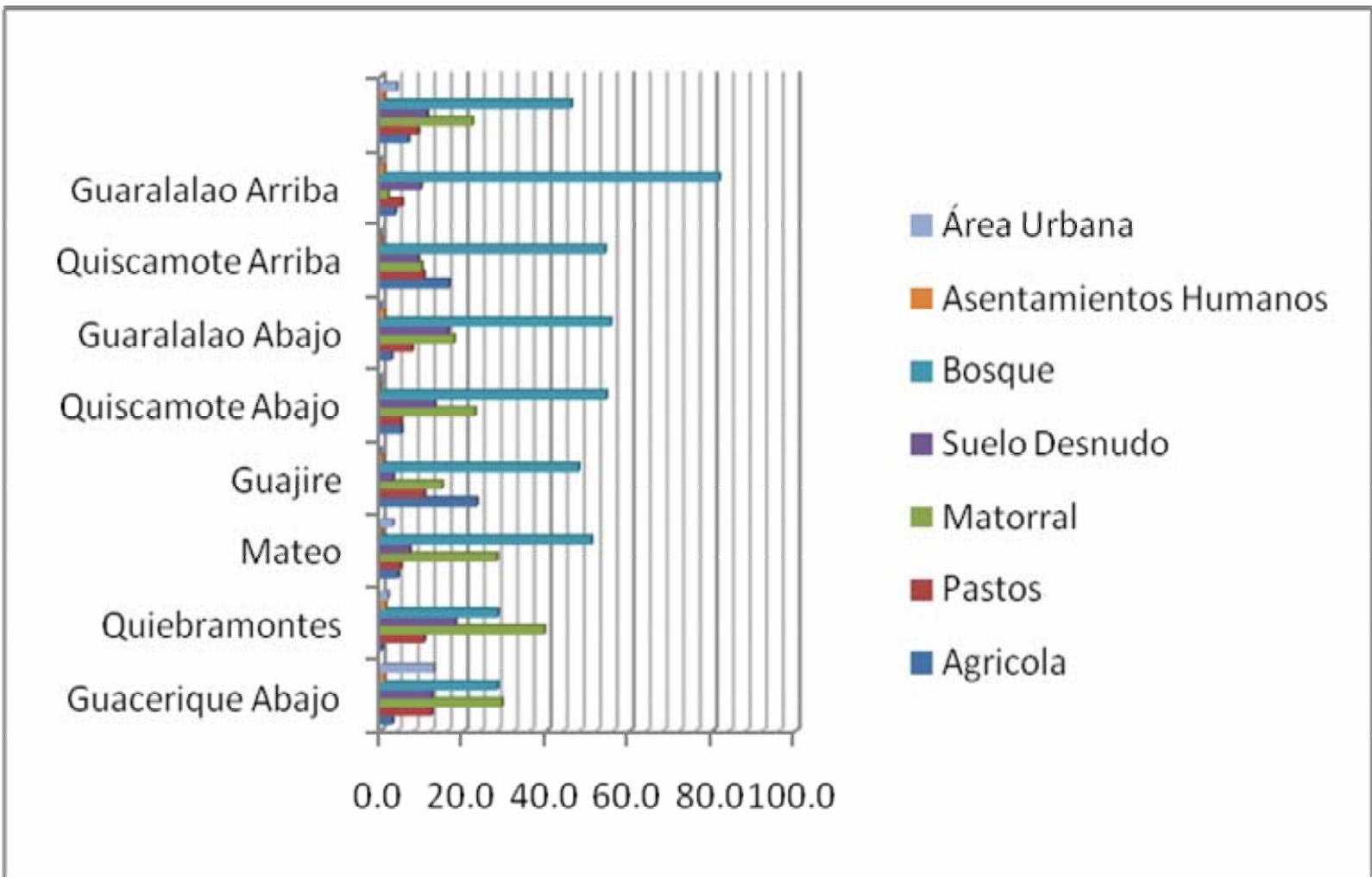


Figura 17. Cobertura de suelos por microcuenca en porcentaje

### 3.4.2 Densidad poblacional

La densidad poblacional se tomó como otro criterio para identificar las zonas más vulnerables. Las áreas con mayor población se les asignó un mayor peso que aquellas con menor la población (Cuadro 12). Dicha asignación se debe a que aquellas áreas con mayor densidad poblacional existe una mayor demanda de agua para consumo, por lo que una sequía afectaría en mayor grado estas áreas. El mapa de densidad (Figura 18) se generó usando como base el Censo Poblacional del año 2001 y un sistema de información geográfica (ArcGIS 9.2).

Cuadro 12. Clasificación de la densidad poblacional a vulnerabilidad a la sequía en la subcuenca del río Guacerique

Rango de Población	Clasificación	Vulnerabilidad
0 – 100	1	Muy Baja
100 -250	2	Baja
250 – 500	3	Media
500 -1000	4	Alta
1000 – y mas	5	Muy Alta

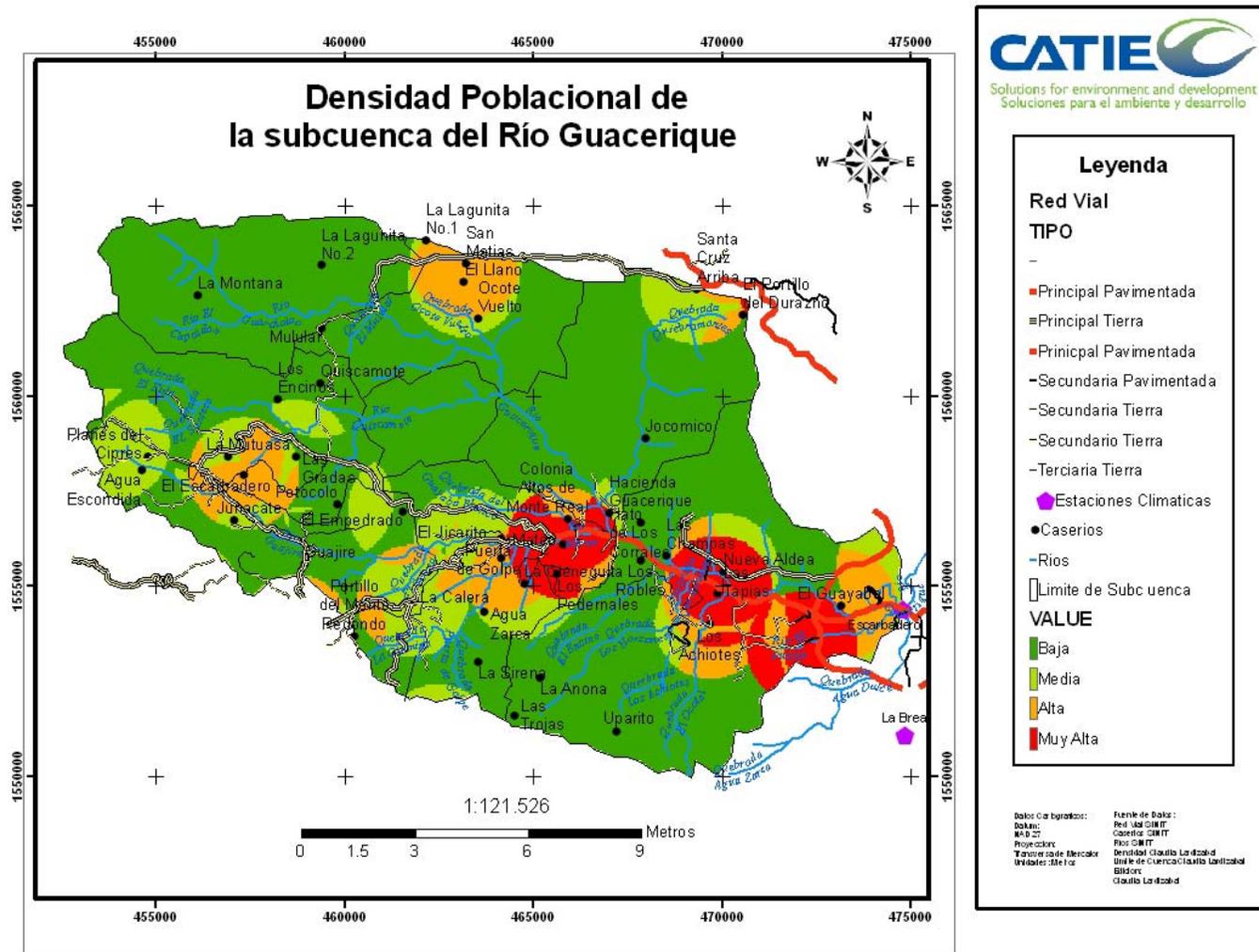


Figura 18. Mapa densidad poblacional de la subcuenca del río Guacerique

La densidad poblacional de la subcuenca se concentra en la proximidad de la capital, los núcleos poblados que en muchos casos coinciden con las áreas con mayor actividad agrícola en la porción media a media alta de la cuenca.

### 3.4.3 Áreas de recarga hídrica

Las áreas de recarga hídrica se clasificaron siguiendo la misma metodología que con las otras capas, asignándoles su clasificación en donde exista una mayor recarga hídrica (1) y en donde exista una menor (5) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Clasificación de las áreas de recarga hídrica

Rango de Recarga (mm/año)	Clasificación	Vulnerabilidad
9.05 – 487.06	1	Muy Baja
487.06 – 905.33	2	Baja
905.33 – 1335.54	3	Media
1335.54 – 1885.25	4	Alta
1885.25 – 3056.4	5	Muy Alta

Se le asigna una vulnerabilidad más alta a aquellas zonas en donde existe mayor recarga, ya que la disminución de la cantidad de agua precipitada debido a una sequía, afectaría directamente la infiltración en las zonas de recarga, causando una disminución en la disponibilidad de agua en los acuíferos.

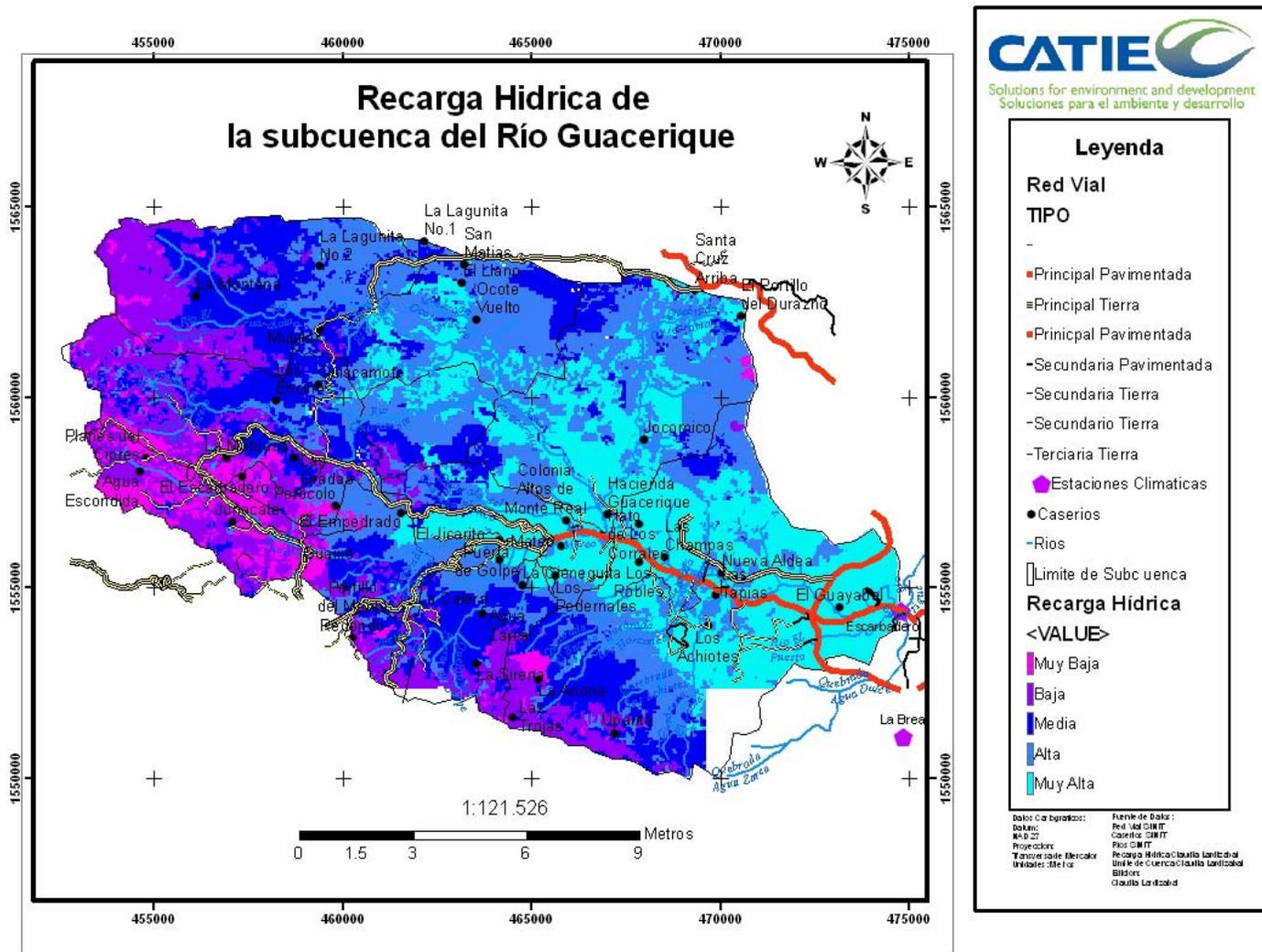


Figura 19. Mapa de recarga de hidrica de la subcuenca del río Guacerique

### 3.4.4 Potencial de erosión

Se decidió aplicar el potencial de erosión como factor de vulnerabilidad a la sequía, debido a que los procesos erosivos afectan la condición hidrológica de los suelos, eliminando la capa orgánica superficial y el horizonte A, con lo que la capacidad de almacenamiento de agua de los mismos disminuye. Ante un fenómeno de sequía, se infiere que los suelos más afectados serán aquellos que por sus condiciones hidrológicas alteradas son menos capaces de almacenar agua. (Cuadro 14).

Cuadro 14. Clasificación del potencial de erosión de la subcuenca del río Guacerique

Rango de potencial de erosión ton/ha/año	Clasificación	Vulnerabilidad
0 – 1.42	1	Muy Baja
1.42 – 4.57	2	Baja
4.57 – 9.43	3	Media
9.43 – 24.57	4	Alta
24.57 – 72.86	5	Muy Alta

Para el cálculo de este potencial se sigue la misma metodología que para la ecuación de RUSLE, excepto que para el presente se omite la variable prácticas agronómicas de conservación de suelos (conservación de suelos), ya que la mayoría de los agricultores de la zona no las realizan (Figura 15). Dado que la erosión está altamente correlacionada con la pendiente, se observa que los lugares más susceptibles a la misma se encuentran en los cañones de los ríos y las zonas con pendiente quebrada.

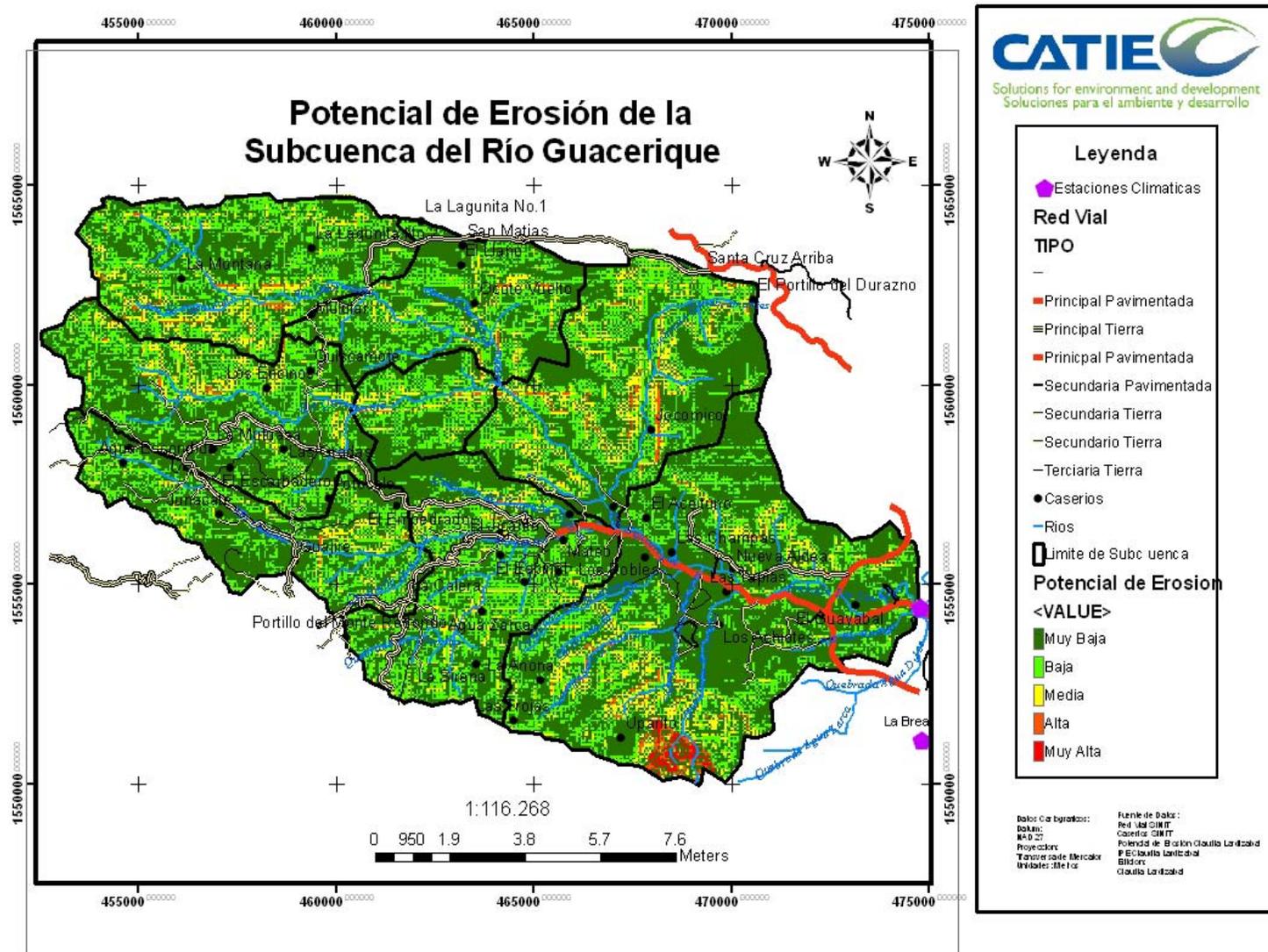


Figura 20. Mapa de potencial de erosión de suelos de la subcuenca del río Guacerique

### 3.4.5 Precipitación

La precipitación media anual se incluyó con el fin de tomar en cuenta no solo las características física de la cuenca, sino también el recurso hídrico entrante, que al final de cuentas es el parámetro que de manera indirecta determina la condición de aridez de una región.(Cuadro 15).

Cuadro 15. Clasificación de la precipitación de la subcuenca del río Guacerique

Rango de Precipitación mm	Clasificación	Vulnerabilidad
986.4 – 1040.5	5	Muy Alta
1040.5 – 1055.8	4	Alta
1055.8 – 1072.8	3	Media
1072.8 – 1096.7	2	Baja
1096.7 – 1131.4	1	Muy Baja

El mapa (Figura 21) se calculó usando de base los datos de precipitación anual promedio de las estaciones meteorológicas de la subcuenca e interpolando sus datos, utilizando un sistema de información geográfica (ArcGIS 9.2).

Con las anteriores variables se llevó a cabo un análisis multicriterio ponderado en donde se le asignó un peso a cada variable, como se muestra en el Cuadro 16. El peso se asignó de acuerdo al papel que se considera juega la variable en la vulnerabilidad de la zona a la sequía. El mayor peso se asignó a la actividad agrícola puesto que al faltar el recurso, el estrés causado por la falta de agua causa pérdidas significativas en las cosechas y reducción de la producción pecuaria y además dispara la demanda de agua para riego.

El menor peso se asignó a la precipitación y la densidad poblacional, ya que el primero es un factor no controlable, se toma en cuenta en el análisis de los índices y de existir manejo adecuado del recurso hídrico una disminución de la precipitación podría ser mitigada. La demanda humana en el caso de esta subcuenca no representa un consumo de agua importante y por ello se le asignó poco peso para los fines de este análisis. Sin embargo, si a futuro aumentara de manera significativa la urbanización de la subcuenca y por consiguiente la demanda del recurso por parte de la población, la asignación de pesos debería modificarse.

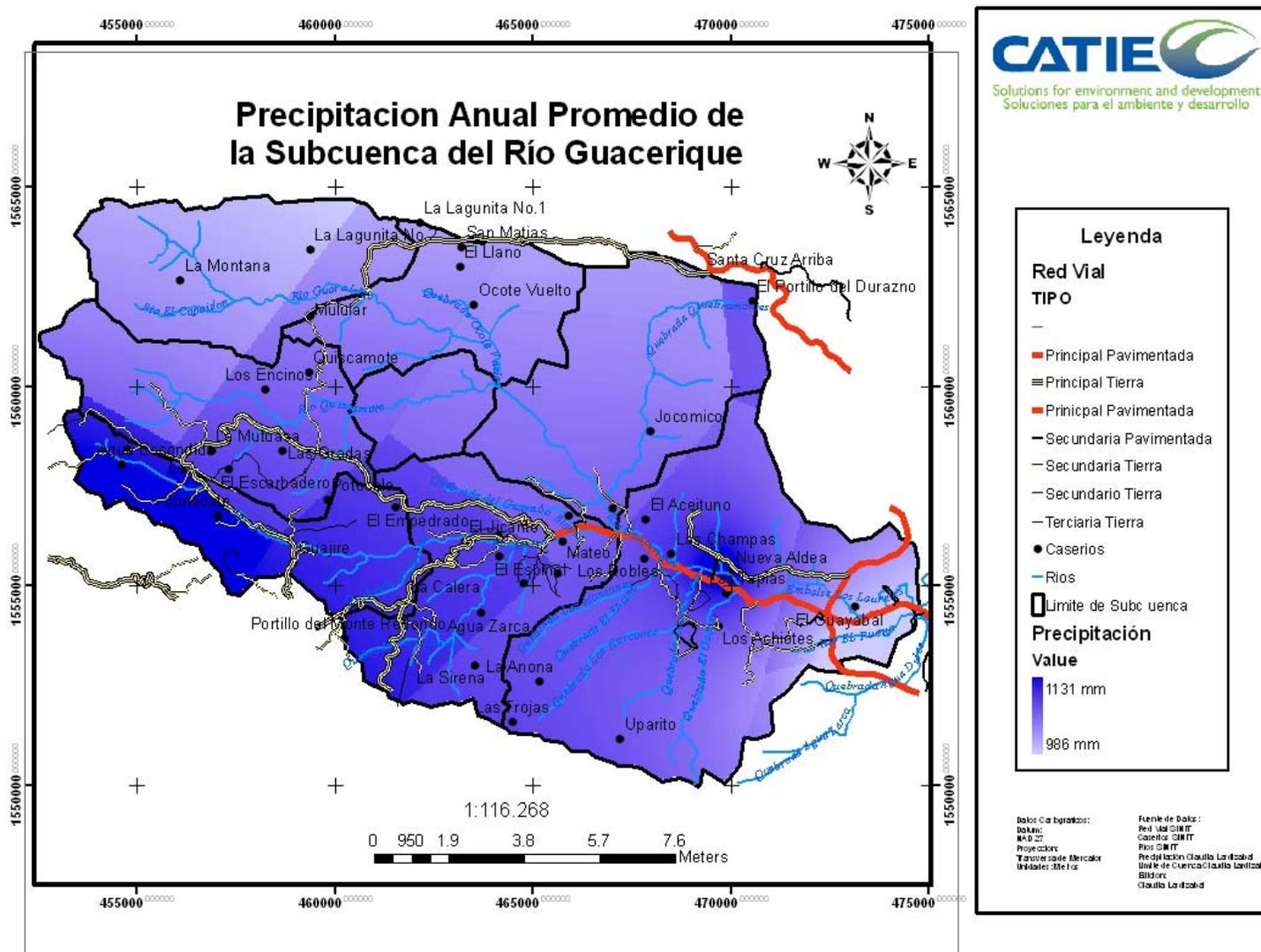


Figura 21. Mapa de precipitación anual promedio de la subcuenca del río Guacerique

Cuadro 16. Peso asignado a cada variable para el cálculo de vulnerabilidad de la subcuenca del río Guacerique

Variable	Peso
Cobertura	0.30
Potencial de erosión	0.20
Precipitación	0.15
Recarga hídrica	0.20
Densidad poblacional	0.15

El resultado del análisis, como era previsible, reveló que la vulnerabilidad es mayor en las zonas con alta actividad agrícola, fuerte densidad poblacional, potencial de erosión de medio a alto y con alta recarga hídrica (Figura 21). Si se analizan todos estos factores en términos de la demanda de agua y su disponibilidad, se observa que la oferta es de media a media baja en las áreas de agrícolas, sin embargo su demanda combinada es alta (Cuadro 11), lo cual significa que de todas formas existe déficit de agua. Bajo las condiciones anteriores cualquier año en el cual la precipitación esté por debajo de la media, aunque sea leve, ocasionará problemas que se traducen en posibles pérdidas de cultivos, ganado y fuertes racionamientos de agua si no se adoptan medidas de mitigación.

Al observar la distribución espacial de la vulnerabilidad se nota que la mayor parte de las microcuencas presentan una vulnerabilidad media baja. Sin embargo, también se puede notar que las microcuencas que presentan mayor porcentaje de su área en las categorías media alta y alta son Guacerique Abajo, Guajire y Quiscamote Arriba.

Cuadro 17: Distribución de la vulnerabilidad a la sequía por microcuenca.

Microcuenca	Áreas de Vulnerabilidad en ha							
	Baja	%	Media baja	%	Media alta	%	Alta	%
Guacerique Abajo	183.8	3.6%	3545.0	68.7%	1429.3	27.7%	0	0.0%
Quiebramontes	739.8	24.6%	1927.3	64.1%	341.0	11.3%	0	0.0%
Mateo	0.5	0.0%	2122.8	85.0%	364.5	14.6%	9.3	0.4%
Guajire	12.5	0.6%	1408.5	73.1%	503.8	26.2%	1.0	0.1%
Quiscamote Abajo	108.8	14.4%	522.5	69.3%	123.0	16.3%	0	0.0%
Guaralalao Abajo	636.8	35.7%	808.3	45.3%	339.0	19.0%	0	0.0%
Quiscamote Arriba	618.0	25.1%	1221.5	49.7%	618.0	25.1%	0	0.0%
Guaralalao Arriba	1829.5	75.0%	273.8	11.2%	334.5	13.7%	0	0.0%
	4129.500	20.6%	11829.500	59.1%	4053.000	20.3%	10.250	0.1%

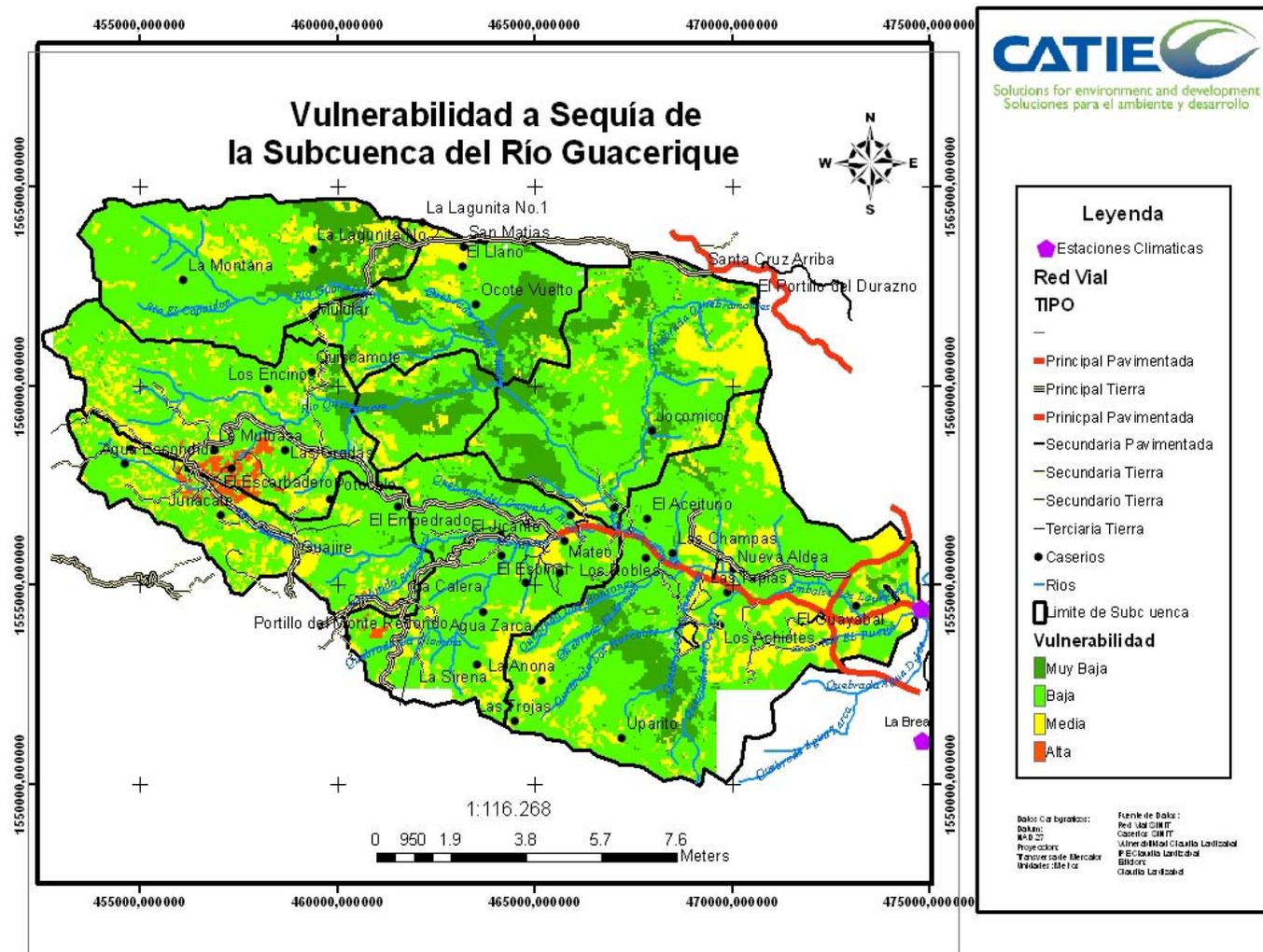


Figura 22. Mapa de vulnerabilidad de la subcuenca del río Guacerique

### 3.4.6 Amenaza de sequía

Este mapa se elaboró usando como base los IPE calculados por estación desde el 1995 al 2006. Los valores se agruparon en sequía y no sequía, asignándosele un 1 a los valores que exceden el umbral de sequía (-0.99) y 0 a los que no lo exceden, esto para los 12 años de registro. Posteriormente se suman estos valores y se divide la suma por 12 obteniéndose una probabilidad (valor 0 – 1) por estación y posteriormente convertirla a porcentaje e interpolarla, utilizando un sistema de información geográfico (Figura 22).

Al observar la distribución espacial de la amenaza a sequía (Cuadro 18) se nota que la mayor parte de las microcuencas presentan una amenaza muy baja a baja. También se puede notar que la única microcuenca que presenta una amenaza alta y muy alta es la de Guacerique Abajo con un escaso 6.6% y 4.2%, respectivamente, de su área total. En relación a la cuenca tomada como un todo, se observa que 92% de la cuenca se encuentra en una categoría de amenaza a sequía de muy baja a baja. De nuevo, se hace notar que esta clasificación es relativa a los valores observados, lo que no quiere decir que los valores de amenaza como tales no se encuentren en rangos cercanos a lo que consideramos un déficit del recurso.

Cuadro 18. Distribución de la probabilidad de ocurrencia de sequía por microcuenca

Microcuenca	Áreas de Probabilidad del IPE en ha									
	Muy Bajo	%	Bajo	%	Medio	%	Alto	%	Muy Alto	%
Guacerique Abajo	1843	34.2	1958.75	36.3	1006.5	18.7	356.5	6.6	225.5	4.2
Quiebramontes	48	1.6	2936.75	97.6	25.25	0.8	0	0	0	0.0
Mateo	1519	59.6	1030.75	40.4	0	0.0	0	0	0	0.0
Guajire	1928.25	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0.0
Quiscamote Abajo	698.25	92.5	56.25	7.5	0	0.0	0	0	0	0.0
Guaralalao Abajo	1537.75	86.1	248	13.9	0	0.0	0	0	0	0.0
Quiscamote Arriba	2475.75	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0.0
Guaralalao Arriba	2436.5	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0.0
	12486.5	61.4	6230.5	30.6	1031.8	5.1	356.5	1.8	225.5	1.1

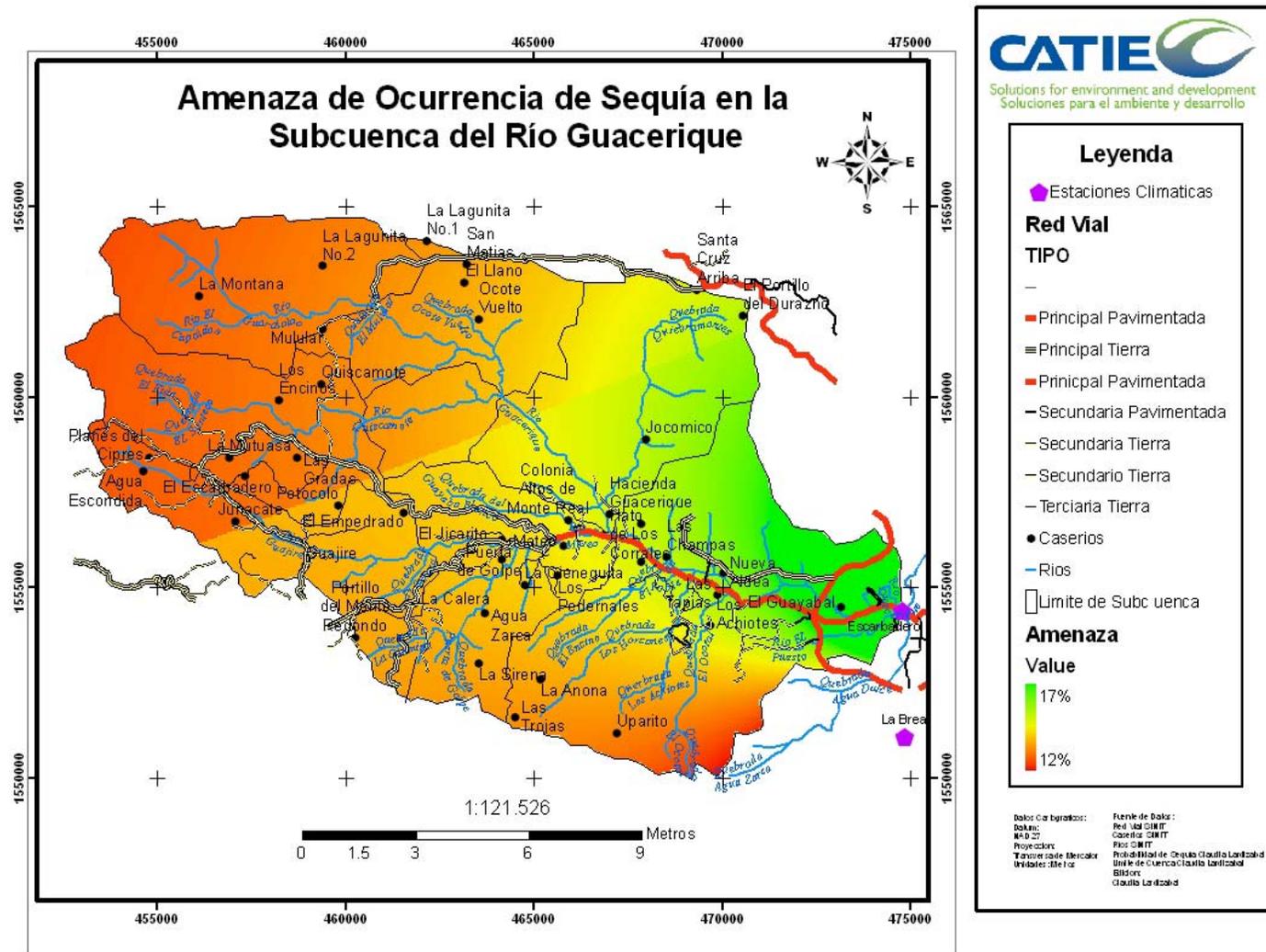


Figura 23. Amenaza de ocurrencia de sequía subcuenca del río Guacerique

Con los productos anteriores se puede calcular el riesgo mediante la fórmula

$$R = V \times A.$$

En donde:

R = riesgo

V = vulnerabilidad y

A = amenaza

En el cuadro 19 y figura 23 se puede observar que el 66.5% de la cuenca presenta un riesgo a sequía bajo distribuido a lo largo de toda la subcuenca mientras que las áreas con riesgo a sequía muy bajo se encuentran concentradas en la parte norte de la subcuenca media a media alta donde hay una predominancia de cobertura boscosa, mientras que las áreas en donde el riesgo a sequía es medio alto (0.9%) se concentran en el área cercana a la capital y el área de alta densidad poblacional y mayor actividad agrícola como lo son las microcuencas de Guajire, Quiscamote Arriba y Guacerique Abajo; las zonas con riesgo muy bajo a sequía (11.8%) coinciden con las zonas con cobertura boscosa y baja densidad poblacional como lo son San Matías y la Lagunita.

Cuadro 19. Distribución del riesgo a sequía por microcuenca:

Microcuenca	Áreas de Riesgo en ha							
	Muy Bajo	%	Bajo	%	Medio	%	Medio Alto	%
Guacerique Abajo	495.75	9.7	3337.5	65.0	1300.25	25.3	0	0.0
Quiebramontes	592.5	19.8	1887.75	63.0	518	17.3	0	0.0
Mateo	58.75	2.4	1977.25	79.2	445.5	17.9	14	0.6
Guajire	13.25	0.7	1311.75	68.0	544	28.2	59	3.1
Quiscamote Abajo	272.25	36.1	384.75	51.1	96.5	12.8	0	0.0
Guaralalao Abajo	457.25	25.7	1005.5	56.5	317.5	17.8	0	0.0
Quiscamote Arriba	88.75	3.6	1683.75	68.6	580.75	23.7	101	4.1
Guaralalao Arriba	379.25	15.6	1701	69.8	355	14.6	0	0.0
	2357.75	11.8	13289.25	66.5	4157.5	20.8	174	0.9

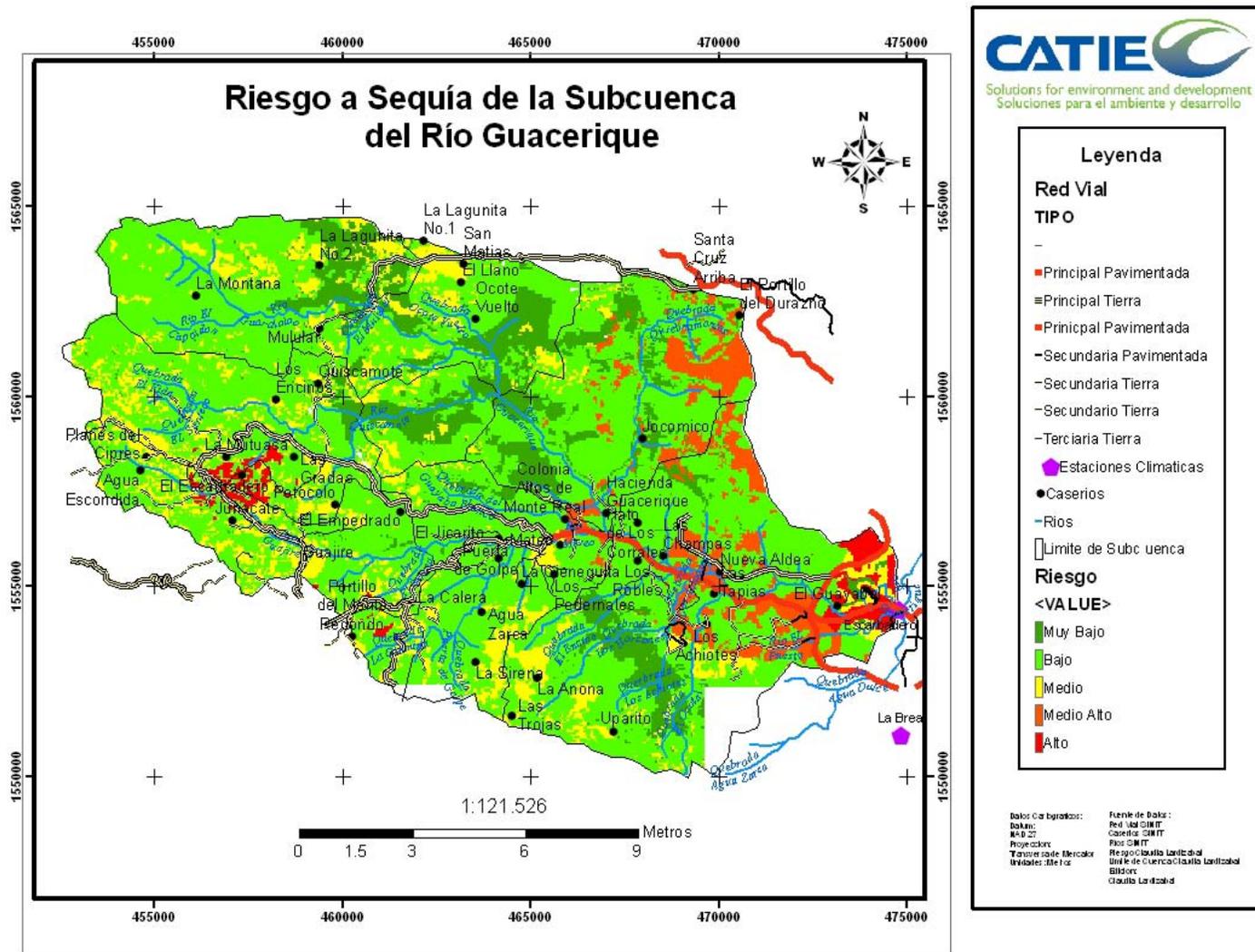


Figura 24. Riesgo a sequía en la subcuenca Guacerique

Una vez obtenido el mapa de riesgo a la sequía se procedió a hacer un taller de validación, para lo cual se imprimieron cinco mapas grandes, a color, con diversos puntos de referencia como caseríos, carreteras y ríos y se pidió a los participantes que marcaran las áreas en donde escaseaba el agua para cultivos, para consumo humano, ganado u otros usos.

Se observó una aceptable coincidencia entre las zonas señaladas por los pobladores y la obtenida a través del análisis de riesgo utilizando un SIG. Los mismos pobladores señalaron que debido a la escasez de agua, primero satisfacen la necesidad de consumo humano y luego satisfacen los otros usos, principalmente el agrícola. Debido a esta circunstancia de escasez, los agricultores se ha visto en la necesidad de limitar la producción agrícola a solamente una cosecha al año, con la consiguiente reducción de ingresos económicos para la población. Esta situación se ha visto agravada por las malas prácticas de cultivo que provocan

### **3.5 Propuesta de actividades de conservación de suelos y aguas para mejorar la condición hidrológica de los suelos y propiciar un uso del suelo acorde con su capacidad.**

Según el tipo de sequía y la frecuencia con que esta se presenta se pueden recomendar medidas de mitigación o adaptación enfocadas a las situaciones particulares de las áreas bajo estudio. Primeramente se identificaron los problemas causales de la sequía según los pobladores mediante el uso del árbol de problemas (Cuadro 20, Anexo 7). En el caso de la subcuenca Guacerique, en donde no se ha encontrado preponderancia de sequía meteorológica o agrícola, las principales medidas que la población busca son aquellas que permitan una mejor utilización de agua para cultivos. . En los talleres realizados se propusieron medidas de conservación de suelos y captación de agua de fácil realización, bajo costo y acordes con la topografía quebrada de la zona para actividades agrícolas (Cuadro 21).

Cuadro 20. Cuadro resumen de la problemática y soluciones planteadas en talleres de la subcuenca del río Guacerique

Causales de Sequía en Guacerique según los pobladores	Problema	Soluciones planteadas
	Perdida de bosques por tala ilegal	⇨ Detener la tala ilegal
Perdida de cobertura por quema	⇨ Aumentar la vigilancia de los bosques.	
Expansión de la frontera agrícola	⇨ Mejorar la producción de cultivos para frenar la expansión de la frontera	
Falta de monitoreo de la tala bosque (COHDEFOR)	⇨ Gestión de financiamiento para protección de bosques	
Falta de financiamiento para protección de bosques	⇨ Involucramiento de otras instituciones en el apoyo del manejo de la subcuenca	
Falta de monitoreo del bosque para evitar incendios forestales	⇨ Implementar Programas de Pagos por Servicios Ambientales	
Falta de involucramiento de otras instituciones gubernamentales en la protección de la subcuenca.	⇨ Promover capacitaciones o proyectos pequeños mejorar la captación de agua para uso en cultivos o humano	
Corrupción de los entes gubernamentales al otorgar permisos de tala	⇨ Construir un proyecto piloto de humedad.	

Cuadro 21. Medidas de Mitigación y Adaptación a Sequía

Medidas de mitigación y adaptación	Funcionalidad									
	<i>Tiempo de distanciamiento entre la vulnerabilidad actual y la muy baja</i>									
<i>Para Actividades Agrícolas</i>	<i>Conservación de Suelos</i>					<i>Captación de Agua</i>				
	<i>1 año</i>	<i>2 años</i>	<i>3 años</i>	<i>4 años</i>	<i>5 años</i>	<i>1 año</i>	<i>2 años</i>	<i>3 años</i>	<i>4 años</i>	<i>5 años</i>
Terrazas de Formación Lenta	█									
Zanjas de Infiltración						█				
Micro captaciones para Frutales						█				
Micro captaciones para Maíz						█				
Barreras Vivas	█									
Surcos en Contorno	█									
Rotación de Cultivos	█									

Debido a que los pobladores participantes no reportaron carencia de agua para consumo humano no se propusieron medidas de adaptación (Cuadro 22) para tal fin. Sin embargo deben de considerarse tales propuestas, ya que la prevención es la mejor medida de adaptación.

Cuadro 22. Medidas de Captación de Agua Lluvia

Diseño	Dificultad de elaboración			Costo		
	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
SCAPTA*						
Redes de Neblina**						
Trampa filtradora de agua de canaleta***						

Fuente: \* UNATSABAR, 2004 \*\* Van Veenhuizen s.f., \*\*\*Ecoweb s.a

Las propuestas mitigación y adaptación agrícola fueron posteriormente discutidas en plenaria y se categorizaron por importancia aplicando la matriz de evaluación de soluciones adaptada a la priorización de las medidas de adaptación y mitigación. Para determinar la selección se realizó con base en una escala de calificación de puntajes y la condición de aceptación. Se basó la decisión en criterios como los costos, mano de obra necesaria, la utilidad y el mantenimiento necesario.

La selección se realizó con base en una escala de calificación del 1 a 5, siendo 1 el peor y 5 lo mejor, a cada criterio. Seguidamente se sumaron los valores (Cuadro 23), aquellas medidas con mayor valor fueron aquellas con una prioridad más alta y los más bajos los de menor prioridad (Cajina 2006).

Cuadro 23. Priorización de las Medidas de Adaptación y Mitigación Propuestas

Medida	Costo	Mano de Obra	Utilidad	Mantenimiento	TOTAL
Terrazas de Formación Lenta	5	3	5	3	16
Zanjas de Infiltración	5	3	5	3	16
Micro captaciones para Frutales	5	3	5	3	16
Micro captaciones para Maíz	3	3	5	3	14
Surcos en Contorno	3	2	5	5	15
Barreras Vivas	5	3	5	3	16
Rotación de Cultivos	3	4	5	5	18

La valoración máxima alcanzó 20 puntos y la valoración mínima 0, para que una propuesta sea priorizada primero debe ser aceptada. La prioridad de orden se asignó en relación a los puntajes obtenidos. La medida con el mayor puntaje le corresponde la prioridad uno (1) siguiendo de manera decreciente las medidas con menor puntaje.

Según los resultados de la matriz anterior el orden de prioridad de elaboración de obras es el siguiente:

1. Rotación de cultivos
2. Terrazas de formación lenta
3. Zanjas de infiltración
4. Barreras vivas
5. Micro captaciones para frutales
6. Surcos en contorno
7. Micro captaciones para maíz

### **3.6 Grado de inserción de los actores de la cuenca en las políticas y programas nacionales e institucionales de la lucha contra la desertificación.**

Para obtención de información referente a la inserción de la subcuenca se llevaron a cabo entrevistas vía conversación libre con técnicos del departamento de Manejo de Cuencas del SANAA, específicamente las unidades de Gestión Ambiental con el Lic. Luis Miguel Flores, la unidad de Monitoreo con el Lic. Rosbel Rodríguez y el Ing. Carlos Muñoz de la unidad de Extensión Agrícola.

*¿Cuál es la situación legal de la subcuenca en cuanto a protección?*

Por su importancia como zona de productora de agua para la capital, la subcuenca del río Guacerique se encuentra en la categoría de “Zona Forestal Protegida” según el decreto 72 de junio de 1972. De acuerdo a la Ley Forestal la zona forestal protegida es aquella de “gran importancia para la conservación del paisaje, de las aguas o de los suelos, de manera que permita solamente un aprovechamiento limitado según planes de ordenación forestal”. Adicionalmente el acuerdo 03 de enero de 1973 refuerza su estatus y dispone una cooperación

interinstitucional entre el SANAA como institución encargada del manejo y el actual Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal encargada de su custodia.

En julio del 2003 se aprobó la “Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento” que establece que el manejo de los sistemas de agua que actualmente se encuentren bajo custodia del SANAA pasará gradualmente a las municipalidades correspondientes que lo deseen y tengan la capacidad de asumir su manejo. Para el 2008 la alcaldía municipal del distrito central (AMDC) aún no ha tomado su función como nueva administradora de la subcuenca.

A pesar de que la subcuenca posee un marco legal relativamente sólido, el cambio de cobertura continua a un ritmo acelerado ya sea por tala ilegal o avance de la frontera agrícola lo que causa un aumento sostenido en las áreas vulnerables a sequía y una disminución del agua disponible por falta de infiltración y uso irracional del mismo.

*¿Cómo se encuentra la actividad agrícola en la subcuenca?*

La subcuenca del río Guacerique presenta un serio problema que es el avance de la frontera agrícola. En la actualidad la mayor parte de las hortalizas consumidas en la capital son producidas en la cuenca y debido a la cercanía de la misma a la capital, la presión es más fuerte, además que muchas de las plantaciones son de índole industrial y no artesanal. Además debido a la falta de obras de conservación de suelos mucho del suelo fértil se está erosionando por lo que para mantener ciertos niveles de producción deben de aumentar el área cultivada. El control del aumento de frontera es difícil de controlar por falta de recursos para ello y debido a que lo hacen de forma gradual primero raleando el área a usar gradualmente convirtiéndola en matorrales y luego en parcelas agrícolas.

Adicionalmente la falta de tecnificación de los sistemas de riego por gravedad y aspersión tienen como consecuencia un nivel de eficiencia muy bajo, que demanda una gran cantidad de agua, haciendo mucho más dramático el déficit de agua en la subcuenca.

*¿Existe algún proyecto, programa o institución trabajando en el manejo de la cuenca además del SANAA?*

A pesar de su importancia, la subcuenca del río Guacerique no forma parte de ningún programa nacional para su conservación. Esto debido a que se considera una extremadamente conflictiva por su cercanía a la capital ya que varias de las actividades económicas de fuerte

envergadura como la agricultura y explotación forestal son propiedad de individuos que residen fuera de la subcuenca que no acatan disposiciones del SANAA ni las leyes establecidas. Sin embargo, los residentes de la cuenca se encuentran muy abiertos a participar en programas o actividades que fomenten la conservación de sus recursos. Los residentes han sido ampliamente capacitados por diversos organismos que han brindado ciertos talleres y/o capacitaciones como en el caso del proyecto MIRA/USAID. Los pobladores están conscientes del daño que la deforestación y la pérdida de cobertura vegetal están causando a la cuenca y que por esta pérdida, es que se dificulta, cada vez más, aprovechar el agua disponible según lo discutido en foro abierto.

Esta falta de intervención y cooperación de otros entes en la conservación de la subcuenca implica que un solo departamento debe encargarse del manejo de la misma. Esa situación es algo muy difícil y complicado de llevar a cabo, ya que para lograr resultados positivos en el manejo del área se debe llevar a cabo una intervención multisectorial en donde los principales actores deben de ser los mismos pobladores con apoyo de los entes pertinentes.

Una alternativa adecuada para solventar dicho problema podría ser la formación de un comité de cuenca a través de las juntas de agua que son las administradoras del recurso dentro de las microcuencas. Al apropiarse el comité del manejo de la subcuenca, el monitoreo de la cuenca se torna intrínseco, dando mejores resultados que intervenciones externas.

*¿Existen programas y proyectos de los cuales la subcuenca pudiese beneficiarse?*

El proyecto MIRA/USAID se enfoca a trabajar en la temática de manejo de cuencas y actualmente tiene como área de intervención la cuenca del río Choluteca, a la cual pertenece la subcuenca del río Guacerique. El proyecto FOCUENCAS podría brindar asesoría en la formación de un comité de cuencas que tome que se apropie del proceso de cogestión de la subcuenca. Adicionalmente la cuenca por su importancia como suplidora de agua para la capital del país podría formar parte de programas de pago por servicios ambientales, ya sea mediante contrato con el SANAA o la alcaldía de la capital que es la principal beneficiaria del recurso hídrico de Guacerique. Adicionalmente estos programas son alternativas de trabajo para los pobladores.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

1. La cuenca a pesar de su importancia como suplidora de agua para la capital carece de suficientes registros de parámetros principales como precipitación, temperatura, evaporación y caudal, para llevar a cabo análisis de balance hídrico que permitirían monitorear adecuadamente el uso del recurso.
2. La ausencia de sequía meteorológica y agrícola según lo calculado con los índices en la subcuenca aparentan indicar que los reportes de sequía y déficit de agua se deben no un fenómeno ambiental, sino a la percepción causada por el uso no controlado del recurso hídrico por parte de los pobladores de la zona.
3. Existen muy pocos valores extremos de sequía o de humedad. Los períodos en los que el Índice de Precipitación Estandarizado se muestra con valores positivos relativamente altos, corresponden a la influencia de los fenómenos de El Niño (ENOS) ocurridos durante los años 1982-83, 1996-97 y 2006. Por el contrario, los valores más bajos podrían estar coincidiendo con los períodos normales o bien con los períodos conocidos como La Niña. Esto implica según lo calculada por los índices, que la llamada sequía en el área de estudio, no es más que la agudización de los problemas de abastecimiento de agua de la subcuenca, agravados por un fenómeno de carácter global.
4. El análisis mediante el Índice de Reconocimiento de Sequía que es un indicador de sequía agrícola demuestra que la subcuenca del río Guacerique no presenta ni ha presentado sequía agrícola. Adicionalmente el Índice de Aridez de la FAO no la clasifica como una zona seca ni árida lo cual puede ser corroborado con una simple visita de campo a la parte media y media alta en donde se evidencia lo anterior.
5. La percepción de sequía que tienen los distintos actores se debe en su mayoría a la escasez que se presenta en el agua disponible para riego, situación que ha causado una competencia entre los agricultores para abastecerse de la misma de una manera no controlada y prácticamente “secando” el río.
6. El aumento en la actividad agrícola y la pérdida de cobertura vegetal por expansión demográfica son circunstancias que contribuyen al aumento del déficit de agua año con

año. La conversión de bosques en potreros y luego en zonas urbanizadas, también contribuye al aumento del déficit de agua.

7. A pesar de que la subcuenca presenta una precipitación estable y abundante según el balance hídrico realizado aparenta existir un déficit de  $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$  que significa un déficit de apenas  $0.35 \text{ mm}$  de agua lluvia ( $0.35 \text{ l/m}^2$ ). Las cuencas que más contribuyen a este déficit son Guajire, Quiscamote Arriba y Quiebramontes.
8. El uso de técnicas de labranza deterioran la condición hidrológica del suelo (Anexo 5) son causas también del aumento de la erosión y la escorrentía, situación que tiene efectos directos en el balance hídrico del suelo.
9. El área creciente de suelos desnudos contribuye a la reducción de la vida útil de la Represa Los Laureles, ya que se que aumenta la vulnerabilidad del suelo a ser erosionado y llena progresivamente con sedimento el embalse, en especial con el comportamiento torrencial de la cuenca que favorece su arrastre.
10. La falta de un comité de cuencas y un proceso de empoderamiento de los pobladores contribuyen al uso irracional del recurso que podría ser mitigado con una buena organización y monitoreo interno.
11. Los pobladores de la cuenca prefieren actividades que promuevan el mejoramiento hidrológico de los suelos, sean de bajo costo, bajo mantenimiento y al mismo tiempo promuevan una mejora en la producción de cultivos. Sin embargo a pesar de conocer varias de las metodologías propuestas no las implementan, ya sea por falta de apoyo técnico y/o económico o por negligencia.
12. A pesar de la importancia de la subcuenca como suplidora de agua, y la legislación que la respalda como zona protegida, no existen iniciativas, programas o instituciones, a excepción del SANAA, para un manejo y protección de la subcuenca. La zona se encuentra excluida de los programas existentes a su alrededor por ser, una zona conflictiva por sus actividades agrícolas y su cercanía a la capital.

## 4.2 Recomendaciones

1. Mejorar la recopilación de información meteorológica e hidrológica mediante un incremento en la cantidad de estaciones que registren parámetros básicos como precipitación, temperatura, evaporación y caudal de esta manera facilitando la realización de análisis básicos del comportamiento de la cuenca como balances hídricos, entre otros.
2. Repetir los análisis de sequía en períodos de 5 a 10 años, ya que los índices propuestos son un buen indicativo de la evolución hídrica de la cuenca. Adicionalmente en un marco de 5 a 10 años se podría obtener suficiente información meteorológica e hidrológica que permitiría posiblemente generar predicciones en relación al nivel de sequía que se podría esperar y hacer una comparación con las series anteriores que podrían servir de base para monitorear el deterioro o mejora de la cuenca.
3. Educar a los pobladores de la zona en cómo llevar a cabo un uso más racional del recurso hídrico, específicamente en la utilización del mismo para riego y medidas que permitan una mayor captación del recurso para consumo humano como las propuestas por Cajina (2006) y otras que mejoren la condición hidrológica de los suelos como las propuestas en este trabajo.
4. Promover la modificación de los sistemas de riego por aspersión a riego por goteo ya que al utilizar este segundo se disminuye el consumo de agua en 40 al 60% sin afectar el desarrollo óptimo del cultivo.
5. Establecer cuotas de uso agua para riego que motive el mejoramiento de los sistemas y optimización del agua
6. Dar un seguimiento a las medidas de mejoramiento hidrológico propuestas y priorizadas por los pobladores, estas a la vez de disminuir el desgaste de los suelos por las actividades agrícolas promoverían una mejor infiltración y podrían elevar las cantidades de agua disponibles para los cultivos por ende disminuyendo la extracción de agua de los ríos y fuentes.
7. Debido a que no es posible retroceder la frontera agrícola, frenar su expansión mediante programas o capacitaciones que promuevan una mejora en la producción agrícola utilizando eficientemente los recursos ya disponibles, ya sea por metodologías de labranza, rotaciones de cultivos o diversificación de los ya existentes.

8. Aprovechando los conocimientos, la preocupación y la anuencia de los pobladores de la subcuenca, organizar la formación de un comité de cuenca que pueda promover una gestión adecuada de la misma y pongan en función el plan de manejo ya existente elaborado por el Departamento de Cuencas del SANAA. Identificar los líderes o personas con influencia dentro de las comunidades que estén dispuestos a trabajar en esa dirección.
9. Tomando en cuenta la importancia de la cuenca como suplidora de agua de la capital, diseñar un programa de pago por servicios ambientales que integre los ya existentes esfuerzos del Departamento de Manejo de Cuencas del SANAA por promover un uso racional del recurso y a su propongan a los pobladores fuentes de ingresos que no impliquen una explotación inadecuada o no acorde a la capacidad de la cuenca
10. Insertar la cuenca en los programas y políticas ya existentes como el Programa de Lucha contra la Desertificación de ONU, Proyecto de Mitigación de Desastres Naturales de la SAG, entre otros y promover la aplicación de las leyes ya existentes, como la declaración de área protegida de la cuenca, así como facilitar el acceso a fuentes de financiamiento externo.

## 5 LITERATURA CITADA

- Alley, W. 1984. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 1000-1009.
- BBC. 2001. Racionan agua por sequía en Honduras. (en línea). Londres, Inglaterra. BBC Mundo. Consultado el 10 de septiembre del 2007. Disponible en: [http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/latin\\_america/newsid\\_1454000/1454421.stm](http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/latin_america/newsid_1454000/1454421.stm)
- Benegas, L. 2006. Propuesta metodológica para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central. *Magister Scientie*. Turrialba, CR. CATIE. 160p.
- Bitriago, L. 2006. Fotointerpretación. (en línea). 1 edición. s.l. Monografías. Consultado el 5 de Noviembre del 2008. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos39/fotointerpretacion/fotointerpretacion.shtml>
- Bordi, I., Fraedrich, K., Petitta, M. y Sutera, A. s.f. Methods for predicting drought occurrences. La Sapienza. 12 p.
- Cajina, M. 2006. Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. *Magister Scientie*. Turrialba, CR CATIE. 227 p.
- Cancelliere, A., Di Mauro, G. Bonaccorso, B. y Rossi, G. 2007. Drought Forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Water Resources Management*. 21: 801-819.
- Carías, N. 2005. Reforestación versus depredación. (en línea). Tegucigalpa, Honduras. El Heraldo. Consultado el 10 de Septiembre del 2007. Disponible en: <http://www.elheraldo.hn/nota.php?nid=24812&sec=11&fecha=2005-01-13>
- Cho, C. y Lo, M. 2007. Asymmetric Responses of Tropical Precipitation During ENSO. *Journal of Climate*. 20: 3411- 3433.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2001. Eventos Naturales en Honduras. (en línea). s.l. s.e. CIAT. Consultado el 21 de Agosto del 2007. Disponible en: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/Vulnerabilidad/eventos.htm>

- Cuadra-Prats, J. y Vicente-Serrano, S. 2004. Comportamiento de las Sequías en la Península Ibérica: Análisis mediante el *Standardized Precipitation Index*. (en línea). Zaragoza. España. CESBIO (*Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphere*). Consultado el 7 de Agosto del 2007. Disponible en: <http://aeclim.org/4congr/cuadratJM04.pdf>
- Diario Digital Agrario. 2006. Narbona firma un nuevo Memorando de Entendimiento con Honduras en materia de cambio climático. (en línea). s.l. s.e. Consultado el 18 de octubre del 2007. Disponible en: <http://www.diariodigitalagrario.net/versiones/rc2/articulo2.asp?id=34134>
- Dimas, A. 2002. Capital Hídrico y Usos del Agua, Honduras. (en línea). Agua y Clima. Consultado el 14 de Octubre del 2008. Disponible en: <http://www.aguayclima.com/pdf/capitalhidricousosdelagua-honduras.pdf>
- Ecoweb. s.f. Trampa para filtrar el agua de captación de agua lluvia. (en línea). México. Consultado el 24 de Noviembre del 2008. Disponible en: <http://ecoweb.bereda.com/page22.html>
- El Heraldo. 2006. Agua de pozo abastecerá represas durante el verano. (en línea). Tegucigalpa, Honduras. El Heraldo. Consultado el 10 de Septiembre del 2007. Disponible en: <http://www.elheraldo.hn/nota.php?nid=43714&sec=11&fecha=2006-01-05>
- Espinel, R. *et ál.* 2002. El Potencial agroindustrial y exportador de la península Santa Elena y de los recursos necesarios para su implementación. (en línea). Guayaquil, Ecuador. SICA.. Consultado el 10 de Noviembre del 2008. Disponible en: [http://www.sica.gov.ec/agronegocios/est\\_peni/index.html](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/est_peni/index.html)
- Fernández, E., Campos, M., Amador, J. 2003. Assessment of impacts and adaptation measures for the water resources sector due to extreme events under climate change conditions in Central America. Second Progress Report of the AIACC. LA06 Project. AIACC. 9p.
- García, E. 2005. Reflexiones previas al proyecto de una granja avícola. Las Alternativas. Vol.2. 121-129.
- Guha-Sapir, D., Hargitt, D. y Hoyois, P. 2004. (digital) Thirty Years of Natural Disasters 1974-2003: The Numbers. Bélgica. Presses Universitaires de Luvain. 190p.

- Hernández, A. 2003. Dinámica del uso de la tierra y de la oferta de la demanda hídrica en la cuenca del río Guacerique, Tegucigalpa, Honduras. *Magister Scientie*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 126p.
- Hupp, L. e Inbar, M. 2002. Desastres Naturales en América Latina. México. Fondo de Cultura Económica. 501 p.
- Jiménez, F. 2007a. Practica de análisis de vulnerabilidad. Turrialba. CATIE. 6p.
- Jiménez, F. 2007b. Curso: Gestión del Riesgo a Desastres. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 252 p.
- Jiménez, F. Faustino, J. y Velásquez, S. 2004. Análisis Integral de la Vulnerabilidad a Amenazas Naturales en Cuencas Hidrográficas de América Central. Turrialba. CATIE. 5p.
- Latin Trade. 2002. La Guerra del Agua: América Latina será escenario de una batalla por el vital líquido. (en línea). s.l. Freedom Magazine Inc. Consultado el 21 de Agosto del 2007. Disponible en: [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0BEK/is\\_9\\_10/ai\\_92281167](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0BEK/is_9_10/ai_92281167)
- La Tribuna. 2001. Honduras: Agoniza la Represa los Laureles. (en línea). Honduras. Red Interamericana de Recursos Hídricos (RIRH). Consultado el 10 de Septiembre del 2007. Disponible en: [http://centroamerica.rirh.net/noticia\\_vista.php?id=162](http://centroamerica.rirh.net/noticia_vista.php?id=162)
- Lee, M. 1996. Multiple Resource Needs and Multiple Conflicts in Urban Watersheds in Developing Countries: The Case Study of Guacerique Watershed, Tegucigalpa, Honduras. (en línea) San Antonio, Texas. Zamorano. Consultado el 11 de Septiembre del 2007. Disponible en: <http://isis.csuhayward.edu/alss/geography/mlee/guacerique.html>
- Lorio, A. 2004. Procesos Organizativos, Regulación y Tecnologías para el Manejo y Conservación del Recurso Hídrico y Mitigación de la Sequía, Subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua. *Magister Scientie*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 164p.

- Milliet, A. s.f. Informe Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. (en línea). WWAP. UNESCO. Consultado el 14 de Octubre del 2008. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/acrespo.pdf>
- Monitoreo de la Sequía en el Estado de Chihuahua. s.f. (en línea). México. Consultado el 7 de Agosto del 2007. Disponible en: <http://www.sequia.edu.mx/proyectos/monitoreo/metodos.htm>
- Muñoz, N. 2007. Honduras: Sequía aumenta la desnutrición. (en línea). San José, Costa Rica. Tierramérica. Consultado el 10 de septiembre del 2007. Disponible en: <http://www.tierramerica.net/2002/0303/noticias4.shtml>
- NDMC (National Drought Mitigation Center). 2007. Wet and drought period classification according to the SPI index. (en línea). s.l.s.e. Consultado el 20 de octubre del 2007. Disponible en: <http://drought.unl.edu> .
- Ordoñez, E. 2002. Centro Independiente para el Desarrollo de Honduras, Organización de un organismo de cuencas. (en línea). 2do borrador. Tegucigalpa, Honduras. RDS (Red de Desarrollo Sostenible). Consultado el 10 de Septiembre del 2007. Disponible en: <http://rds.hn/index.php?documento=779>
- Pagador, C. 2002. Estudio de Caso de Perú; Sistema de Irrigación Pur Pur. (en línea). 1ed. Perú. AGLW, FAO. Consultado el 11 de Noviembre del 2008. Disponible en: [http://www.fao.org/landandwater/aglw/watermanagement/docs/MOD\\_Peru.stm](http://www.fao.org/landandwater/aglw/watermanagement/docs/MOD_Peru.stm)
- Porta, J. López-Acevedo, M. y Roquero, C. 1999. Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. 2da Edición. Madrid. GRAFO, S.F. 849 p.
- Rapallo, R. Utilización de Sistema de Información Geográfica para la Seguridad Alimentaria sostenible en zonas marginadas de Honduras, Nicaragua y Guatemala (digital). FAO. Consultado el 6 de Octubre del 2008. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/TC/TCA/ESP/pdf/rapallo/BloqueII.II.pdf>
- Rodríguez, J. 2007. Proponen adaptación al cambio climático. (en línea). España. El Universal. Consultado el 18 de Octubre del 2007. Disponible en: <http://www.casamerica.es/es/horizontes/mexico-y-centroamerica/proponen-adaptacion-al-cambio-climatico>

- Quesada, C. 2001. Crónica de una Sequía Anunciada. (en línea). s.l. BID América. Consultado el 7 de Agosto del 2007. Disponible en: <http://www.iadb.org/idbamerica/Spanish/OCT01S/oct01s4.html>
- Quirós, G. 1990. El niño: Oscilación del Sur, ENOS. Heredia. EUNA. 65p.
- Secuestro de Carbono en Tierras Áridas (digital). FAO. Consultado el 6 de Octubre del 2008. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/y5738s/y5738s02.pdf>
- Terán, C., Jiménez, C., Gonzales, C. y E. Villaneda. Metodología para la zonificación agro climática de la región de la Mojana mediante el sistema de información geográfica ARC/Info (en línea). Corpoica. Vol. 2 2: 19-26. Consultado el 15 de Octubre del 2008. Disponible en: [http://200.75.42.3/SitioWeb/Archivos/Revista/5\\_Metodologaparalazonificaci.PDF](http://200.75.42.3/SitioWeb/Archivos/Revista/5_Metodologaparalazonificaci.PDF)
- Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, H., Vangells, H., Tigkas, D., Rossi, G. y Cancelliere, A. s.f. Chapter 7. Drought Characterization. (en línea). Option Mediterraneennes. 58: 85-102 Series B. Consultado el 7 de Agosto del 2007. Disponible en: [http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/guidelines/methodological\\_drought.html#4](http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/guidelines/methodological_drought.html#4)
- Tsakiris, G., Pangalou, D. y Vangelis H. 2007. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). (digital). Water Resources Management. 21: 821-833.
- Van Veenhuizen, R. s.f. Manual de Captación y Aprovechamiento de Agua Lluvia. (en línea) 1ed. s.l. FAO: Consultado el 24 de noviembre del 2008. Disponible en: <http://fao.org/regional/Lamerica/prior/reclnat/pdf/capta/rev.pdf>
- Villagran, J.C. 2002. Diagnostico de Riesgos en la zona del triffinio de Guatemala. (en línea). Guatemala, Guatemala. Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales (CIMDEN). Consultado el 10 de Septiembre del 2007. Disponible en: [http://www.crid.or.cr/crid/CD\\_Alerta\\_Temprana/pdf/spa/doc14522/doc14522-a.pdf](http://www.crid.or.cr/crid/CD_Alerta_Temprana/pdf/spa/doc14522/doc14522-a.pdf)
- World Food Programme (WFP). 2001. Crisis Alimentaria: La Sequía Azota a más de 1,4 millones de Personas en Centroamérica. (en línea). Roma. Consultado el 21 de Agosto del 2007. Disponible en: <http://www.wfp.org/english/?ModuleID=137&Key=9>

Anexo 1a: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación La Brea

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1973	0.0	0.0	0.0	0.0	140.4	269.1	145.5	198.1	276.6	329.0	15.0	11.5
1974	7.5	3.4	2.3	18.6	280.5	281.8	95.9	164.1	498.1	98.4	14.2	11.4
1975	35.8	5.4	0.0	0.0	177.5	82.8	113.4	119.2	345.5	229.0	109.1	4.2
1976	22.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	144.0	0.0	0.0	422.8	161.3	92.6
1980	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	166.4	183.0	151.3	256.9	117.5	74.2	76.6
1981	0.0	0.0	0.0	7.4	96.0	323.7	144.7	314.7	325.2	137.5	20.2	37.5
1982	6.1	14.8	16.8	19.4	218.7	209.6	153.1	52.0	207.4	145.5	21.8	5.3
1983	9.7	1.8	41.8	13.6	31.3	304.3	212.3	164.8	223.3	118.0	79.1	31.6
1984	13.6	2.6	23.4	26.6	140.2	175.1	310.6	257.0	348.6	111.7	38.4	0.0
1985	22.1	0.0	8.7	85.1	78.4	151.9	149.8	74.1	173.3	190.3	63.8	20.0
1986	9.6	26.3	0.0	0.0	309.2	198.4	79.6	166.3	377.5	66.5	85.5	0.0
1987	0.0	8.3	26.1	11.4	73.7	349.3	231.1	138.1	205.7	25.1	23.3	11.1
1988	11.1	28.6	5.3	91.2	149.3	403.4	240.8	330.2	455.9	115.6	50.5	11.1
1989	11.5	17	13.4	67.4	158.1	179.8	82.1	185.7	198.7	174.9	42.8	9.0
1990	0.0	0.0	15.8	73.3	203.7	210.6	97.8	139.5	220.1	199.4	139.0	0.0
1991	0.0	8.0	13.4	5.8	213.9	274.5	37.3	63.2	107.7	235.0	11.5	37.1
1992	18.6	2.0	12.2	63.2	55.9	241.5	132.6	47.1	300.5	80.1	62.7	15.9
1993	9.5	0.0	29.6	49.5	408.1	305.7	109.8	120.9	328.1	162.4	25.1	15.5
1994	9.3	12.5	0.0	154.4	130.0	103.0	86.4	80.2	255.3	192.0	65.3	12.8
1995	3.4	2.0	15.8	111.3	187.1	228.7	113.2	489.7	367.8	252.0	26.5	17.8
1996	8.3	7.8	14.7	2.3	258.9	74.2	198.3	245.5	198.1	279.6	47.0	6.5
1997	5.3	28.2	23.6	10.5	52.3	405.0	118.3	92.2	200.5	138.7	61.6	0.0
1998	3.5	0.0	6.4	15.4	163.9	125.5	190.8	135.1	159.0	797.9	107.7	22.0
1999	26.1	2.0	0.0	30.7	147.0	319.8	144.9	175.0	592.2	355.0	10.5	23.7
2000	14.0	6.3	0.0	70.3	241.0	152.3	91.0	174.6	421.3	145.5	8.0	5.5
2001	17.5	1.5	49.2	0.0	246.0	72.0	98.1	210.0	298.0	100.3	3.5	20.8
2002	1.5	10.5	4.0	5.0	223.1	256.5	99.0	78.9	351.6	99.0	14.0	1.0
2003	3.4	3.0	21.5	1.4	221.5	366.7	103.1	170.7	252.1	221.6	31.6	2.3
2004	6.8	16.4	3.5	127.9	109.3	116.3	198.5	56.1	125.2	197.9	50.5	18.0
2005	2.6	5.2	41.2	28.5	343.6	356.6	226.7	221.4	341.6	264.3	25.7	73.7
2006	39.0	13.7	0.7	73.0	175.8	451.1	235.5	140.6	295.8	268.0	92.9	90.8

Anexo 1b: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Quebramontes

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1991	0	0	0	0	238.0	185.5	42.6	22.5	84.2	94.5	12.4	51.1
1992	9.9	0.7	30.4	100.7	101.3	277.4	107.7	49.1	153.5	82.0	22.2	28.3
1993	4.0	0.0	33.4	76.2	238.1	244.6	93.3	93.1	200.0	68.2	21.4	0.0
1994	1.5	7.0	0.0	89.7	195.3	61.7	58.3	73.2	163.3	124.3	25.0	8.3
1995	0.6	0.6	9.8	146.1	112.8	205.6	88.3	552.7	289.1	190.1	17.9	3.2
1996	0.3	1.5	8.4	2.2	193.9	104.8	146.2	157.2	138.8	144.2	35.6	0.0
1997	4.5	5.7	10.6	0.0	66.8	368.7	113.6	90.4	0.0	66.8	70.9	0.0
1998	2.2	0.0	1.6	0.0	147.6	85.0	118.6	139.1	126.4	479.5	22.9	1.7
1999	6.9	6.3	12.3	74.6	140.8	215.0	117.4	149.3	381.7	209.5	2.7	6.9
2000	9.9	14.8	0.0	9.7	191.5	145.5	63.7	164.4	276.1	93.0	29.1	1.4
2001	14.0	0.4	35.4	52.0	171.8	8.4	53.7	187.5	144.7	103.8	6.3	11.9
2002	0.7	7.1	1.0	9.5	149.5	198.4	82.3	62.7	187.7	105.6	16.5	3.1
2003	3.8	0.8	12.8	23.1	289.4	251.1	85.3	135.2	132.9	154.6	32.3	0.0
2004	0.4	19.9	4.2	92.3	97.8	48.8	186.8	47.4	127.9	129.3	27.6	3.7
2005	3.1	6.0	35.0	17.2	219.9	297.6	160.6	99.2	163.0	93.1	17.4	8.1
2006	9.7	0.4	0.0	28.4	129.9	301.2	150.6	116.3	139.2	253.2	91.4	31.1

Anexo 1c: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Batallón

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	3.2	0.5	32.6	12.4	202.5	123.8	39.0	58.4	198.4	75.1	124.2	9.0
1991	4.5	0.0	0.0	4.7	179.9	154.6	15.9	49.5	99.0	146.0	8.6	23.0
1992	7.6	0.4	31.8	58.3	95.5	226.5	66.5	96.3	183.5	97.0	25.5	12.2
1993	7.3	0.0	8.0	63.0	313.1	226.4	66.1	63.5	197.5	124.2	13.6	5.3
1994	2.2	3.9	0.0	42.6	228.2	40.8	39.8	37.6	143.8	134.3	23.8	7.8
1995	0.4	0.2	12.9	88.8	74.0	157.5	139.6	460.2	208.1	149.6	14.9	12.1
1996	2.5	2.6	13.8	45.2	114.1	46.0	130.2	195.2	162.5	141.7	41.6	1.0
1997	3.2	1.0	6.9	18.8	65.2	211.8	53.6	130.7	127.4	116.1	67.1	0.0
1998	0.0	0.0	10.1	0.6	155.5	82.2	133.0	157.1	109.3	0.0	0.0	2.5
1999	6.9	4.7	1.6	47.6	68.3	195.5	113.3	154.9	274.5	145.4	12.0	5.8
2000	6.9	0.0	0.0	27.7	152.8	81.6	110.4	133.0	262.8	70.7	7.5	10.5
2001	4.0	0.0	6.5	11.0	204.8	13.0	54.9	127.8	178.7	71.2	8.0	5.3
2002	0.5	7.0	0.0	0.0	154.1	199.7	66.9	52.3	159.0	41.6	13.6	19.5
2003	0.2	0.0	18.3	19.2	261.9	227.2	85.1	115.1	123.5	154.9	50.6	0.0
2004	4.1	16.7	0.2	109.2	74.2	58.1	105.9	34.0	205.5	107.5	34.4	8.7
2005	0.0	2.5	36.6	50.1	256.6	251.1	226.9	149.0	139.0	91.8	11.1	1.9
2006	10.0	0.5	0.0	67.2	110.0	230.3	111.5	56.7	103.9	141.6	77.0	21.0
2007	2.2	1.9	15.5	80.5	72.1	148.5	34.8					

Anexo 1d: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Tegucigalpa

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1995	0.7	2.6	4.2	54.1	134.8	111.6	110	432.9	153.2	99.3	20.5	22.1
1996	3.2	0.9	14	35.8	97.1	25.7	116.6	240.8	97.4	236.6	30.6	0.8
1997	4.8	4.9	54.2	0.3	46	234.3	44.3	67.3	210.4	130.2	68.9	0
1998	0	0	7.9	7.3	191.6	88	103.2	162.4	76.2	498.6	43.5	1.1
1999	6.8	3.6	2.2	12.9	72.5	157.3	85.1	153.2	235.8	140.5	12.2	3.5
2000	15.7	1.1	0	28.5	151.7	79.3	62.5	134.7	228.9	71.5	9.1	8.9
2001	4.4	0.1	9.3	13.5	224.4	10.9	35.6	135.1	164.9	108.4	8	12
2002	5.2	8	1.1	1.2	178.1	163	46.1	20.4	107.7	58.3	9.5	15.9
2003	1.4	0.2	19.4	27.4	279.3	218.8	101.4	114.3	106.8	100.7	51.1	1.4
2004	3.5	13.5	14.4	174.3	61.9	49.1	70.9	37.5	133.8	170.2	20.9	9.1
2005	0.2	0.2	8.4	32.8	253	286.5	129.2	103.8	106.4	140.4	17.4	6.4
2006	11	0.8	0	26.7	27.9	196.8	82.2	26	92.8	113.3	112.5	27.9
2007	1.6	2.8	23.7	84.7	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo 1e: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación 21 de Octubre

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1995	0	0	21.6	86	133.6	222.8	84.3	398	160.5	95.8	15.5	7.5
1996	0	7.1	42.1	17.5	160.4	29.7	118.6	131.2	0	0	0	0
1997	7.3	3	20	18.9	19.3	59.4	11.3	6.8	54.5	12.3	36.6	0
1998	0	0	10.1	10	41	40.2	58.7	44.8	40.3	160.4	42	1.9
1999	5	21	0	20.2	8	18	34	21	49.2	40.2	0	0
2000	4.5	10	0	48.2	51.1	32.2	21.1	24	51.2	36.6	2.5	6.5
2001	0	0	13.6	17.7	33.7	0	12.6	62	19.3	35.9	0	0.5
2002	15	5.1	4.5	0	65.4	25.5	11	5	141.4	78.4	34.5	2.5
2003	11.2	1.2	28.6	16.6	243.9	163.4	68.1	94.3	117.9	104.1	32.7	8.3
2004	0	8.5	14.4	140.8	80	83.3	60.8	41.7	130.6	203	22.6	0
2005	6.6	0	0	18.7	204.8	319.1	222.8	31.6	148.8	130.6	8	11.8
2006	14.6	3	0	13.3	115.4	229.6	68.6	25.2	67.4	87.6	88.2	7.7
2007	0	5	41.4	42.7	84.1	166	51.9	143.4	191.5	162.3	0	0

Anexo 1f: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Santa Lucía

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1996	21.5	8	21	26.6	84.5	62.7	222	183.9	169.7	214.7	37.5	4.2
1997	18.3	17.7	15	5.6	13.3	344.6	95.7	83.3	215.1	56.2	138.9	0.2
1998	3	0.6	17.4	12.4	119.4	173.9	198	157.5	80.5	601	40.1	4.9
1999	20.6	18.9	0.1	13	29.6	131	72.7	61.7	242.3	127.9	23	12.1
2000	16.1	7.7	0	25.9	146.8	129.9	67.6	100.6	236.5	95	8.4	11.5
2001	7.7	6.6	9.2	41.2	196	24	59.8	214.9	242.1	114.5	8.9	5.5
2002	30.5	17.4	9.9	8.6	310.3	252.9	122.1	20	266.9	131.2	7.9	2.9
2003	18.2	2.2	40	43.3	245.4	391.5	86.6	91.4	240.6	140.4	68.7	0
2004	7.3	16	28.6	115.9	133.6	60.2	160	65.1	243.3	348.7	38.6	8.9
2005	16.2	1.5	17.6	16.6	241.6	441.6	317.4	144.4	254.3	101.5	24.5	9.4
2006	13.3	2.3	0.8	12.3	94.5	244.3	129.3	45.8	161.1	108.8	100.8	42.5
2007	16.6	13.8	51.5	137.4	124.2	162.4	105.5	192.7	223.6	208.6	0	0

Anexo 1g: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación San Matías

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1985	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	191.5	122.2	77.0	127.7	53.9	26.3
1986	27.0	11.7	0.0	4.5	135.3	88.6	119.2	58.1	223.8	0.0	0.0	0.0
1987	20.7	0.0	39.5	8.2	73.2	225.6	205.2	101.5	149.9	18.6	28.0	6.5
1988	42.4	22.1	21.7	0.0	85.0	340.3	193.9	265.1	283.2	100.9	30.9	11.0
1989	1.7	2.0	1.0	31.5	64.9	83.8	42.8	125.7	237.0	68.4	22.3	0.2
1990	0.0	0.0	28.6	63.8	240.9	206.0	0.0	126.2	228.6	117.7	170.0	26.0
1991	27.5	5.1	6.5	3.4	181.8	288.9	123.7	58.9	88.1	234.1	25.7	25.6
1992	12.3	6.1	23.0	18.2	66.9	260.4	76.5	48.9	161.5	44.5	52.2	24.5
1993	11.3	0.0	15.1	53.0	220.2	246.1	132.9	131.0	158.8	134.1	29.0	2.3
1994	2.9	1.1	1.1	30.3	138.9	40.1	21.5	21.5	31.4	44.0	117.2	24.4
1995	14.2	2.2	12.2	57.8	29.3	136.1	57.0	389.8	173.3	130.3	3.7	12.9
1996	2.5	1.0	11.2	1.3	225.9	38.0	136.6	117.3	129.6	239.6	37.6	2.3
1997	5.7	0.9	0.0	0.0	25.4	439.1	58.1	121.9	197.4	68.7	68.2	60.2
1998	2.7	1.4	2.1	32.2	134.3	87.4	0.0	118.6	102.6	392.8	59.7	139.3
1999	32.3	18.3	5.4	53.8	69.9	151.1	89.8	140.0	348.9	267.7	10.2	4.6
2000	13.7	17.5	1.0	0.2	230.9	86.2	45.5	56.2	169.9	101.6	9.2	17.8
2001	3.9	7.0	13.5	0.7	134.1	38.7	77.9	103.3	220.9	141.1	12.8	16.6
2002	4.2	18.3	6.6	3.7	91.4	268.4	48.3	46.8	240.7	239.1	19.7	20.2
2003	16.8	9.3	12.7	17.0	233.0	345.2	89.8	126.5	152.6	115.4	70.5	16.6
2004	31.7	42.3	41.2	108.8	95.3	161.3	222.5	62.8	129.9	134.4	48.7	17.8
2005	16.0	5.4	22.6	9.4	234.5	390.1	131.5	173.4	116.3	110.7	61.9	16.9
2006	16.4	9.9	2.6	31.0	161.7	209.8	102.0	111.2	97.3	172.4	89.7	40.5

Anexo 1h: Datos de Precipitación de la Subcuenca del río Guacerique, estación Escarbadero

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	319.9	97.6	176.7	261.0	104.5	41.6	1.7
2004	9.3	43.7	22.8	113.8	223.0	156.2	283.0	106.3	117.3	148.2	52.5	14.7
2005	7.2	5.0	25.4	12.5	340.4	417.8	239.6	150.4	249.8	87.6	37.5	13.3
2006	29.3	8.4	0.0	59.6	114.9	374.9	159.2	87.7	177.6	170.6	97.7	37.6

Anexo 1i: Datos de Temperatura de la Subcuenca del río Guacerique, estación Tegucigalpa

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1996	18.7	19.8	20.5	23.4	22.7	22.9	21.8	21.4	22.2	21.6	19.9	19.8
1997	19.6	20.6	22.1	23.8	24.2	22.1	23	23.1	22.9	21.7	21.4	19.7
1998	21.2	22.4	22.7	24.8	24.4	23.8	22.5	23	22.8	21.6	21	19.6
1999	19.5	19.9	21.7	23.8	23.1	22.3	21.9	23.4	21.7	20.8	19.8	19.4
2000	19.1	19.4	22.1	23.1	23.2	22.1	22.1	22.4	22.2	21.3	21.2	19.7
2001	19.2	21	22	23.4	23.5	22.8	22.8	23	21.8	21.8	20.3	21
2002	20.1	21.4	22.5	24	23.8	22.9	22.3	22.9	22.6	22.2	20.6	21
2003	19.2	22.2	23.1	23.6	24	22.6	22.3	22.2	22.6	22.2	21	19
2004	20.1	20.9	22	22.8	22.7	22.5	22.4	23.2	24.1	22.3	20.5	19.8
2005	19.8	21.2	24.2	24.2	23.4	22.9	22.6	22.8	22.3	21.2	20.1	20.4
2006	20.4	20.4	22.1	23.5	24.8	22.5	22.5	23	22.6	22.8	20	20.3
2007	19.9	21	21.3	23.6	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo 1j: Datos de Temperatura de la Subcuenca del río Guacerique, estación Quebramontes

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1991	0	0	0	0	0	0	22.6	22.7	23.1	21.7	21.7	19.7
1992	20.4	21.2	23.9	24.1	23.4	23.5	21.8	22.4	22.2	21.7	21.5	20.4
1993	20.1	21.5	20.7	22.6	22.6	22.5	21.7	21.2	20.8	21	19.9	19.3
1994	19.3	20.9	22.9	23.7	23	22	22.3	22.2	21.9	21.2	20.4	20.3
1995	21.4	20.9	22.5	22.8	22.8	22.4	22.2	21.8	21.5	21.1	20.6	20.7
1996	19.7	20.2	21.3	23.2	22.5	22.8	21.7	21.3	22.1	20.9	19.5	19.2
1997	19.9	19.8	21.5	24	23.8	21.1	22	21.6	21.8	21.3	20.9	20.2
1998	21.5	21.4	22	24.3	24	23.5	22.6	22.8	22.3	21	20.8	19.1
1999	19.4	19.8	22	22.9	22.4	21.3	20.9	21.9	20.9	20.3	18.2	18.1
2000	19.9	20	22	22.5	22.4	21.8	21.5	22.1	21.7	20.6	21.1	19.5
2001	19.2	20.1	21.2	22.6	22.9	22.7	22	23	21.8	21.4	20.5	21.3
2002	19.7	21.2	23.1	23.7	22.7	22.3	21.8	21.9	22.2	21.3	19.6	19.8
2003	18.7	21.2	23.8	23.2	24.5	23	23	22.7	23	22.5	21.5	20
2004	21.2	21.2	22.7	23.6	23.6	22.9	23	23.2	23.6	23.3	21.7	21
2005	20.9		26.4	25.3	24	23.6	23.3	23.7	23.2	22	20.4	21.8
2006	21.1		23.5	24.6	24.5	22.9	23.3	23.8	23.8	23.7	21	21.4
2007	21.6		23.9	23.9	25.4	23.9	23.4	23.7	23.4			

Anexo 1k: Datos de Temperatura de la Subcuenca del río Guacerique, estación El Batallón

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	22.6	23.4	22.9	25.4	25.9	24.2	23.9	24.2	24.4	24.1	22.3	20.6
1991	22	22.1	23.4	25.8	24.4	22.5	23.4	23.2	23.1	22	20.9	20.4
1992	20.5	21.9	23.4	24.5	24.3	24.2	22.2	22.4	22.4	22	21.2	20.9
1993	20.9	22.4	23	24.3	23.6	22.9	22.4	21.8	21.6	21.9	20.9	20.8
1994	20.7	22.2	24.2	24.4	24.2	23.2	23.1	23.6	23.4	22.7	21.9	21.4
1995	22.1	22.7	24.3	24.9	24.4	24.4	23.3	23.6	22.8	22.5	22	21.5
1996	20.2	21.3	22.2	25.1	23.9	24.3	23.1	22.9	23.2	22.5	20.7	20.9
1997	21.1	22.1	24	25.6	25.9	23	23.9	24.1	23.7	22.6	22.5	21.9
1998	22.9	24.4	24.2	20.3	25.7	24.9	23.6	24.1	24	0	20.9	20.7
1999	20.8	21	23.3	25.4	24.4	21.8	22.6	23.5	22.5	21.4	20.3	20.9
2000	20.8	20.8	23.7	24.6	24.1	22.3	22.8	23.4	22.9	22.2	22.3	20.8
2001	21	22.2	23.2	24.3	24.2	23.5	23.5	23.6	22.3	22.5	21.6	22.5
2002	21.5	22.4	23.7	25.2	24.9	23.9	23	23.8	23.3	23.2	21.8	22.1
2003	20.5	23.3	24.4	24.7	25.4	23.7	23.5	23.5	23.7	23.3	22.2	19.8
2004	20.8	21.8	23.2	24.1	24	23.6	23.4	23.7	23.9	23.4	21.6	21.2
2005	21	22.8	25.2	25.6	24.2	23.9	23.5	23.8	23.1	21.9	21.3	21.9
2006	21.1	21.9	23.9	24.7	25.4	23.1	23.5	23.9	23.8	23.6	21.4	21.9

Anexo 11: Datos de Temperatura de la Subcuenca del río Guacerique, de la base de datos FAO CLIM

Estaciones según base de Datos FAO CLIM

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
COL.21DE-OCTUBRE	19.6	20.7	21.9	23.3	23.5	22.4	22.5	22.7	22.9	21.9	20.0	19.8
CONCEPCION	18.2	19.4	20.8	22.2	22.7	21.7	21.5	21.9	22.2	21.1	18.9	18.5
EL-BATALLON	19.2	20.3	21.6	23.0	23.3	22.2	22.3	22.5	22.7	21.7	19.8	19.5
EL-COYOLAR	21.5	22.4	24.3	25.5	25.5	24.5	24.5	24.6	24.0	23.1	22.0	21.4
EL-INCIENSO	19.9	19.3	22.0	22.7	23.5	22.1	21.9	22.6	22.5	22.1	19.6	18.3
EL-PEDREGAL	15.5	16.7	18.6	18.1	19.3	18.1	17.7	18.6	18.3	17.6	16.8	15.9
EL-PICACHO	18.7	19.3	20.4	20.9	20.4	19.3	19.8	19.3	18.7	18.7	18.2	18.2
EL-REVENTON	19.0	20.1	21.4	22.8	23.2	22.1	22.1	22.3	22.6	21.5	19.5	19.2
EL-SAUCE	16.9	18.1	19.6	21.2	21.9	21.0	20.5	21.1	21.6	20.3	17.8	17.2
EL-ZAMORANO	20.5	21.0	22.4	23.4	24.0	22.8	22.4	22.7	22.7	22.2	21.3	20.5
FLORES	21.9	22.8	24.2	25.0	25.3	24.6	24.5	24.6	24.3	23.7	22.5	22.2
HDA-LAS-CANADAS	17.5	18.6	20.1	21.6	22.3	21.3	21.0	21.4	21.9	20.7	18.2	17.7
LA-MORA	16.3	17.6	20.3	21.7	21.4	20.3	19.0	19.0	18.7	18.4	17.1	15.3
LAMANI	20.6	21.4	23.5	24.7	24.9	24.4	23.6	23.6	23.7	22.7	21.5	20.3
LEPATERIQUE	15.4	16.6	18.2	19.9	21.0	20.2	19.4	20.1	20.8	19.4	16.4	15.6
NVO-ROSARIO	18.0	19.2	20.0	22.1	22.6	21.6	21.4	21.7	22.1	21.0	18.7	18.3
OJOJONA	16.4	17.6	19.2	20.8	21.6	20.7	20.2	20.6	21.4	20.0	17.3	16.7
SAN-JUANCITO	18.5	19.3	20.6	21.7	22.1	21.4	20.9	21.1	21.0	20.4	19.5	18.7
TEGUCIGALPA	19.3	20.3	22.0	23.2	23.5	22.6	22.1	22.4	22.2	21.5	20.4	19.6
ZAMBRANO	16.4	17.6	19.2	20.8	21.6	20.7	20.2	20.8	21.3	20.0	17.3	16.7

Anexo 2: Clasificación de Cobertura de la Subcuenca del río Guacerique



Bosque: Área cubierta de árboles ya sean latifoliados o pinos.



Pastizal: Área destinada a pasto para ganado o áreas en barbecho



Pastizal: Área destinada a pasto para ganado o áreas en barbecho



Agricultura: Áreas destinadas a cultivos, predominantemente hortalizas en la zona.



Suelo Desnudo: Áreas sin cobertura vegetal o destinadas a uso habitacional.



Cuerpos de Agua: Áreas destinadas a reservorios de agua.



Zonas Riparias: Áreas aledañas a los rios cubiertas de vegetación.

Anexo 3: Índice de Precipitación Estandarizado calculado para cada estación

Año	Estación	Valor IPE	
		Época Seca	Época Lluviosa
2000	Tegucigalpa	-0.5945	-0.0172
	21 de Octubre	-0.3114	-0.9281
	San Matías	-0.9661	0.0568
	El Batallón	-0.8452	0.0779
	Escarbadero	ND	ND
	La Brea	-0.3166	0.3111
	Santa Lucía	-1.0345	-0.8922
	Quiebramontes	-0.7905	0.0962
2001	Tegucigalpa	-0.8718	-0.1856
	21 de Octubre	-1.2492	-1.0873
	San Matías	-1.0350	-0.5673
	El Batallón	-1.1936	-0.8089
	Escarbadero	ND	ND
	La Brea	-0.4611	1.4351
	Santa Lucía	-0.8743	-0.5911
	Quiebramontes	0.3134	-1.0506
2002	Tegucigalpa	-0.9827	-0.5466
	21 de Octubre	-0.5487	-0.5941
	San Matías	-0.7789	0.4189
	El Batallón	-1.0800	-0.6810
	Escarbadero	ND	ND
	La Brea	-1.2033	0.0509
	Santa Lucía	-0.9063	0.4220
	Quiebramontes	-1.3315	-0.5459

Anexo 3 (Cont.): Índice de Precipitación Estandarizado calculado para cada estación

<b>2003</b>	Tegucigalpa	.05719	0.6409
	21 de Octubre	0.3209	0.8113
	San Matías	0.2087	0.9952
	El Batallón	-0.1464	0.9399
	Escarbadero	-1.1189	-0.7704
	La Brea	-0.8491	0.5544
	Santa Lucía	0.6991	0.7938
	Quebramontes	-0.6323	0.5923
<b>2004</b>	Tegucigalpa	2.3935	-0.7180
	21 de Octubre	2.3823	0.2301
	San Matías	2.2852	-0.1605
	El Batallón	1.5172	-1.1682
	Escarbadero	0.9566	-0.4547
	La Brea	1.2329	-0.6231
	Santa Lucía	1.4227	0.0503
	Quebramontes	0.8765	-1.1891
<b>2005</b>	Tegucigalpa	-0.5580	0.9756
	21 de Octubre	-0.9366	1.6152
	San Matías	0.0581	1.4191
	El Batallón	0.1256	1.7484
	Escarbadero	-0.5589	1.4637
	La Brea	0.6313	1.4799
	Santa Lucía	-0.7613	2.0192
	Quebramontes	-0.3518	0.5268

Anexo 3 (Cont.): Índice de Precipitación Estandarizado calculado para cada estación

<b>2006</b>	Tegucigalpa	1.4091	-0.6648
	21 de Octubre	0.9838	0.2131
	San Matías	0.8727	0.0568
	El Batallón	1.5642	-0.2379
	Escarbadero	0.7213	-0.2385
	La Brea	2.3657	1.0655
	Santa Lucía	0.6924	-0.8624
	Quebramontes	1.1349	0.7741
<b>2007</b>	Tegucigalpa	0.2634	-2.5057
	21 de Octubre	0.0976	0.8339
	San Matías	ND	ND
	El Batallón	ND	ND
	Escarbadero	ND	ND
	La Brea	ND	ND
	Santa Lucía	1.4901	0.0747
	Quebramontes	ND	ND

ND= No disponible por falta de datos    Rojo= Sequía    Negro= No Sequía

Anexo 4a: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica

Estación	Año	IRS
<b>La Brea</b>	1973	0.277765092
	1974	0.365000133
	1975	0.105784635
	1976	-5.383297275
	1977	-0.231526514
	1978	-0.231526514
	1979	-0.439897633
	1980	-0.133256342
	1981	0.299076845
	1982	-0.075578822
	1983	0.116625642
	1984	0.338366139
	1985	-0.14519663
	1986	0.210520169
	1987	-0.034325153
	1988	0.705967554
	1989	0.011144222
	1990	0.189886813
	1991	-0.158874015
	1992	-0.125397804
	1993	0.444388147
	1994	-0.036812986
	1995	0.648504144
	1996	0.233508039
	1997	0.006085455
	1998	0.580295836
	1999	0.657237423
	2000	0.221804553
	2001	-0.017403795
	2002	0.015585343
	2003	0.291258477
	2004	-0.133256342
	2005	0.733288252
	2006	0.694256922

Anexo 4b: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica

<b>Escarbadero</b>		
	2003	-1.305384365
	2004	0.03387707
	2005	1.128936426
	2006	0.142570769

Anexo 4c: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica

Estación	Año	IRS
<b>San Matías</b>	1985	-1.638400603
	1986	-1.237268888
	1987	-0.246034424
	1988	1.4509609
	1989	-1.166464478
	1990	0.921552409
	1991	0.477379222
	1992	-0.603611451
	1993	0.690977572
	1994	-2.486449831
	1995	0.300948977
	1996	0.018607752
	1997	0.395641045
	1998	0.490316168
	1999	0.873530814
	2000	-0.817568629
	2001	-0.717766922
	2002	0.259911998
	2003	0.914298596
	2004	0.569649863
2005	1.15799042	
2006	0.391802436	

Anexo 4d: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica

<b>21 de Octubre</b>		
	1995	1.372595428
	1996	-0.013957468
	1997	-1.126169899
	1998	-0.201990757
	1999	-1.347471329
	2000	-0.90086721
	2001	-1.509933752
	2002	-0.431342563
	2003	0.870956258
	2004	0.67480096
	2005	1.206895821
	2006	0.539057886
	2007	0.867426626

Anexo 4e: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica

Estación	Año	IRS
<b>Tegucigalpa</b>		
	1995	0.712712134
	1996	0.309645996
	1997	0.245712714
	1998	0.761086816
	1999	0.283727831
	2000	0.097616614
	2001	-0.045605314
	2002	-0.324475575
	2003	0.522456668
	2004	0.027217044
	2005	0.621222503
	2006	-0.06565235
	2007	-3.14566508

Anexo 4f: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica

<b>El Batallón</b>		
	1990	0.469604897
	1991	-0.95647811
	1992	0.582879756
	1993	1.243008897
	1994	-0.872083496
	1995	2.028590673
	1996	0.336013854
	1997	-0.445466416
	1998	-1.446070869
	1999	0.91285396
	2000	0.019469373
	2001	-1.298352877
	2002	-1.36129582
	2003	0.768497833
	2004	-0.531097296
	2005	-0.115699646
2006	0.665625287	

Anexo 4g: Índice de Reconocimiento de Sequía Calculado por Estación Meteorológica

<b>Quiebramontes</b>		
	1991	1.941411762
	1992	-0.402975996
	1993	0.224846146
	1994	-1.302150909
	1995	1.637573255
	1996	-0.68070057
	1997	-1.247970759
	1998	0.262322193
	1999	0.905659733
	2000	-0.420914139
	2001	-1.060413374
	2002	-0.944582291
	2003	0.432609348
	2004	-0.9772403
2005	0.639749208	
2006	0.992776694	

Anexo 5 Análisis de Varianza

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
absipe	262	2,6E-03	0,00	73,20

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,22	3	0,07	0,22	0,8812
época	0,05	1	0,05	0,16	0,6905
estación	0,17	1	0,17	0,50	0,4786
época*estación	1,7E-03	1	1,7E-03	0,01	0,9427
Error	85,02	258	0,33		
Total	85,24	261			

Anexo 6: Técnicas de Labranzas Actuales de la Subcuenca del río Guacerique



Anexo 7: Aprovechamiento Actual del Recurso Hídrico en la Subcuenca del río Guacerique





Anexo 8: Talleres Realizados en la Subcuenca del río Guacerique





