

Aumentando la Resiliencia Climática en el Occidente de Honduras: Explorando Fuentes de Agua para Pequeños Productores Rurales



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



Centro Internacional de Agricultura Tropical
Desde 1967 *Ciencia para cultivar el cambio*



USAID

La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) es la agencia del gobierno norteamericano cuyo objetivo es poner fin a la pobreza global extrema y contribuir para que sociedades resilientes y democráticas alcancen su potencial.

www.usaid.gov

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP Zamorano)

Zamorano es una universidad internacional que ofrece a jóvenes de diversas latitudes y orígenes la oportunidad de convertirse en profesionales – líderes – con destrezas y valores, capaces de transformar empresas y organizaciones, que responden a los retos actuales de Latinoamérica y el mundo, retos como: la conservación de los recursos naturales, la transformación rural y el desarrollo de industrias agrícolas y agroindustriales internacionalmente competitivas.

www.zamorano.edu

CIAT

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) —miembro del Consorcio CGIAR— desarrolla tecnologías, métodos innovadores y nuevos conocimientos que contribuyen a que los agricultores, en especial los de escasos recursos, logren una agricultura eco-eficiente —es decir, competitiva y rentable así como sostenible y resiliente. Con su sede principal cerca de Cali, Colombia, el CIAT realiza investigación orientada al desarrollo en las regiones tropicales de América Latina, África y Asia.

www.ciat.cgiar.org

CGIAR es una alianza mundial de investigación para un futuro sin hambre. Su labor científica la llevan a cabo los 15 centros de investigación que integran el Consorcio CGIAR, en colaboración con cientos de organizaciones socias.

www.cgiar.org

Aumentando la Resiliencia Climática en el Occidente de Honduras: Explorando Fuentes de Agua para Pequeños Productores Rurales

Fredy Monserrate,^{1,3} Jefferson Valencia,¹ Marcela Quintero,^{1,3} Glenn Hyman,¹ Mayesse Da Silva,¹ Ruben Coppus,¹ Oscar Bautista,¹ Ovidio Rivera,¹ Josue León² y Alexandra Manueles²

1 CIAT.

2 EAP Zamorano.

3 Autores para correspondencia y soporte técnico: m.quintero@cgiar.org y f.monserrate@cgiar.org



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



CIAT

Centro Internacional de Agricultura Tropical
Desde 1967 *Ciencia para cultivar el cambio*



La elaboración de este documento ha sido posible gracias al generoso apoyo del Pueblo de los Estados Unidos de América. El contenido del mismo es responsabilidad de los autores y no necesariamente refleja el punto de vista de la USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.

El presente documento es un manual práctico para el usuario de las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) desarrolladas en el marco del proyecto “Tool for identifying viable sites for small irrigation projects” [*Herramienta para identificar sitios viables para pequeños proyectos de riego*]. Las herramientas a que hace referencia este manual fueron desarrolladas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) con el apoyo de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano.

Las instituciones vinculadas en el presente trabajo (USAID/Honduras, CIAT y EAP Zamorano) no garantizan que las herramientas que acompañan este manual cumplan con las expectativas y requerimientos de cada usuario o que las mismas estén libres de errores. Tampoco se hacen responsables por daños o pérdidas de información asociadas al uso de las herramientas. Es importante aclarar que los resultados generados por dichas herramientas no reemplazan la inspección y/o trabajo de campo, sino que deben ser tomados como soporte para la toma de decisiones. El uso de las herramientas aquí desarrolladas debe hacerse con responsabilidad y bajo las recomendaciones descritas en este manual.

Advertencia

En el marco de la legislación vigente, la distribución o reproducción de esta herramienta o de cualquiera de sus partes no está autorizada y serán objeto de todas las acciones judiciales que correspondan.

Cita correcta:

Monserate F; Valencia J; Quintero M; Hyman G; Da Silva M; Coppus R; Bautista O; Rivera O; León J; Manueles A. 2016. Aumentando la resiliencia climática en el occidente de Honduras: Explorando fuentes de agua para pequeños productores rurales. United States Agency for International Development (USAID); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP Zamorano). 34 p.



Salida de campo con la comunidad de usuarios de AGRI v.I en Honduras.

Prefacio

En Honduras, las características topográficas del territorio, la variabilidad climática, el crecimiento poblacional y la degradación de los recursos naturales han sido retos para suplir las necesidades de agua de las comunidades y para asegurar la supervivencia de los ecosistemas. A esto se suma ahora el cambio climático. De acuerdo a las proyecciones del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), este fenómeno generará que en el país cambien los patrones de lluvia y temperatura tanto en magnitud como en estacionalidad.

Esto representa un desafío más para alcanzar mejores niveles de vida en la población, al considerar que la mayor parte de la población rural del país se dedica a la agricultura. Este rubro genera el 38% del empleo nacional y el 60% del empleo en el sector rural. La mayor parte de los pequeños agricultores practican agricultura no tecnificada, la cual depende principalmente de las lluvias. En períodos de escasez de lluvias, la productividad de este tipo de agricultura baja significativamente, convirtiéndose así en una enorme amenaza para la seguridad alimentaria y la generación de ingresos de la población. Esta situación contribuye a que, en el occidente de Honduras, el 40% de la población rural viva con un ingreso menor a US\$1.25 por persona y a que el 40% de los niños sufran de desnutrición crónica. De allí surge la necesidad de un manejo sostenible del agua que permita satisfacer las necesidades humanas, de los ecosistemas y de otros usos, entre ellos la agricultura.

Es indudable que se requieren proyectos que ayuden a la población rural a cubrir sus demandas de agua, mitigar riesgos de pérdida, mejorar la productividad y, consecuentemente, alcanzar la seguridad alimentaria. No obstante, realizar este tipo de proyectos no es fácil debido a las limitantes antes planteadas, así como a la tarea aún pendiente de mejorar la generación de información hídrica que permita administrar sosteniblemente el recurso y hacerlo accesible a las personas y los demás seres vivos.

La generación de información sobre variables biofísicas requiere contar con instrumentos y recursos especializados que no siempre están disponibles. No obstante, a través del uso de tecnología, se puede lograr la diferencia en el desarrollo de iniciativas que permitan mejorar la conservación y el acceso al agua, mejorar la salud y reducir el hambre. Innovar

en el uso de imágenes satelitales, la aplicación de modelos matemáticos, la utilización de software y equipo digital de cartografía puede brindar soluciones apropiadas que contribuyan a balancear la falta de información generada de maneras tradicionales.

Las herramientas de geoprocésamiento aquí descritas buscan crear las bases para utilizar el análisis geoespacial en la gestión de los recursos hídricos en Honduras ante un mundo con un clima cambiante. Esta ha sido una iniciativa piloto a través de la cual se ha generado información geográfica para el corredor seco de Honduras, que se espera pueda ser mejorada con la incorporación de nueva información biofísica generada en el transcurso del tiempo, así como a través de la retroalimentación de los usuarios. Los usos de estas herramientas van dirigidos a la identificación de puntos en los que se puedan realizar derivaciones para tomas de agua o en los que se puedan construir lagunas de cosecha de agua lluvia. Asimismo, proporciona opciones viables de ruta para llevar el agua desde la fuente hasta el punto en el que se hará uso de ella. La herramienta también da a conocer el estado de cobertura vegetal y uso de suelo de las microcuencas en las que están ubicados los potenciales proyectos, brindando información básica para la implementación de actividades de manejo.

Las herramientas no señalan lugares específicos en dónde construir proyectos de agua. Más bien ofrece opciones a los usuarios acerca de dónde se encuentran los lugares con mayor potencial para desarrollar tales proyectos en determinada región. Los técnicos usuarios deberán evaluar en campo la idoneidad de estos sitios potenciales, apreciando las cantidades y la calidad de agua disponible y siguiendo posteriormente los lineamientos administrativos y legales sobre el uso del agua, estipulados en el marco político legal hondureño.

Estas herramientas han sido desarrolladas como un insumo para el uso racional del agua, para aumentar la producción y productividad agrícola de pequeños productores y fortalecer su adaptación y resiliencia al cambio climático, alcanzar la seguridad alimentaria y una mejor nutrición para la población de escasos recursos, y contribuir a la protección del ambiente. En este sentido, estas herramientas buscan apoyar el manejo integral del agua y las cuencas, y de ninguna manera debe utilizarse fuera de este contexto.

Se espera que el uso de estas herramientas motive el desarrollo de otras aplicaciones, no solo sobre agua, sino también sobre agricultura y el manejo de recursos naturales. De igual modo, en un ambiente en el que cada día existe más presión y competencia por el agua como recurso vital, se espera que contribuyan a los esfuerzos que hacen las autoridades gubernamentales para crear mejores condiciones para la administración, distribución y uso de los recursos hídricos.

Administrar agua de manera que cumpla nuestras diversas necesidades y su conservación misma, incluyendo las necesidades de los ecosistemas, es esencial para un desarrollo sostenible y equitativo.

Mayo de 2016

Contenido

I. Manual práctico para el usuario AGRI (AGua para Riego) v.1	1
I.1 Aspectos generales y enfoque metodológico.....	2
I.1.1 Contexto y objetivos de AGRI v.1	2
I.1.2 Descripción técnica de AGRI v.1	3
I.1.3 ¿Cuáles criterios de selección tiene en cuenta AGRI v.1 para evaluar fuentes de agua?	4
I.1.4 Enfoque metodológico para identificar opciones de puntos para tomas de agua.....	4
I.1.5 Enfoque metodológico para identificar áreas potenciales para cosecha de agua lluvia de escorrentía.....	5
I.1.6 Descripción de información fuente utilizada por AGRI v.1	6
I.2 Guía paso a paso para el uso de la herramienta AGRI v.1	8
I.2.1 Estructura de AGRI v.1	8
I.2.2 Configuraciones antes de iniciar	9
I.2.3 Utilización de la herramienta	11
I.2.4 Conversión de los puntos geográficos de zonas de interés de cultivo a un “shapefile”.....	13
I.2.5 Identificación de posibles rutas para conducir agua	14
I.2.6 Identificación de la ruta definitiva al mejor punto definido para realizar toma de agua.....	16
I.2.7 Delineamiento de área de drenaje a puntos de interés para tomas o cosechas de agua.....	17
I.2.8 Exportación de los resultados a KML	18
I.2.9 Convertir los resultados de KML a GPX	20
2. Metodología para calcular deforestación y uso de suelo	21
2.1 Cálculo de áreas deforestadas	21
2.2 Herramienta de cálculo de áreas de uso del suelo	26
3. Resumen del marco regulatorio aplicable al uso del agua en Honduras.....	31
3.1 Introducción.....	31
3.2 Contexto	31
3.3 Marco normativo sobre uso del agua para riego a pequeña escala en Honduras.....	32
3.4 Recomendaciones a tener en cuenta para el aprovechamiento del agua para riego.....	33
Referencias	34

I. Manual práctico para el usuario AGRI (AGua para Riego) v.1

Fredy Monserrate, Jefferson Valencia, Marcela Quintero y Mayesse Da Silva (CIAT)



Foto: CIAT.

Taller de capacitación en herramienta AGRI v.1 en EAP Zamorano.

Aclaración

El presente manual práctico para el usuario muestra los principales pasos para el funcionamiento de la herramienta AGRI v.1, cuyo objetivo es apoyar la toma de decisiones sobre la identificación de fuentes de agua superficiales para proyectos de riego de pequeña escala en seis departamentos del occidente de Honduras – Copán, Ocotepeque, Santa Bárbara, Intibucá, Lempira y La Paz.

Esta herramienta es un producto desarrollado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en el marco del convenio “Tool for identifying viable sites for small irrigation projects” [*Herramienta para identificar sitios viables para pequeños proyectos de riego*], suscrito con USAID/Honduras y en colaboración con la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP Zamorano). Para poder usar la herramienta de forma adecuada, se debe tener instalado ArcGIS 10.1 (Service Pack 1) o superior y Google Earth.

Las instituciones vinculadas en el desarrollo de AGRI v.1 no garantizan que esta cumpla con las expectativas o requerimientos de cada usuario o que esté libre de errores. El uso adecuado de esta herramienta es responsabilidad del usuario, quien debe seguir los lineamientos contenidos en este manual, así como observar el marco legal vigente para el uso y manejo del recurso hídrico en Honduras.

I.1 Aspectos generales y enfoque metodológico

I.1.1 Contexto y objetivos de AGRI v.1

El acceso limitado al agua, tanto en espacio como en tiempo, que tienen los agricultores del occidente de Honduras es una de las principales restricciones para incrementar su productividad agrícola y mejorar su seguridad alimentaria. Esta limitación de acceso al recurso hídrico está dada por la estacionalidad climática de la región marcada por uno a dos meses de extrema sequía, denominados “canícula”, lo cual limita la producción continua y diversificada de cultivos. Esta situación se exacerba por la falta de infraestructura hídrica que incrementa la disponibilidad del agua en épocas de escasez y por el cambio climático.

Dada esta problemática, el Gobierno de Honduras en conjunto con USAID, en el marco de su programa *Feed the Future*, están orientando esfuerzos técnicos y financieros para ampliar la cobertura de sistemas de riego para pequeños agricultores en seis departamentos del occidente de Honduras – Copán, Ocotepeque, Santa Bárbara, Intibucá, Lempira y La Paz. Para lograr la efectividad de estos esfuerzos, es necesario evaluar las características del terreno y la disponibilidad de agua de manera previa a los diseños de estos sistemas, de tal manera que estos se encuentren acorde a la oferta ambiental y a la demanda agrícola.

AGRI v.1 es una herramienta que provee información a los técnicos y profesionales que trabajan en el diseño de sistemas de riego para pequeños productores en relación a posibles fuentes de agua. Específicamente, la herramienta permite identificar posibles fuentes de agua para dotar a los sistemas de riego con agua superficial. Esto comprende dos opciones de fuentes de agua: agua azul¹ y agua verde,² para dos tipos de estrategias de abastecimiento del recurso, respectivamente:

Tomas hechas desde los cuerpos de agua hasta los campos de cultivo (Agua Azul): AGRI v.1 se enfoca en identificar sitios potenciales de toma de agua desde cauces de ríos o pequeños drenajes que se encuentren en zonas que por altitud permitan transportar el agua a la zona de cultivo por medio de la gravedad. En el caso de que la fuente de agua esté debajo del cultivo, se deberán considerar otras opciones para la conducción de agua hasta los cultivos como, por ejemplo, arietes hidráulicos (siempre que existan las condiciones para instalarlos) u otro mecanismo, los cuales no se encuentran incluidos en esta herramienta.

Cosecha de agua lluvia por medio de la construcción de reservorios para captar agua de escorrentía (Agua Verde): En este caso, se busca una posición estratégica en el paisaje, que capture el flujo superficial del agua lluvia de escorrentía. Esta posición debe contar con características de suelos, clima, formas del terreno y pendiente que favorezcan el almacenamiento del agua por la mayor cantidad posible de días o semanas. En este análisis, también se busca que el transporte del agua hasta las parcelas sea por gravedad para evitar costos adicionales.

El diseño de AGRI v.1 tuvo en cuenta los criterios y requerimientos para la identificación de fuentes de agua y de sitios para extracción (tomas de agua) o almacenamiento (cosecha de agua lluvia) sugeridos por USAID/Honduras y los usuarios potenciales de la herramienta, como lo son los técnicos de campo que evalúan, diseñan e implementan los sistemas de riego mencionados. A continuación, se enumeran los principales requerimientos planteados para el desarrollo de AGRI v.1:

1. La herramienta debe apoyar la búsqueda de las **fuentes de agua más cercanas** a las zonas de cultivo de interés, a partir de las cuales se pueda conducir el agua por **gravedad** hasta las parcelas de cultivo.

1. Agua azul: Agua extraída de un cuerpo de agua superficial o subterránea que es usada en un proceso productivo.

2. Agua verde: Agua proveniente de la lluvia, que es usada en un proceso productivo y que en algunos casos se puede almacenar en un reservorio.

2. Debe buscar fuentes de agua “**permanentes y de suficiente suministro**” para realizar posibles tomas de agua.
3. Adicionalmente, debe proporcionar la ubicación de **sitios con potencial para cosecha de agua de escorrentía**.
4. Es de vital importancia tener en cuenta las **zonas de protección** de fuentes de agua para consumo humano y otras áreas protegidas, evitando posibles conflictos por el uso del agua.
5. La herramienta debe ser **amigable, de fácil uso**, para técnicos y agrónomos.
6. La herramienta debe ser desarrollada con **información de fácil y libre acceso** en el país.

1.1.2 Descripción técnica de AGRI v.1

AGRI v.1 es una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) desarrollada para ArcGIS 10.1^o o versiones posteriores³ y programada en el lenguaje computacional Python 2.7. Esta herramienta está diseñada para que el usuario pueda generar información en tres etapas:

1. Importar la localización de la primera parcela del distrito de riego a implementar. Esto se puede hacer con archivos desde Google Earth (*.kml o *.kmz), desde archivos de GPS (*.gpx) o haciendo uso de las coordenadas descargadas del GPS por medio de Map Source^o (*.gdb).
2. Encontrar las fuentes de agua y trazar la mejor ruta para instalar las tuberías o líneas de conducción del agua. Este es el núcleo y proceso fundamental de AGRI v.1 y detrás de este se hallan las soluciones para encontrar tomas de agua y puntos para hacer reservorios de cosecha de agua lluvia. Adicionalmente, es posible hacer ajustes en la localización definitiva de la fuente de agua, con base en la visita de campo, y por consiguiente ajustar una ruta definitiva. Además, calcula las áreas de drenaje de cada fuente de agua identificada.
3. Exportar los archivos para su uso y navegación en el campo. En este caso, los resultados se pueden observar directamente en ArcGIS^o, ser exportados a Google Earth (formato *.kml o *.kmz) o a un archivo para ser visualizado en el GPS (formato *.gpz).

Las etapas descritas anteriormente se enmarcan dentro de un proceso que comienza y culmina en el campo y que busca facilitar la identificación de sitios y rutas, como se mencionó anteriormente en la sección 1.1.1. La Figura 1-1 muestra el flujo que se debe llevar a cabo para identificar fuentes de agua para un proyecto de riego en el occidente hondureño.

3. A excepción de la versión 10.4. Se espera que con la actualización y corrección de errores de esta versión de ArcGIS, AGRI v.1 se pueda ejecutar correctamente en el futuro.



Figura 1-1. Flujograma para identificación de fuentes de agua con AGRI v.1.

1.1.3 ¿Cuáles son los criterios de selección que tiene en cuenta AGRI v.1 para identificar posibles fuentes de agua?

A partir de las necesidades de los usuarios presentadas en la sección anterior, se establecieron las siguientes reglas de decisión dentro de AGRI v.1, para encontrar posibles sitios donde se pueda tomar/capturar y almacenar agua para cultivos:

- La herramienta debe permitir buscar opciones de fuentes de agua en un radio definido por el usuario desde el punto más elevado de la zona de cultivo de interés, denominado dentro de la herramienta como “Parcela”.
- Los posibles sitios de fuentes de agua deben cumplir con una diferencia de altitud con relación a la parcela que permita transportar el agua por gravedad. Estos no estarán localizados en pequeños nacedores o drenajes de primer orden.
- Los sitios para realizar cosecha de agua serán sitios con gran potencial de escurrimiento hídrico, sitios cóncavos y con pendientes adecuadas para la construcción de un reservorio.
- Cualquier fuente de agua que se encuentre en una zona protegida será descartada del análisis.

1.1.4 Enfoque metodológico para identificar opciones de sitios para tomas de agua

El proceso para determinar los posibles sitios de toma de agua tiene en cuenta los criterios anteriormente descritos sobre su localización con relación a la parcela. Para definir la mejor ruta desde los posibles sitios identificados hasta la parcela, AGRI v.1 toma información sobre la pendiente generada a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE), la cobertura vegetal y las áreas protegidas. Las fuentes de esta información se describen en la siguiente sección.

Tanto la pendiente, la cobertura vegetal como la ubicación de áreas de protección son factores de dificultad/facilidad que fueron tenidos en cuenta para construir una superficie de costo mediante una superposición ponderada de estos factores. El propósito de esta superficie es determinar el “costo/esfuerzo” de transportar agua desde un punto a otro (Figura 1-2). En otras palabras, para encontrar la mejor ruta desde el sitio de toma de agua hasta la zona de cultivo seleccionada por el usuario, se identifica la ruta de menor costo teniendo en cuenta los factores anteriormente

mencionados. Por ejemplo, las rutas con mayores valores (según la ponderación dada a cada factor) son aquellas que AGRI v.1 evitará por tener coberturas boscosas y/o zonas urbanas, pendientes altas o que pasen por áreas protegidas.

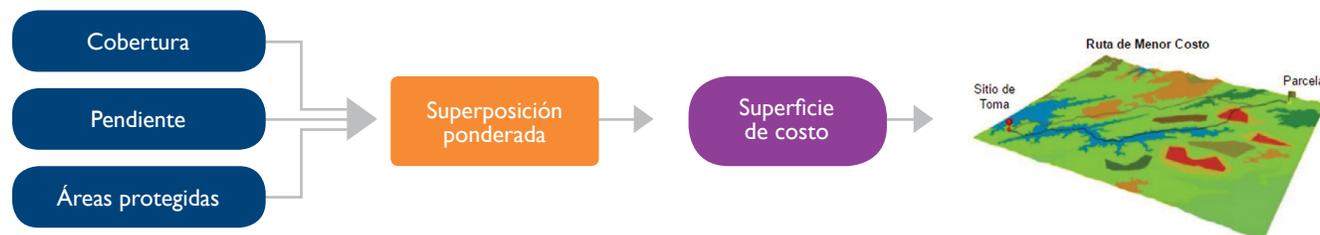


Figura 1-2. Diagrama general para determinar sitios de toma de agua. Fuente imagen (derecha): www.acolita.com

1.1.5 Enfoque metodológico para identificar sitios potenciales para cosecha de agua lluvia de escorrentía

La identificación de sitios factibles para realizar cosecha de agua se realizó mediante la aplicación de cuatro fases metodológicas (Figura 1-3). En la primera, se construyó un índice de factibilidad de cosecha de agua (IFC), para lo cual se buscó tener sitios con mayor fracción de escorrentía (Fe) (relación entre la escorrentía y la precipitación), menores pendientes para facilitar la construcción del reservorio (m), mayores contenidos de arcillas para evitar alta infiltración de agua en el suelo (Ar), mayor índice topográfico de humedad (TWI) y curvatura del terreno (C) cóncava o negativa, asegurándose que el agua drene por el sitio en épocas de invierno y pueda ser almacenada y utilizada en época seca. En esta etapa, se excluyeron áreas protegidas, cuerpos de agua con sus zonas de protección y áreas urbanas.

En la segunda fase, se filtró el mapa de IFC, seleccionando las áreas con valores mayores al 75% de la distribución de cada variable que conforma el IFC, es decir, mayores Fe, Ar, TWI y menores TWI y C. Además, se excluyeron del resultado zonas con áreas de drenaje menores a 2.7 ha. Esto último con el fin de tener puntos con suficiente área de drenaje de agua de escorrentía.

En la tercera fase, dentro de cada área con alto IFC, fue seleccionado el punto de mayor índice y flujo de agua. Se debe resaltar que estos puntos representan áreas en donde se podría construir un reservorio de mínimo 2.700 m² y su área de recarga sería como mínimo 10 veces mayor, es decir, de 2.7 ha.

Finalmente, en la cuarta fase, fue realizado un balance de agua general para el reservorio, en donde se sustraen las pérdidas de agua por evaporación del reservorio y filtraciones en el suelo, de la escorrentía promedio que puede ser potencialmente almacenada. El resultado obtenido es un estimado del agua utilizable del reservorio. En este paso, se eliminaron puntos con cantidades de agua utilizable menores a 5.000 m³.

Es importante aclarar que las cantidades de agua “cosechable” son estimaciones generales y debe hacerse un estudio más detallado en cada caso, debido a que no fue posible realizar una calibración del balance hídrico y respectivos ajustes de los datos de escorrentía por la falta de datos de caudal observado en las zonas de estudio.

Una vez la herramienta identifica sitios potenciales para cosecha de agua lluvia de escorrentía, AGRI v.1 permite seleccionar de estos sitios aquellos que tienen una posición de altitud mayor a la de la zona de cultivo de interés. Esto lo realiza AGRI v.1 con el mismo procedimiento utilizado para identificar tomas de agua, por lo que adicionalmente se genera la mejor ruta de conducción entre el reservorio y la parcela. Esto se incluye con la finalidad de evitar mayores gastos para transportar el agua.

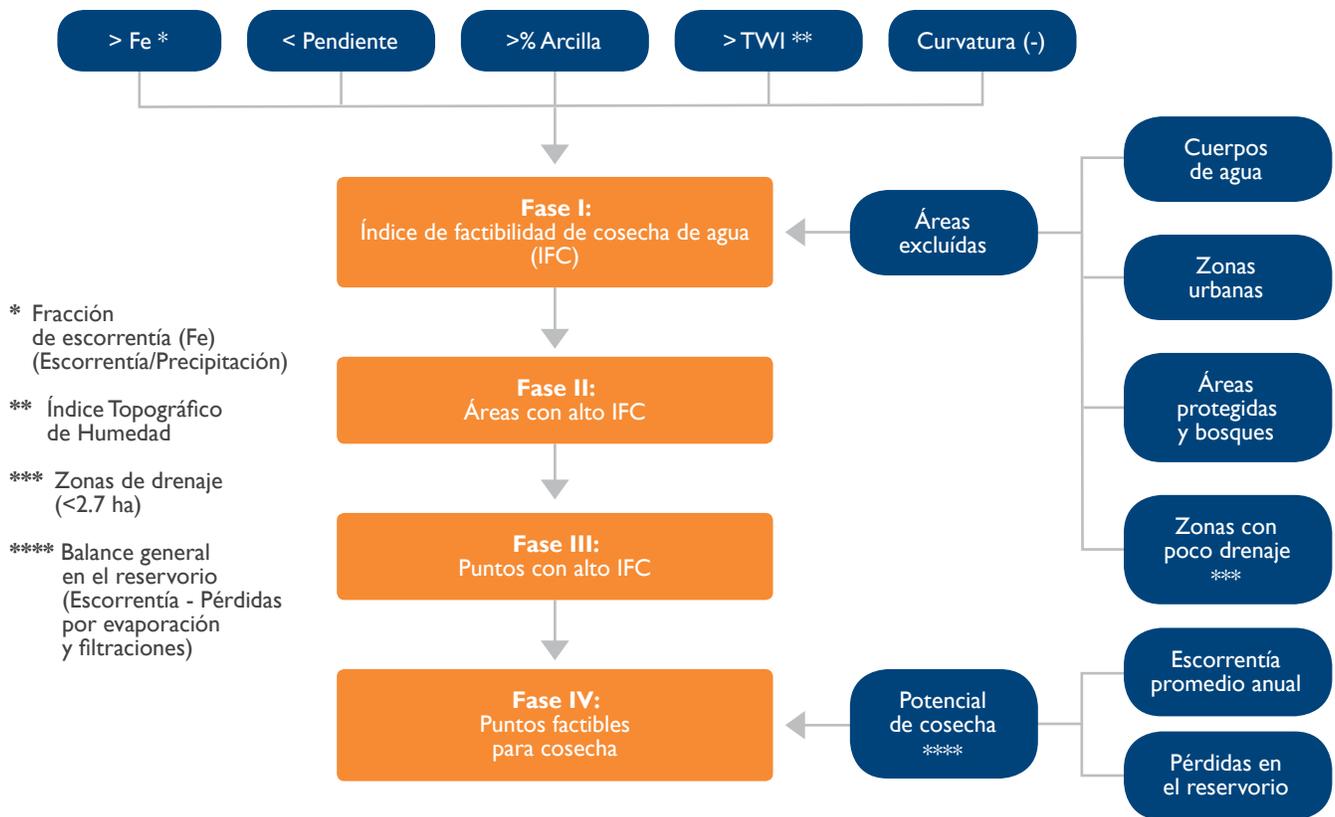


Figura I-3. Diagrama general para determinar sitios factibles para la cosecha de agua de escorrentía.

1.1.6 Descripción de información fuente utilizada por AGRI v.1

Como fue mencionado en la sección 1.1.1, esta herramienta se desarrolló con información libre y disponible para su uso y se asumió que la incertidumbre y precisión de la misma es la adecuada para el desarrollo de la herramienta. Por tal motivo, los resultados deben tomarse con precaución y hacer las verificaciones y validaciones en cada caso. A continuación, se describe la información utilizada en el desarrollo de AGRI v.1 y con la cual fueron generadas los insumos para su funcionamiento.

Clima. Fueron usados los datos de precipitación y evapotranspiración potencial mensual para el período comprendido entre enero de 2000 a diciembre de 2015. Las fuentes de información fueron bases de datos públicas y con información proveniente de sensores remotos. En el caso de la precipitación, fue usada la información mensual de CHIRPS⁴ (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), que hace una estimación con 5 km de resolución espacial de la precipitación en función de la nubosidad y condiciones atmosféricas, y las compara con registros de precipitación en tierra.

En el caso de la evapotranspiración de referencia, fue usada la información proveniente del producto 16 del satélite MODIS (MOD16),⁵ el cual hace una estimación diaria, mensual o anual de la evapotranspiración de referencia, haciendo uso de la ecuación de Penman-Monteith y las observaciones sobre la radiación terrestre del satélite.

4. <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/>

5. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproducts.php?MOD_NUMBER=16

Suelos. Mediante la aplicación del enfoque de mapeo digital de suelos (MDS), funciones de pedo-transferencia y análisis espacial, así como del uso de la base de datos de González et al. (2008), se generaron seis mapas con una resolución de 30 metros de variables físicas e hidrológicas del suelo para la zona de estudio y el desarrollo de la herramienta. Estos mapas fueron los contenidos de arcillas (Ar), arenas (A) y limos (L) y los contenidos de humedad del suelo a capacidad de campo, punto de marchitez permanente y la capacidad de almacenamiento de agua total.

En primer lugar, se trabajó con la base de datos de González et al. (2008) que contenía información de los porcentajes de Ar, A, L y materia orgánica; sin embargo, en el caso de la última variable habían datos faltantes, por lo que fue usada la base de datos global ISRIC⁶ para completar la información. Luego, haciendo uso de funciones de pedo-transferencia de acuerdo a Saxton & Rawls (2006), fueron estimados el punto de marchitez permanente, capacidad de campo y la capacidad de almacenamiento de agua para todas las observaciones de la base de datos.

Con la base de datos de suelos modificada en el paso anterior, fue realizado el MDS, para lo cual fueron usados el 80% de los datos (1.509) junto a variables topográficas derivadas del Modelo Digital de Elevación (MDE) (*aspect, mid-slope position, normalized height, plan and profile curvature, slope* y *topographic wetness index*) y el uso de un modelo geoestadístico híbrido (*Regression Kriging*). Adicionalmente, con los restantes 20% de los datos, se verificó el error de las estimaciones sin que este superará el 18%.

Finalmente, se debe aclarar que estos mapas son un re-análisis de los generados por González et al. (2008) y los resultados deben tomarse con precaución, debido a que no fue posible hacer una verificación de la base de datos usada en el mapa original. Adicionalmente, estos pueden ser mejorados cuando sean involucradas otras variables de suelos y observaciones de campo, con los cuales los modelos geo-estadísticos podrían reflejar resultados con mayor precisión.

Modelo Digital de Elevación (MDE). Con el fin de representar la topografía de la zona de estudio, se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) a una resolución espacial aproximada de 30 metros. Este fue descargado de la página EarthExplorer⁷ de la agencia United States Geological Survey (USGS). Este modelo fue utilizado tanto para determinar las características hidrológicas, las cuales fueron los outlets o posibles sitios para toma de agua, la red de drenaje y las cuencas asociadas a dichos outlets, como para el cálculo de la pendiente, la concavidad y el índice topográfico de humedad del territorio de estudio.

Antes de obtener dichas características hidrológicas, fue necesario hidro-condicionar el MDE, con el fin de remover los sumideros artificiales, creados posiblemente por los métodos de interpolación utilizados para su creación o fallas en el momento de la toma de datos. Es necesario remover estos sumideros de la superficie del MDE, con el fin de permitir que los drenajes sean continuos y sigan, en la medida de lo posible, los patrones reales del paisaje. Para este proceso, se utilizó la herramienta “Optimized Pit Removal v1.5.1” desarrollada por Jackson (2012). Después de tener un modelo libre de sumideros, se utilizó el paquete de herramientas Arc Hydro (Djokic et al., 2011) para finalmente obtener las características hidrológicas mencionadas anteriormente.

Cobertura/uso del suelo. El mapa de cobertura vegetal fue suministrado por el Instituto de Conservación Forestal (ICF). Este mapa fue elaborado a una escala mínima de 1:25.000 con clasificación Corine Land Cover y generado a partir de imágenes satelitales RapidEye del 2012 y 2013 con 5 metros de resolución espacial (Duarte et al., 2014).

Áreas protegidas. Dado que algunas cuencas han sido declaradas desde 1987 como cuencas protegidas, estas también fueron tenidas en cuenta como factor de dificultad/facilidad. Dichas cuencas fueron declaradas protegidas dado que proveen agua potable principalmente a la población rural (Cardona, 2010). Adicionalmente, fueron tenidas en cuenta las zonas núcleo de las áreas protegidas al 2016. Estas delimitaciones fueron realizadas por el ICF.

6. www.isric.org/content/data

7. Distribución libre en <http://earthexplorer.usgs.gov/>

1.2 Guía paso a paso para el uso de la herramienta AGRI v.1

En esta sección, se presenta una guía paso a paso para el uso de AGRI v.1 y se describe la estructura de archivos que acompañan esta herramienta.

1.2.1 Estructura de AGRI v.1

A continuación, se describe la estructura de las carpetas, la información de referencia organizada en el archivo *AGRI_V.1.mxd*, las variables de entrada (*Inputs.gdb*) e información de referencia (Figura 1-4). La carpeta de mayor importancia para el funcionamiento de AGRI v.1 es *WH_Tools*. Esta carpeta contiene la base de datos *Inputs.gdb*, que es la información fuente para el aplicativo, la carpeta *Tools* que contiene librerías adicionales y la caja *AGRI.tbx*, que contiene las rutinas para el funcionamiento de la herramienta.

La base de datos geográfica *Inputs.gdb* almacena dos feature datasets de puntos que son *cosecha* y *outlets*, los cuales contienen la localización de los sitios potenciales para cosecha y toma de agua, respectivamente. El feature dataset de líneas *DrainageLine* que contiene la red de drenajes. El feature dataset de polígonos *Protected_Areas*, que contiene las cuencas y zonas núcleo de áreas protegidas. Finalmente, también se encuentran almacenados los rásters del Modelo Digital de Elevación (*DEM*), la superficie de acumulación de flujo (*Fac*), la dirección de flujo (*Fdr*), la pendiente en grados (*slope*) y las superficies de costo, para definir las rutas más adecuadas (*cost_surface* y *cost_surface2*). Más adelante en este manual, se detallará el uso de cada uno de estas entradas. Por su parte, en la carpeta *info_inputs*, se encuentra toda la información de referencia que está organizada en el archivo *AGRI_V.1.mxd*.

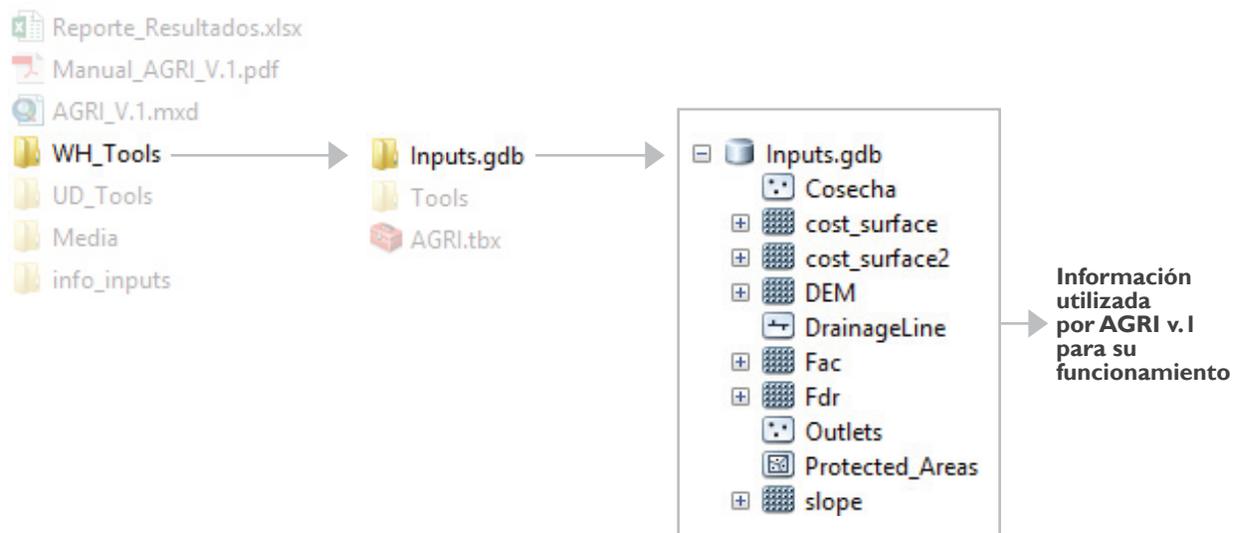
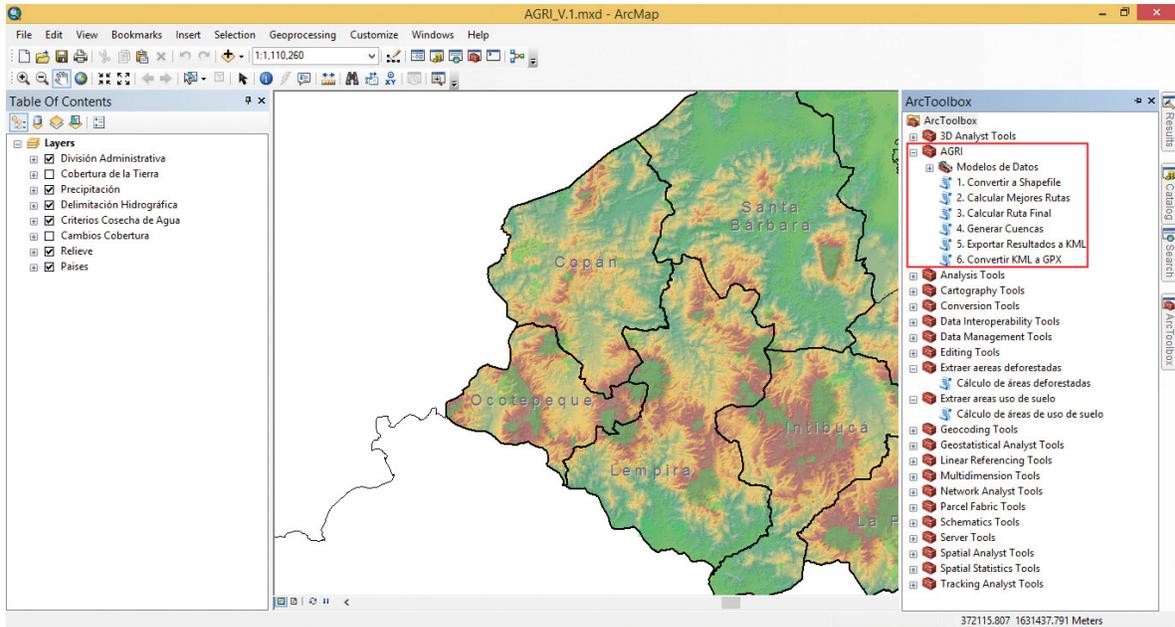


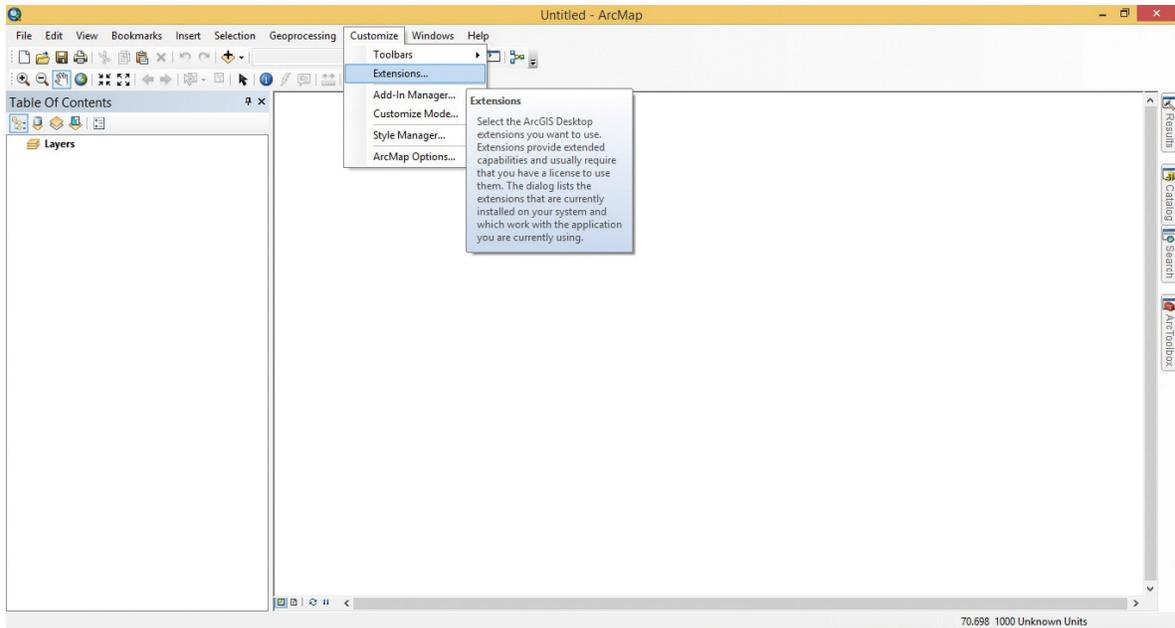
Figura 1-4. Estructura de los archivos incluidos en AGRI v.1.

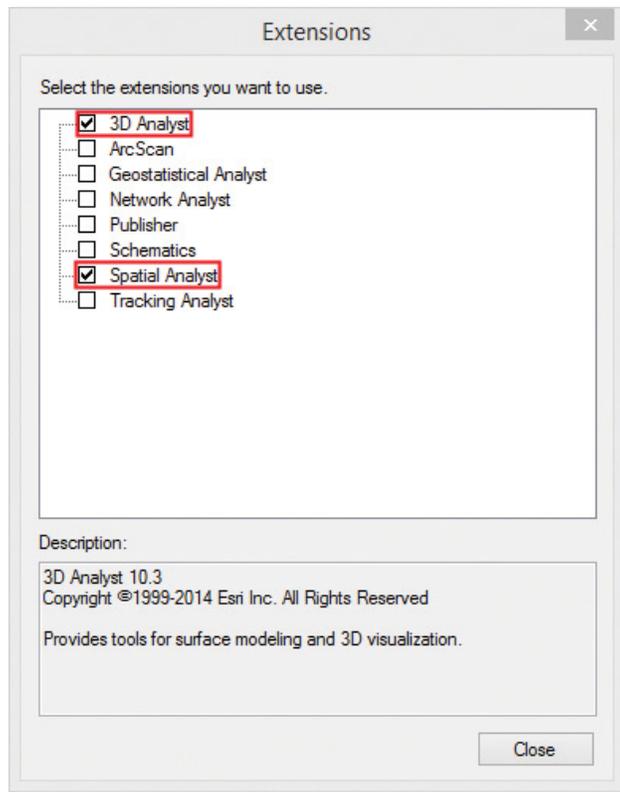
Luego de abrir el archivo *AGRI_V.1.mxd*, se puede observar la información de referencia y en el ArcToolBox de ArcGIS® se encuentra cargada la herramienta AGRI v.1. Más adelante, se detallarán los procedimientos a seguir para su funcionamiento.



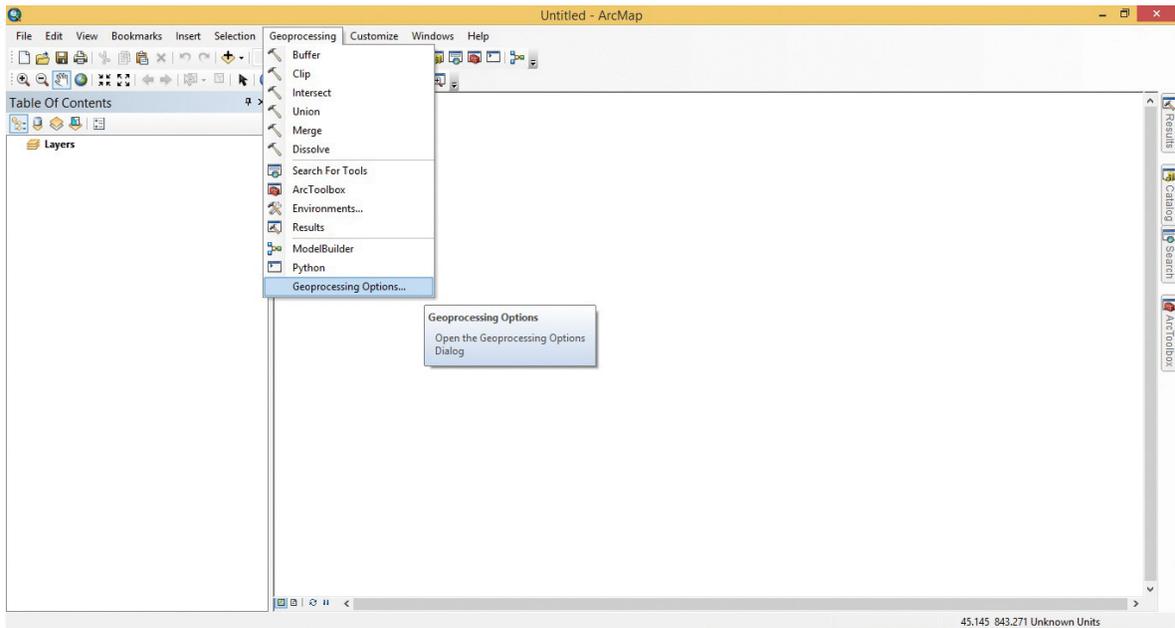
1.2.2 Configuraciones antes de iniciar

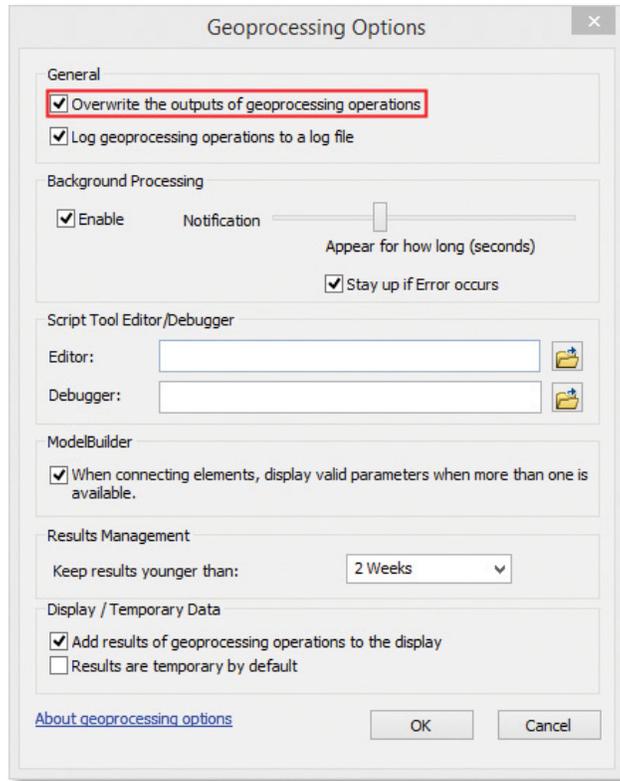
Después de abrir ArcMap, asegúrese de tener activadas las extensiones *3D Analyst* y *Spatial Analyst* en *Customize>Extensions*:





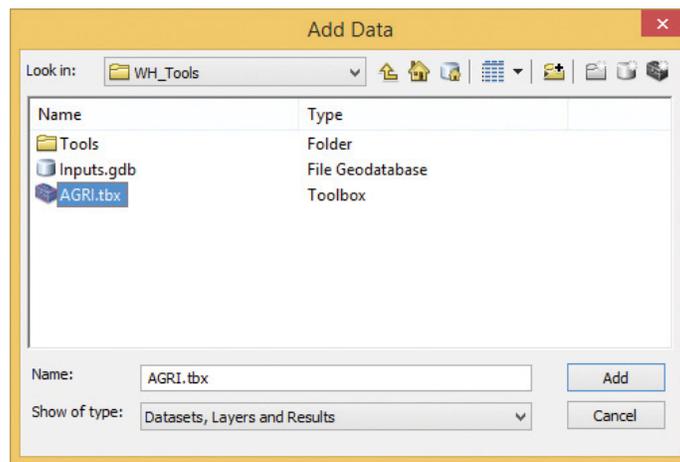
Posteriormente, es necesario configurar las opciones de geoprocresamiento en *Geoprocessing > Geoprocessing Options*:





1.2.3 Utilización de la herramienta

Cargar la caja de herramientas. AGRI v.1 fue desarrollado como una caja de herramientas de ArcGIS. Esta caja comprende seis (6) herramientas las cuales serán descritas posteriormente. Para cargar dicha caja de herramientas, se debe realizar el proceso usual de cargar cualquier capa en ArcMap mediante *Add Data* . Después de navegar hasta la ruta donde esta se encuentra, se presiona el botón *Add* en la ventana emergente de búsqueda.

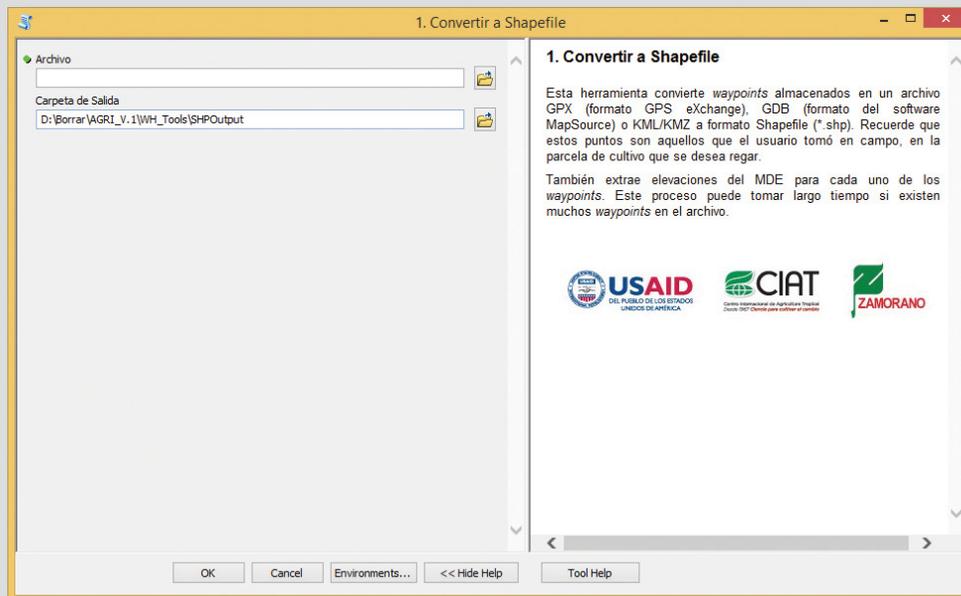


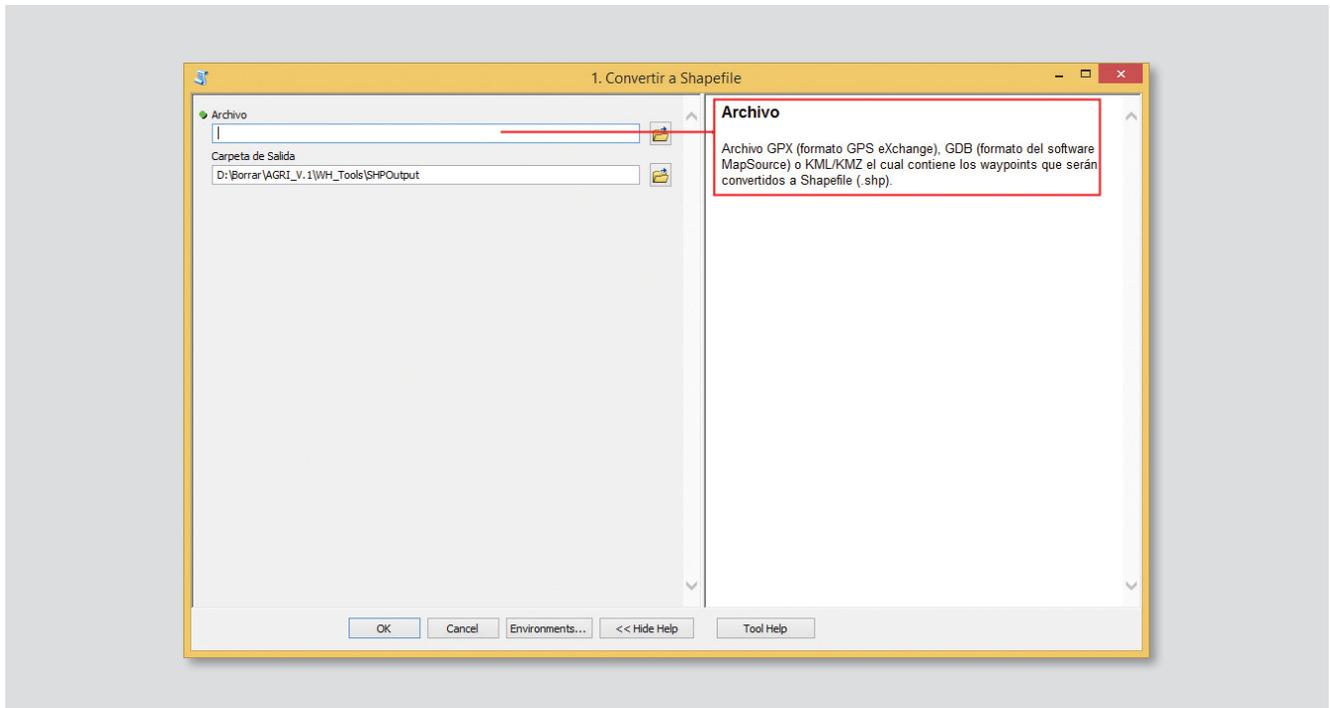
Después de cargar AGRI v.1 en ArcMap, en el *ArcCatalog*, se puede apreciar cómo luce y qué herramientas contiene:



¿Cómo puedo consultar la ayuda en cada paso?

Al abrir cualquiera de las herramientas, al lado derecho de la ventana, se podrá ver la descripción de lo que hace la herramienta. Además, si se coloca el cursor del ratón en cada campo, se podrá ver de igual manera la descripción de dicho campo.

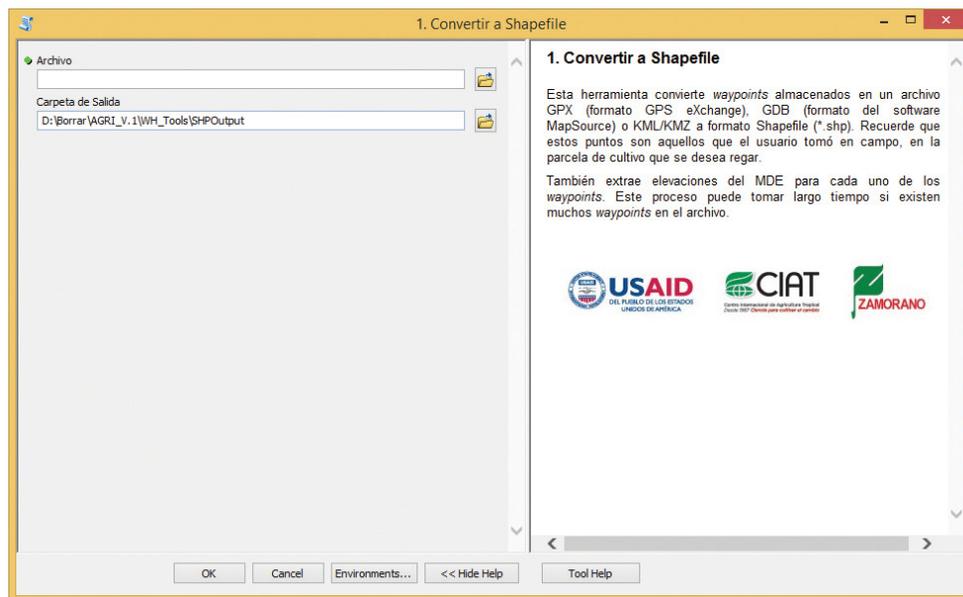




1.2.4 Conversión de los puntos geográficos de zonas de interés de cultivo a un “shapefile”

Esta herramienta convierte *waypoints* almacenados en un archivo GPX (formato GPS eXchange), GDB (formato del software MapSource) o KML/KMZ a formato Shapefile (*.shp). Recuerde que estos puntos son aquellos que el usuario tomó en campo, en la parcela de cultivo que se desea irrigar.

También extrae elevaciones del MDE para cada uno de los *waypoints*. Este proceso puede tomar largo tiempo si existen muchos *waypoints* en el archivo.



Descripción de los campos de la ventana “1. Convertir a Shapefile”:

Archivo: Archivo GPX (formato GPS eXchange), GDB (formato del software MapSource) o KML/KMZ, el cual contiene los *waypoints* que serán convertidos a Shapefile (*.shp).

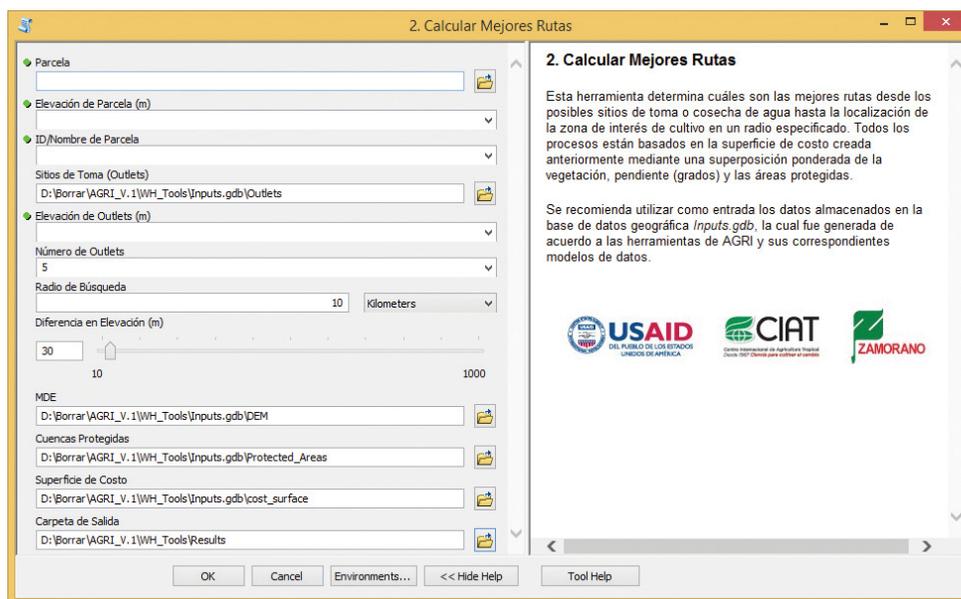
Carpeta de salida: Carpeta donde se almacenará el Shapefile resultante. En esta carpeta, también es posible encontrar el archivo GPX (GPS eXchange), el cual es utilizado como archivo intermedio en la conversión cuando el archivo de entrada es un GDB.

Nota: Es importante mencionar que el buen manejo de la carpeta de salida, tanto de esta herramienta como de las otras cinco, es de suma importancia para que no se presenten inconvenientes cuando se lleven a cabo múltiples corridas. Si la carpeta no existe, la herramienta la creará y si, por el contrario, la carpeta existe, esta será reemplazada. Por lo tanto, es muy importante que, para cada corrida, la carpeta de salida tenga diferente nombre.

1.2.5 Identificación de posibles rutas para conducir agua

Esta herramienta determina cuáles son las mejores rutas desde los posibles sitios de toma o cosecha de agua hasta la localización de la zona de interés de cultivo en un radio especificado. Todos los procesos se basan en la superficie de costo creada anteriormente mediante una superposición ponderada de la vegetación, pendiente (grados) y las áreas protegidas (ver sección anterior).

Se recomienda utilizar como entrada los datos almacenados en la base de datos geográfica *Inputs.gdb*, la cual fue generada de acuerdo a las herramientas de AGRI y sus correspondientes modelos de datos.



Descripción de los campos de la ventana “2. Calcular Mejores Rutas”:

Parcela: Capa de puntos con solo un registro almacenado o con solo un punto seleccionado. Este punto representa la localización de la parcela para la cual serán calculadas las mejores rutas.

Elevación de la parcela (m): Campo de la tabla de atributos que contiene la elevación de la parcela, que pudo haber sido generado en el paso anterior o calculado manualmente por el usuario. Todos los posibles sitios de toma o captura de agua que tengan alturas mayores a la altura de la parcela y que excedan la “Diferencia en Elevación (m)” serán tomados en cuenta por el modelo.

ID/Nombre de la parcela: Campo de la tabla de atributos que contiene el ID o nombre de la parcela. Aunque la herramienta está diseñada para recibir acentos y espacios en el nombre, se recomienda no utilizarlos para evitar posibles errores al momento de ejecutarla. La máxima longitud de caracteres permitida es 10. Si el nombre contiene más de 10 caracteres, este será truncado a los primeros 10. Cualquier espacio encontrado en este campo será reemplazado por un guion al piso.

Sitios de toma (Outlets): Capa de puntos que representan los posibles sitios de toma o captura de agua (outlets/cosecha) desde los cuales se calcularán las mejores rutas para la parcela.

Elevación de outlets (m): Campo que contiene las elevaciones de los posibles sitios de toma o captura de agua (outlets/cosecha).

Número de outlets: Máximo número de sitios de toma o captura de agua (outlets/cosecha) a ser suministrados y que cumplen las condiciones de búsqueda definidas. Es posible definir este número en un rango de 1 a 10.

Radio de búsqueda: Distancia lineal utilizada para encontrar los sitios de toma o captura de agua (outlets/cosecha) más cercanos a la parcela. El valor por defecto es 10 km.

Diferencia en elevación (m): Con el fin de traer agua por gravedad a la parcela, la diferencia de altura entre cada posible sitio de toma o captura de agua (outlets/cosecha) y la parcela debe ser mayor a cero (0 m). Se recomienda utilizar el valor por defecto (30 m) o uno mayor.

MDE: Modelo Digital de Elevación utilizado para adicionar información de superficie a cada ruta suministrada por la herramienta.

Cuencas protegidas: Cuencas y zonas núcleo de áreas protegidas que fueron utilizadas como entrada para el proceso de superposición ponderada por medio del cual se generó la superficie de costo.

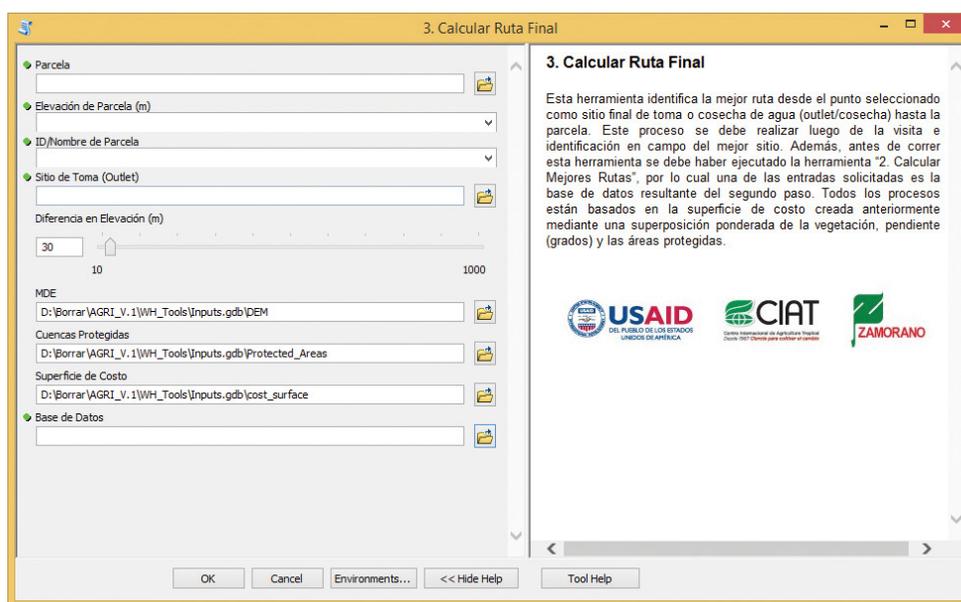
Superficie de costo: Ráster que representa el “costo” de atravesar/moverse a través de la superficie, con base en capas criterios como las son la vegetación, la pendiente y las áreas protegidas. Este ráster fue previamente generado mediante la superposición ponderada de dichas capas, las cuales a su vez habían sido reclasificadas en una escala de 1 a 10.

Nota: Existen dos superficies de costos. La superficie *cost_surface* cargada por defecto y en la cual las ponderaciones de la cobertura vegetal y la pendiente son las mismas; y la superficie de *costo cost_surface2*, la cual prioriza la pendiente.

Carpeta de salida: Carpeta donde la base de datos geográfica resultante será creada con todos los resultados de la corrida.

1.2.6 Identificación de la ruta definitiva al mejor sitio definido en campo para realizar toma o cosecha de agua

Esta herramienta identifica la mejor ruta desde el punto seleccionado como sitio final de toma o cosecha de agua (outlet/cosecha) hasta la parcela. Este proceso se debe realizar luego de la visita e identificación en campo del mejor sitio. Además, antes de correr esta herramienta, se debe haber ejecutado la herramienta “2. Calcular Mejores Rutas”, por lo cual una de las entradas solicitadas es la base de datos resultante del segundo paso. Todos los procesos se basan en la superficie de costo creada anteriormente mediante una superposición ponderada de la vegetación, pendiente (grados) y las áreas protegidas.



Descripción de los campos de la ventana “3. Calcular Ruta Final”:

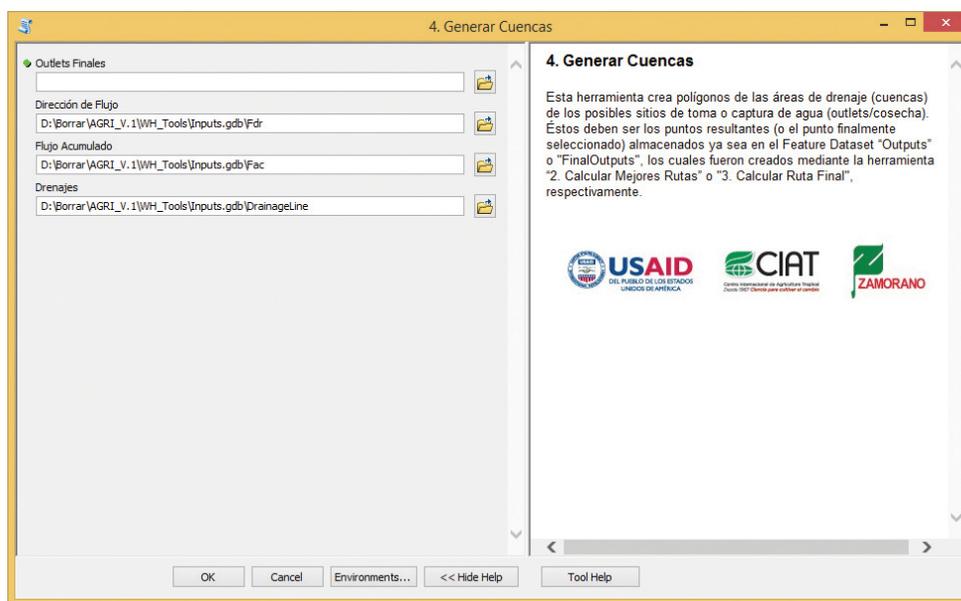
Sitio de toma (Outlet): Sitio de toma o captura de agua (outlet/cosecha) seleccionado finalmente para proveer agua como suministro para la parcela. La capa que contiene este sitio debe tener formato de punto tipo *shapefile* (*.shp) o *feature class*. En el caso de tener el sitio definitivo en otro formato (GPX, GDB, KML/KMZ), es necesario realizar la conversión respectiva, para lo cual se puede usar la herramienta “1. Convertir a Shapefile”.

Base de datos: Base de datos geográfica (*.gdb) generada en el paso “2. Calcular Mejores Rutas”.

Nota: Para los campos MDE, Cuencas protegidas y Superficie de costo, se recomienda usar las opciones por defecto.

1.2.7 Delineamiento de las áreas de drenaje de los puntos de interés para tomas o cosechas de agua

Esta herramienta crea polígonos de las áreas de drenaje (cuencas) de los posibles sitios de toma o captura de agua (outlets/cosecha). Estos deben ser los puntos resultantes (o el punto finalmente seleccionado), almacenados ya sea en el Feature Dataset “Outputs” o “FinalOutputs”, los cuales fueron creados mediante la herramienta “2. Calcular Mejores Rutas” o “3. Calcular Ruta Final”, respectivamente.



Descripción de los campos de la ventana “4. Generar Cuencas”:

Outlets finales: Outlets finales almacenados ya sea en el Feature Dataset “Outputs” o “FinalOutputs”, los cuales fueron creados mediante la herramienta “2. Calcular Mejores Rutas” o “3. Calcular Ruta Final”, respectivamente. Estos deberán estar almacenados en la base de datos resultante del paso 2.

Dirección de flujo: Ráster de dirección de flujo (*Fdr*) generado previamente a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM).

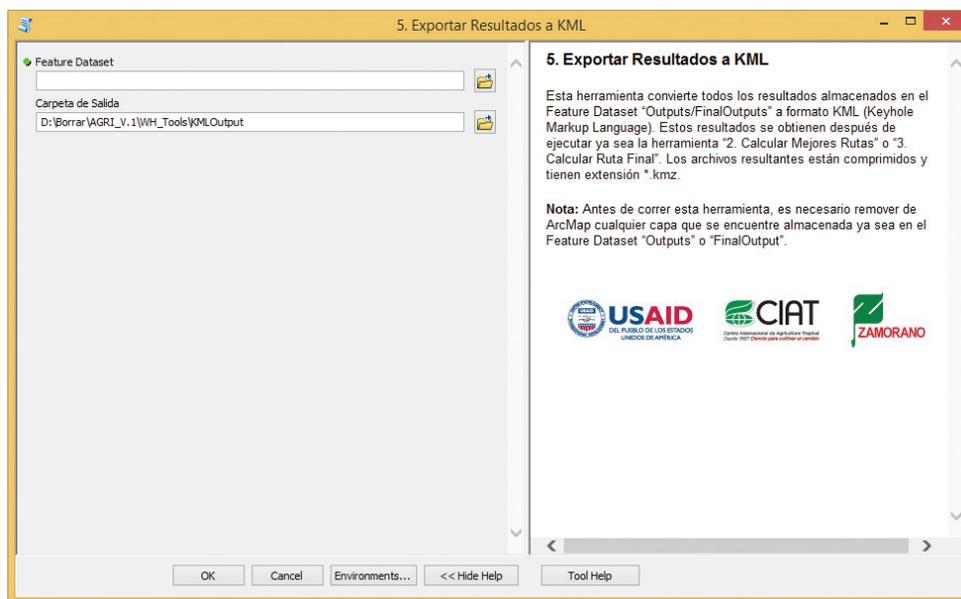
Flujo acumulado: Ráster de flujo acumulado (*Fac*) generado previamente a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM).

Drenajes: Red de drenaje (*DrainageLine*) generada previamente a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM).

1.2.8 Exportación de los resultados a KML

Esta herramienta convierte todos los resultados almacenados en el Feature Dataset “Outputs/FinalOutputs” a formato KML (Keyhole Markup Language). Estos resultados se obtienen después de ejecutar ya sea la herramienta “2. Calcular Mejores Rutas” o “3. Calcular Ruta Final”. Los archivos resultantes están comprimidos y tienen extensión *.kmz.

Nota: Antes de correr esta herramienta, es necesario remover de ArcMap cualquier capa que se encuentre almacenada ya sea en el Feature Dataset “Outputs” o “FinalOutput”.



Descripción de los campos de la ventana “5. Exportar Resultados a KML”:

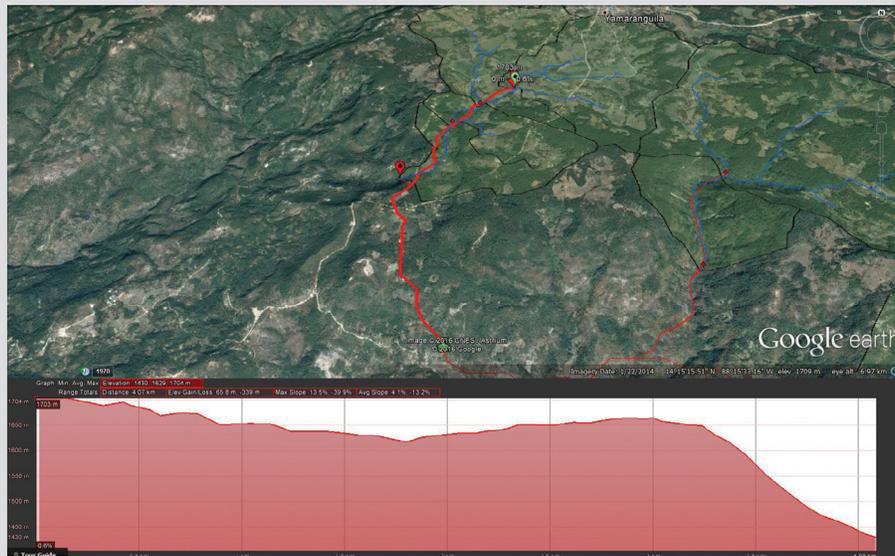
Feature dataset: Feature Dataset “Outputs” o “FinalOutputs” creado ya sea mediante la herramienta “2. Calcular Mejores Rutas” o “3. Calcular Ruta Final”, respectivamente.

Carpeta de salida: Carpeta donde serán almacenados los archivos KML.

Visualización en Google Earth del perfil de elevación de la ruta entre la parcela y la fuente de agua identificada:

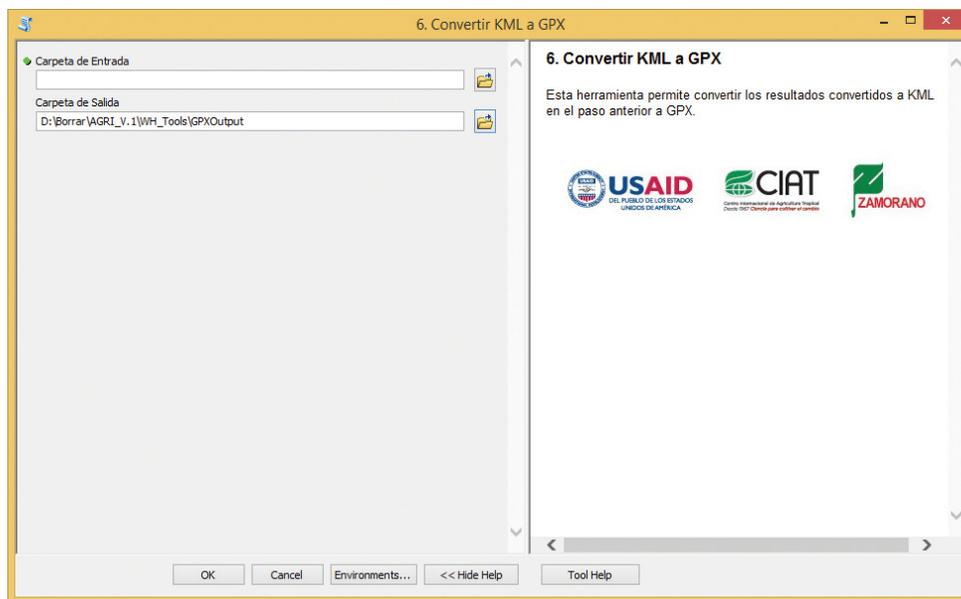
El perfil de elevación de una ruta ha sido identificado como uno de los criterios más importantes para seleccionar una fuente de agua y llevar el líquido por gravedad hasta la parcela. Por otro lado, Google Earth es una herramienta usada frecuentemente por los técnicos en el campo. Por tales razones, es posible visualizar en Google Earth los perfiles de elevación de las rutas proporcionadas por AGRI, de tal forma que facilite la toma de decisiones y se pueda planificar de forma adecuada la visita de campo para tomar la decisión de la mejor fuente de agua.

Para visualizar el perfil de elevación de una ruta en Google Earth, se debe dar clic derecho sobre la misma y seleccionar la opción “Show Elevation Profile”. En la siguiente figura, se muestra un perfil para una ruta generada por AGRI que podría ser considerada adecuada para transportar agua por gravedad hasta la parcela. Adicionalmente, se muestra un perfil que podría descartarse dadas sus características de elevación.



1.2.9 Convertir los resultados de KML a GPX

Esta herramienta permite convertir los resultados de KML del paso anterior a GPX.



Descripción de los campos de la ventana “6. Convertir KML a GPX”:

Carpeta de entrada: Carpeta donde están almacenados los archivos KML/KMZ.

Carpeta de salida: Carpeta donde serán almacenados los archivos GPX resultantes.

2. Metodología para calcular deforestación y uso de suelo

Glenn Hyman, Ruben Coppus, Oscar Bautista y Ovidio Rivera (CIAT)

Complementario al aplicativo para identificar sitios para tomas de agua y cosecha de agua, se han desarrollado dos herramientas en ArcGIS que permiten calcular el grado de deforestación y el uso de suelo en el área de drenaje de una toma de agua o de un sitio apto para cosecha de agua. El grado de deforestación y el uso del suelo proveen información útil sobre el estado de la conservación de la cobertura vegetal. La base de datos para calcular la deforestación proviene de Hansen et al. (2013) y el cálculo del uso de suelo se basó en el mapa desarrollado por el Instituto de Conservación Forestal (ICF) en 2014 (Duarte et al., 2014). Estos dos procesos superponen los límites de la subcuenca delimitados por AGRI v.1, con el mapa de deforestación y el mapa de uso de la tierra. Los resultados generados son tablas y gráficas que muestran las áreas deforestadas y de diferentes usos de la tierra en la subcuenca considerada. A continuación, se describen en más detalle los datos y el uso de las dos herramientas.

2.1 Cálculo de áreas deforestadas

1. En el marco de esta iniciativa, se ha desarrollado la herramienta “Cálculo de áreas deforestadas” en ArcGIS® que calcula las áreas deforestadas a partir del límite de cuenca creada con la herramienta “Generar cuencas” de AGRI v.1 y el archivo ráster de cambio de cobertura en el bosque.
2. Los datos utilizados para crear la capa de cambios en la cobertura de bosque son generados por Global Forest Change (GFC) (Hansen et al., 2013). Este juego de datos está basado en el sensor Landsat TM® con una resolución espacial de 30 metros. En el desarrollo de esta cobertura, Hansen et al. (2013) combinaron miles de escenas Landsat para mostrar las áreas en píxeles que han sido deforestadas para el período 2000–2014. Para definir la cobertura boscosa en el año 2000, Hansen et al. (2013) utilizaron el producto *Tree cover 2000* de GFC, donde se seleccionó como “bosque” las áreas con una cobertura de árboles superior a 50%, mientras que los píxeles con menos del 50% de cobertura de árboles se asignó como “no bosque”. Al archivo de “*bosque/no bosque*”, se le adicionaron los datos de pérdida de bosque anual de GFC, incluyendo solamente las pérdidas registradas en las áreas de bosque definidas para el 2000.
3. Después de cargar AGRI v.1 en ArcMap, en el *ArcToolbox* (Figura 2-1), se pueden apreciar las dos herramientas para extraer tanto las áreas deforestadas como las áreas de uso del suelo:

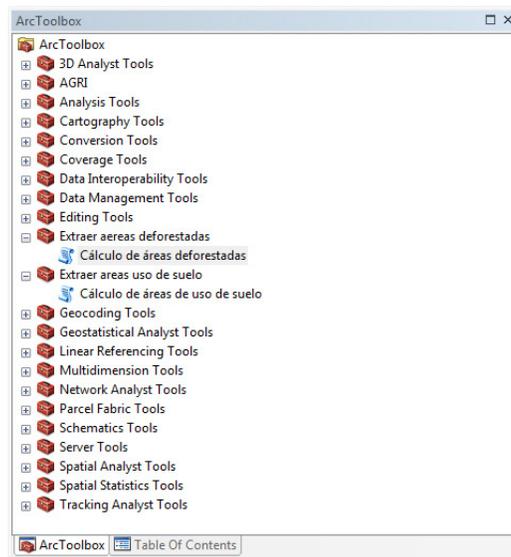


Figura 2-1. Ubicación de la herramienta en “ArcToolbox”.

Los datos de entrada a dicha herramienta son los siguientes (Figura 2-2):

Descripción de los campos de la ventana “Cálculo de áreas deforestadas”:

Archivo de cuencas: Se selecciona el archivo de los límites de la cuenca creada con la herramienta “*Generar cuencas*” de AGRI v1. Este conjunto de datos llamado “**Watershed**” se encuentra en los Outputs de la base de datos geográfica desarrollada por AGRI v1.

Carpeta temporal de procesamiento: Carpeta donde se almacenarán los rásters que se extraen de las cuencas.

Carpeta de salida: Carpeta donde se almacenará la tabla con los datos de áreas de bosque (año 2000), pérdida anual (2001–2014) y área de no bosque (año 2000).

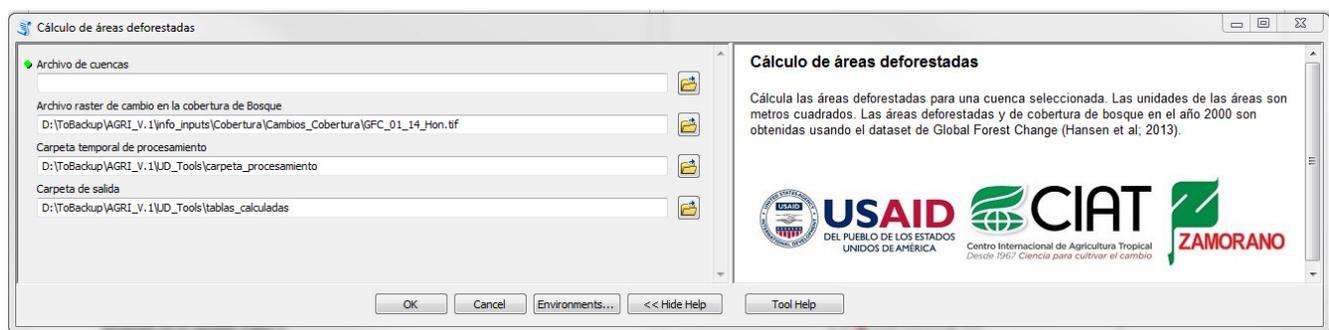


Figura 2-2. “Toolbox” para el cálculo de áreas deforestadas.

Datos de salida. El producto de esta herramienta es la tabla con los datos en metros cuadrados de áreas de bosque (año 2000), pérdida anual (2001–2014) y área de no bosque (año 2000). En los pasos anteriores, se ha corrido un proceso para sobreponer la subcuenca arriba de una toma por encima del mapa de la deforestación. Ahora vamos a ver cómo tomar el resultado de ese proceso y convertirlo en una tabla y dos gráficas que muestran la situación y tendencia de deforestación en la subcuenca de interés. El mapa de la deforestación tiene la leyenda que se muestra en el Cuadro 2-1. Los píxeles con el valor cero (0) muestran toda el área deforestada en años anteriores al año 2000. El valor uno (1) muestra todos los píxeles deforestados en el año 2001. Los siguientes valores entre el valor dos (2) y el valor 14 muestran los píxeles deforestados en su año respectivo. El valor 99 muestra el área que fue bosque en el año 2000.

Cuadro 2-1. Leyenda del mapa de la deforestación.

VALUE_	DESCRIPCIÓN
0	Área deforestada hasta 2000
1	Deforestación en 2001
2	Deforestación en 2002
3	Deforestación en 2003
4	Deforestación en 2004
5	Deforestación en 2005
6	Deforestación en 2006
7	Deforestación en 2007
8	Deforestación en 2008
9	Deforestación en 2009
10	Deforestación en 2010
11	Deforestación en 2011
12	Deforestación en 2012
13	Deforestación en 2013
14	Deforestación en 2014
99	Bosque en 2000

El proceso anterior ha generado las estadísticas sobre la deforestación en su cuenca. El resultado es un archivo en formato dBase (DBF) que guarda las áreas en cada categoría del Cuadro 2-1. Después de correr el proceso, el archivo generado va a aparecer en el directorio **\\Calculo_Areas\tablas_calculadas** (Figura 2-3).

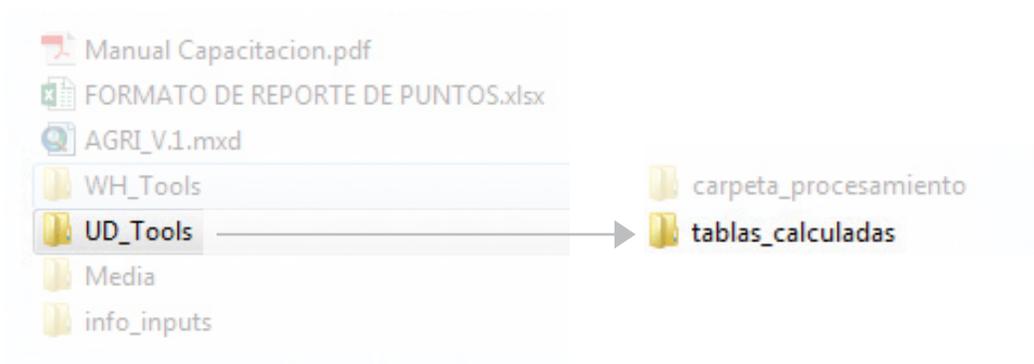


Figura 2-3. Ubicación de tablas calculadas.

El archivo dBase generado tiene 17 columnas que corresponde a la leyenda del mapa, como se muestra en el Cuadro 2-1. Se abre este archivo con el programa Excel. La primera línea tiene los valores que corresponden a la leyenda arriba. La segunda línea tienen las áreas en metros cuadrados que corresponden a la leyenda (Figura 2-4).

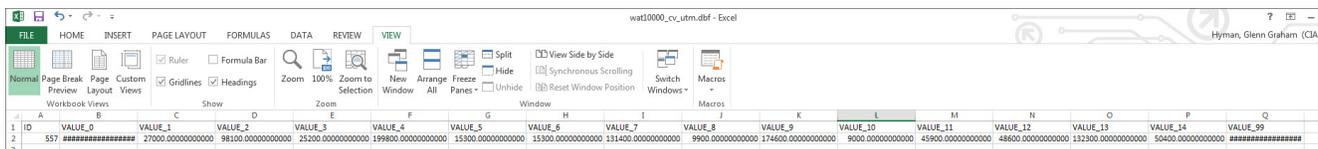


Figura 2-4. Archivo dBase generado.

Con la plantilla generada en Excel llamada *DeforestacionZonaDeRecarga.xlsx*, el usuario copiará los datos del archivo *.dbf en la fila “A1” para generar la tabla y gráficas que muestran la situación de la deforestación en la cuenca. La Figura 2-5 muestra la plantilla sin los datos.

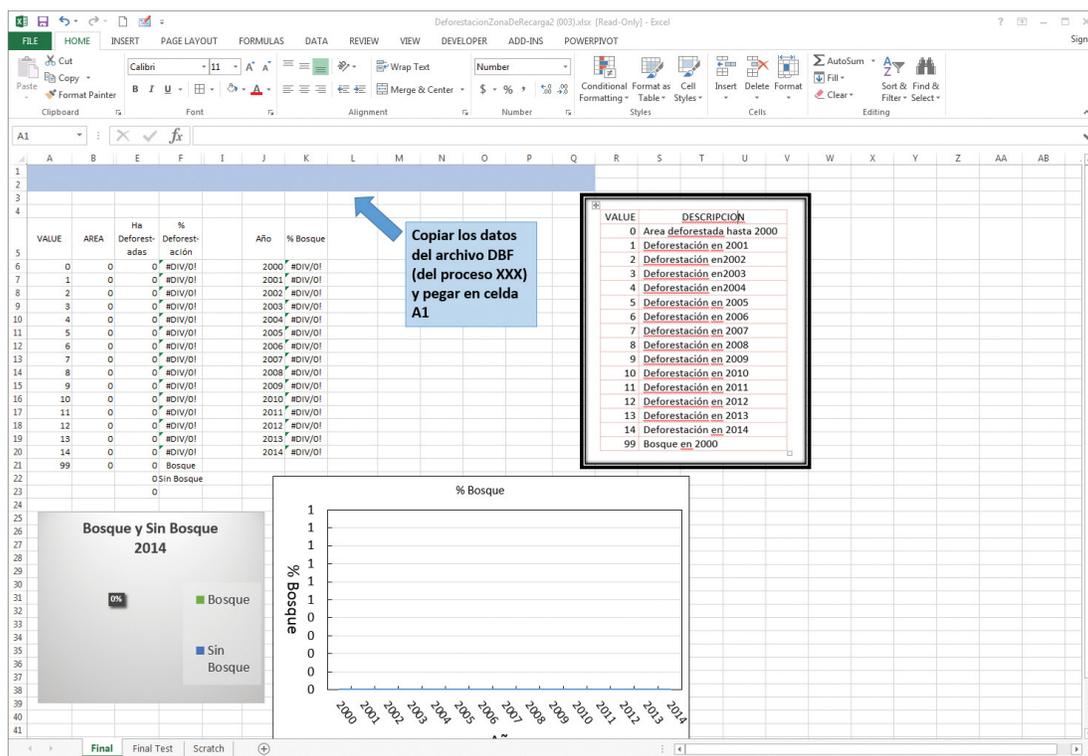


Figura 2-5. Plantilla Excel para copiar los datos de deforestación.

El resultado de este proceso se muestra en el ejemplo de la Figura 2-6. Las columnas “VALUE” y “AREA” tienen el valor que corresponde a la leyenda del mapa de deforestación y el área de cada categoría en metros cuadrados, respectivamente. La columna “Ha Deforestadas” muestra el área deforestada en hectáreas. La columna “% Deforestacion” muestra el porcentaje del área deforestada para el año 2000, y para cada año subsecuente. La columna “Año” muestra el año de los datos correspondientes. Finalmente, la columna “% Bosque” muestra los mismos porcentajes, con valores enteros entre cero (0) y 100, mostrando el porcentaje del área con cobertura boscosa, listo para graficar. Los dos (2) diagramas son: (1) el diagrama de torta muestra el porcentaje de la cuenca en bosque y el porcentaje sin bosque en el año 2014, y (2) el diagrama de la curva de transición boscosa muestra el porcentaje de cobertura boscosa en el año 2000 (84% en el ejemplo) y la reducción porcentual en cobertura cada año hasta el año 2014 (cuando hay 80% de bosque en este ejemplo).

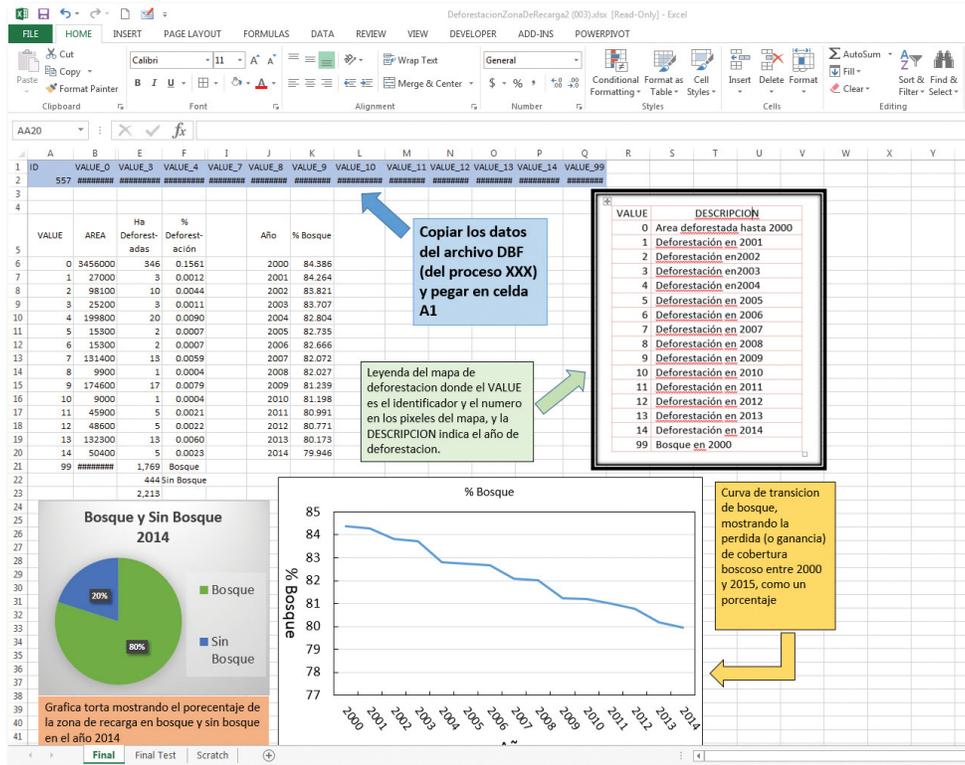


Figura 2-6. Ejemplo de la hoja de cálculo para áreas deforestadas.

2.2 Herramienta de cálculo de áreas de uso del suelo

En la parte izquierda de la Figura 2-7 se muestra el “Output” de los datos de la herramienta AGRI v.1 como también el mapa de uso del suelo (Duarte et al., 2014), que sirve como entrada para el cálculo de áreas de uso de suelo. En la parte derecha, específicamente en la ventana de ArcCatalog, se puede ver la herramienta para calcular las áreas de uso del suelo. Esta herramienta calcula las áreas de uso del suelo dentro de las cuencas resultado de la herramienta AGRI v.1. La herramienta requiere las siguientes entradas:

Descripción de los campos de la ventana “Cálculo de áreas de uso de suelo”:

Archivo de cuencas: Se debe seleccionar el conjunto de datos llamado “**Watershed**” que se encuentra en los Outputs de la base de datos geográficos.

Archivo ráster uso de suelo: Se debe seleccionar el archivo ráster de uso del suelo de la carpeta inputs.

Carpeta temporal de procesamiento: Carpeta donde se almacenarán los rústers que se extraen de las cuencas.

Carpeta de salida: Carpeta donde se almacenará la tabla con los datos de uso del suelo según el mapa del Duarte et al. (2014).

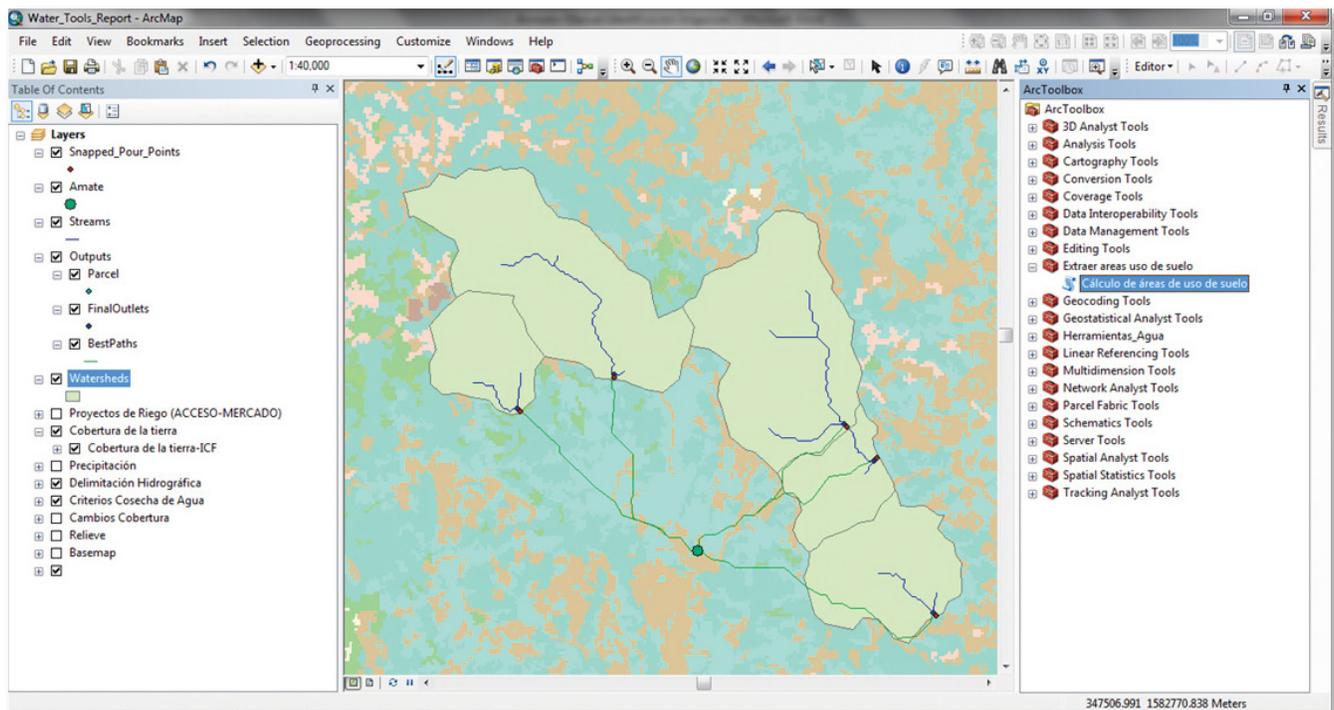


Figura 2-7. Ubicación de la herramienta en “Arc Toolbox”.

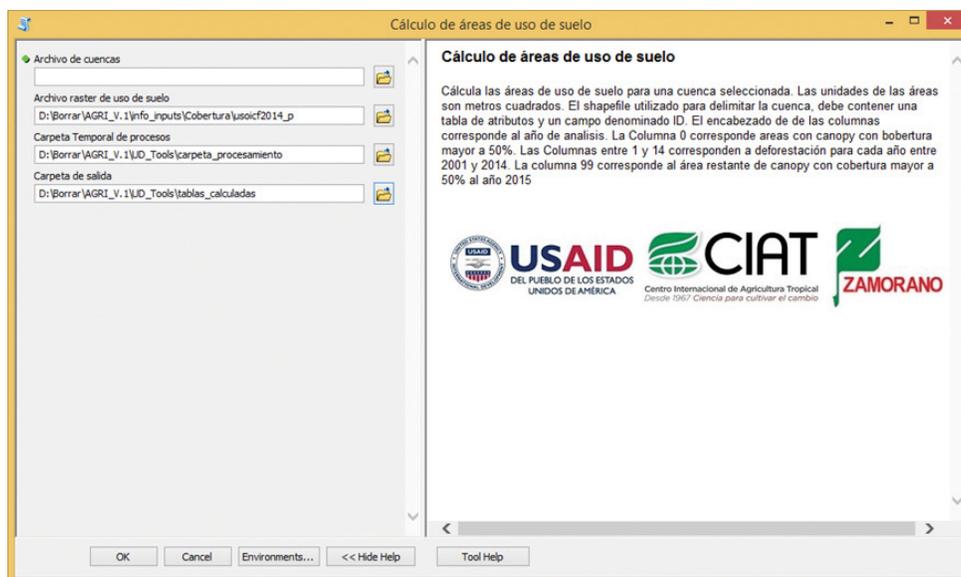


Figura 2-8. Ejemplo de la interface de la herramienta y cómo llenarla.

Descripción del ráster de uso del suelo

Los datos utilizados para crear el ráster de la cobertura de uso del suelo vienen del mapa del ICF (2014). El mapa fue generado a partir de la interpretación y clasificación de imágenes RapidEye con una resolución de 5 x 5 m y una validación del campo.

Datos de salida

El resultado de esta herramienta es la tabla con los datos en metros cuadrados de áreas de uso de suelo presentes en las cuencas identificadas por AGRI v.1 y se encuentra en el directorio \\Calculo_Areas\tablas_calculadas (Figura 2-3). Cada columna indica el área registrada para un uso de suelo determinado (Figura 2-9) que está descrito en el Cuadro 2-2.

Cuadro 2-2. Descripción del "Value" con su correspondiente uso de suelo.

VALUE_	VEGETACIÓN	VALUE_	VEGETACIÓN
1	Bosque Latifoliado Húmedo	14	Café
2	Bosque Latifoliado Seco	16	Lagos y lagunas naturales
3	Bosque Mixto	18	Otros cuerpos de agua
4	Pino Denso	19	Zonas urbanizadas continuas
5	Pino Ralo	20	Zonas urbanizadas discontinuas
9	Vegetación Secundaria Húmeda	22	Suelos desnudos continentales
10	Vegetación Secundaria Seca	23	Áreas húmedas continentales
11	Agricultura Técnica	26	Árboles dispersos
12	Pastos y/o Cultivos		

INTAKE_ID	VALUE_1	VALUE_3	VALUE_4	VALUE_5	VALUE_9	VALUE_12	VALUE_14	VALUE_26
1	0	67500	1665900	707400	48600	864000	0	83700
2	0	0	385200	425700	0	226800	0	6300
3	92700	558000	2118600	463500	72000	317700	24300	36000
4	100800	328500	442800	123300	56700	131400	0	7200
5	0	27900	996300	376200	9900	394200	0	9900

Figura 2-9. Datos obtenidos en la herramienta “Cálculo de áreas de uso de suelo”.

El área resaltada en amarillo en la Figura 2-10 representa el resultado original de la herramienta en metros cuadrados.

Cada vez que la herramienta calcula las áreas de nuevas cuencas, se puede copiar y pegar el resultado en la plantilla denominada “*TemplateUsoDeSuelo.xlsm*”, como se muestra en la Figura 2-10. Esta plantilla está diseñada para calcular las áreas en hectáreas y graficar los porcentajes de cada uso del suelo. Para visualizar las áreas, identifique la pestaña “AREA(ha)” como muestra la Figura 2-11. Para la generación de la gráfica de porcentajes, identifique la pestaña “GRAFICA” y haga clic en “Copiar datos” y automáticamente se genera una gráfica que puede visualizarse solamente haciendo clic sobre la fila de la cuenca que desea evaluar (Figura 2-12). Cada que evalúe una cuenca, es importante hacer clic sobre “Actualizar gráfica” para que los valores de la leyenda cambien de acuerdo a los usos encontrados en dicha cuenca (Figura 2-13).

Para ingresar nuevos datos a la plantilla “*TemplateUsoDeSuelo.xlsm*”, es importante borrar los datos existentes, haciendo clic en “Borrar Datos” (Figura 2-14).

INTAKE_ID	VALUE_1	VALUE_3	VALUE_4	VALUE_5	VALUE_9	VALUE_12	VALUE_14	VALUE_26
1	0	67500	1665900	707400	48600	864000	0	83700
2	0	0	385200	425700	0	226800	0	6300
3	92700	558000	2118600	463500	72000	317700	24300	36000
4	100800	328500	442800	123300	56700	131400	0	7200
5	0	27900	996300	376200	9900	394200	0	9900

Figura 2-10. Ingreso de los datos en la plantilla “TemplateUsoDeSuelo.xlsm”.

Cuenca	Bosque Latifoliado Húmedo	Bosque Mixto	Pino Denso	Pino Ralo	Vegetación Secundaria Húmeda	Pastos y/o Cultivos	Café	Árboles Dispersos	TOTAL
Cuenca_1	6.75	166.59	70.74	4.86	86.4		8.37	343.71	
Cuenca_2	38.52	42.57	22.68		0.63			104.4	
Cuenca_3	9.27	55.8	211.86	46.35	7.2	31.77	2.43	368.28	
Cuenca_4	10.08	32.85	44.28	12.33	5.67	13.14		119.03	
Cuenca_5	2.79	99.63	37.62		0.99	39.42		181.44	

Figura 2-11. Pestaña “AREA(ha)” con los datos calculados en hectáreas.

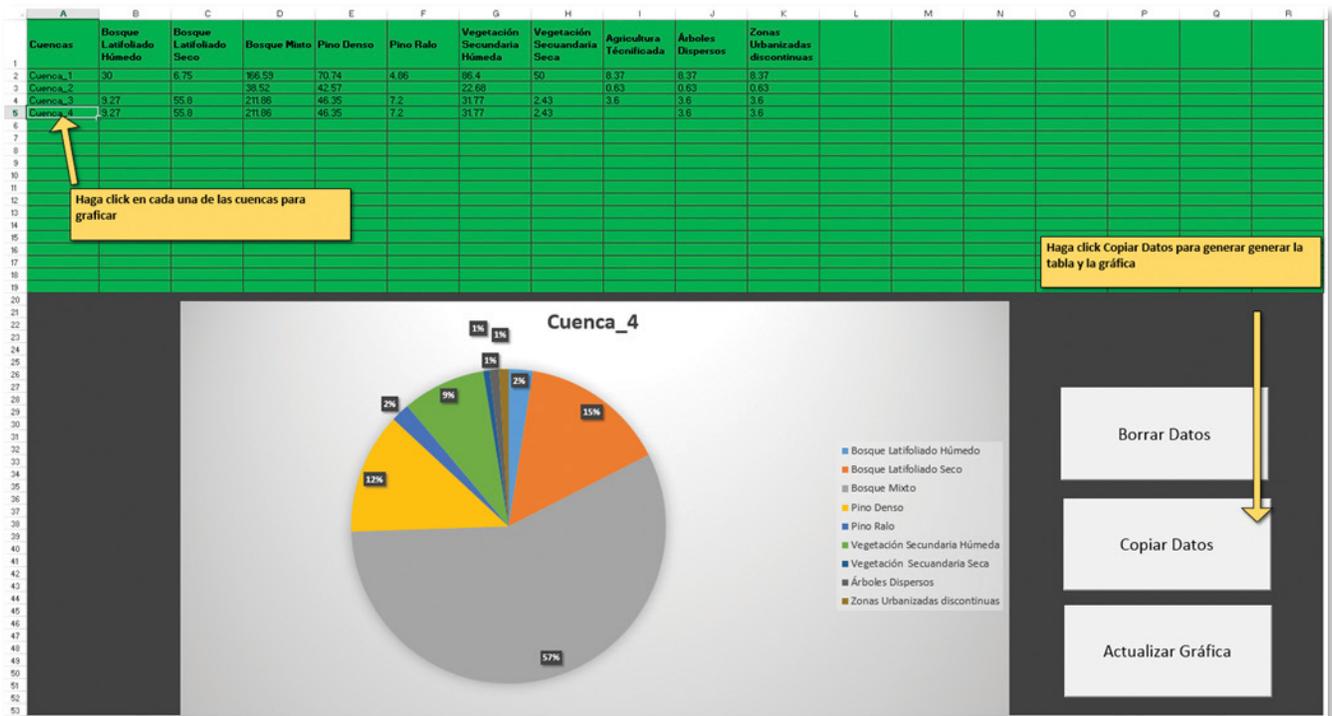


Figura 2-12. Generación de gráficas para cada cuenca.

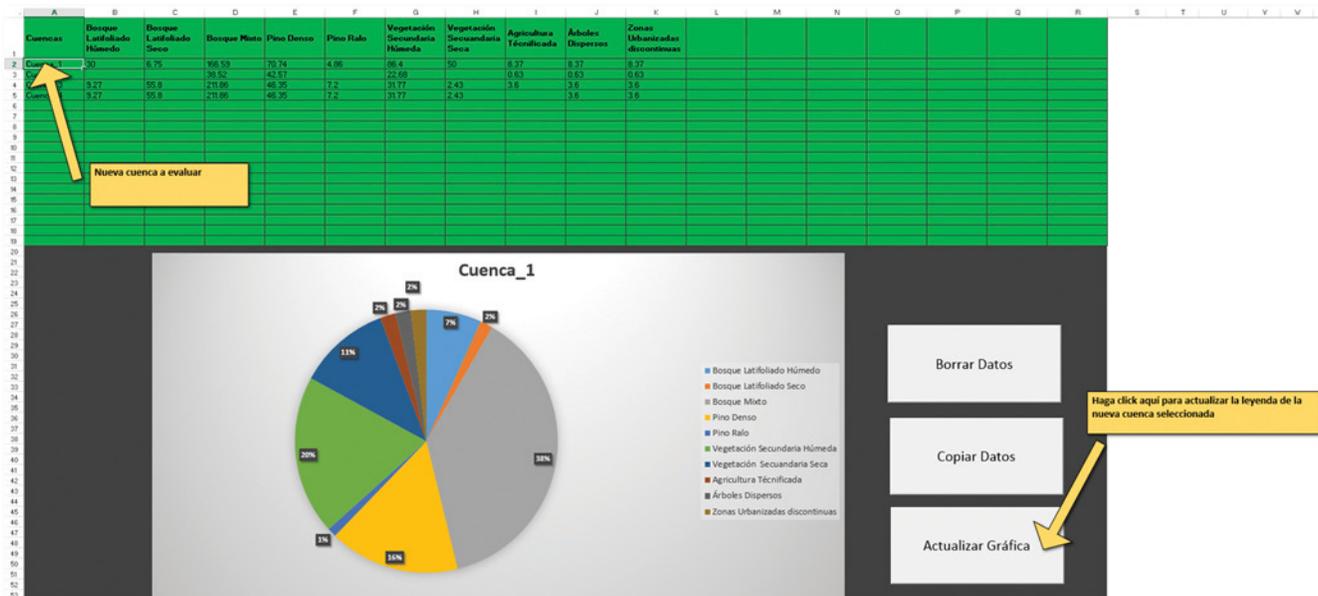


Figura 2-13. Actualización de la leyenda para la nueva cuenca evaluada.

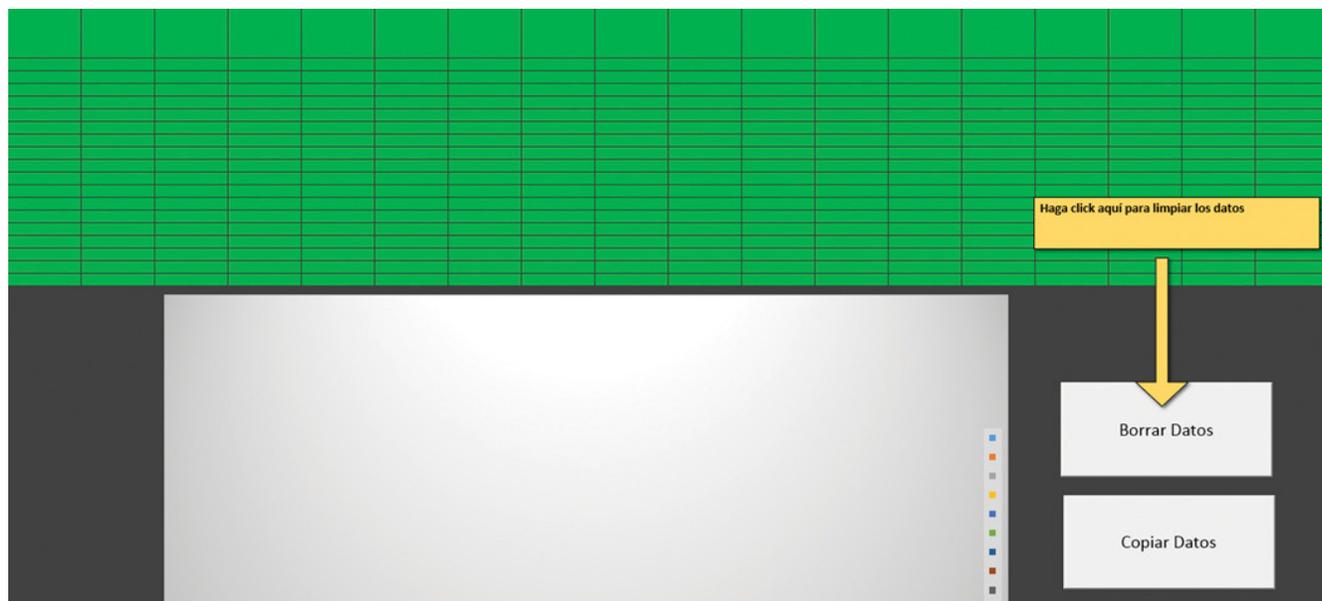


Figura 2-14. Limpiar plantilla para el ingreso de nuevos datos.

3. Resumen del marco regulatorio aplicable al uso del agua en Honduras

Josue Anibal León (EAP Zamorano)

3.1 Introducción

Esta recopilación de aspectos normativos tiene como propósito hacer un breve análisis del uso del agua para fines específicos en el marco del proyecto: “Herramienta para identificar sitios viables para pequeños proyectos de riego” en Honduras. El proyecto propone el aprovechamiento sostenible del agua en la agricultura de pequeña escala, especialmente en seis departamentos del corredor seco hondureño – Copán, Ocotepeque, Santa Bárbara, Intibucá, Lempira y La Paz. Y para lograrlo, sugiere que el aprovechamiento del agua, tome en cuenta el marco legal e institucional vigente en el país, de tal forma que se garantice la sostenibilidad y se prevengan conflictos futuros por el uso de tan importante recurso para el crecimiento económico y la propia existencia de la población en esta área.

El marco normativo sobre uso del agua para riego en este texto es entendido como el conjunto de instituciones, leyes, reglamentaciones normativas, personas y bienes relacionados con el aprovechamiento y uso del recurso agua para la producción agropecuaria en zonas rurales del país. Para un entendimiento claro del Sector, debe comenzarse por identificar cuáles son los roles de las principales instituciones del Estado.

3.2 Contexto

El Decreto Ley No. 181-2009 que contiene la Ley General de Aguas estipula que el uso, explotación, desarrollo, aplicaciones y cualesquiera otras formas de aprovechamientos del recurso hídrico, así como la explotación o aprovechamiento de los ecosistemas y recursos relacionados al mismo, serán administrados por el Estado a través de la Autoridad del Agua (ANA). Sin embargo, esta autoridad no se ha creado aún, por lo que los roles institucionales no están claramente delineados y la organización del Estado y de las instituciones relacionadas con la regulación del agua no es específico de una ley y de una sola institución. Así que es necesario hacer un análisis desde varias aristas según el uso, dimensiones, ubicación geográfica y otros recursos afectados.

Asimismo, para cualquier análisis relacionado con el uso del agua en Honduras, deben considerarse tres puntos de vista concurrentes. En primer lugar, se debe tener en cuenta que el agua es un bien social. En segundo lugar, se debe considerar que el agua es un bien ambiental y, por tanto, la preservación del agua como recurso natural integrado al ambiente es, hoy por hoy, el principio rector para el manejo del agua en todos sus usos. Y, en tercer lugar, se debe comprender que el agua es un bien económico. Los costos industriales de instalación, operación y mantenimiento de infraestructuras para riego obligan a adoptar un criterio empresarial en la gestión y la comercialización de servicios y productos derivados de su uso.

El rol de cada institución está directamente vinculado con los siguientes tópicos:

- a. La fijación de políticas y la planificación estratégica
- b. La coordinación y gestión de inversión público-privada
- c. La regulación y fiscalización económica y de la calidad del recurso a ser utilizado
- d. El establecimiento de reglamentos y de normas técnicas específicas
- e. La gestión, la operación y el mantenimiento de los servicios
- f. La participación de las comunidades.

Por otro lado, existe una política Hídrica Nacional para el acceso y aprovechamiento sostenible del agua. Es de beneficio para toda la población, alcanzando un balance justo en el peso que se le otorga a cada uno de los principios del desarrollo sostenible: *eficiencia económica, equidad social y sostenibilidad ambiental*. Establece la priorización del recurso hídrico en el siguiente orden: abastecimientos de poblaciones, riego, conservación de la biodiversidad, generación de energía hidroeléctrica, industria, recreación y turismo, transporte y cualquier otro uso para la vida y el desarrollo.

En el presente informe, no se plantea lo contemplado en una ley determinada, sino más bien se incluye un breve resumen focalizado en aquellos artículos que se relacionan con los diferentes aspectos implicados en el aprovechamiento del agua para riego. Partiendo del principio que el CIAT únicamente propone una herramienta que facilitará la toma de decisiones acerca de la ubicación de la obra de captación y posterior utilización del agua mediante un sistema de riego por gravedad de quebradas, ríos y otras fuentes de escorrentía superficial sin entrar en competencia con el agua para consumo humano.

3.3 Marco normativo sobre uso del agua para riego a pequeña escala en Honduras

INSTRUMENTO LEGAL	ASPECTO Y REGULACIÓN ESPECÍFICA	ARTÍCULOS
Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre. Decreto No. 98-2007.	Las áreas abastecedoras de agua para poblaciones serán declaradas por el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (actualmente Instituto de Conservación Forestal [ICF]) a petición de las comunidades o las municipalidades.	65, 122 y 124
Ley General de Aguas. Decreto No. 181-2009.	Pueden utilizarse para beneficio común las zonas productoras o de reserva de agua en las cuales se ubiquen manantiales, áreas de recarga de acuíferos, captaciones superficiales, espacios de protección o salvaguarda ambiental.	32
Ley General de Aguas. Decreto No. 181-2009	Los usuarios finales del agua deben compensar los costos de conservación, protección o reparación ambientales asociados al uso del agua. Estos costos serán incluidos en la estructura tarifaria del servicio.	52
	Las municipalidades otorgarán derechos de aprovechamiento de aguas mediante permisos y licencias por la vía reglamentaria para sistemas de riego que no excedan un total de diez (10) hectáreas.	67
	La Autoridad del Agua otorgará derechos de aprovechamiento mediante convenios de concesión en base a los preceptos de la Ley de Concesiones y leyes administrativas aplicables para regantes que usen infraestructura y volúmenes de riego mayores de diez (10) hectáreas.	68
Ley General del Ambiente: Decreto No. 104-93.	Son objeto de protección las categorías destinadas al abastecimiento de agua a las poblaciones o al consumo humano en general, y las destinadas al riego o a la producción de alimentos.	31
	Establece el aprovechamiento de las aguas pluviales y manantiales discontinuos para su uso en el riego.	35 al 38
	Define primero que se puede destinar para el riego sin gravamen la cantidad de 50 litros de agua por segundo por 3 horas diarias, y define el procedimiento para obtener la autorización respectiva con las autoridades correspondientes para poder utilizar más de esta cantidad de agua para el mismo fin.	39 al 49
Ley de Municipalidades. Decreto No. 134-90	Las municipalidades tienen como atribución planificar el uso del suelo y administración de tierras municipales y el mejoramiento de las poblaciones.	13, Numeral 7
	Las municipalidades deben proteger el ecosistema municipal y el medio ambiente y racionalizar el uso y explotación de los recursos municipales, de acuerdo con las prioridades establecidas y los programas de desarrollo nacional.	14
	Son motivos de utilidad pública e interés social para decretar expropiaciones los referentes, entre otros, a la utilización de los predios para construcción de sistemas de agua potable y los destinados a la protección de cuencas y sus afluentes.	117



Reservorio de cosecha de agua lluvia para uso agrícola, Lempira, Honduras.

3.4 Recomendaciones a tener en cuenta para el aprovechamiento del agua para riego

- Se debe evitar la competencia del agua entre usos para consumo humano y agua para riego. Para ello, las microcuencas declaradas como áreas de vocación forestal protegidas no serán consideradas para sistemas de agua para riego bajo ninguna circunstancia.
- El equipo técnico responsable de la identificación preliminar (primeras visitas) de fuentes de abastecimiento de agua para riego debe conocer los principios para caudales ecológicos.
- Las municipalidades otorgarán derechos de aprovechamiento de aguas mediante permisos y licencias por la vía reglamentaria para sistemas de riego que no exceda un total de diez (10) hectáreas. Uso agropecuario en explotaciones cuyo consumo en forma aislada no exceda de 0.06 litros por segundo, y juntas de agua legalmente reconocidas. Los permisos y licencias no conceden derechos de propiedad y solo pueden ser ejercidos por el solicitante.
- Toda institución del Estado, persona natural o jurídica que preste el servicio público de suministro de agua para riego con el fin de compensar el servicio ambiental debe proteger el recurso hídrico en la cuenca, subcuenca o microcuenca productora.
- Los usuarios de agua para riego deberán proceder a incorporar el costo de la compensación en la estructura tarifaria establecida, de manera que sea cobrado al usuario final del servicio y que este sea a través de la Autoridad del Agua, y que esté relacionado al valor estimado del recurso hídrico de acuerdo a las variables de calidad, cantidad y uso.
- Los aprovechamientos que otorgue el Estado, los costos de conservación, protección o reparación ambientales asociados a los usos autorizados serán por cuenta del titular del aprovechamiento.
- La Autoridad del Agua otorgará derechos de aprovechamiento mediante convenios de concesión con base en los preceptos de la Ley de Concesiones y leyes administrativas aplicables. Para **regantes que usen infraestructura y volúmenes de riego mayores de diez (10) hectáreas**, se procederá conforme a lo establecido en el reglamento de esta Ley.

Referencias

- Cardona AJ. 2010. Estrategia Nacional de Manejo de Cuencas en Honduras. Instituto de Conservación Forestal (ICF). Disponible en: <http://bit.ly/1V9sTYs>
- Djokic D; Ye Z; Dartiguenave C. 2011. Arc Hydro Tools Overview - v2.0. Redlands, EE.UU.: ESRI. Disponible en: <http://arcg.is/1W2zZ1N>
- Duarte EA; Orellana Díaz O; Maradiaga IE; Casco FL; Fuentes DE; Jiménez Galo A; Avilés PE; Milla Araneda F. 2014. Sistema de clasificación del mapa forestal y cobertura de la tierra de Honduras (No. 6). Programa Regional REDD/CCAD-GIZ. Antiguo Cuscatlán, El Salvador, C.A. Disponible en: <http://bit.ly/1TZAm9Y>
- González JP; Jarvis A; Cook S; Oberthür T; Rincón-Romero M; Bagnell J; Dias MB. 2008. Digital Soil Mapping of Soil Properties in Honduras Using Readily Available Biophysical Datasets and Gaussian Processes. En: Hartemink AE; McBratney A; Mendonça-Santos M de L. (Eds.), Digital Soil Mapping with Limited Data (pp. 367–380). Dordrecht: Springer Netherlands. DOI: [10.1007/978-1-4020-8592-5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8592-5)
- Hansen MC; Potapov PV; Moore R; Hancher M; Turubanova SA; Tyukavina A. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342:850–854. DOI: [10.1126/science.1244693](https://doi.org/10.1126/science.1244693)
- Jackson S. 2012. Optimized Pit Removal. Center for Research in Water Resources. Disponible en: <http://bit.ly/2506QWV>
- Saxton KE; Rawls WJ. 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal* 70:1569–1578. DOI: [10.2136/sssaj2005.0117](https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117)



**U.S. Agency for International Development
USAID | Honduras**

Avenida La Paz, Frente a la Embajada Americana

Oficinas USAID Tegucigalpa

Francisco Morazán, Honduras

www.usaid.gov