

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA ARCAGUAL,
MUNICIPIO DE GRACIAS, LEMPIRA**

POR:

NERY JUSTINIANO ARGUETA CUELLAR

TESIS

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

LICENCIADO EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A.

NOVIEMBRE 2013

**COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA ARCAGUAL,
MUNICIPIO DE GRACIAS, LEMPIRA**

POR:

NERY JUSTINIANO ARGUETA CUELLAR

TESIS

GERARDO JAIR LAGOS HERNANDEZ, M.Sc.
Asesor Principal

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE LICENCIADO EN
RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A

NOVIEMBRE 2013

DEDICATORIA

A DIOS todo poderoso por acompañarme cada momento y por darme fuerza y dedicación para el logro de mis objetivos.

A mis padres a quienes amo de todo corazón por ser el pilar fundamental en mi educación, quienes con su trabajo incansable honradez y humildad crearon en mí el espíritu de superación, por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A todos mis hermanos a quienes quiero por ser las mejores y por su apoyo incondicional para poder lograr mis objetivos.

A mi primo **Carlos Leonardo Argueta** a quien lo considero mi hermano, ha sido la persona que me ha motivado para poder alcanzar mis metas.

A TODA MI FAMILIA

Quienes son las personas que siempre me han apoyado, y son mi inspiración para superarme y seguir adelante.

A mis compañeros y amigos, por haber alcanzado nuestro propósito.

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Por ser mi guía y por darme el valor para seguir adelante y cumplir con mis metas deseadas en la vida.

A MIS PADRES

Jorge Abilio Argueta y Juana Cuellar, por su apoyo incondicional que me han brindado durante el transcurso de mi vida, sin esperar algo a cambio.

A MIS HERMANOS

Por estar siempre cerca y por su apoyo económico brindado.

A MIS AMIGOS

Víctor Arévalo, Diego Ochoa y David Corea, por su valiosa y sincera amistad y por haber contribuido a mi formación humana y profesional.

A MIS ASESORES

M.Sc. Gerardo Jair Lagos Hernández, M.Sc. Ramón León Canaca y M.Sc. Erlin Escoto, por brindarme todo su apoyo durante la realización de la investigación.

Al **Ing. Ramón Hernández y Das. Héctor Lagos** por su apoyo y asesoría en SIG.

A LA MANCOMUNIDAD MAPANCE-PROCELAQUE

Por haberme brindado la oportunidad de realizar mi investigación.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
I INTRODUCCIÓN	i
II OBJETIVOS	i
2.1 General.....	i
2.2 Específicos.....	i
III REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 Ciclo Hidrológico	3
3.2 Importancia del agua.....	3
3.3 Potencial hídrico en Honduras	4
3.4 Microcuenca	5
3.5 Oferta hídrica.....	5
3.6 Balance hídrico	6
3.6.1 Definición de balance hídrico	6
3.6.2 Elementos principales de un balance hídrico.....	7
3.6.3 Tipos de balance hídrico.....	9
3.7 Modelación utilizando SIG	10
3.7.1 Modelo ArcSWAT	10
IV METODOLOGÍA.....	12
4.1 Descripción del área de estudio.....	12
4.2. Materiales y equipo	13
4.3 Métodos.....	14

4.3.1 Estimación del balance hídrico de forma manual	14
4.3.2 Estimación de la oferta hídrica con medición de caudal	16
4.3.3 Oferta hídrica con el programa Arc SWAT.....	16
4.4 Escenarios con diferentes tipos de cobertura utilizando el programa Arc SWAT	19
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
5.1. Oferta hídrica en base al balance hídrico	20
5.2 Estimación de la oferta hídrica con medición de caudal	22
5.3 Oferta hídrica con el modelo Arc SWAT.	23
5.4. Modelación con Arc SWAT.....	29
5.4.1 Escenarios de modelación ArcSWAT	30
5.4.2 Variables de simulación	33
VI CONCLUSIONES	37
VII RECOMENDACIONES	38
VIII BIBLIOGRAFÍA	40
IX ANEXOS	44

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de ubicación general de la microcuenca Arcagual, municipio de Gracias, departamento de Lempira.....	13
Figura 2. Balance hídrico de la microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.	21
Figura 3. Mapa de uso de suelo microcuenca Arcagual, año 2001.....	24
Figura 4. Tipo de suelos clasificación Simmons, micrcuenca Arcagual.....	26
Figura 5. Balance hídrico de la microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira, utilizando el modelo ArcSWAT.....	27
Figura 6. Escenarios con diferentes usos de suelo, mediante uso de Arc SWAT.....	29
Figura 7. Escenario con uso de suelo actual, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.....	30
Figura 8. Escenario con cobertura de matorrales, microcuenca Arcagual.....	31
Figura 9. Escenario con cobertura de café, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.....	31
Figura 10. Análisis de variable escorrentía, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.....	33
Figura 11: Análisis de variable sedimento, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.....	34
Figura 12. Análisis de variable caudal, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.....	35

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro Nº 1. Formato para toma de datos del balance hídrico, microcuenca Arcagual, Gracias departamento de Lempira.....	14
Cuadro Nº 2. Balance hídrico a través del método de Thornthwaite, microcuenca Arcagual.....	20
Cuadro Nº 3. Uso de suelo en la microcuenca Arcagual, año 2001.....	24
Cuadro Nº 4. Tipos de suelos en la microcuenca Arcagual, según clasificación de Simmons.....	25
Cuadro Nº 5. Parámetros hidrológicos promedios anuales para la microcuenca Arcagual, calculados por SWAT.....	28

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Mapa de obras toma, microcuenca Arcagua.....	45
Anexo 2. Aforo rio Arcagual., microcuenca Arcagual.....	46
Anexo 3. Aforo quebrada Mecatal, microcuenca Arcagual.....	46
Anexo 4. Aforos microcuenca Arcagual.....	47
Anexo 5. Obras toma microcuenca Arcagual.....	48
Anexo 6. Valores promedio mensual con el uso actual de suelo.....	48
Anexo 7. Valores promedio mensuale con escenario matorrales.....	49
Anexo 8. Valores promedio mensuales con escenario de café.....	49
Anexo 9. Valores originados por la modelación de ArcSWAT, para el escenario uso actual de suelo, microceunca Arcagual.....	50
Anexo 10. Valores originados por la modelación de ArcSWAT, para el escenario uso de suelo matorral microceunca Arcagual, Gracias, Lempira.....	51
Anexo 11. Valores originados por la modelación de ArcSWAT, para el escenario uso de suelo cultivos de café, microeunca Arcagual, Gracias, Lempira.....	52
Anexo 12. Escenario uso de suelo actual, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira	53
Anexo 13. Escenario uso de suelo matorral, microcuenca Arcagual.....	54
Anexo 14. Escenario uso de suelo café, microcuenca Arcagual.....	55

ARGUETA CUELLAR, N.J. 2013. Comportamiento hidrológico de la microcuenca Arcagual, municipio de Gracias, Lempira. Tesis Lic. en Recursos Naturales y Ambiente. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras, C.A. 55 p.

RESUMEN

Las cuencas hidrológicas presentan un déficit hídrico cuando la demanda de agua es mayor que la cantidad disponible durante un determinado periodo o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. En esta investigación se analiza el comportamiento hidrológico de la microcuenca Arcagual, ubicada en Gracias, Lempira, en el que se aborda el balance hídrico a través de la valoración de los elementos del ciclo hidrológico para determinar la oferta hídrica, y se proponen mecanismos para enfrentar las limitantes en la disponibilidad de los recursos hídricos; el balance se generó con los métodos Thornthwaite y el programa ArcSWAT, ambos muestran que la microcuenca tiene un balance favorable dado que los meses secos se compensan con el 31% de la recarga total de acuíferos.

Los modelos hidrológicos elaborados con el programa SWAT (Soil and Water Assessment Tool) permiten evaluar la generación de agua y sedimentos en la microcuenca y con ello se identifican las áreas más sensibles a la erosión. Ésta no solamente disminuye la fertilidad de los suelos, sino también los sedimentos que transportan los caudales son un factor determinante en la calidad y movilidad del agua hasta el usuario final. Los escenarios simulados con el cambio de cobertura fueron: escenario de café, escenario matorral y escenario de uso actual, en contra de lo esperado, las unidades de respuesta hidrológica que aportan mayor sedimentos al caudal, se encuentran ubicados en la parte intermedia de la microcuenca con el escenario de café y parte baja debido a la agricultura y suelos desnudos; esto se explica con suelos descubiertos y muy susceptibles a la erosión y tomando en cuenta las pendientes elevadas. El escenario favorable se muestra sin la presencia de agricultura (matorral).

Palabras claves: Balance hídrico, oferta, ArcSWAT, escenarios, uso de suelo, caudal, microcuenca, modelación, aforo.

I INTRODUCCIÓN

Según Huerdo (2011) actualmente existe una demanda gradual por el recurso hídrico en contextos urbanos y rurales a nivel global. El desarrollo económico amenaza constantemente la conservación de los recursos naturales, provocando un deterioro de los mismos, esencialmente el agua, lo que pone en riesgo la existencia de las poblaciones. El agua es un recurso vital que se encuentra bajo competencia entre usuarios, por lo que es importante mejorar el conocimiento en cuanto a la calidad, cantidad y distribución con el propósito de planificar la sostenibilidad del vital recurso hídrico.

De acuerdo con Alianza para Las Montañas (2008) las microcuencas ostentan presiones tipo demográfico, deforestación, minería, prácticas agrícolas insostenibles, calentamiento del planeta, turismo y urbanización, que ejercen un gran impacto en las mismas y ponen en peligro la disponibilidad de agua dulce para el ser humano a nivel global.

De la problemática actual que presenta la microcuenca Arcagual, ubicada en el municipio de Gracias, departamento de Lempira, es notorio que el caudal disponible para consumo humano disminuye en la época seca, aunado a ello la contaminación, cultivos, cafetales y pérdida de calidad del agua a través de las personas que visitan la microcuenca con fines turísticos y de manera incontrolada.

En este estudio se identifica la oferta hídrica y el escenario idóneo con el uso de suelo, herramientas que servirán para la toma de decisiones y la formulación de políticas públicas en materia ambiental.

II OBJETIVOS

2.1 General

Estimar el comportamiento hidrológico de la microcuenca Arcagual en el municipio de Gracias, departamento de Lempira.

2.2 Específicos

Comparar la oferta del recurso hídrico disponible en la microcuenca Arcagual a través de un balance hídrico que considera datos históricos y mediante el uso del programa Soil and Water Assessment Tool (SWAT) que considera datos actuales.

Analizar los escenarios posibles que contribuyan al manejo adecuado de la microcuenca Arcagual, mediante el uso del programa Soil and Water Assessment Tool (SWAT).

III REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Ciclo Hidrológico

El ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella. El agua de la Tierra está siempre en movimiento y constantemente cambiando de estado, desde líquido, a vapor, a hielo, y viceversa. El ciclo del agua ha estado ocurriendo por billones de años, y la vida sobre la Tierra depende del mismo; la Tierra sería un sitio inhóspito si el ciclo del agua no tuviese lugar (USGS *s.f.*).

El sol, que dirige el ciclo del agua, calienta el agua de los océanos, la cual se evapora hacia el aire como vapor de agua. Corrientes ascendentes de aire llevan el vapor a las capas superiores de la atmósfera, donde la menor temperatura causa que el vapor de agua se condense y forme las nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes sobre el globo, las partículas de nube colisionan, crecen y caen en forma de precipitación. Parte de esta precipitación cae en forma de nieve, se acumula en capas de hielo y en los glaciares, la cuales pueden almacenar agua congelada por millones de años (USGS *s.f.*).

3.2 Importancia del agua

El agua es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida. No solo es importante para el uso doméstico; también lo es para la industria, la agricultura, etc. Según expertos, en los próximos 20 años, de no medir un cambio significativo en la conducta productiva del ser humano, parte importante del planeta tendrá serios problemas de carencia de agua. Por tal motivo, es necesario hacer conciencia de la importancia que reviste el manejo integrado

de las cuencas, tanto para evitar su deterioro como también para asegurar las características hidrológicas de la misma (Pérez y Shinomi *s.f.*).

3.3 Potencial hídrico en Honduras

Honduras cuenta con el mayor recurso hídrico de la región centroamericana, con 21 cuencas hidrográficas incluyendo la del Golfo de Fonseca y las de Islas de la Bahía y gran cantidad de fuentes subterráneas, las que son abundantes en las tierras bajas de la zona norte del país, en donde el nivel freático puede bajar unos pocos metros en la época seca, sin que su rendimiento disminuya significativamente. En cambio, la zona central y sur presentan un nivel freático bajo entre noviembre y abril, siendo mayor a medida que se avanza hacia la región sur, lo que reduce significativamente el rendimiento de los pozos (SERNA 2000).

La oferta hídrica de las fuentes antes mencionadas que posee Honduras se estima en 15,211 m³ por persona, paradójicamente, es aquí donde casi un millón de habitantes no tienen acceso a servicios de agua potable, lo que representa una proporción de 3 de cada 10 hondureños (SERNA 2005, citado por Morales 2010); esto se reflejó en un artículo que menciona que el abastecimiento doméstico no consume más del 10% en promedio de la oferta hídrica del país (Revistazo 2002). Esta situación se debe principalmente a una deficiente administración de las fuentes hidrográficas y a la falta de educación ambiental de los usuarios.

El principal aprovechamiento que se hace del agua es para uso doméstico, proviene de las cuencas de los ríos Choluteca y Ulúa, en las que se encuentran asentadas las ciudades más habitadas del país, Tegucigalpa y San Pedro Sula, respectivamente. Otros usos son el agrícola, para irrigar cerca de 75,000 hectáreas de cultivos para exportación; el industrial y la generación de energía (SERNA 2000).

Importantes estudios realizados sobre el uso del agua en Honduras concluyen que los grandes usuarios del agua y los mayores contaminadores de este recurso no pagan por el uso del mismo, ni siquiera cubren el costo de las inversiones en infraestructura, abastecimiento, desinfección y saneamiento (Revistazo 2002).

3.4 Microcuenca

Técnicamente se conoce como microcuenca a la zona que alimenta las fuentes de agua, en donde después de haber llovido, el agua corre, formando así las aguas superficiales como quebradas y ríos, o se infiltra en el subsuelo donde alimenta los acuíferos y de donde sale en vertientes, nacimientos o manantiales (Duarte 2007).

La microcuenca está formada por un espacio, geográficamente demarcado por la zona influida por una vertiente hídrica de magnitud moderada. Dentro de esta zona existen un sin número de procesos productivos de mayor o menor envergadura y relevancia, fundamentalmente de características agropecuarias. En estas, se han consolidado asentamientos humanos en los que se da la vida cotidiana donde interactúan los pobladores con los recursos fundamentales para la subsistencia: agua, suelo, energía y espacio habitacional, entre otros (Stallings 1985, citado por Morales 2010).

3.5 Oferta hídrica

Cruz (2002) conceptualiza la oferta hídrica como la cantidad de agua disponible para ser suministrada, que abastece a una represa, ya sea por escorrentía o por recarga. Para el cálculo de la oferta hídrica se utilizan datos de precipitación, temperatura y aforo de microcuencas, entre otros.

3.6 Balance hídrico

El concepto central de la hidrología es el ciclo hidrológico, que es la circulación del agua desde los océanos a la atmósfera, de ésta a los continentes, para volver de nuevo a los océanos en forma de agua superficial o subterránea (Zonaingeniería 2012).

3.6.1 Definición de balance hídrico

De acuerdo con el Sistema Nacional de Estudios Territoriales (SNET 2005) un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área.

La realización de un balance hídrico se aplica a toda unidad hidrológica, sea una cuenca superficial o subterránea que recibe aportaciones y descarga un volumen de agua, y que contiene otra cantidad de agua variable. Estos tres elementos deben equilibrarse a lo largo de una determinada unidad de tiempo. La expresión cuantitativa de este equilibrio constituye el balance hídrico (Zonaingeniería 2012).

Un balance hídrico permite obtener un diagnóstico de las condiciones reales de una microcuenca ubicada en un área en particular, por lo cual su aporte es valioso a la toma de decisiones y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad. El modelo de balance hídrico se basa en las entradas y salidas de almacenamiento (SNET 2005).

3.6.2 Elementos principales de un balance hídrico

a) Precipitación (P)

Es el proceso mediante el cual la atmósfera pierde agua por condensación (lluvia y rocío) o sublimación inversa (nieve y escarcha) que pasan según el caso al terreno, a la superficie del mar o a la banquisa. En el caso de la lluvia, la nieve y el granizo (cuando las gotas de agua de la lluvia se congelan en el aire) la gravedad determina la caída; mientras que en el rocío y la escarcha el cambio de estado se produce directamente sobre las superficies que cubren (López y Delgado 2009).

b) Infiltración (I)

Estudios realizados por López y Delgado (2009) demuestran que ocurre cuando el agua que alcanza el suelo penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, pendiente y de la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, más aún, por la transpiración de las plantas que la extraen con raíces más o menos extensas y profundas. Otra parte se incorpora a los acuíferos, niveles que contienen agua estancada o circulante. Parte del agua subterránea alcanza la superficie allí donde los acuíferos, por las circunstancias topográficas, interceptan la superficie del terreno.

c) Evaporación y evapotranspiración

La mayor pérdida de agua en una cuenca, es generalmente debida a la evapotranspiración, la cual es la combinación de pérdida de agua por evaporación en el suelo y la transpiración de las plantas. Otra pérdida importante de agua en la cuenca se debe a la evaporación tanto en cuerpos de agua, como también la que se produce en áreas urbanas (SNET 2005).

El agua se evapora en la superficie oceánica, sobre el terreno y también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración. Dado que no se puede distinguir claramente entre la cantidad de agua que se evapora y la cantidad que es transpirada por los organismos, se suele utilizar el término evapotranspiración. Los seres vivos, especialmente las plantas, contribuyen con un 10% al agua que se incorpora a la atmósfera (López y Delgado 2009).

Los principales factores climáticos que influyen en la evaporación son: el suministro de la energía capaz de producir evaporación y la renovación del aire cargado de humedad, dependiendo del viento. Pero existen otros factores a tener en cuenta como son los que se refieren a tipos de suelos y factores edáficos como la textura, estructura, contenido de materia orgánica (Álvarez *s.f.*, citado por Cruz 2002).

d) Variación de reservas

De acuerdo con Almorox (*s.f.*) es la diferencia entre la reserva del mes actual con respecto a la reserva del mes anterior, dada por la fórmula: $VR_i = R_i - R_{i-1}$

Donde:

VR_i = Variación de reserva.

R_i = Reserva inicial.

R_{i-1} = Reserva inicial menos el mes anterior.

La aportación o caudal se mide en las estaciones de aforo a la salida de la cuenca. Las variaciones de las reservas pueden calcularse directamente por los métodos conocidos, considerando tres niveles de reservas: superficiales, de humedad del suelo, y en las capas freáticas. El almacenamiento en depresiones “S” se calcula conociendo la superficie y los tirantes a través de la interpretación de fotografías aéreas y por reconocimiento de campo (Zonaingeniería 2012). En general la precipitación y el caudal se miden, la evapotranspiración real y potencial se calculan con las fórmulas, y las variaciones de las reservas y la infiltración se calculan por la diferencia entre otros elementos del balance.

3.6.3 Tipos de balance hídrico

a) Balance para año hidrológico

De acuerdo con Zonaingeniería (2012) se empieza en un mes con las reservas de agua prácticamente nulas por lo cual el balance queda:

$$P = Q + E \pm \text{Variación de las reservas.}$$

Donde:

P = precipitación (mm).

Q = escorrentía (mm).

E = evaporación (mm).

b) Balance para un largo período de años

Según Zonaingeniería (2012) las variaciones de las reservas a lo largo de muchos años se compensan y tienden a una media, por lo que no participan en un balance, la ecuación aplicable es la siguiente:

$$P = E + A$$

Donde:

P = precipitación (mm).

E = evaporación (mm/año).

A = aportaciones (mm).

c) Balance para una tormenta

De acuerdo con Zonaingeniería (2012) para el caso de períodos cortos como una tormenta o un día la ecuación de balance se transforma en $P = F + I + S + A$

Donde:

P = precipitación (mm).

S = almacenamiento en depresiones (mm).

A = aportaciones (mm).

I = infiltración (mm).

F = intercepción de la vegetación que posteriormente llega al suelo por goteo (mm).

3.7 Modelación utilizando SIG

3.7.1 Modelo ArcSWAT

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) es la herramienta de evaluación de suelo y agua, fue desarrollado para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en el agua, el sedimento y producción de sustancias agrícolas químicas en cuencas grandes y complejas con variedad de suelos, uso de tierra y condiciones de manejo sobre un tiempo prolongado (Ortiz *et al. s.f.*).

El modelo está basado físicamente en integrar ecuaciones de regresión para describir la relación entre variables de entradas y salidas. El software requiere información específica sobre el clima y el tiempo, propiedades de suelos, topografía, vegetación y prácticas de manejo de tierra que acontecen en las cuencas (Uribe 2010).

De acuerdo con los estudios realizados por IRENAT (*s.f.*) el modelo está conformado por un conjunto de submodelos, los cuales se emplean para simular distintos procesos hidrológicos.

Los principales componentes del modelo pueden ser ubicados en ocho principales divisiones, como ser: hidrología, clima, sedimentación, temperatura del suelo, crecimiento de cultivos, nutrientes, plaguicidas y manejo de cultivos. Entre éstos, es de alta importancia el que calcula los escurrimientos, dado que sirve de base para los otros submodelos (IRENAT *s.f.*).

IV METODOLOGÍA

4.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la microcuenca del río Arcagual, ubicada en la montaña de Celaque en el departamento de Lempira, la que limita al norte, con los municipios de Las Flores y Gracias; al sur, los municipios Belén Gualcho y San Manuel Colohete; al este nuevamente por Gracias y al oeste por el municipio Corquín. Cuenta con un área superficial de 6,416.585 ha y comprende un rango altitudinal de 1,070 a 2,825 msnm, su ecosistema predominante es el bosque nublado tropical siempre verde (BNTSV) (ICF 2012).

La microcuenca Arcagual abastece nueve comunidades, casco urbano de Gracias (1,698 fam.), Villaverde (130 fam.), Cenicerías Guanteque (104 fam.), Altos de Guanteque (120 fam.), Pinalito Las Mesas (85 fam.), San José Quelacasque (66 fam.), Mejicapa La Chacara (87 fam.), Arcilaca (190 fam.), El Zapotal (49 fam.), para un total de 2,529 familias beneficiarias de la microcuenca Arcagual (MAPANCE-PROCELAQUE *s.f.*).

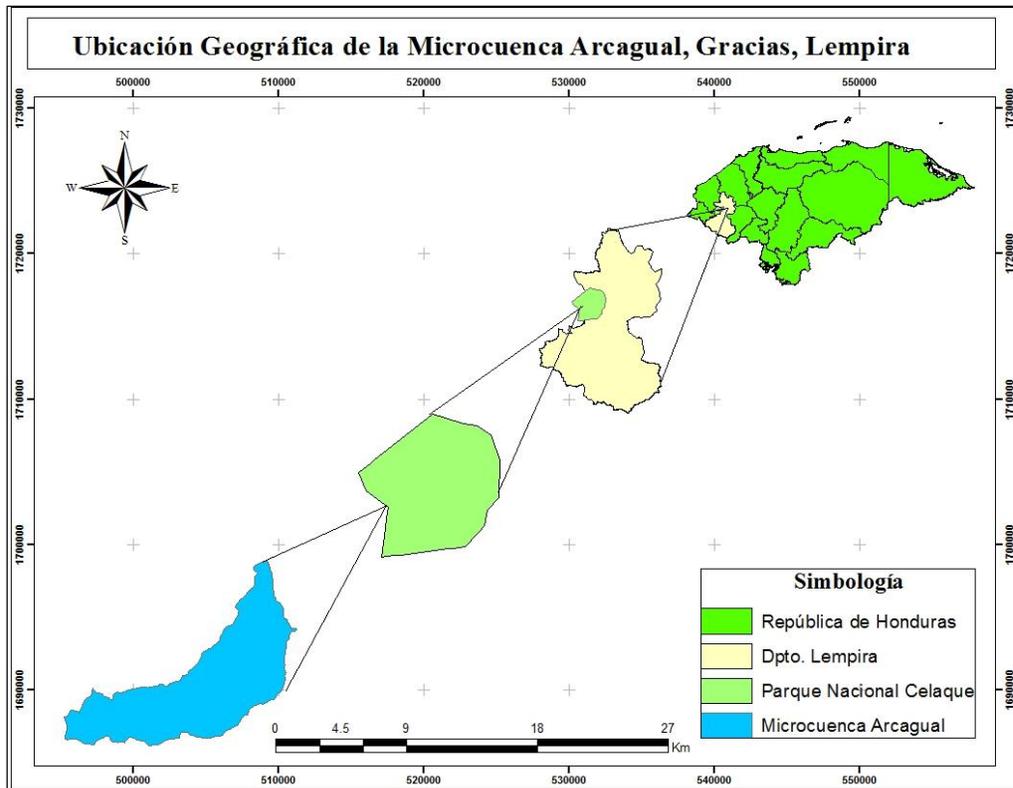


Figura 1. Mapa de ubicación general de la microcuenca Arcagual, municipio de Gracias, departamento de Lempira.

4.2. Materiales y equipo

La realización del presente estudio demandó de los siguientes equipos, materiales e insumos:

- Vehículo motorizado.
- Estación meteorológica.
- Computadora.
- Cámara fotográfica.
- Software Soil and Water Assessment Tool (SWAT).
- Papelería.
- Cinta métrica.
- Libreta.
- GPS

4.3 Métodos

4.3.1 Estimación del balance hídrico de forma manual

El balance hídrico se realizó utilizando el Modelo de Thornthwaite (Cuadro 1), en el cual se registraron datos, tales como: promedio de precipitación y temperaturas históricas, proporcionadas por el Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT *s.f.*) periodo que comprendió desde el año de 1971 al 1999 para un lapso de 29 años.

Cuadro N° 1. Formato para toma de datos del balance hídrico, microcuenca Arcagual, Gracias departamento de Lempira.

Variable	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P												
ETP												
P-ETP												
R												
AR												
ETR												
Exceso												
Déficit												

Fuente: Modelo de Thornthwaite, utilizado por Franco 2001.

Donde:

P = Precipitaciones medias mensuales en mm.

ETP = Evapotranspiraciones potenciales medias mensuales en mm.

P – ETP = déficit o superávit entre precipitaciones y ETP mm

R = Reservas de agua del suelo mm

AR= Almacenamiento de reserva mm

ETR = Evapotranspiraciones reales mensuales mm

D = Déficit mensuales de agua mm

E = Excesos mensuales de agua

a) Precipitación

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del ciclo hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una microcuenca. La obtención de los datos de precipitación se efectuó a través de la información que proporciona el Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT *s.f.*). La estación meteorológica está ubicada en la comunidad de Gracias, Lempira, en la que se analizaron los registros mensuales a partir del año 1971 al 1999, calculándose la precipitación promedio mensual para cada año, misma que fue analizada mediante el método de Thornthwaite.

b) Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial es la máxima evapotranspiración posible bajo las condiciones existentes, cuando el suelo está abundantemente provisto de agua y protegido con una cobertura vegetal completa.

Los datos históricos de evapotranspiración potencial se obtuvieron al igual que la precipitación, mediante la información de las estaciones que proporciona el sitio web del Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT *s.f.*).

c) Almacenamiento de reserva

Para la determinación de la curva de retención de humedad se realizaron muestreos en los diferentes tipos de cobertura; bosque conífera 70 cm de profundidad, mixto 80 cm, latifoliado 30 cm, café 80 cm, pasto 44 cm. Luego se homogenizaron en una muestra compuesta que posteriormente se enviaron al laboratorio, para así saber la capacidad de almacenamiento de humedad o capacidad de campo del suelo de la microcuenca.

4.3.2 Estimación de la oferta hídrica con medición de caudal

Con el método del flotador se realizó el aforo del caudal en el río Arcagual y con el método volumétrico se aforo la quebrada Mecatal la que abastece al río Arcagual. Los aforos se realizaron el 29 de julio; es decir en la época de canícula (periodo de verano), para saber cuánto era el caudal medio o caudal base con el que cuenta la microcuenca Arcagual. Los resultados de los aforos se expresaron en L/s.

Cabe mencionar que con la medida de los aforos solo se evaluó el agua que llega a las nueve comunidades beneficiarias, sin tomar en cuenta el aporte que existe de las obras toma hacia abajo.

Con los datos obtenidos de los aforos, se procedió hacer comparaciones entre estos y el número de personas beneficiarias de la microcuenca para así proporcionar un estimado si la microcuenca tiene o no la capacidad de suplir la demanda hídrica de la población.

4.3.3 Oferta hídrica con el programa Arc SWAT

Los datos de entrada que se utilizaron para calcular la oferta hídrica de la microcuenca para hacer simulaciones y predecir el impacto del manejo de suelo y de la vegetación sobre el escurrimiento superficial con el modelo SWAT se detallan a continuación:

- Topografía (curvas de nivel y ríos, entre otros).
- Grupos de Suelo.
- Cobertura vegetal y uso del suelo.
- Series de datos en un periodo mínimo de 4 años, principalmente temperatura, mínima, máxima, precipitación y tabla de localización de la estación meteorológica que se analizó.

Cabe mencionar que para el funcionamiento del programa Arc SWAT fue necesaria la preparación de los datos de entrada, que a continuación se detallan:

a) Modelo Digital de Elevación (DEM): Para el cual se necesitaron las curvas de nivel con sus respectivas alturas en metros, red hídrica y el perímetro de la microcuenca. Este DEM constituyó el punto de partida, luego se ingresaron los datos; aquí se delimitó la microcuenca y se definió el número de subcuencas objeto de análisis.

b) Cobertura y uso del suelo: Se ingresó la imagen raster de cobertura, misma que se obtuvo a través de una ortófoto, compuesta por ocho tipos de uso del suelo, como ser: bosque de coníferas, latifoliado, bosque mixto, urbano, café, cuerpos de agua, agricultura y suelos desnudos.

c) Suelos: Se ingresó la imagen raster de suelos que contiene la clasificación de suelos para la microcuenca, atendiendo a la metodología de Simmons, compuesta por cuatro tipos, como ser: cocona, coyolar, suelos de los valles y milile.

Las pendientes con las que se clasificaron las unidades de respuesta hidrológica fueron según la ley forestal;

0-15 % Agricultura

15-30 % Agroforestería (aprovechamiento forestal)

30-45 % manejo forestal

45-60 % manejo forestal con sistemas de extracción tecnificado (cable vía)

Mayor de 60 % no se puede realizar actividades porque la pendiente es delicada.

d) Tabla de localización de la estación meteorológica: Fue utilizada para ubicar la estación de donde se obtuvo los datos de precipitación y temperatura. Para la tabla de localización se necesitó de los parámetros latitud, longitud y elevación. La estación que se

utilizó fue la que se encuentra en el municipio de La Campa, Lempira, a nueve km de distancia de la microcuenca, esto debido a que la estación ubicada en la microcuenca Arcagual no está en funcionamiento.

e) Tablas de precipitación y de temperatura: Los datos utilizados corresponden al periodo del 1 de enero de 2010 hasta el 30 de junio de 2013, para un periodo de cuatro años, ingresando los datos de precipitación diaria y los datos máximos y mínimos de temperatura diaria.

Los datos de cobertura, suelos, red hídrica, perímetro de la microcuenca y curvas de nivel, entre otros, fueron proporcionados por la institución que financio la investigación y misma que maneja el parque nacional Celaque (MAPANCE-PROCELAQUE *s.f.*)

De forma general, la modelación consistió en los siguientes pasos:

- a) Se delimitó la microcuenca, definiendo una subcuenca a analizar, así como el punto de salida de la microcuenca, como también se calculó la longitud de la red hídrica.
- b) Se adaptaron los parámetros de cobertura y de grupos de suelo para ser reclasificados por el programa SWAT tomando en cuenta la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA *s.f.*), posteriormente se evaluó características de pendiente, para conocer las combinaciones y distribuciones existentes entre esta y uso del suelo para la delimitación final.
- c) Adaptación de los archivos diarios de temperatura y precipitación. Para los datos de temperatura se utilizaron las temperaturas máximas y mínimas.
- d) Al final se procedió analizar los datos generados por el programa, el programa genera una carpeta llamada escenarios en donde se tiene guardado el proyecto, la tabla que

contiene la información que se necesita analizar se llama output.std que son datos de salida.

4.4 Escenarios con diferentes tipos de cobertura utilizando el programa Arc SWAT

La región de la microcuenca Arcagual posee un gran mosaico de tipos de vegetación de amplia distribución, que abarcan desde, bosques latifoliados, bosque mixto, bosque de coníferas, agricultura y pasto, entre otros.

El proceso de modelación se basó en el análisis de los cambios que pueden ocurrir y permitió la evaluación de las tasas de cambio entre los diferentes tipos de coberturas / uso del suelo y la relación entre la localización de estos cambios y las variables.

Se llevó a cabo tres modelaciones utilizando como base la imagen de cobertura vegetal de la microcuenca Arcagual del año 2001, en donde se plantearon tres escenarios, como ser:

- 1) Un escenario tendencial en el cual se asumió que el área cubierta por agricultura cambió a matorral, esto es debido a que cuando se deja de trabajar dicha área y se abandona, tal cobertura se convierte en matorral, y
- 2) Un escenario en el cual se modificó la cobertura desde la cota de 800 a 1,200 msnm asumiendo que esta sería cubierta por el cultivo de café, dado que son las alturas idóneas para dicho cultivo y tomando en cuenta que el mismo es muy frecuente en otras partes de la zona.
- 3) Escenario en el cual se compara la cobertura original con los escenarios anteriores.

Con toda la información que generaron las variables se crearon cuadros y gráficos que explican y proporcionan de manera explícita las ventajas de cada escenario en relación a la producción de agua, entre otras variables.

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Oferta hídrica en base al balance hídrico

El cálculo del balance hídrico, se realizó con un índice de almacenamiento de 35.08%, este se obtuvo del análisis de las muestras de retención de humedad, el cual indica que el suelo de la microcuenca Arcagual es húmedo (Cuadro 2).

Cuadro Nº 2. Balance hídrico a través del método de Thornthwaite, microcuenca Arcagual

VARIABLE	MES												TOTAL
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	16	12	10	59	176	226	158	211	241	120	41	28	1298
ETP (mm)	65.38	68.15	98.08	113.42	121.53	111.71	104.03	103.97	98.25	99.38	73.39	62.01	1119.30
P-ETP	49.38	-56.15	-88.08	-54.42	54.47	114.29	53.97	107.03	142.75	20.62	-32.39	-34.01	178.70
R	0	0	0	0	35.08	32.08	35.08	35.08	35.08	35.08	2.69	0	213.17
AR	0	0	0	0	35.08	0	0	0	0	0	-32.39	-2.69	0
ETR	16	12	10	59	121.53	111.71	104.03	103.97	98.25	99.38	73.39	30.69	839.95
E	0	0	0	0	19.39	114.29	53.97	107.93	142.75	20.62	0	0	458.05
D	-49.38	-56.15	-88.08	-54.42	0	0	0	0	0	0	0	-31.32	-279.35

A pesar de que en las zonas secas puede haber un período húmedo, el suelo no llega a la capacidad máxima de retención, por lo que se tiene en el último mes húmedo una deficiencia potencial de agua (-31.32 mm)

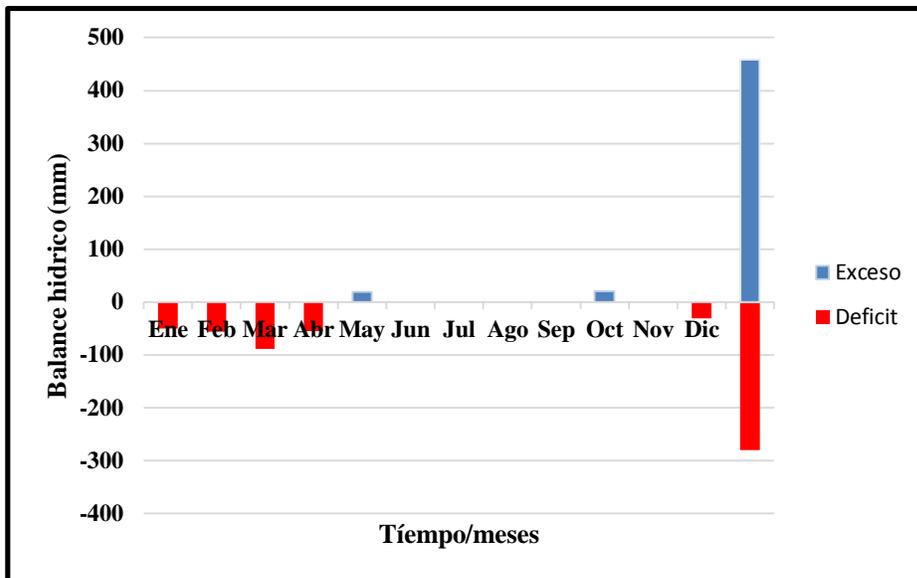


Figura 2. Balance hídrico de la microcuenca Arcagual.

Los meses más críticos en la microcuenca son; enero, febrero, marzo, abril y diciembre, encontrándose el mes de marzo con el mayor déficit hídrico (-88.08 mm), lo que indica que no se está teniendo escurrimiento directo debido a que la mayor cantidad de agua se evapotranspira (Figura 2), para los meses mencionados anteriormente las personas tendrán que racionar el recurso hídrico para lograr satisfacer la demanda de forma unánime en toda la población.

En particular, las zonas más afectadas por el suministro de agua proveniente de la microcuenca Arcagual son las comunidades de: Arcilaca y el barrio Mejicapa de la comunidad de Gracias, Lempira, debido a que estas comunidades se encuentran situadas en zonas altas y la obra toma se localiza por debajo de las tomas de las demás comunidades (Anexo 1), en las épocas de déficit estas comunidades tienen que racionalizar su uso, almacenar agua en tanques, entre otras acciones.

La mayor humedad o exceso se presenta en los meses de mayo y octubre, dado que mayo es el primer mes más lluvioso (176 mm) y octubre sería el último mes con mayor lluvia (120 mm) en los que se tendrá mayor escurrimiento directo y mayor almacenamiento de humedad.

En los meses de junio, julio, agosto, septiembre y noviembre, se encuentra un balance hídrico lo que significa que en estos meses la microcuenca Arcagual no presenta problemas y está teniendo un balance favorable, por lo que en estos meses la microcuenca logra abastecer la demanda sin problemas.

En el balance general de la microcuenca se tiene un exceso del 25% de su producción hídrica, lo cual indica que la microcuenca está obteniendo un buen equilibrio y no hay muchas pérdidas.

5.2 Estimación de la oferta hídrica con medición de caudal

La oferta hídrica con el método de aforos no toma en cuenta el caudal en las partes bajas, dado que con los aforos solo interesa saber la oferta de las nueve comunidades beneficiarias, por lo que no fue necesario considerar todos los afluentes que convergen a la microcuenca en la parte baja de las obras hasta llegar a su punto final que es en el río Mejocote.

Para el cálculo de la oferta hídrica se realizaron dos muestreos (aforos) en época de canícula con lo cual se obtuvo el caudal base mismo con el que la microcuenca abastece a nueve comunidades. Una medición se realizó en el río Arcagual y el otro en la quebrada Mecatal a la altura de las 12 obras tomas (Anexos 2 y 3).

Los resultados indican que la oferta total en los dos aforos (Arcagual 52 L, Mecatal 21.66 L) es de 73.66 L/s; sin embargo, esta oferta puede aumentar si se considera que el caudal aumenta en una época del año y tomar en cuenta los demás aportes que son adicionados al cauce del río en las partes bajas, por lo que la oferta hídrica río abajo es mayor pero con menor calidad del agua.

Estimando un consumo 100 L/día/persona según FAO (2000), y considerando estudios realizados por el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA 2004) donde el 80 % de la población hondureña utiliza el agua durante 12 horas, se estima una oferta de 2,246,400 L/día, entonces el caudal de la microcuenca tiene la capacidad para abastecer a 31,821 personas diariamente, y tomando en cuenta que para el año 2012 la población beneficiaria era de 17,865 personas, para lo que se tiene un excedente para suministrar a 13,956 personas hasta el 2028 tomando en cuenta el aumento de la densidad poblacional según los censos realizados por las unidades de salud de la comunidad de Gracias, Lempira. Es importante mencionar que se ha calculado una parte de la demanda, porque no se está tomando en cuenta el recurso hídrico para riego (observado mediante visitas de campo), uso industrial, institucional, consumo de animales domésticos, entre otros.

5.3 Oferta hídrica con el modelo Arc SWAT.

La oferta hídrica con el programa toma en cuenta el caudal en las partes bajas y considera todos los afluentes que convergen a la microcuenca, hasta llegar a su punto de desembocadura al río Mejocote.

El área de la microcuenca es de 6,100.79 ha y los principales usos de la tierra en la microcuenca Arcagual son: bosque mixto, bosque latifoliado, cultivo de café, bosque conífera, urbano, agricultura, suelo desnudo, cuerpos de agua y pasto; al respecto el cuadro N° 3 se muestran el uso de la tierra por hectárea en la microcuenca.

Cuadro No 3. Uso de suelo en la microcuenca Arcagual, año 2001.

Uso de suelo	Área (ha)	% Área
Bosque mixto	333.67	5.47
Bosque latifoliado	1,866.02	30.59
Cultivos de café	4.51	0.07
Bosque conífera	2,231.08	36.57
Urbano	300.06	4.92
Pasto	88.01	1.44
Agricultura	1,220.98	20.01
Cuerpos de agua	16.42	0.27
Suelo desnudo	40.04	0.66
TOTAL	6,100.79	100

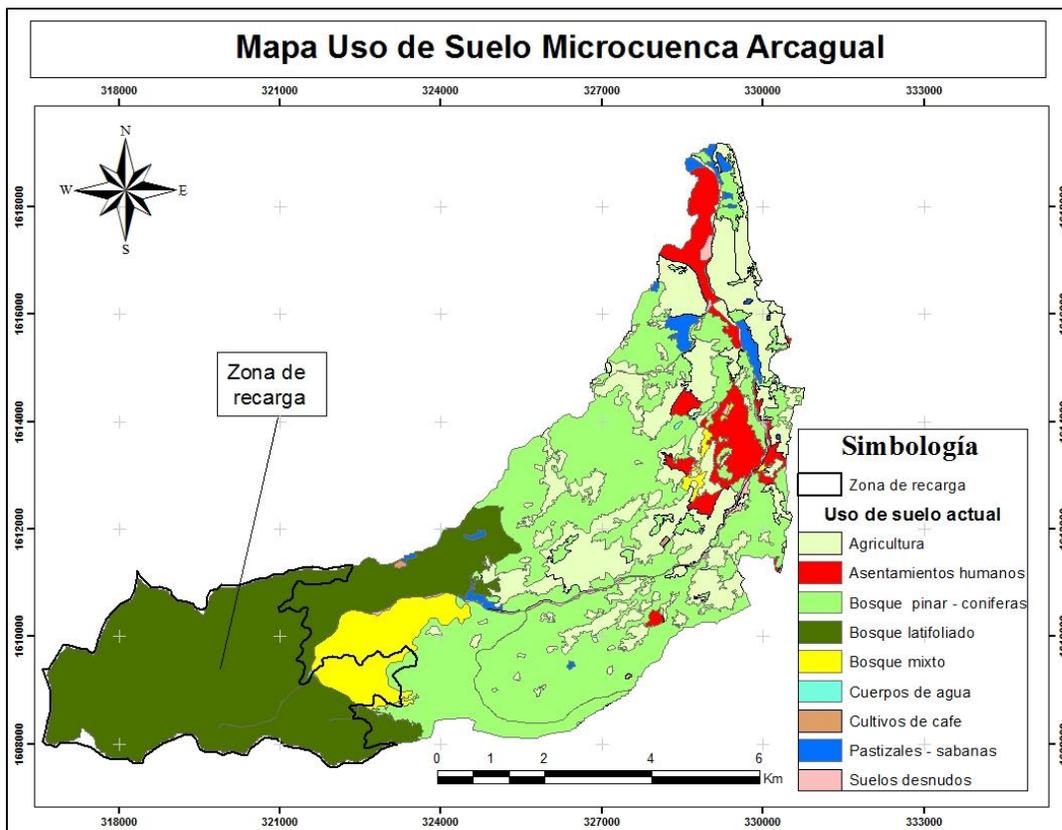


Figura 3. Mapa de uso de suelo microcuenca Arcagual, año 2001.

Es importante mencionar que la cobertura más predominante es bosque de conífera con 36.57% y en la parte alta de la microcuenca donde es la zona de recarga y por tanto se da la mayor producción de agua, no existen áreas de producción agrícola y desde luego tampoco asentamientos humanos, lo que incide en la producción de agua tal y como lo menciona López (2008), pues las acciones desarrolladas por las instituciones y los beneficiarios evita que no aumente la frontera agrícola en la microcuenca.

El área cerca del centro de visitantes en la microcuenca se encuentra pequeñas áreas de cultivos de café bajo sombra, estas pequeñas plantaciones no son aprovechadas porque están dentro del límite del parque nacional Montaña de Celaque, lo que ayuda a tener buena protección en la parte de mayor importancia en la microcuenca.

Cuadro N° 4. Tipos de suelos en la microcuenca Arcagual, según clasificación de Simmons.

Tipo de suelo	Área (ha)	% Área
Cocona	2,247.18	36.83
Suelos de los valles	3,515.85	57.63
Milile	118.32	1.94
Coyolar	219.45	3.6
Total	6,100.79	100

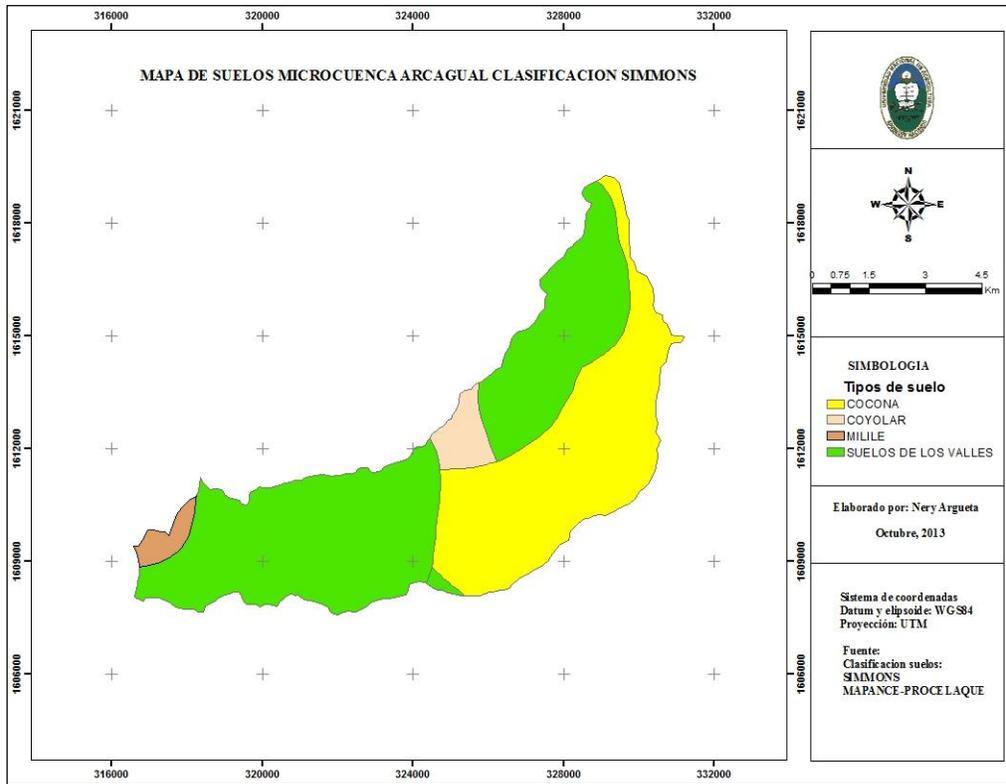


Figura 4. Tipo de suelos clasificación Simmons, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

Según el manual de clasificación de Simmons 1959:

En los suelos cocona se halla corrientemente en bosques de pino de densidad variable. No se le cultiva, pero pueden utilizarse para pastos naturales. Los pinos crecen bien en él, siendo éste el uso recomendado

Los suelos Coyolar son suelos poco profundos, imperfecta o malamente avenados. En su mayor parte se encuentran entre 600 y 1,200 m de altitud, en estas áreas crecen masas abiertas de pinos y se las usan frecuentemente para el pastoreo.

Los suelos Milile son suelos profundos bien avenados formados sobre cenizas volcánicas. Ocupan un relieve fuertemente ondulado o colinoso, se presentan con frecuencia en amplias cimas montañosas a altitudes de más de 1,400 m. poseen un elevado contenido de materia

orgánica, estas áreas están plantadas de bosque de pino y bosque mixto, comprenden la menor área de la microcuenca con 1.94%.

Los suelos de los valles están a una altitud de 580 a 800 msnm son pedregosos y se encuentran cultivos agrícolas, asentamientos humanos, bosque mixto. Estos suelos comprenden la mayor área de la microcuenca con 57.63 %.

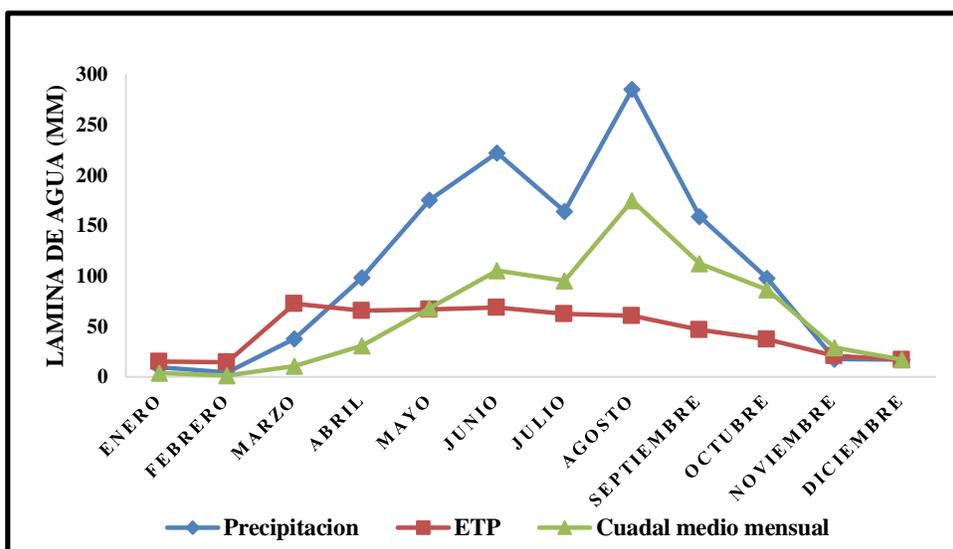


Figura 5. Balance hídrico de la microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira, utilizando el modelo ArcSWAT.

La figura 5 presenta el balance hídrico de la microcuenca, muestra una distribución de la precipitación con cuatro meses de sequía (cuando la evapotranspiración es mayor a la precipitación), siendo el mes más lluvioso agosto con una precipitación 285.03 mm y el más seco es marzo por presentar mayor evapotranspiración (72.14 mm) para una simulación que considera datos de cuatro años (2010 – 2013).

De la precipitación total simulada en la microcuenca (1,259.3 mm), el 55% sale del sistema en forma de evapotranspiración, del 45% restante, 12% se mueve en escorrentía superficial, 2% se mueve en escorrentía subsuperficial, el 16% se percola en los acuíferos superficiales y el 15% en acuíferos profundos (Cuadro 5). El caudal obtenido de la simulación es de un promedio 668.21 mm anual.

Los comportamientos hidrológicos en la microcuenca fueron simulados por 4 años desde 2010 a 2013. El caudal observado producto de las aforos hechos en la microcuenca (Anexos 2 y 3) son significativamente distintos a los predichos por el modelo SWAT; las causas de esta diferencia se atribuyen al método de aforo y a qué en los aforos solo se está tomando en cuenta el agua producida en la parte alta y no se toma en cuenta en la desembocadura hasta el río Mejocote. Los métodos de aforo usados en la microcuenca son poco efectivos para medir caudales con precisión; los aforos en la microcuenca proporcionan datos mínimos en comparación a los simulados con SWAT mismo caso que se presenta en estudios realizados por Acosta y Kucharsky (2012).

Cuadro № 5. Parámetros hidrológicos promedios anuales para la microcuenca Arcagual, calculados por SWAT.

GENERALES	ESPECÍFICOS
Dinámica del agua	
Precipitación	1559.3 mm
Escorrentía superficial	105.44 mm
Caudal	688.21 mm
Agua subterránea	154.69 mm
Recarga de acuífero profundo	8.49 mm
Total acuífero recargable	169.83 mm
Evapotranspiración	553.9 mm
Total de recarga de sedimentos en el agua	13.909 T/Ha
Parámetros de los cultivos	
Estrés hídrico	19.58 días
Estrés térmico	4.60 días

La microcuenca presenta un promedio de estrés hídrico de 19.58 días en el año y debido a las altas temperaturas presenta un estrés térmico de 4.60 días en el año. La temperatura que induce el estrés es un factor ambiental importante que influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Tanto las temperaturas altas como las bajas afectan el crecimiento y desarrollo de plantas a nivel de toda la planta, del tejido las variaciones de temperatura pueden afectar la morfología, la anatomía, la bioquímica y la fenología de las plantas (FAO 2006).

5.4. Modelación con Arc SWAT

Con el uso del programa se planteó la comparación de tres escenarios, considerando que los datos de uso de suelo corresponden al año 2001 dado que la información obtenida y que corresponde al año 2011 presenta algunas limitantes en cuanto al uso del suelo, asociados a la georeferenciación del mismo. En tal sentido la figura 6 presenta la modelación con ArcSWAT considerando tres escenarios posibles de la situación que podría darse en la microcuenca si esta no es bien manejada, tales escenarios son:

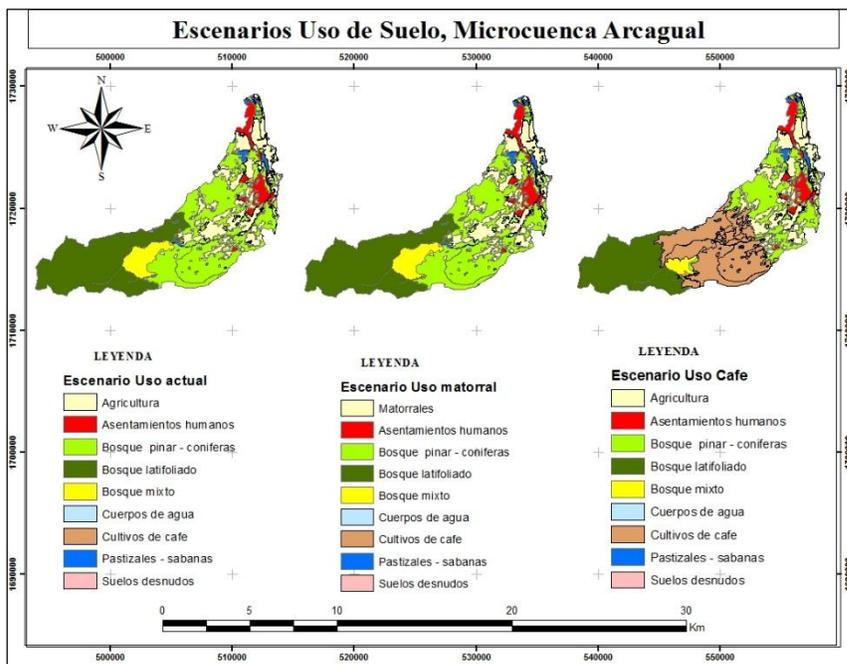


Figura 6. Escenarios con diferentes usos de suelo, mediante uso de Arc SWAT.

5.4.1 Escenarios de modelación ArcSWAT

Escenario 1: El uso actual del suelo para el año 2001, considerando que la misma se mantiene para el presente año 2013 dado que corresponde a un área protegida.

Escenario 2: Tendencia en el cual se supone que la agricultura cambia a matorral debido que cuando un suelo se deja de producir la cobertura se convierte en matorral.

Escenario 3: Modificación de la cobertura boscosa en la cota de 800 a 1,200 msnm a café, dado que son las alturas idóneas para el cultivo de café y tomando en cuenta que el cultivo de café es muy frecuente en la zona.

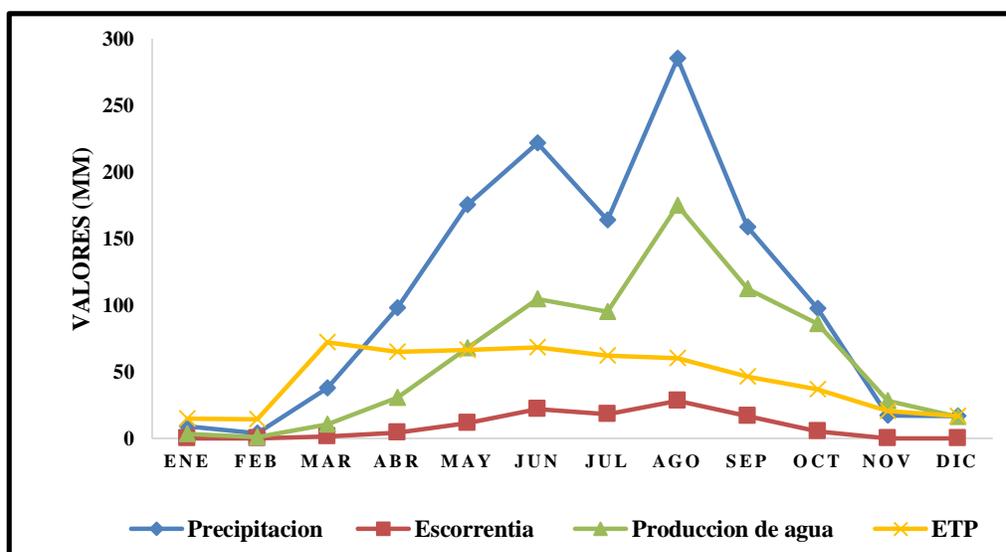


Figura 7. Escenario con uso de suelo actual, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

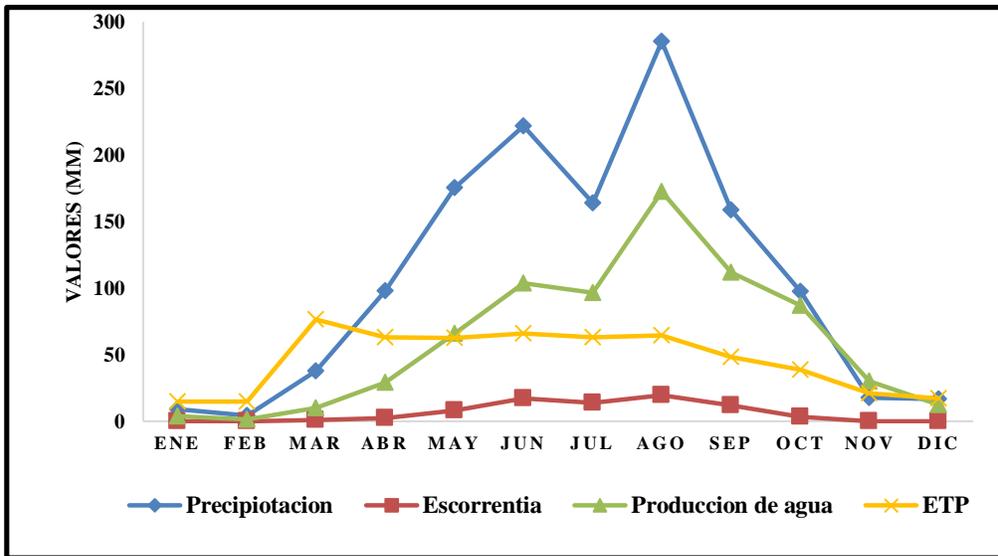


Figura 8. Escenario con cobertura de matorrales, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

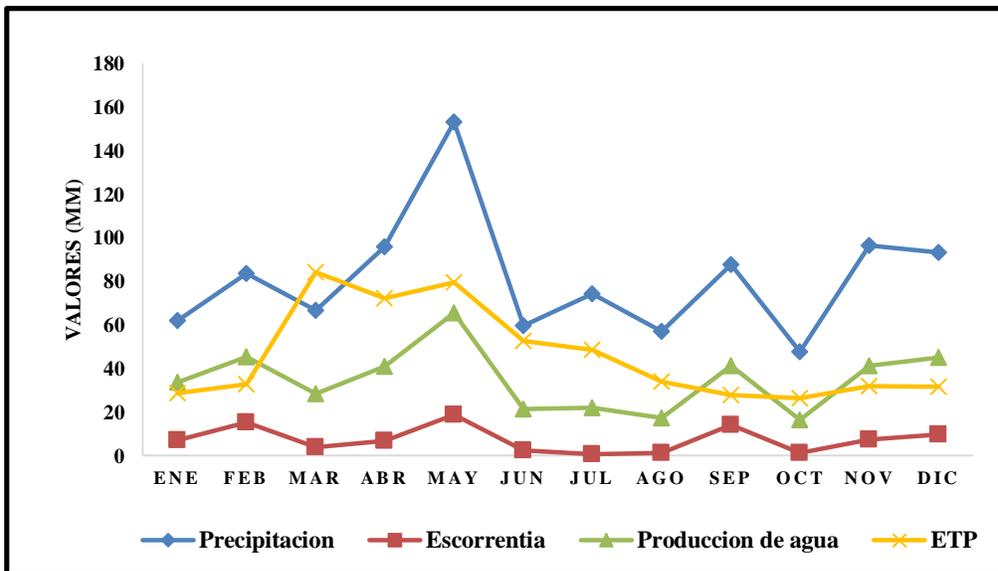


Figura 9. Escenario con cobertura de café, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

Al comparar los escenarios uso del suelo actual y cambio de agricultura por matorral (Figuras 7 y 8) se aprecia que al cambiar el uso de suelo de agricultura a matorral no hay cambios significativos debido a que la presencia de agricultura se da en las zonas bajas de la microcuenca, lo que significa que no hay cambios relevantes debido a que la mayor captación de agua se da en la zona de recarga, constatado durante las visitas de campo que

es la zona donde se tiene mayor precipitación, por lo que la actividad agraria se puede seguir practicando sin el aumento de la frontera agrícola y bajo medidas de conservación de suelos y agua, considerando la variable erosión.

En el escenario de café (Figura 9) las condiciones no son favorables, dado que las variables precipitación y caudal son menores comparadas con los escenarios anteriores (Figuras 7 y 8), la razón es porque se disminuye la cobertura en la zona de recarga, por lo que disminuiría la oferta hídrica.

Lo analizado anteriormente fue estudiado por Sahuquillo (2000) quien mediante estudios comprobó que los cambios en el uso del suelo afectan, a veces de forma intensa, a las aguas superficiales y a las subterráneas, también menciona que la urbanización y el talado de bosques afectan a la escorrentía e infiltración. Agrega también que sin duda la actividad que más influye en los procesos hidrológicos es la agricultura y especialmente los riegos. Las influencias van desde la disminución de caudales y el aumento de salinidad de los ríos por el consumo y derivaciones de agua, hasta la creación de problemas de drenaje y salinización de suelos y agua por la infiltración de retornos de riego.

Para disminuir tales efectos negativos, se emplean distintas acciones y prácticas; en la mayoría de los casos, se parte del aislamiento de algunas áreas para promover la sucesión natural (SER 2002), tal es el caso de agricultura a matorral.

5.4.2 Variables de simulación

a) Escorrentía

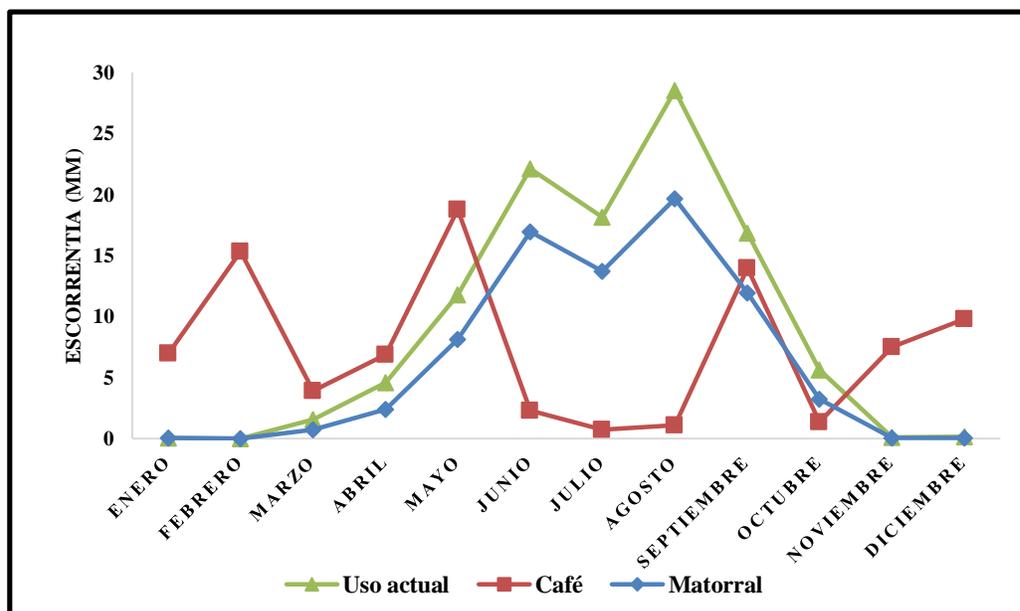


Figura 10: Análisis de variable escorrentía, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

Para las variables escorrentía, el escenario de café se encuentra más propenso debido a que el cultivo de café produce menos biomasa (hojarasca) lo que da una menor cobertura al suelo y teniendo como efecto una menor amortiguación a la caída de la lluvia y esto hace que el suelo se lave en forma de erosión para generar mayor escorrentía, por lo que el suelo pierde fertilidad por el deslave de materia orgánica (Rodríguez y Camargo *s.f.*).

El uso del escenario matorral es el ideal basado que el nivel de percolación es mayor que en los otros escenarios como ser: escenario café con 58.94mm, escenario matorral 189.95mm y escenario de uso actual 170.66 mm dado que se tendrá mayor recarga de los acuíferos

b) Sedimento

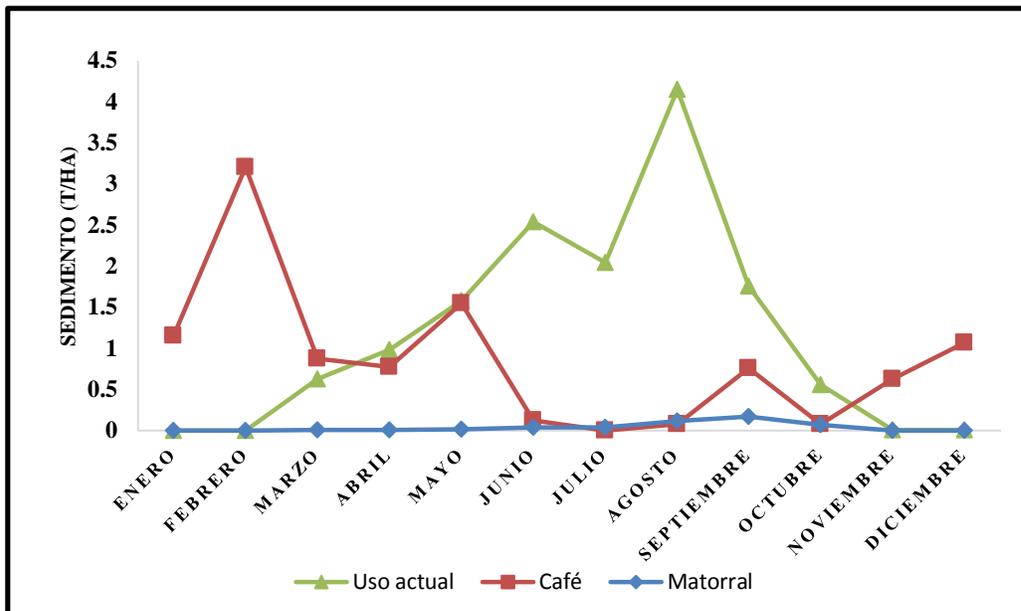


Figura 11. Análisis de variable sedimento, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

En la figura 11 se muestra que el tipo de uso de suelo que ocasiona mayor carga de sedimento es el escenario de café y uso actual, el escenario de café sería el que más afecta dado que se tendría plantaciones de café en la zona de amortiguamiento con lo que se generaría mayor escorrentía a la red hídrica, por lo que este exceso de sedimento (10.985 T/Ha) causaría problemas en las líneas de conducción a los beneficiarios y cabe mencionar que en este análisis no se considera la contaminación que puede generar la caficultura en el suelo y en la calidad del recurso hídrico. El escenario de uso actual está generando sedimento que se recarga en la parte baja de la microcuenca por lo que las nueve comunidades beneficiarias no tendrían problema en la red de conducción hídrica que les abastece de agua para consumo humano.

c) Caudal

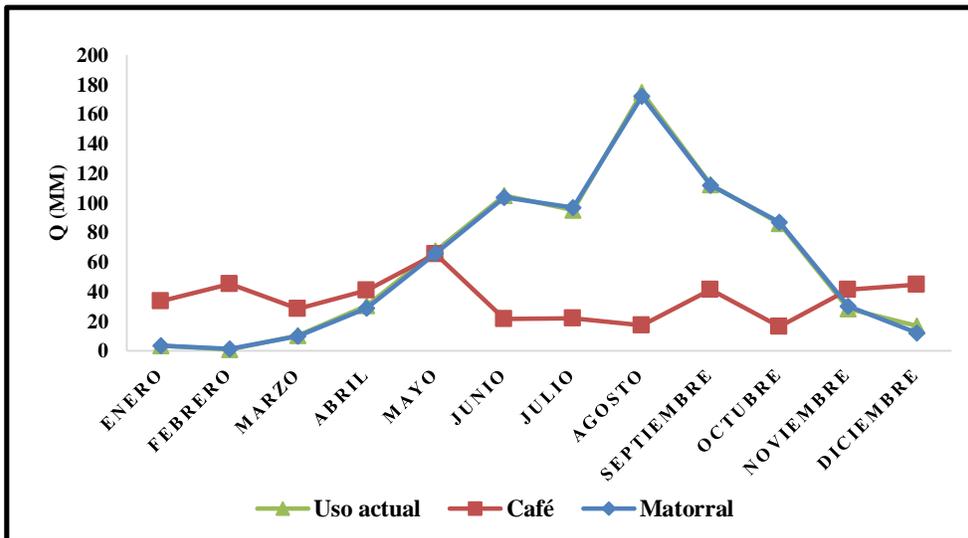


Figura 12: Análisis de variable caudal, microcuena Arcagual, Gracias, Lempira

El menor caudal se presenta en el escenario de café con 424.46 mm, mientras que en los escenarios de uso actual y matorral (uso actual 688.21 mm y matorral 683.62 mm) no se presentan diferencias significativas al comparar los mismos, puesto que en una parte de la zona de recarga la cota es desde 800 a 1,200 y en la misma se elimina el bosque de conífera, bosque de latifoliado, y bosque mixto; por lo que el suelo no logra tener capacidad de almacenamiento hídrico, debido al cambio de cobertura de bosque a agricultura (café) lo que incide de manera negativa en la generación de la precipitación, y con ello se tendría una menor oferta hídrica, es importante considerar que la recarga de acuíferos en el escenario de café es menor.

De acuerdo con Shah (2005) la lluvia que se infiltra en el terreno una gran parte normalmente llega a recargar los acuíferos. El agua recargada a los acuíferos descarga a su vez en los ríos, lagos, manantiales o zonas húmedas, esta descarga proporciona el caudal que mantiene en periodos secos o flujo permanente.

El escenario de café que presento menor recarga de acuífero con promedio anual de 58.90 mm, para el escenario de uso actual 169.83 mm y el escenario matorral de 188.49 mm, lo que indica que con el último escenario se tendrá mayor almacenamiento de agua para abastecer las épocas que se tiene menor precipitación.

VI CONCLUSIONES

La mayor humedad o exceso se presenta en los meses de mayo y octubre, en los que se tiene mayor escurrimiento directo, debido a que son los meses donde se presenta mayor precipitación en comparación a la evapotranspiración dado que esta es menor.

La cobertura de mayor predominancia en la microcuenca es el bosque de conífera (36.57%) y en la parte alta de la microcuenca donde se da la mayor producción de agua no se cuenta con cultivos agrícolas y tampoco asentamientos humanos, lo que incide en la producción de agua y desde luego en el comportamiento del caudal durante el año.

De los tres escenarios analizados el que presenta diferencia significativa es el escenario de café, dado que los resultados de las variables precipitación y caudal son menores comparadas con los escenarios matorral y uso actual del suelo (imagen de cobertura del año 2001), las razones es porque se disminuye la cobertura en la zona de recarga y esto afecta la recarga de los acuíferos que permite mantener el caudal en época de verano

Por el momento la cantidad de agua que produce la microcuenca Arcagual es la necesaria para suplir la demanda de la población beneficiaria; sin embargo, solo fue considerado el número total de familias beneficiarias en cuanto al uso que estas hacen del agua; las otras variables; sistemas de riego en el área de influencia de la microcuenca y su localización para determinar si el agua que se usa en tales cultivos tiene retorno a lo interno de la microcuenca por ahora no fue una variable considerada en el análisis, debido a la poca o escasa información que en el periodo de tiempo del estudio fue posible recabar.

VII RECOMENDACIONES

Aunque la producción de agua es alta para la microcuenca Arcagual; existen comunidades que tienen su obratoma por debajo de otras, por lo cual en la época donde se presenta déficit las comunidades Arcilaca y Barrio Mejicapa no se abastecen totalmente de agua; ante lo cual se recomienda realizar una programación equitativa de la distribución del agua para todos los usuarios del recurso hídrico, de esta manera se evitará el malestar generalizado en la población ante la escasez de la misma en ciertos sectores.

Realizar un balance hídrico en época seca en el cual se incluya el agua utilizada para riego cuando se determine la demanda, pues de esta manera se obtendrá la demanda total real correspondiente a la época seca y se podrá cuantificar la disponibilidad de agua para riego y otros usos.

Instalar estaciones meteorológicas automáticas, distribuidas en la microcuenca Arcagual para medir la precipitación y la ETP constantemente, debiéndose colocar pluviómetros y evaporímetros a lo largo de la microcuenca; es decir, en la parte baja, media y alta con el fin de conocer y analizar la relación entre la precipitación, temperatura y pisos de elevación.

Ubicar vertederos permanentes en la parte alta y baja del río Arcagual, a la altura de las tomas de agua de las comunidades y en la desembocadura en el río Mejojote, para medición de caudal continuo en tiempo y espacio a lo largo de la red hídrica de la microcuenca.

Calibrar el modelo SWAT que permita la obtención de datos reales, esto es comparando los datos simulados por este programa con los obtenidos por los aforos reales en la microcuenca, mínimo hacer un aforo por mes durante un año.

Se debe continuar con la investigación en el área de modelamiento hidrológico bien para esta misma microcuenca o para otras del país utilizando Arc SWAT, tomando en cuenta que este programa demanda de datos históricos de al menos 4 años y que los resultados de su aplicación son de alta importancia para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales.

VIII BIBLIOGRAFÍA

Acosta Velásquez, A.F. y O.A. Kucharsky Lezana. 2012. Estudio edafológico y de cobertura para la modelación hidrológica con el modelo SWAT de la microcuenca Santa Inés, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 35p.

Alianza para las Montañas. 2008. Problemática de las microcuencas. (En línea) Consultado 14 Abr. 2013. Disponible en www.alianzamontanas.org/issues/watersheds.html.

Almorox, J. s.f. Balance hídrico directo (En línea). Consultado 21 Abr. 2013. Disponible en http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/Humedad_del_suelo/Balancehidricodirecto.pdf

Cruz Matute, F. 2002. Valoración económica del recurso hídrico para determinar el pago por servicios ambientales en la cuenca del río Calan, Siguatepeque. Ingeniería forestal. Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR) Siguatepeque, Comayagua. Honduras. 97 p.

Duarte Castañeda, E. 2007. Valoración económica del recurso hídrico para determinar el pago por servicio ambiental en la microcuenca El Cianuro, Las Vegas, Santa Bárbara. Honduras. 21 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2006. Factores de manejo de cultivos. (En línea) consultado 12 Nov. 2013 disponible en <http://www.fao.org/docrep>.

Franco, CA. 2001. Balance hídrico Método Thornthwaite-Mather (En línea) consultado 5 Mayo. 2013 disponible en <http://www10.brinkster.com/ceaufres/bh/>.

Huezo Sánchez, L. 2011. Caracterización hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés, Francisco Morazán y El Paraíso. Ing. Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 19 p.

ICF (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, HN). 2012. Plan de manejo parque nacional Montaña de Celaque periodo 2012–2024. 176 p.

IRENAT (Instituto de Recursos Naturales, MX). s.f. Empleo del modelo SWAT para generar alternativas de manejo en la cuenca del río Laja, gto., México. Programa de Hidrociencias. (En línea) Consultado 25 Abr. 2013. Disponible en www.micas-cuencas.com/swat.pdf.

López Barrios, E.C. 2008. Plan de manejo de la microcuenca del río Tojgüech, municipio de Tacaná, departamento de San Marcos. Tacaná, San Marcos, Guatemala. Universidad de San Carlos. 66p.

López, A y Delgado, K. 2009. Modelación hidrológica de la subcuenca Lempa alto, en cooperación con la comisión trinacional del plan trifujo El Salvador, Honduras, Guatemala. Ing. Civil. Santa Ana, El Salvador C.A. Universidad de El Salvador. 184 p.

MAPANCE-PROCELAQUE (Mancomunidad de municipios del Parque Nacional Montaña de Celaque, HN). s.f. Autoridad para la Protección Manejo y Promoción del Parque Nacional Celaque.

Morales M, D. 2010. Caracterización básica de siete microcuencas y determinación de zonas con potencial para reservorios en el municipio de Tómalá, Lempira. Lic. Recursos Naturales y Ambiente. Catacamas, Olancho, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura. 53 p.

Ortiz. R.A, Mendoza; ME, Bravo; E. M. s.f. Implementación del modelo hidrológico swat: modelación y simulación multitemporal de la variación de escorrentía en la cuenca del lago de Cuitzeo. UNAM-CIGA. México. 9 p.

Pérez C, C. y Shinomi, Y. s.f. Manejo integral de cuencas hidrográficas. Conceptos básicos. (En línea). Consultado 28 Mar. 2013. Disponible en www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR32793.p.f.

Revistazo. 2002. Honduras tiene el potencial hídrico más grande de Centroamérica. (En línea) Consultado 23 Mar. 2013. Disponible en www.revistazo.com/sep-02/rep5.html.

Tófalo Rita. s.f. Copilación de la Clasificación de suelos según Simmons. Edafología. Honduras C.A. 85 p

Rodríguez. J.A, Camargo. J.C, s.f. Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira (COL).

Sahuquillo, A. 2000. La utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en las sequías. Monográfico sequías. Rev. Real Acad. Cienc. Esact. Fis. Nat. (ESP.).

SANAA (Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados, HN). 2004. Agua potable y saneamiento en Honduras. 18p.

SER (Society for Ecological Restoration). 2002. Ponencia introductoria sobre la restauración ecológica. (En línea) Consultado 18 Ago. 2013. Disponible en www.ser.org.

SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, HN). 2000. Informe nacional sobre la implementación de la convención de desertificación en Honduras. 97 p.

Shah, T. (2005) “Groundwater and Human Development: Challenges and Opportunities in Livelihoods and Environment”, Water Science and Technology. Ed. EE.UU. p. 1-6.

SINIT (Sistema Nacional de Información Territorial, HN) (En línea). Consultado 19 Jul. 2013. Disponible en www.sinit.hn

SNET (Sistema Nacional de Estudios Territoriales, ES). 2005. Balance hídrico integrado y dinámico en el Salvador. Componente evaluación de recursos hídricos. 109 p.

Uribe, N. 2010. Conceptos básicos y guía rápida para el usuario. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical. (COL). 47 p.

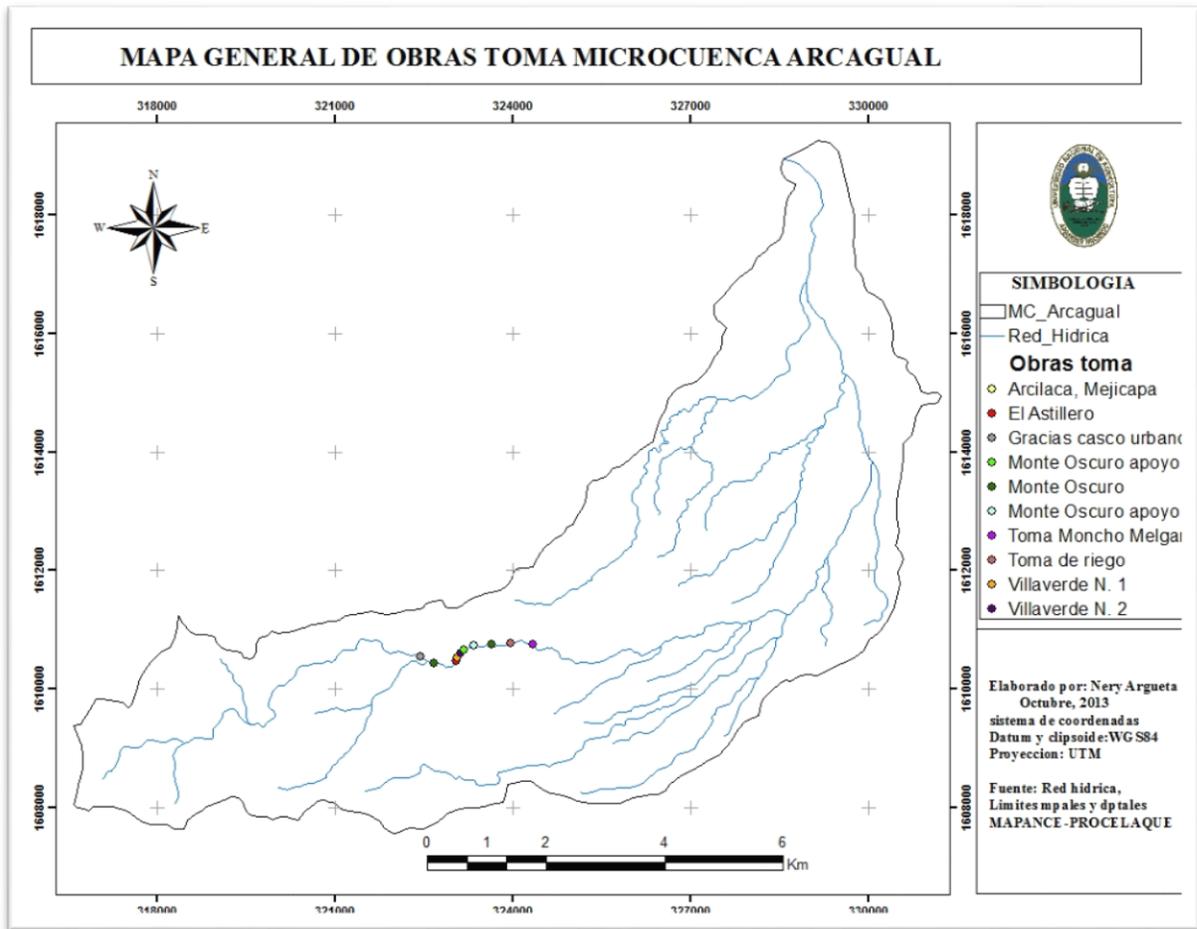
USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 2006. Claves para la taxonomía de los suelos. 331 p.

USGS (U.S. Geological Survey) Ciclo hidrológico. (En línea) Consultado 20 Sep. 2013. Disponible en <http://ga.water.usgs.gov/edu/>.

Zonaingeniería. 2012. Balance Hídrico. (En línea) Consultado 5 de abr. 2013. Disponible en: www.entradas.zonaingenieria.com/2012/03/balance-hidrico.html.

IX ANEXOS

Anexo 1. Mapa de obras toma, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.



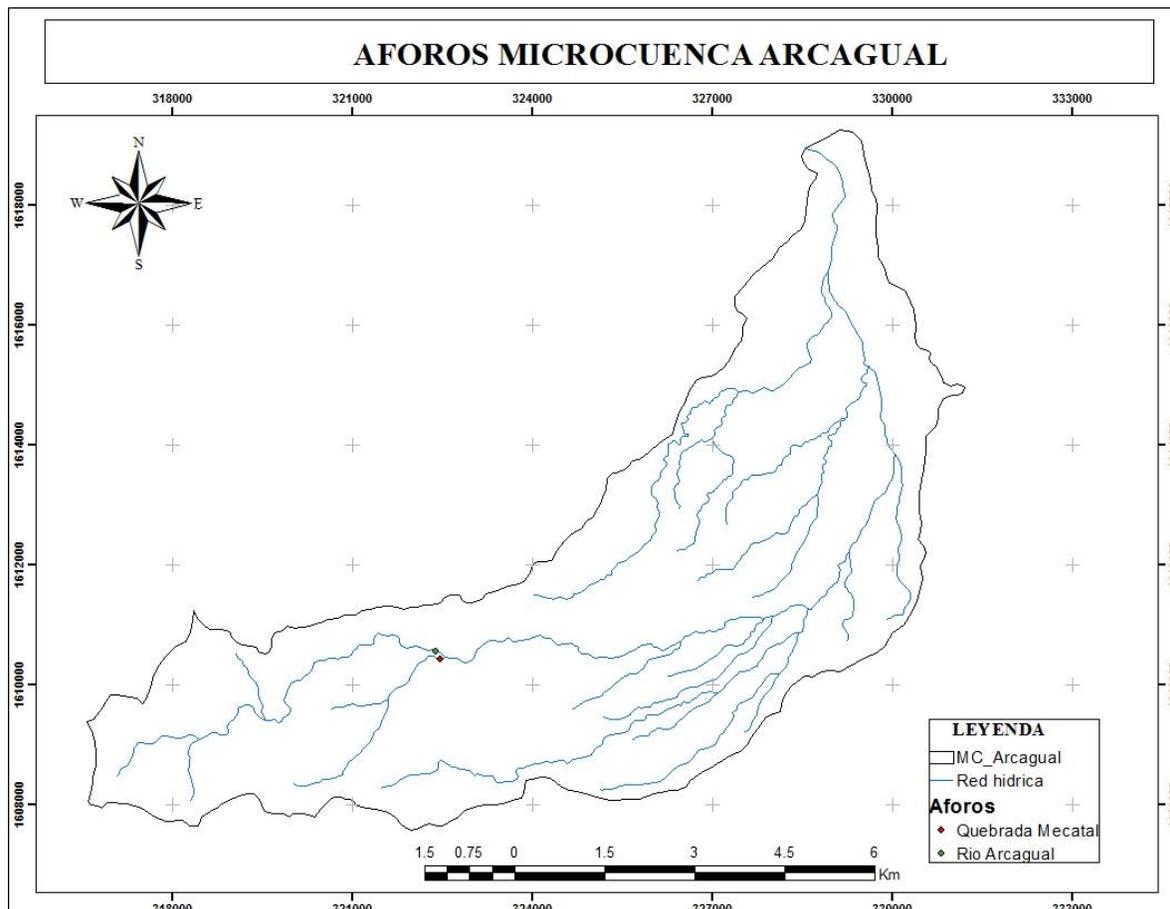
Anexo 2. Aforo río Arcagual, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

Aforo río Arcagual Método de Flotador				
Medición de tiempo		Profundidades		Tiempo recorrido 5m / 9,59 s = 0,52 m/s
Tiempo recorrido objeto flotante				
T1	10.90	h1	0.09	Longitud río = 4m Ancho de río = 5m
T2	9.30	h2	0.18	
T3	9.15	h3	0.3	
T4	9.51	h4	0.23	
T5	10.42	h5	0.32	
T6	8.66	h6	0.37	
T7	9.16	h7	0.29	
Promedio	9,59 seg		0,25 m	
AT = ancho de caudal x profundidad promedio = 4 m x 0,25 m = 1 m ²				
QR = (m ³ /s) = velocidad(m/s) x área (m ²) = 0,52 (m/s) x 1 m ² = 0,52 m ³ /s				
QR = 0,52 m ³ /s X 1,000 L = 52 L/s				

Anexo 3. Aforo quebrada Mecatal, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

CÁLCULO DE AFORO QUEBRADA MECATAL Calculo del volumen de la cubeta usada				
$\varnothing = 0.285 \text{ mts}$ $h = 0.38 \text{ mts}$ VOLUMEN DE UN CILINDRO= $\pi \times (\text{area de la base}) \times \text{altura}$ $\pi = 3.1416$ $\text{area de la base} = \pi \times (\varnothing/2)^2 = 3.1416 \times (0.285/2)^2 = 0.0638 \text{ m}^2$ $\text{volumen} = \pi \times (\varnothing/2)^2 \times h = 0.0638 \times 0.38 = 0.0242 \text{ m}^3 = 24.2417 \text{ L} = 6.41 \text{ GLN}$				
MEDICIONES DE TIEMPO		CONVERSIONES		
TIEMPO DE LLENADO (seg)		1 GALON = 3.785 LITROS		
T1	1.19	1 m ³ = 1000 L		
T2	1.06	1 minuto = 60 segundos		
T3	1.19			
T4	1.12			
T5	1.05	min		
T. PROMEDIO	1.12	0.02	lts/seg	gal/min
VOLUMEN DE LA CUBETA =		6.41 GAL	21.66	342.78
CAUDAL = VOL/TIEMPO = 6.41 GLN / 0.02 min = 342.78 Galones/minuto				
CAUDAL = VOL/TIEMPO = 24.20 L / 1.12 seg = 21.66 L/s				

Anexo 4. Aforos en la microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.



Anexo 5. Obras toma microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

No.	Coordenadas		Altitud (msnm)	Comunidades
	X	Y		
1	322424	1610558	1555	Tomas de gracias casco urbano 2 tomas
2	322646	1610431	1525	Monte oscuro (Pinal las mesas, Guanteque, Altos guanteque, San José quelacasque.) toma de apoyo.
3	323028	1610465	1437	Toma el Astillero (Villaverde 1, arcilaca) de apoyo.
4	323047	1610541	1396	Toma Villaverde N.1
5	323081	1610608	1380	Toma Villaverde N. 2
6	323163	1610657	1333	Monte oscuro (Pinal las mesas, Guanteque, Altos guanteque, San José quelacasque.) toma de apoyo.
7	323319	1610741	1357	Monte oscuro (Pinal las mesas, Guanteque, Altos guanteque, San José quelacasque, el portillo)
8	323640	1610774	1330	Toma de riego (Villaverde N.2 , Don Santos Rodriguez, Feliciano Espinoza)
9	323949	1610779	1280	Toma de Don Moncho Melgar
10	324348	1610776	1279	Arcilaca, Barrio mejicapa de gracias.

Anexo 6. Valores promedio mensual con el uso actual de suelo.

Meses	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Producción de agua (mm)	ETP (mm)	Sedimento (T/Ha)
Ene	9.15	0.04	3.46	14.94	0
Feb	4.23	0	1.08	14.28	0
Mar	37.78	1.55	10.51	72.14	0.63
Abr	97.88	4.59	30.61	65.26	0.99
May	175.4	11.76	67.73	66.41	1.58
Jun	221.78	22.14	104.78	68.54	2.54
Jul	163.83	18.14	95.26	62.45	2.05
Ago	285.03	28.56	174.75	60.28	4.15
Sep	158.7	16.83	112.13	46.63	1.76
Oct	97.5	5.64	85.87	36.96	0.56
Nov	17.53	0.1	28.47	20.71	0.01
Dic	16.77	0.14	16.64	16.79	0.01

Anexo 7. Valores promedio mensuales con escenario matorrales.

Meses	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Producción de agua (mm)	ETP (mm)	Sedimento (T/Ha)
Ene	9.15	0.02	3.62	14.88	0
Feb	4.23	0	1.11	14.55	0
Mar	37.78	0.73	9.85	76.39	0.01
Abr	97.88	2.37	28.93	62.8	0.01
May	175.4	8.14	65.67	62.64	0.02
Jun	221.78	16.93	103.73	65.72	0.04
Jul	163.83	13.69	96.64	62.84	0.04
Ago	285.03	19.65	172.26	64.25	0.12
Sep	158.7	11.92	111.84	47.99	0.17
Oct	97.5	3.24	86.78	38.39	0.07
Nov	17.53	0.04	30.06	20.94	0
Dic	16.77	0.05	12.2	16.88	0

Anexo 8. Valores promedio mensuales con escenario de café.

Meses	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Producción de agua (mm)	ETP (mm)	Sedimentos (T/Ha)
Ene	61.9	6.99	33.58	28.57	1.16
Feb	83.65	15.33	45.21	32.88	3.21
Mar	66.53	3.9	28.3	84.14	0.88
Abr	95.92	6.85	41.05	72.22	0.78
May	153.12	18.78	65.45	79.39	1.55
Jun	59.59	2.3	21.36	52.74	0.13
Jul	74.11	0.72	21.92	48.4	0
Ago	56.98	1.1	17.32	33.85	0.08
Sep	87.67	13.97	41.16	27.9	0.76
Oct	47.78	1.33	16.41	26.3	0.08
Nov	96.32	7.49	41.18	31.82	0.63
Dic	93.04	9.79	44.92	31.7	1.07

Anexo 9. Valores originados por la modelación de ArcSWAT, para el escenario uso actual de suelo, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

AVE ANNUAL BASIN STRESS DAYS

WATER STRESS DAYS = 19.58
TEMPERATURE STRESS DAYS = 4.60
NITROGEN STRESS DAYS = 10.16
PHOSPHORUS STRESS DAYS = 0.12
AERATION STRESS DAYS = 0.00

1

SWAT Apr 12 2013 VER 2012/Rev 591

General Input/Output section (file.cio):

10/28/2013 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

PRECIP = 1259.3 MM
SNOW FALL = 0.00 MM
SNOW MELT = 0.00 MM
SUBLIMATION = 0.00 MM
SURFACE RUNOFF Q = 105.44 MM
LATERAL SOIL Q = 428.09 MM
TILE Q = 0.00 MM
GROUNDWATER (SHAL AQ) Q = 154.69 MM
GROUNDWATER (DEEP AQ) Q = 0.00 MM
REVAP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) = 6.67 MM
DEEP AQ RECHARGE = 8.49 MM
TOTAL AQ RECHARGE = 169.83 MM
TOTAL WATER YLD = 688.21 MM
PERCOLATION OUT OF SOIL = 170.66 MM
ET = 553.9 MM
PET = 1474.5MM
TRANSMISSION LOSSES = 0.00 MM
SEPTIC INFLOW = 0.00 MM
TOTAL SEDIMENT LOADING = 13.909 T/HA
TILE FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
EVAPORATION FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
SEEPAGE INTO SOIL FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
OVERFLOW FROM IMPOUNDED WATER

Anexo 10. Valores originados por la modelación de ArcSWAT, para el escenario uso de suelo matorral microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

AVE ANNUAL BASIN STRESS DAYS

WATER STRESS DAYS = 18.46
TEMPERATURE STRESS DAYS = 3.00
NITROGEN STRESS DAYS = 16.81
PHOSPHORUS STRESS DAYS = 0.01
AERATION STRESS DAYS = 0.00

1

SWAT Apr 12 2013 VER 2012/Rev 591

General Input/Output section (file.cio):

10/28/2013 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

AVE ANNUAL BASIN VALUES

PRECIP = 1259.3 MM
SNOW FALL = 0.00 MM
SNOW MELT = 0.00 MM
SUBLIMATION = 0.00 MM
SURFACE RUNOFF Q = 73.94 MM
LATERAL SOIL Q = 437.59 MM
TILE Q = 0.00 MM
GROUNDWATER (SHAL AQ) Q = 172.09 MM
GROUNDWATER (DEEP AQ) Q = 0.00 MM
REVP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) = 6.93 MM
DEEP AQ RECHARGE = 9.42 MM
TOTAL AQ RECHARGE = 188.49 MM
TOTAL WATER YLD = 683.62 MM
PERCOLATION OUT OF SOIL = 189.95 MM
ET = 555.0 MM
PET = 1474.5MM
TRANSMISSION LOSSES = 0.00 MM
SEPTIC INFLOW = 0.00 MM
TOTAL SEDIMENT LOADING = 0.425 T/HA
TILE FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
EVAPORATION FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
SEEPAGE INTO SOIL FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
OVERFLOW FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)

Anexo 11: Valores originados por la modelación de ArcSWAT, para el escenario uso de suelo cultivos de café, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

AVE ANNUAL BASIN STRESS DAYS

WATER STRESS DAYS = 25.34
TEMPERATURE STRESS DAYS = 6.62
NITROGEN STRESS DAYS = 12.90
PHOSPHORUS STRESS DAYS = 0.10
AERATION STRESS DAYS = 0.00

1

SWAT Apr 12 2013 VER 2012/Rev 591

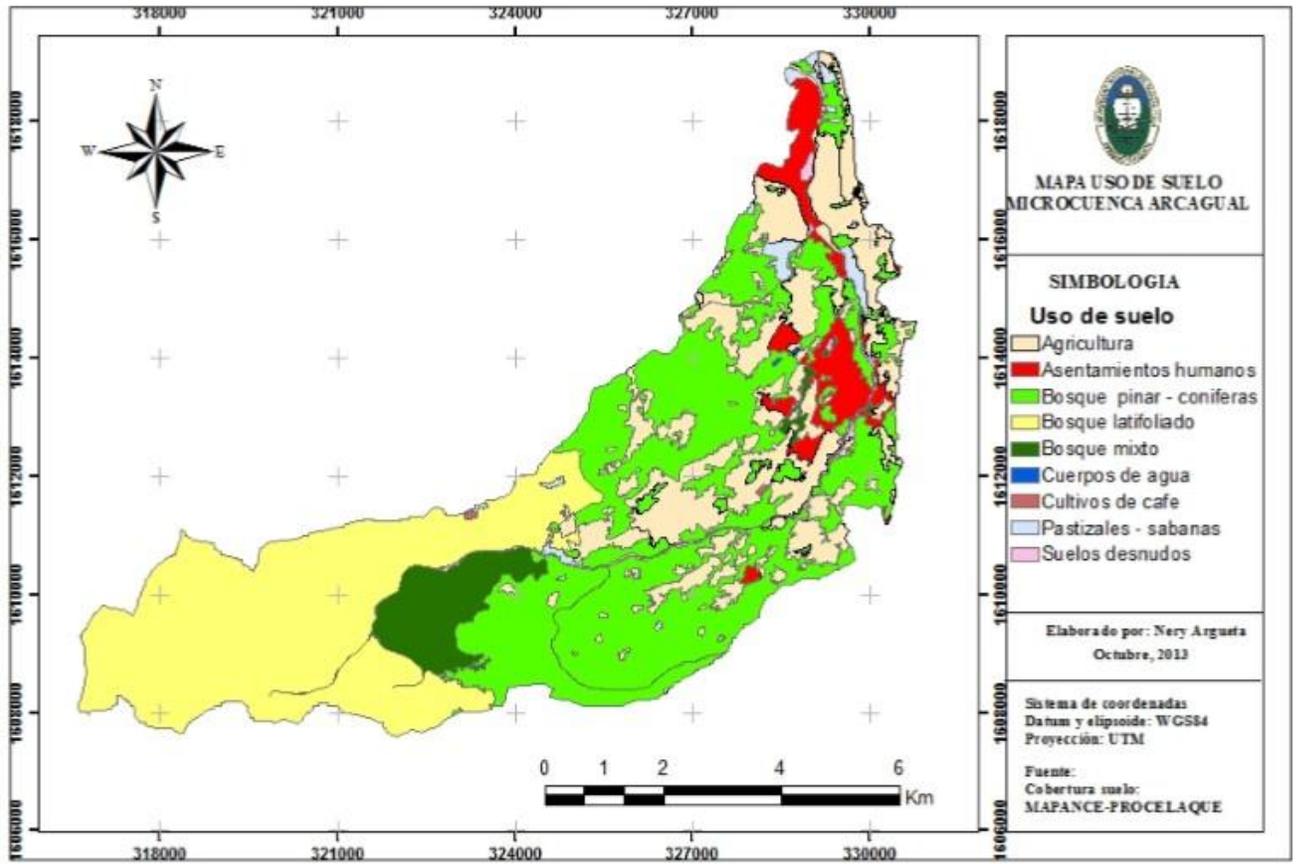
General Input/Output section (file.cio):

10/28/2013 12:00:00 AM ARCGIS-SWAT interface AV

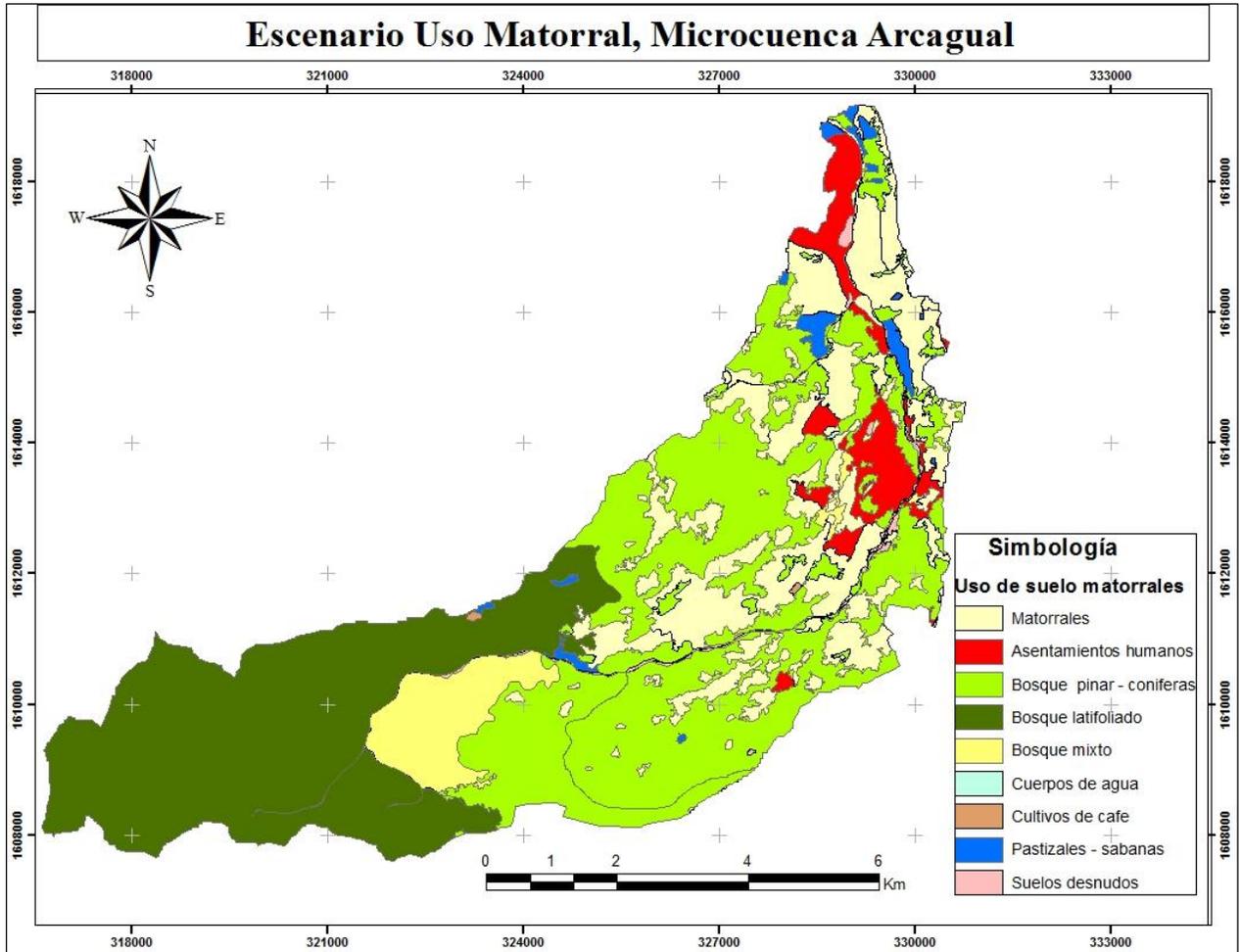
AVE ANNUAL BASIN VALUES

PRECIP = 984.6 MM
SNOW FALL = 0.00 MM
SNOW MELT = 0.00 MM
SUBLIMATION = 0.00 MM
SURFACE RUNOFF Q = 91.03 MM
LATERAL SOIL Q = 282.73 MM
TILE Q = 0.00 MM
GROUNDWATER (SHAL AQ) Q = 50.70 MM
GROUNDWATER (DEEP AQ) Q = 0.00 MM
REVP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) = 5.34 MM
DEEP AQ RECHARGE = 2.95 MM
TOTAL AQ RECHARGE = 58.90 MM
TOTAL WATER YLD = 424.46 MM
PERCOLATION OUT OF SOIL = 58.94 MM
ET = 571.0 MM
PET = 1791.1MM
TRANSMISSION LOSSES = 0.00 MM
SEPTIC INFLOW = 0.00 MM
TOTAL SEDIMENT LOADING = 10.985 T/HA
TILE FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
EVAPORATION FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
SEEPAGE INTO SOIL FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)
OVERFLOW FROM IMPOUNDED WATER = 0.000 (MM)

Anexo 12. Escenario uso de suelo actual, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.



Anexo 13. Escenario uso de suelo matorral, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.



Anexo 14. Escenario uso de suelo café, microcuenca Arcagual, Gracias, Lempira.

