



Contribución de la **Unión Europea**
complementaria al **Proyecto de Irrigación**
Tecnificada para pequeños y medianos
productores y productoras



ESCUELA NACIONAL
DE IRRIGACIÓN
PARCELARIA

PROGRAMA ASESORA / ASESOR EN RIEGO INTEGRAL PARCELARIO CURSO DE ELABORACIÓN DE DIAGNÓSTICOS INTEGRALES EN TERRITORIOS BAJO RIEGO



Mudadero – Pichincha - Ecuador

Módulo 2. Diseño y Elaboración de un Diagnóstico Integral en Etapa de Prefactibilidad

Análisis Clima – Suelo – Agua (Prefactibilidad)

Andrea Vera Bustamante

2020



Contenido

I. RESULTADOS DE APRENDIZAJE.....	2
II. INTRODUCCIÓN	3
III. DESARROLLO DE LA UNIDAD	4
CAPÍTULO 1. ¿CÓMO DELIMITAMOS DE FORMA GEOGRÁFICA EL ÁREA DE INFLUENCIA HÍDRICA DE UN SISTEMA DE RIEGO?	5
Tema 1. ¿Qué es la delimitación de la zona agrícola de interés?	5
Tema 2. ¿Cómo delimitamos una cuenca de aporte?	6
CAPÍTULO 2. ¿CÓMO DETERMINO EL BALANCE HÍDRICO DE UNA ZONA DE INTERÉS DENTRO DE UN SISTEMA DE RIEGO?	9
Tema 1. ¿Cómo se elabora un balance hídrico de una zona de interés?	9
Tema 2. ¿Cuáles son los componentes del balance necesarios para la construcción del mapa de situación hídrica actual?	10
Tema 3. ¿Cómo estimó el balance hídrico con información secundaria?	19
IV. BIBLIOGRAFÍA	22



I. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar el análisis de esta guía el participante será capaz de:

- Identificar los componentes hidrometeorológicos y físicos que intervienen en la cuantificación de disponibilidad de agua.
- Identificar la información cartográfica relevante para la construcción de la situación hídrica actual.
- Manejar varias fuentes de información estadística y geográfica para la recopilación de información secundaria: climática y de suelos.



II. INTRODUCCIÓN

El objetivo de entender la relación clima – suelo – agua es contribuir al desarrollo agrícola con un mejor conocimiento de los efectos que ejerce el clima en los sistemas de producción agropecuarios bajo riego.

La información de los datos históricos permitirá programar dentro de la elaboración de un proyecto integral de riego parcelario, todas las actividades agrícolas futuras con mayor efectividad.

La cantidad de agua que se encuentra disponible en un lugar depende de las condiciones climáticas de su entorno, es decir, la variación en temperatura, humedad del aire, viento, precipitación, radiación, nubosidad y otras variables meteorológicas, sin embargo, estas variables no son las únicas que determinan la disponibilidad de agua; las condiciones del suelo y la calidad del agua también juegan un rol fundamental. Por ello, comprender la relación que existe entre el clima, el suelo, el agua, resulta imprescindible para la planificación de las actividades agroproductivas que realiza un agricultor.

No obstante, “comprender” resulta una tarea compleja, sobre todo cuando la resolución de la información a nivel de escala territorial es bastante exigente, tal es el caso del riego parcelario. Aun así, siempre existen opciones diversas para conseguir información. Por ello, la agrometeorología se presenta como una herramienta muy valiosa para apoyar en la formulación de planes, proyectos y estrategias a corto, mediano y largo plazo.

Esta guía pretende abordar los componentes, mecanismos y alternativas para diagnosticar la situación actual de cantidad y disponibilidad de agua, a escala de territorio bajo riego, con el firme propósito de generar información confiable y útil para el planteamiento de soluciones integrales de riego parcelario.



III. DESARROLLO DE LA UNIDAD

Caso de la Junta de Riego El Mate

La Junta de Riego “El Mate”, ubicados en el cantón Santa Lucía, provincia Guayas, están interesados en el diseño y desarrollo de un proyecto de riego parcelario para cubrir un área de 230 hectáreas. La organización pidió la asistencia técnica de una asesora en riego para determinar la cantidad de agua disponible. Así, se realizó un primer cálculo sobre la cantidad de agua disponible en su área de interés agrícola, gracias a la estimación del “balance hídrico” con datos provenientes de referencias secundarias, estadísticas y geográficas.

Pese a contar con una autorización de uso y aprovechamiento de agua de 110.77 l/s., su rendimiento nunca fue el deseado. Por ello, identificar que no existe naturalmente la disponibilidad de agua para cubrir sus necesidades, les motivó a buscar los mecanismos y recursos para evaluar su verdadera necesidad de agua y tomar decisiones para mejorar su sistema de riego.

Al igual que en la Junta de Riego El Mate, en cualquier otro sistema de riego, es fundamental determinar la cantidad de agua disponible para cubrir una superficie agropecuaria. Esto permitirá a los dirigentes y socios/as del sistema de riego tomar las mejores decisiones para una mejor gestión.

Satisfacer la demanda de agua de cualquier sistema como: el volumen de suelo ocupado por una planta, una parcela, un territorio bajo riego, una cuenca hidrográfica, una región, un país, etc., requiere el diseño y planificación de varias estrategias. Tomar la decisión de cuál es la mejor estrategia implica contar con instrumentos de cálculo y análisis que permitan evaluar diversas alternativas para el manejo del recurso hídrico.

El “balance hídrico” constituye una herramienta básica para estimar la disponibilidad de agua; es un procedimiento en el que se deben cuantificar las componentes que rigen y explican el comportamiento de las magnitudes fundamentales del sistema, como: oferta natural, demanda y pérdidas de agua. Este procedimiento depende enteramente de una base de datos confiable y útil.

Mucha de la información requerida para la obtención de los componentes del balance hídrico se encuentra en los geo-servicios de instituciones públicas nacionales¹, en formato vectorial y ráster, otra gran parte de información se encuentra diseminada en diferentes formatos y en diferentes instancias públicas y privadas. También, existen bases de datos internacionales, disponibles vía Internet, que ofrecen información de algunos parámetros del balance hídrico, por ejemplo, el EARTHDATA², cuya información es de carácter global y su resolución espacial es de hasta un 1 km.

Contar con la mayor cantidad de información secundaria, sea estadística o geográfica, ayuda a definir el nivel de recolección de datos, en campo. Si el área de influencia de un sistema de riego carece de información secundaria o si la escala de la información es de baja resolución, la alternativa más confiable es el levantamiento de información primaria. Para la recopilación y análisis de los datos espaciales y geográficos es importante que las y los asesores en riego integral parcelario cuenten con conocimientos en manejo de sistemas de información geográfica. Esto les permitirá optimizar el tiempo y aprovechar las herramientas e insumos informáticos desarrollados para procesar información hidrológica, agrológica y climática.

¹ <http://sni.gob.ec/geoservicios-ecuador>: acceso a través de una plataforma SIG.

² <https://earthdata.nasa.gov/>



CAPÍTULO 1. ¿CÓMO DELIMITAMOS DE FORMA GEOGRÁFICA EL ÁREA DE INFLUENCIA HÍDRICA DE UN SISTEMA DE RIEGO?

Caso de la Junta de Riego El Mate

El área de influencia hídrica o cuenca de aporte de la Junta de Riego “El Mate”, fue definida por la asesora en riego integral parcelario de la siguiente manera:

Partió del punto considerado como la cota más baja de la zona agrícola de la organización, contrario a otras ocasiones donde el área de influencia hídrica se realiza a partir del punto establecido como fuente de agua.

La asesora en riego integral parcelario, planteó una consideración diferente, ya que lo prioritario fue reconocer el área de aporte natural de agua en el territorio agrícola de la organización y la cantidad de agua disponible debido a la variabilidad climática de la zona.

Tema 1. ¿Qué es la delimitación de la zona agrícola de interés?

Como lo vimos en el ejemplo de la Junta de Riego “El Mate”, se debe comenzar reconociendo el área agropecuaria. De manera específica, el diagnóstico de disponibilidad de agua debe iniciar por georreferenciar las parcelas, las unidades terciarias, áreas secundarias, áreas de comando, dentro del territorio agrícola y sistemas productivos que serán objeto del diagnóstico.

Para conocer la ubicación de la zona agropecuaria, existen insumos geográficos que se pueden encontrar en varias instituciones, por ejemplo:

- Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's) Municipales y GAD provinciales, que tienen catastros que pueden ser entregados a través de una solicitud.
- *Ministerio de Agricultura y Ganadería*: información geográfica en la Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria (CGINA)
- *Ministerio de Ambiente y Agua*: información en la Subsecretaría de Riego y Drenaje.
- También se puede encontrar información geográfica –open source en Google Earth.

Delimitar espacialmente la zona agrícola y de riego de interés tiene esencial importancia para definir su relación con las fuentes de abastecimiento de agua y con la dimensión de la cuenca de aporte.

La delimitación consiste en crear un polígono georreferenciado y convertirlo en una capa (shape) que pueda ser procesada por medio de las herramientas de sistemas de información geográfica, por ejemplo: ArcGis (requiere licencia) y QGIS (software libre).

Ejemplo: Localicemos y delitemos un área agrícola de interés a través de la plataforma Google Earth. Este programa está disponible de forma gratuita en el siguiente link: <https://www.google.com/intl/es/earth/download/gep/agree.html>

El ejemplo recrea el área agrícola de la Junta de Riego El Mate, en la región Costa del Ecuador, provincia de Guayas, cantón Santa Lucía.

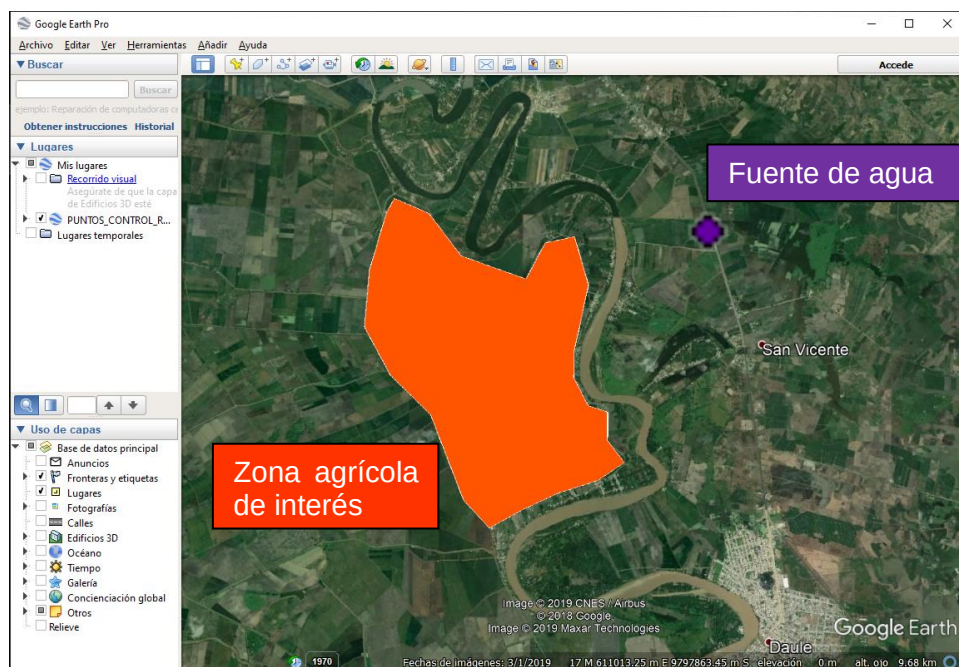


Ilustración 1. Creación y georreferenciación del área agrícola de interés con datos obtenidos de la plataforma Google Earth.

Esta plataforma permite configurar la visualización de coordenadas en distintos sistemas y unidades de medida. Por ejemplo, coordenadas UTM y geográficas.

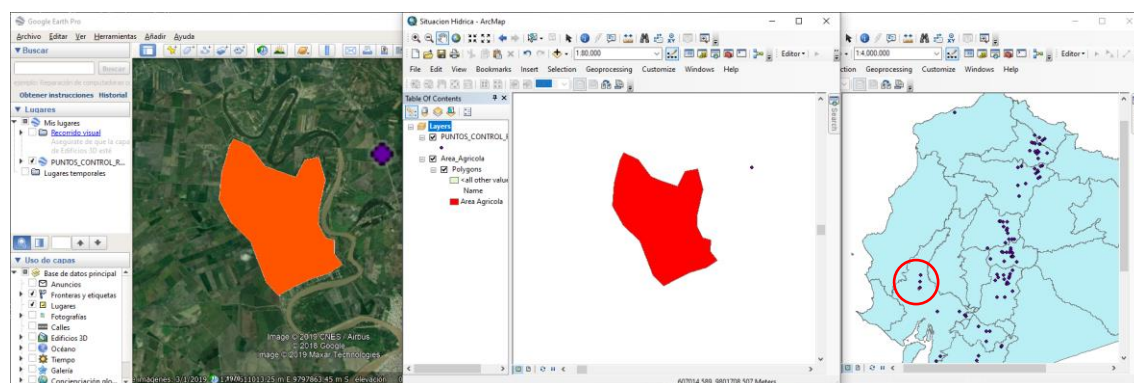


Ilustración 2. Conversión de la zona agrícola de interés en una capa (shape) tipo polígono a través de la plataforma ArcGis.

Tema 2. ¿Cómo delimitamos una cuenca de aporte?

La cuenca de aporte es un área de captación natural de agua lluvia que dirige los escurrimientos hacia un punto de cierre, este puede ser el vértice o la cota más baja del área agrícola de interés. Desde los puntos identificados, se demarca el área de influencia hídrica aguas arriba hasta la cota más alta o divisoria de agua. Por tradición, la divisoria de aguas es trazada a partir de planos de curvas de nivel; sin embargo, en las últimas décadas, la delimitación de las áreas de influencia hídrica o cuencas hidrográficas se obtiene a partir de “modelos digitales de elevación” (DEM, por sus siglas en inglés) (Gómez, 2013).

Las técnicas de delimitación de cuencas con el DEM consisten en determinar, de forma automática, la dirección de flujo de los escurrimientos, identificar la acumulación del flujo (red de drenaje) y delinear el parteaguas de cada cuenca asociada a los cauces y puntos de cierre (Band, 1986).

Los elementos geográficos que intervienen en la delimitación de la cuenca de aporte son:

- DEM de resolución máxima 30m x 30m.
- Red de drenaje, debe incluir ríos orden 1.
- Delimitación de la zona agrícola de interés.

Varias plataformas web permiten descargar el DEM de forma gratuita. En el enlace: <https://dwtkns.com/srtm30m/>, existe información con una resolución: 30m, fuente NASA, misión Satélite.

Para la red de drenaje, se la puede obtener del Geoportal Ecuador, perteneciente al Instituto Geográfico Militar (IGM), al cual se accede a través del siguiente enlace: <http://www.geoportaligm.gob.ec/porta/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>. Si la escala es de baja resolución es mejor utilizar el DEM para generar la red de drenaje.

Ejemplo: Luego, de ubicar nuestra área de interés, delimitemos la cuenca de aporte, utilizando la plataforma ArcGis.

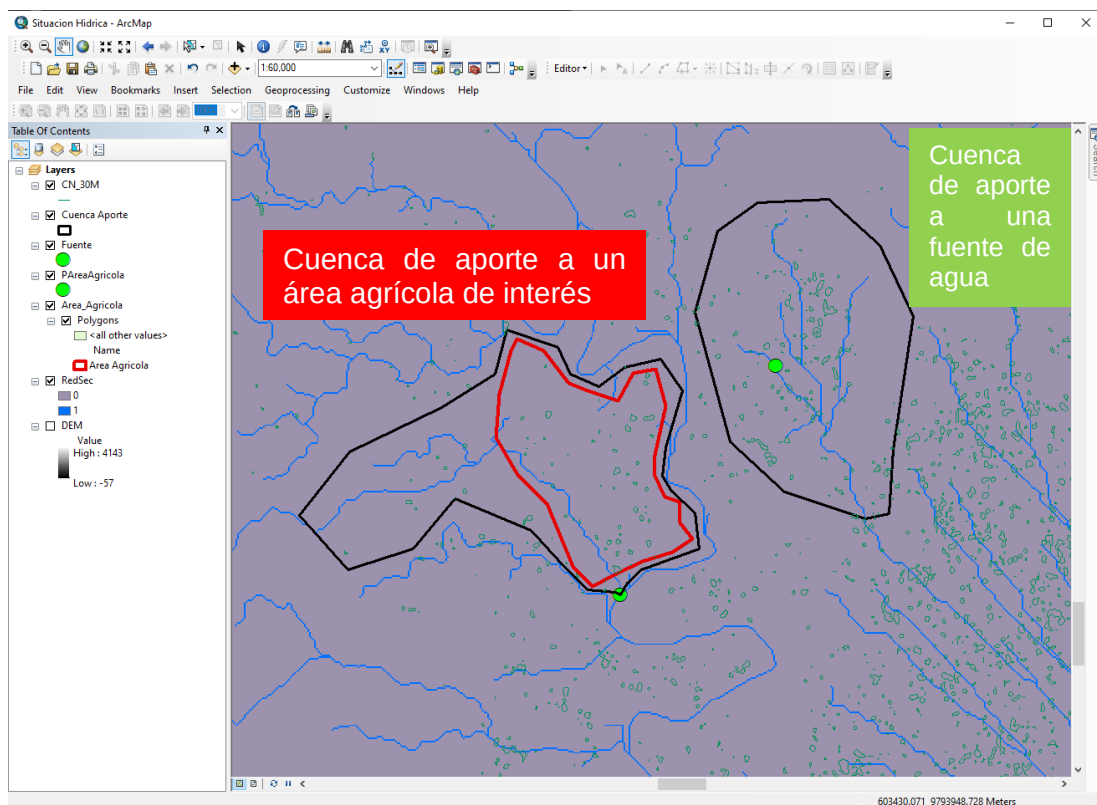


Ilustración 3. Delimitación de cuenca de aporte.

El procedimiento de acumulación de flujo indica en el ejemplo que, la fuente de abastecimiento pertenece a otra cuenca hidrográfica, algo que es común debido a los trasvases, sin embargo, las curvas de nivel obtenidas del DEM, muestran que el territorio donde se encuentran ambos elementos: área agrícola de interés y fuente de abastecimiento es homogéneo, prácticamente plano. Una ventaja para la utilización de la información secundaria.

Siempre se recomienda que las estaciones meteorológicas estén lo más cerca posible a las áreas de interés, **hasta una distancia de 3 Km a partir del perímetro de la cuenca**. En un caso como este se podría hacer una excepción, si existiese una estación más allá del límite determinado, siempre y cuando las características fisiográficas sean similares a las de las cuencas delimitadas.

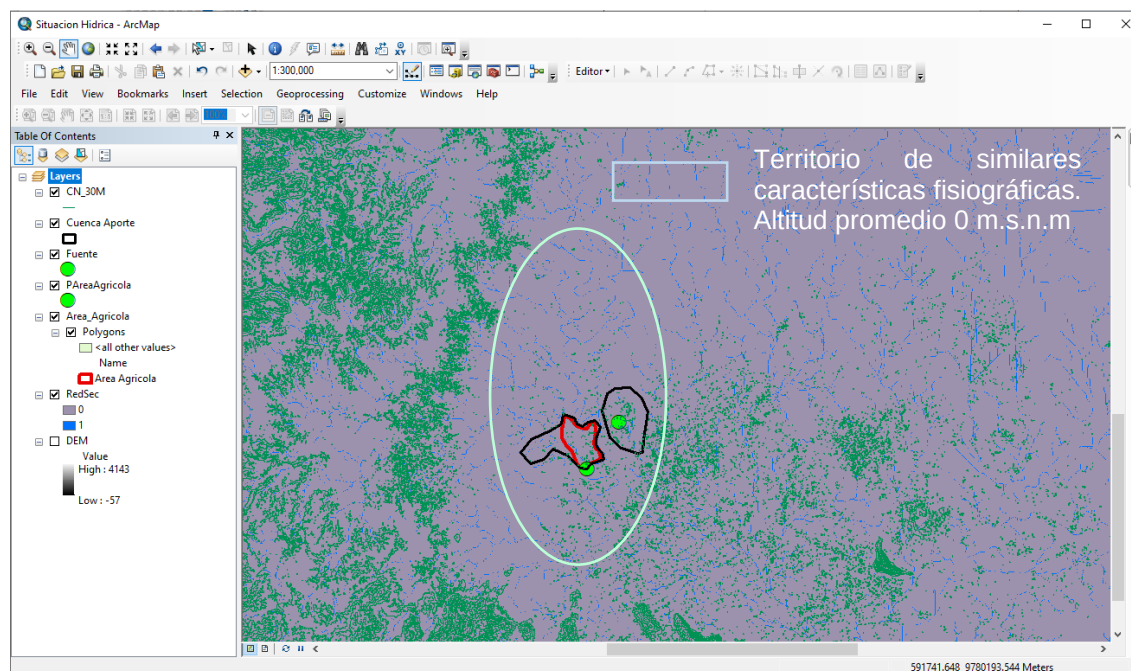


Ilustración 4. Delimitación de territorio de interés en función de las características fisiográficas del área de influencia de la cuenca de aporte.

En Resumen

En este primer capítulo, hemos analizado el tema de la delimitación geográfica del área de influencia hídrica. Esta delimitación inicia por georreferenciar las parcelas, las unidades terciarias, áreas secundarias, áreas de comando, dentro del territorio agrícola y del sistema de riego. Para ello, existen algunos insumos geográficos que se encuentran en instituciones públicas. También existen sistemas de información geográfica open source.

Con estos insumos, se realiza la delimitación de la cuenca de aporte, que consiste en un área de captación natural de agua lluvia que dirige los escurrimientos hacia un punto de cierre, este puede ser el vértice o la cota más baja del área agrícola de interés.

Las técnicas de delimitación de cuencas con el DEM consisten en determinar, de forma automática, la dirección de flujo de los escurrimientos, identificar la acumulación del flujo (red de drenaje) y delinear el parteaguas de cada cuenca. Los elementos geográficos que intervienen en la delimitación de la cuenca de aporte son: i) DEM de resolución máxima 30m x 30m, ii) Red de drenaje, debe incluir ríos orden 1, iii) Delimitación de la zona agrícola de interés.

Al final de este capítulo y procedimiento, se logra obtener un primer producto, que es el “mapa de cuenca de aporte” y los elementos que definen el cierre de la cuenca o cuencas de interés. Es sobre esta área que construiremos posteriormente nuestro “mapa de situación hídrica actual”.



CAPÍTULO 2. ¿CÓMO DETERMINO EL BALANCE HÍDRICO DE UNA ZONA DE INTERÉS DENTRO DE UN SISTEMA DE RIEGO?

Caso de la Junta de Riego El Mate

A partir del uso de información secundaria, proveniente de bases de datos satelitales, la asesora en riego integral parcelario y los dirigentes de la Junta de Riego “El Mate”, a través de un trabajo de análisis de información secundaria y primaria, constataron que durante el periodo 2008 - 2018, los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre, la disponibilidad de agua era negativa (déficit hídrico) de manera constante, mientras que el resto de los meses la disponibilidad de agua fue positiva (exceso hídrico).

Para la organización fue muy útil esta información ya que ellos entendieron la importancia de validar los resultados con información de baja incertidumbre, quiere decir, información de campo. Incluso ellos participaron en la recolección de información primaria con la intención de tener mejor conocimiento para distribuir de manera eficiente el caudal autorizado.

Tema 1. ¿Cómo se elabora un balance hídrico de una zona de interés?

Para realizar un balance hídrico en cuencas hidrográficas superficiales se aplica el principio de conservación de masa. Este involucra los volúmenes de agua por unidad de tiempo, que ingresan y egresan de la cuenca, así como la diferencia entre los volúmenes internos consumidos y los reintegrados (ver Tabla. 1).

Tabla 1. Componentes básicos del balance hídrico en una cuenca hidrográfica

Ingresos	Egresos	Consumos	Reingresos
Precipitación	Evapotranspiración	Evapotranspiración de Cultivo	Agua tratada
	Referencia		
	Infiltración		
	Escorrentía		

La ecuación de balance hídrico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus componentes es normalmente complicada, sobre todo por la falta de medidas directas (Llorens, 2003).

En general se puede afirmar que:

- Del agua que cae en un determinado sitio (precipitación = P)
- Parte vuelve a la atmósfera por efectos de evaporación directa y por transpiración de la vegetación (evapotranspiración = ET);
- Otra parte escurre por la superficie de la cuenca (escorrentía superficial = Es) convirtiéndose en el caudal que estará disponible en las fuentes superficiales de agua;
- Otra infiltra profundamente incluso por debajo de la zona de raíces (infiltración = I).

$$P = ET + Es + I \quad (1)$$

Para igualar el balance, la suma de las variables ET, Es, I, debe ser igual a la precipitación (P). Para conocer la cantidad de agua superficial disponible se debe despejar a la escorrentía de la ecuación (1), ya que es la escorrentía el agua disponible



para las diferentes actividades humanas, después de descontar la evapotranspiración y la infiltración.

$$Es = P - ETo - I \quad (2)$$

Los balances hídricos se pueden calcular para periodos diarios, decadales, mensuales de acuerdo con las necesidades del caso. Por ejemplo:

- *Mensuales*, para la identificación de áreas para proyectos de riego y/o drenaje.
- *Decadales*, para diseños hidráulicos.
- *Diarios*, para operación de sistemas de riego tecnificado.

Tema 2. ¿Cuáles son los componentes del balance necesarios para la construcción del mapa de situación hídrica actual?

El mapa de situación hídrica se refiere a la ubicación de todos los elementos geográficos disponibles, con información estadística, dentro de la cuenca de aporte o en cuencas con similares características fisiográficas, que contribuyan con la obtención de las componentes del balance hídrico.

Ingresos de agua al sistema

Tabla 2. Elementos geográficos y estadísticos que contribuyen a la obtención de las componentes de ingresos de agua a la cuenca de aporte

Elemento geográfico	Información estadística	Escala temporal
Estaciones meteorológicas del INAMHI u otras instituciones públicas o privadas.	Precipitación	Diaria o mensual
Estaciones pluviométricas del INAMHI u otras instituciones públicas o privadas.		
Estaciones agrometeorológicas.		
Estaciones hidrométricas	Caudal observado	Diarios o mensual
Autorizaciones de uso y aprovechamiento de agua	Límite de aprovechamiento	Periodo de autorización

Vamos a continuación a analizar cada elemento o componente que forma parte de los ingresos de agua al sistema.

Precipitación

El sitio de consulta para identificar las estaciones meteorológicas y las variables que registran en territorio, es la página web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>; <http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>

Ejemplo: Identifiquemos los elementos geográficos y estadísticos que contribuyen a la obtención de las componentes de ingresos de agua a la cuenca de aporte.

Para el sitio de nuestro ejemplo, dentro de su área de influencia se han identificado una estación meteorológica y una estación hidrométrica a través de la página web del INAMHI.

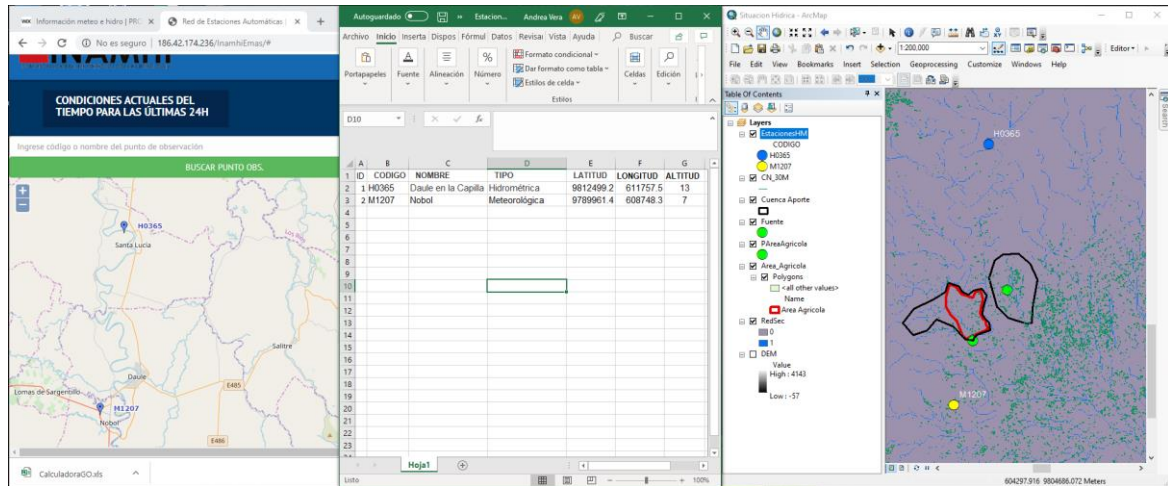


Ilustración 5. Identificación y localización geográfica de estaciones meteorológicas en el territorio agrícola de interés a través de la página web del INAMHI.

Ejemplo: Las variables climáticas registradas por las estaciones meteorológicas identificadas en el territorio de interés se muestran en la siguiente ilustración.

Datos Principales

Cerrar[X]

GRAFICAR DATOS:

SELECCIONE UN PARÁMETRO

DISPONIBILIDAD DEL DATO:

SELECCIONE UN PARÁMETRO

ESTACION: NOBOL

Exportar Tabla a Excel

FECHA HORA (GMT-5)	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%) INST	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%) MAX	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%) MIN	PRECIPITACION (mm) SUM	PRESION ATMOSFERICA (hPa) INST	TEMPERATURA AIRE (°C) INST	TEMPERATURA AIRE (°C) MAX	TEMPERATURA AIRE (°C) MIN	VIENTO DIRECCION (°) INST	VIENTO VELOCIDAD (m/s) INST
2019-09-21 10:00:00	64	66	58	0	1014	27.8	28.8	27.2	124	0.9
2019-09-21 09:00:00	79	81	63	0	1014.2	24.6	27.5	24.5	256	1.3
2019-09-21 08:00:00	92	95	78	0	1014.1	22.8	24.8	22.7	237	1.8
2019-09-21 07:00:00	97	98	90	0	1013.6	22.1	23	22.1	250	1.1
2019-09-21 06:00:00	98	100	96	0	1012.7	21.9	22.1	21.8	222	1.6

Ilustración 6. Variables que registra la estación meteorológica identificada en el territorio de interés.

La información meteorológica que presenta la página web del INAMHI es solo de carácter informativo. Su utilidad es para identificar nombres y códigos de estaciones. Esta página no permite descargar datos históricos, para ello se debe entregar una solicitud oficial en las instalaciones del INAMHI donde se describa el tipo de información requerida, periodo de datos y frecuencia de registro. La información necesaria para el balance hídrico debe ser de al menos 10 años de datos, diarios o mensuales, continuos. Quiere decir series completas de información.

Para el caso de prefactibilidad y en caso de no contar con series completas de las variables climáticas, existen bases de datos internacionales que suelen ser útiles para la estimación de la precipitación, hasta contar con datos locales. Así, por ejemplo, tenemos:

- Sitio de consulta, página web EARTHDATA - NASA:
[https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=AcMp&starttime=2018-01-01T00:00:00Z&endtime=2018-12-31T23:59:59Z&bbox=-80.5051,-2.027,-79.4778,-1.4941&data=GPM_3IMERGM_06_precipitation\(units%3Dmm%2Fmonth\)&variableFacets=dataFieldMeasurement%3APrecipitation%3B](https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=AcMp&starttime=2018-01-01T00:00:00Z&endtime=2018-12-31T23:59:59Z&bbox=-80.5051,-2.027,-79.4778,-1.4941&data=GPM_3IMERGM_06_precipitation(units%3Dmm%2Fmonth)&variableFacets=dataFieldMeasurement%3APrecipitation%3B)

La plataforma Giovanni presenta varias alternativas para la descarga de precipitación, a nivel de frecuencia y escala espacial.

Ejemplo: Para el área de interés se descendieron los datos de enero a diciembre del año 2018 a escala mensual y a 0.1° de resolución espacial, tal como se muestra en la siguiente ilustración.

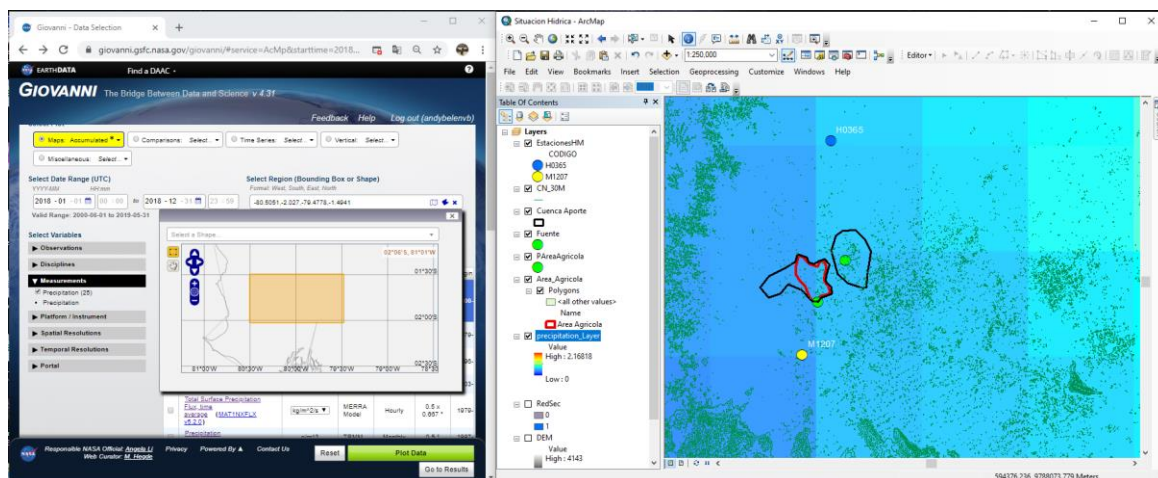


Ilustración 7. Información satelital. Precipitación mensual enero 2018. Proyecto GPM GPM_3IMERGM v06 NASA.

Ejemplo: Del análisis realizado a través de la plataforma Giovanni, la precipitación mensual promedio en la cuenca de aporte para el mes de abril del año 2018 es igual a 84.5 mm ($P = 84.5$ mm).

El ejemplo debe ser aplicado para obtener la precipitación mensual de cada año de la serie de datos continuos (mínimo 10 años). La finalidad es obtener el promedio mensual interanual.



Egresos de agua al sistema

Tabla 3. Elementos geográficos y estadísticos que contribuyen a la obtención de las componentes egresos de agua en la cuenca de aporte.

Elemento geográfico	Información estadística	Escala temporal
Estaciones meteorológicas, del INAMHI u otras instituciones públicas o privadas.	Evapotranspiración	Diaria o mensual
Estaciones pluviométricas, del INAMHI u otras instituciones públicas o privadas.		
Estaciones agrometeorológicas.		
Capas geopedológicas, Escorrentía / Infiltración ³	Textura, Estructura, Profundidad efectiva, Pedregosidad, Densidad aparente, Porosidad Contenido de materia orgánica. Uso de suelo Pendiente	Opcional

Vamos a continuación a analizar cada elemento o componente que forma parte de los egresos de agua al sistema.

Evapotranspiración

En etapa de prefactibilidad existe bases de datos internacionales que suelen ser útiles para la estimación de la ETo, hasta contar con datos locales. Así, por ejemplo, tenemos:

- Sitio de consulta, página web EARTHDATA - NASA: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=TmAvMp&starttime=2018-01-01T00:00:00Z&endtime=2018-12-31T23:59:59Z&bbox=-80.5051,-2.027,-79.4778,-1.4941&variableFacets=dataFieldMeasurement%3AEvapotranspiration%3B>. La plataforma Giovanni presenta varias alternativas para la descarga de la evapotranspiración, a nivel de frecuencia y escala espacial.

Ejemplo: Para el área de interés se descargaron los datos de enero a diciembre del año 2018 a escala mensual y a 0.1° de resolución espacial, tal como se muestra en la siguiente ilustración. Cabe aclarar que la información satelital de evapotranspiración generalmente requiere una conversión de unidades de $\text{Kg/m}^2\text{s}$ a mm/día . Un $\text{Kg/m}^2\text{s} = 86400 \text{ mm/día}$.

³ Las componentes escorrentía e infiltración están gobernadas por las propiedades físicas del suelo y los usos del suelo. Estas variables son las más utilizadas en casi todos los métodos de riego para determinar la velocidad de entrada de agua al suelo y calcular los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar (Alvarado Batres & Barahona-Palomo, 2017).

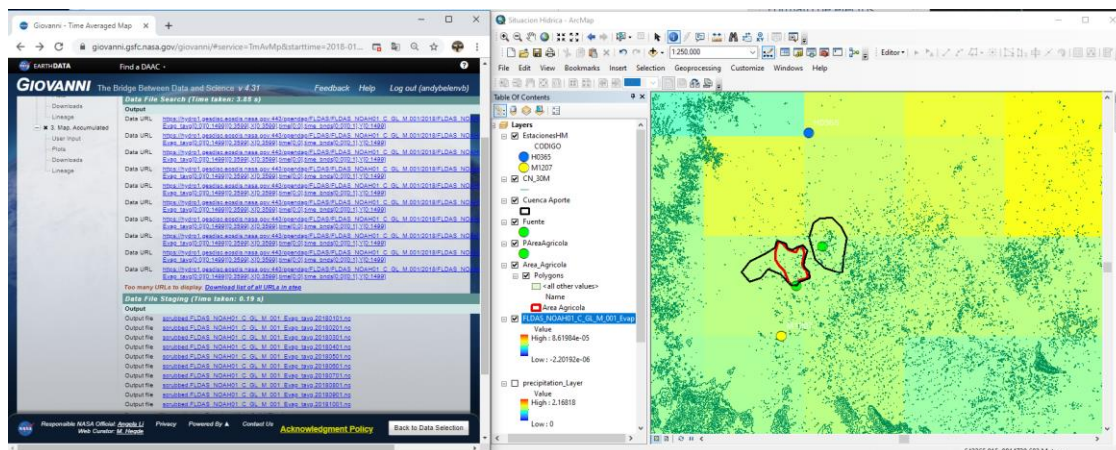


Ilustración 8. Evapotranspiración promedio mensual obtenida de los satélites NASA, proyecto FLDAS_NOAH01.

Ejemplo: Del análisis realizado a través de la plataforma Giovanni, la evapotranspiración mensual promedio en la cuenca de aporte para el mes de abril del año 2018 es igual a 116,4 mm (ET₀ = 116,4 mm).

El ejemplo debe ser aplicado para obtener la evapotranspiración mensual de cada año de la serie de datos continuos (mínimo 10 años). La finalidad es obtener el promedio mensual interanual.

Infiltración, Escorrentía y Humedad del Suelo

La capacidad de infiltración se define como el nivel máximo de agua que un suelo puede absorber dependiendo de sus propiedades físicas y del estado de humedad antecedente a la precipitación. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en mm/hora. En la década de los años treinta, los trabajos de Horton **en infiltración dominan el pensamiento hidrológico ya que conociendo la precipitación y la capacidad de infiltración de un suelo en un momento dado se puede determinar la escorrentía superficial o viceversa conociendo la precipitación y el coeficiente de escorrentía superficial se puede estimar la tasa de infiltración**, hasta contar con datos locales.

La escorrentía superficial provocada por un aguacero (E_s) puede compararse con la precipitación caída (P). Al cociente entre ambos valores se les denomina coeficiente de escorrentía (C).

$$C = \frac{E_s}{P} \quad (3)$$

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve, granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo; de la humedad inicial del suelo; del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, profundidad efectiva, pedregosidad, densidad aparente, porosidad, contenido de materia orgánica, pendiente); del tipo de cobertura vegetal existente, etc. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre cero y uno.

$$I \sim P - C(P) \quad (4)$$

Donde:

I = Infiltración

P = Precipitación

C = Coeficiente de escorrentía

La bibliografía presenta diferentes metodologías y recomendaciones para la asunción de un coeficiente de escorrentía, tomando como criterio de selección a las propiedades físicas del suelo: usos de suelo, textura y pendiente. Para efectos del ejemplo se ha tomado como referencia, la tabla de coeficientes de escorrentía según Velasco-Molina (Martínez, 2006).

Tabla 4 Tabla de coeficientes de escorrentía

VEGETACIÓN	PENDIENTE (%)	TEXTURA DEL SUELO		
		Arenosa	Arcillosa y limosa	Arcilla
Bosques	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,25	0,35	0,50
	10-30	0,30	0,50	0,60
Pastizales	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,16	0,36	0,55
	10-30	0,22	0,42	0,60
Terrenos de cultivo	0-5	0,30	0,50	0,60
	5-10	0,40	0,60	0,70
	10-30	0,52	0,72	0,82

En etapa de prefactibilidad se propone cruzar la información geopedológica generada por el Ministerio de Agricultura (MAG) con las cuencas de aporte y extraer las variables que plantea la tabla 4, con el objeto de estimar la Infiltración.

Ejemplo: Para definir los coeficientes de escorrentía planteados en la tabla 4, se debe conocer de partida, los tipos de usos de suelo en las cuencas de aporte. Con base en la información de las capas geopedológicas generadas por el MAG (disponible en la página web Geoportal SIGTIERRAS, enlace: <http://ide.sigtierras.gob.ec/geoportal/>), se puede identificar que en las cuencas de aporte (producto 1) el tipo de uso de suelo predominante son los cultivos. Así se muestra en las siguientes ilustraciones.

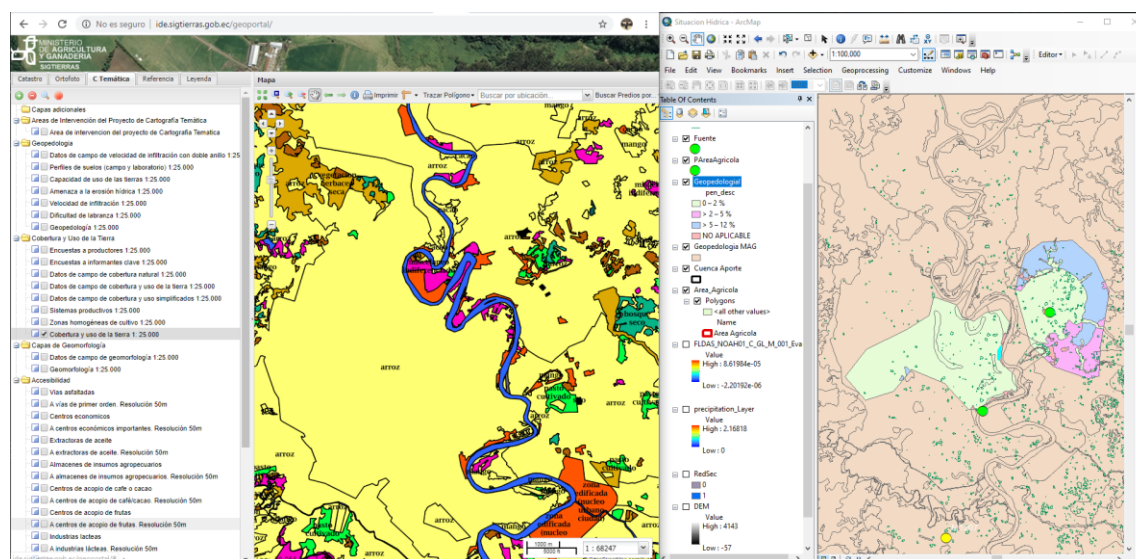


Ilustración 9. Distribución de pendientes y usos de suelo en las cuencas de aporte. Información obtenida del Geoportal SIGTIERRAS del MAG.

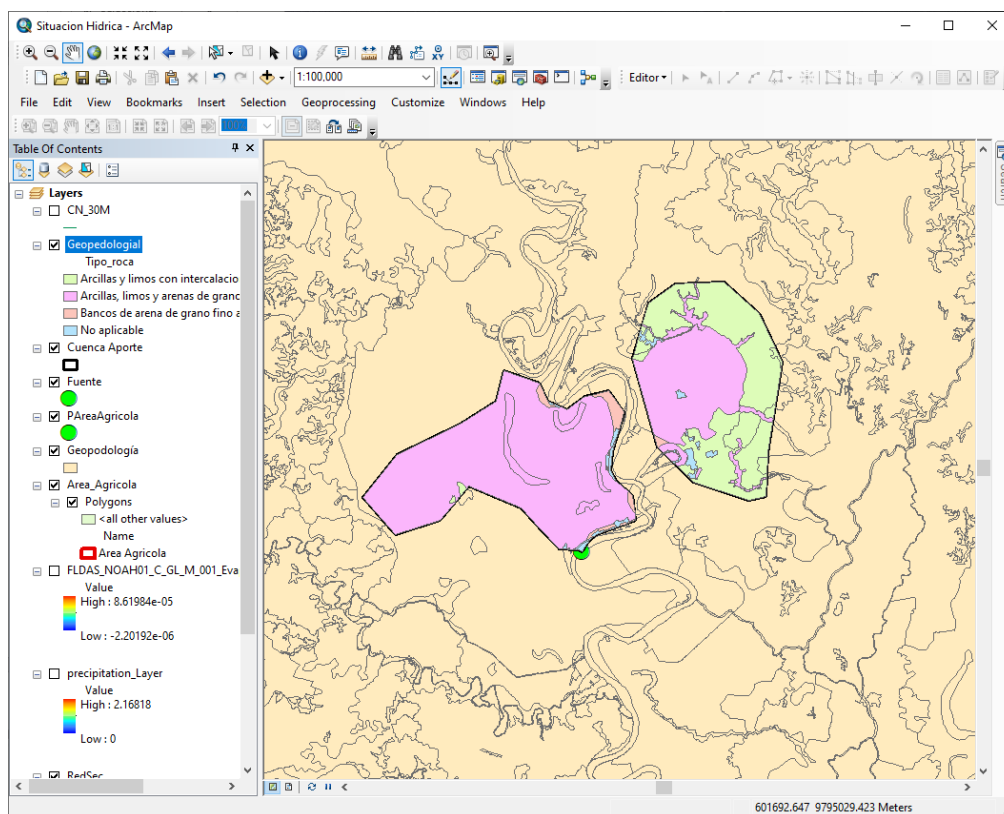


Ilustración 10. Distribución de tipo de suelo en las cuencas de aporte. Información obtenida del Geoportal SIGTIERRAS del MAG.

Ejemplo: En la siguiente tabla 5, se indica los porcentajes de área que corresponden a los rangos de pendiente y a los tipos de suelo (textura). Los resultados se extrajeron de la tabla de atributos del shape geopedología generado por el MAG disponible en la página web Geoportal SIGTIERRAS, enlace: <http://ide.sigtierras.gob.ec/geoportal/>

Tabla 5. Resultado del cruce de la información geopedológica generada por el MAG con las áreas de las cuencas de aporte.

Tipo de suelo	Pendientes (%)				
	> 2 – 5	> 5 – 12	0 – 2	No aplicable	Total % área
Arcillas y limos con intercalación de arenas poco consolidadas	9.56	16.01			25.58
Arcillas, limos y arenas de grano fino a medio			70.92		70.92
Bancos de arena de grano fino a medio			1.69		1.69
No aplicable				1.82	1.82
Total % de área	9.56	16.01	72.61	1.82	100.00

Ejemplo: Finalmente, en la Tabla 6, se indica los coeficientes de escorrentía, según Velasco-Molina, 1991 (tabla 4), que se aplican a las cuencas de aporte, con base en la información de tipo de suelo, uso de suelo y pendientes obtenidos de las capas geopedológicas generadas por el MAG y publicadas en el Geoportal SIGTIERRAS.



Tabla 6. Coeficientes de escorrentía aplicados a las cuencas de aporte ejemplo.

Cobertura y uso del suelo	Pendientes (%)	Textura de Suelo		
		Arenosa	Arcillosa y limosa	Arcillosa
Territorio de cultivos	0 – 2%	0.30	0.50	
	>2 – 5%		0.50	
	>5 – 12%		0.60	
Ponderación		0.30	0.53	

Para efectos de la estimación de la infiltración se debe considerar la retención de agua en el suelo que producen las lluvias posteriores al mes actual. Teóricamente se debe considerar los tres meses anteriores. Por tanto, la infiltración para cada tipo de suelo (j) se obtiene de la siguiente ecuación (5):

$$I_j = P_i - ((C_j * P_i) + (C_j * P_{i-1}) + (C_j * P_{i-2}) + (C_j * P_{i-3})) \quad (5)$$

A manera de ejemplo calcularemos la infiltración del mes de abril de año 2018 para la cuenca aportante a la zona agrícola de interés, tomado como referencia la información satelital obtenida en los ejemplos anteriores.

Precipitaciones:

Precipitación promedio de enero = 74 mm
Precipitación promedio de febrero = 326.5 mm
Precipitación promedio de marzo = 138.8 mm
Precipitación promedio de abril = 84.5 mm

Coeficientes de escorrentía por tipo de suelo:

Arenoso = 0.30
Arcilloso y limoso = 0.53

Porcentaje de área por tipo de suelo (Tabla 2)

Arenoso = 1.7% (fracción 0.017)
Arcilloso y limoso = 96% (fracción 0.96)

$$I_{ARENOSO} = (84.5 - ((0.3 * 84.5) + (0.3 * 138.8) + (0.3 * 326.5) + (0.3 * 74))) * 0.017$$

$$I_{ARENOSO} = - 1.74 \text{ mm/mes}$$

$$I_{ARCILLOSO Y LIMOSO} = (84.5 - ((0.53 * 84.5) + (0.53 * 138.8) + (0.53 * 326.5) + (0.53 * 74))) * 0.96$$

$$I_{ARCILLO Y LIMOSO} = - 236.26 \text{ mm/mes}$$

Ejemplo: Del análisis y cálculo realizado, se determinó que la infiltración mensual promedio en la cuenca de aporte a la zona agrícola de interés en el mes de abril del año 2018 es igual a 119mm. (I= - 119 mm/mes)

El cálculo indicado debe ser extendido para todo el periodo de datos (mínimo 10 años continuos).



En etapa de factibilidad se debe validar la estimación de infiltración con el muestreo de campo a través de la descripción de perfiles de suelo y la determinación de la tasa y velocidad de infiltración.

Consumos de agua en el sistema

Tabla 7. Elementos geográficos y estadísticos que contribuyen a la obtención de las componentes de consumo de agua en la cuenca de aporte.

Elemento geográfico	Información estadística	Escala temporal
Parcelas agrícolas	Kc cultivos	Etapas de desarrollo

Se recomienda que esta componente se calcule en etapa de factibilidad una vez que se confirme la disponibilidad de agua estimada en etapa de prefactibilidad.

Reingresos de agua al sistema

Tabla 8. Elementos geográficos y estadísticos que contribuyen a la obtención de las componentes de uso y reingreso de agua a la cuenca de aporte.

Elemento geográfico	Información estadística	Escala temporal
Puntos de muestreo de calidad de agua.	Cumplimiento respecto a los límites permisibles ⁴	Mensual
Plantas de tratamiento de agua		Mensual

La calidad del agua para riego afecta tanto a los rendimientos de los cultivos, a las condiciones físicas del suelo, a la salud, ambiente y al equipamiento del sistema de riego parcelario, por ello es necesario evaluar la calidad de agua en la fuente de abastecimiento y a la salida del sistema de riego. Es posible que la alteración en la calidad del agua pueda limitar el uso desde la fuente o para otros usuarios aguas abajo. Se recomienda que este componente se evalúe en etapa de factibilidad una vez que se confirme la disponibilidad de agua estimada en etapa de prefactibilidad.

Luego de identificar los elementos geográficos y estadísticos que permiten estimar las componentes del balance hídrico en un área georreferenciada, se puede evaluar el cantidad y nivel de información con la que se cuenta en las cuencas de aporte y es lo que define el grado de esfuerzo que se requerirá en etapa de factibilidad para levantar información primaria.

Ejemplo: El mapa de situación hídrica de la cuenca de ejemplo indica que existe gran cantidad de información secundaria de baja y media resolución que, pese a necesitar validación con información de campo, permite estimar el balance hídrico en los puntos de cierre identificados. Producto 2: Mapa de situación hídrica en la cuenca de aporte.

⁴ Referencia tablas 3 y 4 del Anexo 1, Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, acuerdo ministerial 097A, publicadas en el Registro Oficial Suplemento 387 de 4 de noviembre de 2015. <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>.

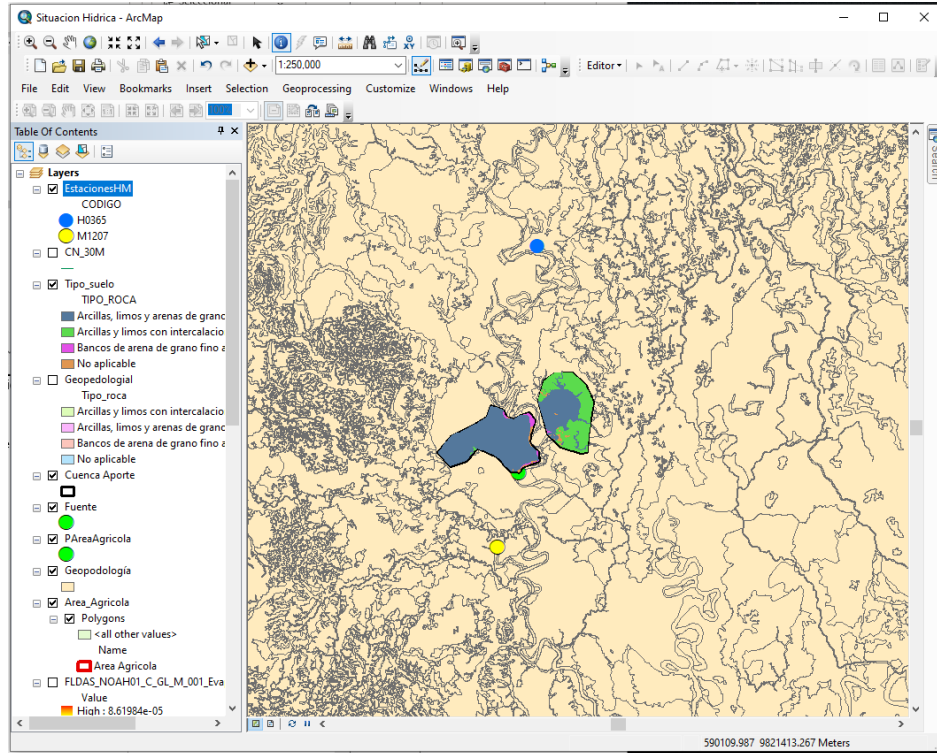


Ilustración 11. Mapa de situación hídrica de las cuencas de aporte.

Tema 3. ¿Cómo estimó el balance hídrico con información secundaria?

A partir de toda la información recopilada en los capítulos anteriores, se puede estimar el balance hídrico de un territorio bajo riego, a través del uso de plataformas SIG.

Ejemplo: Estimemos ahora el balance hídrico en las cuencas de aporte, con el apoyo del álgebra de mapas de la plataforma ArcGis. La fórmula del balance hídrico ($Es = P - ET - I$) Ec.2 se calcula de forma automática a través de este método. En la siguiente ilustración se muestra el diagrama álgebra del proceso.

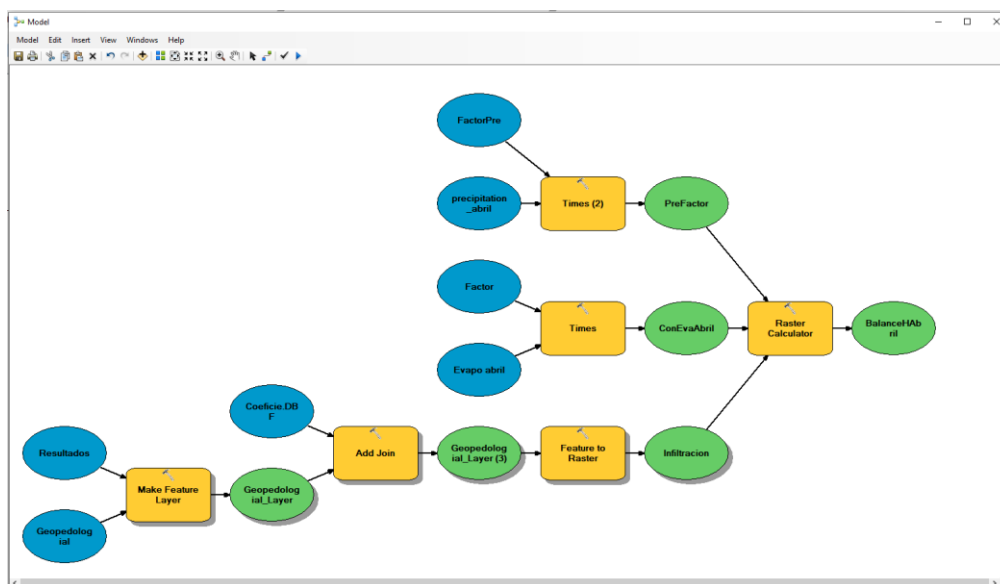


Ilustración 12. Diagrama álgebra de mapas en plataforma Arcgis para la estimación del balance hídrico.



La ilustración 12, indica un ejemplo de cómo organizar los procedimientos matemáticos que se requieren para el cálculo del balance hídrico a través de la herramienta “model building” que proporciona la plataforma ArcGis.

El balance hídrico también se lo puede obtener de forma manual aplicando la fórmula (2), siempre y cuando se cuente con toda la información que se ha venido desagregando en esta guía. Veamos el siguiente ejemplo.

Ejemplo: Estimación del Balance hídrico para el mes de abril del año 2018, utilizando como datos:

- Precipitación promedio de abril 2018, $P = 84.5 \text{ mm}$
- Evapotranspiración promedio de abril 2018, $ET_o = 116.64 \text{ mm}$
- Infiltración promedio mensual = $- 119 \text{ mm/mes}$

Si aplicamos la fórmula: $Es = P - ET_o - I$. $Es = 84.5 - 116.64 - (- 119)$

El cálculo de disponibilidad de agua en la cuenca de aporte para el mes de abril de 2018 es igual a 86.86 mm ($Es = 86.86 \text{ mm/mes}$)

La estimación del balance hídrico, resultado de las componentes identificadas y obtenidas como ejemplo en este capítulo, es positiva para el mes de abril del año 2018. Para conocer si la disponibilidad de agua es constante para todos los meses, el cálculo de balance hídrico debe extenderse a todos los meses de todos los años del periodo de datos seleccionado (mínimo de 10 años consecutivos).

La estimación de disponibilidad de agua en etapa de prefactibilidad debe dar indicios sobre las características climáticas y de suelo en el área agrícola de interés.

Este resultado en esta etapa presenta un rango de incertidumbre alto por el origen de los datos correspondientes a información satelital de media y baja resolución, posiblemente la evapotranspiración este sobreestimada y la precipitación subestimada. Por ello es importante que en la fase de factibilidad se confirmen los datos estimados para todos los meses de un periodo mínimo de 10 años continuos, con información real tanto climática, como de suelo, además de incluir el consumo de los cultivos identificados en el área agrícola de interés.



En Resumen

En este segundo capítulo, hemos determinado el balance hídrico de una zona de interés a través del uso de información secundaria. Se inició detallando cuales son los componentes que hacen parte de un balance hídrico, como: ingresos (precipitación), egresos (evapotranspiración, infiltración, escorrentía), consumos (evapotranspiración de los cultivos), reingresos (agua tratada).

La herramienta que permite la ubicación de todos los elementos geográficos de una cuenca de aporte, relacionados a los componentes de un balance hídrico es el mapa de situación hídrica.

Dentro de los ingresos, a nivel de precipitación, existen sitios de consulta de información como la página web del INAMHI y sus oficinas a nivel nacional. También existen bases de datos internacionales como la plataforma Giovanni, que permite la visualización y descarga de información.

A nivel de egresos, específicamente de evapotranspiración, existen bases de datos internacionales como la plataforma Giovanni, que permite la visualización y descarga de información. Para la infiltración, escorrentía y humedad del suelo, existe un modelo matemático a partir de tablas con datos referenciales de condiciones de suelo que, junto con valores de precipitación, permiten su cálculo.

Respecto a los consumos de agua, específicamente a la evapotranspiración de los cultivos, se utiliza la variable K_c determinada para cada cultivo. Estos valores se analizarán en la etapa de factibilidad.

Finalmente, para estimar el balance hídrico de una zona de interés a partir de la información secundaria recopilada, se lo puede hacer a través del uso de plataformas SIG. También se lo puede obtener de forma manual aplicando modelos matemáticos, siempre y cuando se cuente con toda la información.

Al final de este capítulo y procedimiento, se logra obtener un segundo y un tercer producto, el “mapa de situación hídrica de la cuenca de aporte” y el “valor estimado de disponibilidad de agua de la zona agrícola de interés”. Esta información nos debe dar los insumos sobre ingresos, egresos, consumos, reingresos de agua al sistema y una primera noción de las necesidades de agua de riego.



IV. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, C., & Barahona-Palomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración utilizados para el cálculo del balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *UNED Research Journal*, 9(1), 23–33. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1674>
- Martínez, A.-P. (2006). Particularización al método de los coeficientes de escorrentía. *Método de Los Coeficientes de Escorrentía. Mauco Generalizado*, 28. Retrieved from http://www.ugich.com/descargas/AECID_Curso1/CALCULO_DE_CAUDALES_DE_AVENIDA.pdf
- Llorens, P. 2003. La evaluación y modelización del balance hidrológico a escala de cuenca. *Ecosistemas* 2003/1. Disponible en: <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/opinion1.htm>.
- Ruiz, E., & Martínez Santos, M. (2015). Hidrología Aplicada Tema 4. Infiltración Y Humedad Del Suelo. *Hidrología Aplicada*, 24. Retrieved from https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/4575/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_4.pdf