

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen	1
Abstract	2

Capítulo 1 Introducción:

1.1 Antecedentes	3
1.2 Justificación	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6

Capítulo 2 Marco Teórico:

2.1 Marco Teórico	7
2.1.1 Modelo Hídrico SWAT	7
2.1.1.1 Variables del SWAT	10
2.1.1.1.1 Estimación de Caudales y Sedimentos	11
2.1.1.1.2 Variables Meteorológicas	11
2.1.2 Balance de Masas	11
2.1.2.1 Balance de Masas para Substancias Conservativas	12
2.1.2.2 Balance de Masas para Substancias No Conservativas	13
2.1.2.3 Balance de Masas para cargas Distribuidas	14
2.1.3 Parámetros para la Determinación de Materia Orgánica	15
2.1.3.1 Materia Orgánica	15
2.1.3.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	16
2.1.3.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	17

Capítulo 3 Zona de Estudio y Normativas:

3.1 Descripción de la zona de Estudio	18
3.1.1 Descripción del Clima	24
3.1.2 Descripción de los Suelos	26
3.1.2.1 Suelos en la Zona de estudio	27
3.2 Normativas	28

Capítulo 4 Metodología:

4.1 Metodología	29
4.1.1 Obtención de la Información	29
4.1.1.1 Para el Calculo de Caudales con el SWAT	29
4.1.1.1.1 Cartografía Base.....	29
4.1.1.1.2 Datos Meteorológicos e Hidrológicos.....	29
4.1.1.1.3 Mapa de Suelo de la Zona.....	29
4.1.2 Proceso de la Información	29
4.1.2.1 Cartografía Base	29
4.1.2.1.1 Georeferenciación en ArcGis	29
4.1.2.1.2 Digitalización de ArcGis	31
4.1.2.2 Proceso de los Datos Meteorológicos	33
4.1.2.2.1 Datos de Precipitación	33
4.1.2.2.2 Datos de Temperatura	37
4.1.2.3 Mapas de Tipos Suelos de la Zona	41
4.1.2.3.1 Tipos de Suelos de la Zona	41
4.1.2.3.1 Cálculo de la Erodabilidad, Conductividad Hidráulica y porcentaje de Arenas, Limos y Arcillas.	43
4.1.2.4 Mapas de Uso de Suelo de la Zona	45
4.1.2.5 Uso del SWAT	47
4.1.2.6 Recolección de las Muestras	54
4.1.2.7 Aplicación del Balance de Masas	57
4.1.2.7.1 Cargas Puntuales	58
4.1.2.7.2 Cargas Distribuidas	59
4.1.2.8 Aplicación del Programa para el Modelo de Balance de Masas.....	61

Capítulo 5 Resultados:

5.1 Resultados	63
5.1.1 Mapa de Uso de Suelos	63
5.1.2 Resultados del SWAT	63
5.1.3 Resultados de los Caudales de las Cargas Distribuidas	71
5.1.4 Resultados de las Concentraciones de Materia Orgánica.....	72
5.1.5 Resultados del Promedio de las Concentraciones de los Afluentes.....	73
5.1.6 Resultado del Modelo de Balance de Masas	73
5.1.7 Obtención de la Constante	74

Capítulo 6 Discusión de Resultados:

6.1 Discusión de Resultados.....	76
----------------------------------	----

Capítulo 7 Conclusiones y Recomendaciones:

7.1 Conclusiones	78
7.2 Recomendaciones	79

ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS y FLUJOGRAMAS

Capítulo 2 Marco Teórico:

Figura 1: Diagrama del ciclo Hidrológico del Agua	9
Gráfico 1: Balance de Masas para Substancias Conservativas	13
Gráfico 2: Balance de Masas para Substancias No Conservativas	14
Gráfico 3: Balance de Masas para Cargas Distribuidas	15

Capítulo 3 Zona de Estudio y Normativas:

Gráfico 4: Área de estudio a nivel nacional	18
Gráfico 5: Área de estudio a nivel provincial	19
Gráfico 6: Área de estudio a nivel de cuenca	20
Gráfico 7: Poblaciones principales que se encuentran el área de estudio	22
Gráfico 8: Diagrama Ombrotérmico estación Izobamba.....	25
Gráfico 9: Diagrama Ombrotérmico estación Quito.....	25

Capítulo 4 Metodología:

Gráfico 10: Tipos de Suelos	29
Flujograma 1: Georeferenciación en Arc Gis.....	30
Flujograma 2: Digitalización en Arc Gis.....	31
Gráfico 11: Precipitaciones Mensuales estación Quito	34
Gráfico 12: Precipitaciones Mensuales estación Izobamba	35
Gráfico 13: Temperatura Mensual estación Quito	38
Gráfico 14: Temperatura Mensual estación Izobamba	39
Gráfico 15: Porcentaje de Arenas, Limos y Arcillas	43
Gráfico 16: Conductividad Hidráulica	45
Flujograma 3: Uso del SWAT.....	47
Gráfico 17: Ubicación de los Puntos de Muestreo	54
Gráfico 18: Balance de Masas para Cargas Puntuales.....	59
Gráfico 19: Balance de Masas para Cargas Distribuidas.....	60
Flujograma 4: Metodología.....	62

Capítulo 6 Discusión de Resultados:

Gráfico 20: Variación de DBO5 calculado por el Modelo de Materia Orgánica en el tramo analizado del Río San Pedro.....	76
--	----

ÍNDICE DE CUADROS

Capítulo 3 Zona de Estudio y Normativas:

Cuadro 1: Coordenadas del área usada en el SWAT	23
Cuadro 2: Coordenadas inicial y final del tramo del río analizado.....	23

Capítulo 4 Metodología:

Cuadro 3: Estación Quito - precipitaciones promediadas de 10 años de 1990 al 2000.....	33
Cuadro 4: Estación Izobamba - precipitaciones promediadas de 10 años de 1990 al 2000.....	34
Cuadro 5: Cálculo de la intensidad y las medias de precipitación para la Estación Quito	36
Cuadro 6: Cálculo de la Desviación Estándar y el Coeficiente de Asimetría para la Estación Quito	37
Cuadro 7: Estación Quito - temperaturas promediadas de 10 años de 1990 al 2000.....	37
Cuadro 8: Estación Izobamba - temperaturas promediadas de 10 años de 1990 al 2000.....	39
Cuadro 9: Cálculo de la Desviación Estándar y las Temperaturas Promedio	40
Cuadro 10: Tipos de Suelo de la Zona	41
Cuadro 11: Localización Gráfica y Coordenadas de los Puntos de Muestreo	55

Capítulo 5 Resultados:

Cuadro 12: Caudales (m ³ /s) Punto Inicial (Río San Pedro)	63
Cuadro 13: Caudales (m ³ /s) Quebrada Santo Domingo (P21 solo caudal).....	64

Cuadro 14: Caudales (m3/s) Quebrada Tambilloyacu (P2).....	64
Cuadro 15: Caudales (m3/s) Quebrada Jalupana (P3).....	65
Cuadro 16: Caudales (m3/s) Quebrada Chaquishcahuaycu (P16 solo caudal).....	65
Cuadro 17: Caudales (m3/s) Quebrada Anchamaso (P17 solo caudal).....	66
Cuadro 18: Caudales (m3/s) Quebrada Saguanchi (P18 solo caudal).....	66
Cuadro 19: Caudales (m3/s) Quebrada Chusalongo (P4).....	67
Cuadro 20: Caudales (m3/s) Quebrada Mama Brigida (P19 solo caudal)	67
Cuadro 21: Caudales (m3/s) Quebrada Guamba (P15).....	68
Cuadro 22: Caudales (m3/s) Quebrada Yanahuaycu (P8).....	68
Cuadro 23: Caudales (m3/s) Quebrada Suruhuaycu (P20 solo caudal).....	69
Cuadro 24: Caudales (m3/s) Río Cachaco (P9).....	69
Cuadro 25: Caudales (m3/s) Río Santa Clara (P10).....	70
Cuadro 26: Caudales (m3/s) Río Capelo (P12).....	70
Cuadro 27: Caudal Cargas Distribuidas Cantón Rumiñahui	71
Cuadro 28: Caudal Cargas Distribuidas Cantón Quito.....	71
Cuadro 29: Concentraciones de DBO5 obtenidas a partir del Modelo de materia Orgánica.....	72
Cuadro 30: Promedio de las Concentraciones de los Afluentes	73
Cuadro 31: Datos Reales y Calculados para los puntos 6 y 13.....	74
Cuadro 32: Resultados Finales	75

BIBLIOGRAFÍA	80
---------------------------	-----------

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Normativas:

Anexo 1.1 Libro VI Anexo 1 TULAS

Anexo 1.2 Límites Permisibles para Agua de Riego (FAO)

Anexo 1.3 Ordenanzas Municipales del Municipio de Rumiñahui

Anexo 2 Análisis de Aguas

Anexo 3 Mapas:

Mapa 1: Mapa de Suelos

Mapa 2: Mapa de Uso de Suelos

Mapa 3: Mapa de Relieve

Mapa 4: Mapa de Puntos de Muestreo para el Análisis de DBO5 y DQO

Mapa 6: Mapa de Variación de Concentración de Materia Orgánica

Mapa 7: Mapa de Cargas Distribuidas de Alcantarillado

Resumen

La zona del Valle de Los Chillos, Sangolquí y Amaguaña son zonas densamente pobladas y con un alto índice de crecimiento poblacional por lo que cada vez producen mayor cantidad de aguas servidas y su demanda de alcantarillado va en aumento, contaminando con materia orgánica las aguas superficiales que se encuentran a su alrededor.

Por lo que el objetivo de este proyecto fue aplicar un modelo que explique la variación de materia orgánica en la cuenca media baja del Río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia.

Para la aplicación de este modelo, se utilizó el SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para el cálculo de caudales y se efectuó Balance de Masas para determinar la variación de la concentración de materia orgánica en este tramo del río.

Tanto el SWAT como el Modelo de Balance de Masas fueron respectivamente calibrados con datos reales para obtener una mayor confiabilidad en los resultados.

La aplicación de estos dos modelos ayudó a determinar que la cantidad de materia orgánica encontrada en el Río San Pedro en este tramo durante época de lluvias no es significativa, por lo que no sobrepasa la capacidad de autopurificación del río estudiado.

Abstract

The valley area called Los Chillos, Sangolquí and Amaguaña are densely populated zones with a high index of population growth.

For this reason each time they produced a more and more contaminated waters with organic matter.

The objective of this work was explain the organic matter variation on the low and medium basin of the San Pedro River at the section between Tambillo and La Armenia.

The model applied was the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) in order to calculated wealths and after was applied the Balance of Masses Model to obtain the variation of the organic matter concentration at this river section .

The SWAT and the Balance of Masses Models were respectively calibrated with real values of meteorological stations for more reliable results.

This two models applied determined that the organic matter amount in the river at winter season is not significant with levels of the organic matter gives by the FAO for irrigation water, and this means that San Pedro River can autopurified during this course.

1.1.- Antecedentes

“De los deshielos de los montes Ilinizas, nace el Río San Pedro que atraviesa el valle de Machachi, pasando por la población del Chaupi, llega al Valle de los Chillos donde cerca de Sangolquí recibe pequeños afluentes y antes de Conocoto recibe las aguas del Capelo. Su principal afluente es el río Pita que nace al sureste del volcán Cotopaxi, bordea al monte Sincholagua de donde recibe el aporte de quebradas menores y atraviesa el Valle de los Chillos hasta su confluencia con el Río San Pedro en el sector sur este del cerro Ilaló.”¹

Pero al ser el San Pedro un río que atraviesa por varios centros poblados y zonas agrícolas es evidente que se encuentra contaminado por toda clase de descargas producidas por los seres humanos como son los pesticidas, los desechos químicos y las aguas residuales de las viviendas y fábricas del lugar.

La proliferación de construcciones y la expansión urbana, principalmente de parroquias como Amaguaña, Sangolquí y Uyumbicho que sin control alguno descargan sus efluentes en este cuerpo de agua son los principales focos de contaminación.

Además existe una gran variedad de fábricas y de empresas florícolas que también usan las aguas del Río San Pedro o sus afluentes como destino final de sus descargas contaminantes.

Por esta razón los habitantes de la zona se ven afectados por problemas de salubridad de las aguas del río, a orillas del cual han edificado sus casas buscando un ambiente tranquilo y libre de contaminación para sus hijos.

¹ Paola Karina Valenzuela Cárdenas , “Aplicación de Modelo Hídrico SWAT 99.2 para el Análisis del Impacto de la Deforestación y del Avance de la Frontera Agrícola en la Producción y Almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del Río San Pedro”

Por todas las razones anteriormente mencionadas, distintas instituciones entre estas la Corporación Grupo Randi Randi han implementado distintos proyectos relacionados con esta y otras cuencas.

Fue así como en el año 2002 la Corporación Grupo Randi Randi junto al Municipio del cantón Mejía y a algunos pobladores de la zona crean el Consorcio para el Desarrollo Sostenible del Cantón Mejía (CODECAME). Organización sin fines de lucro que busca el desarrollo sustentable de la cuenca y solucionar los problemas principalmente de carácter social y ambiental de la misma a través de la participación ciudadana.

Dentro de este contexto se han desarrollado varios proyectos para la subcuenca del Río San Pedro como son:

- “Aplicación de Modelo Hídrico SWAT 99.2 para el Análisis del Impacto de la Deforestación y del Avance de la Frontera Agrícola en la Producción y Almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del Río San Pedro”
- “El Estudio de la Reubicación del Botadero de Basura de Machachi”
- “El Análisis de los Sistemas Productivos Agrícolas en la Zona Media de la Subcuenca del San Pedro”
- “la Propuesta de Fortalecimiento Organizativo para las Juntas Administradoras de Agua Potable de la cuenca alta del Río San Pedro- Cantón Mejía”

Que sirvieron de base y como fuentes de consulta para el tema desarrollado en este proyecto de grado.

1.2.- Justificación

La zona de estudio abarca todo el recorrido del Río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia.

Este tramo atraviesa los siguientes cantones: en su mayor parte al Cantón Rumiñahui y en una pequeña parte a los Cantones de Quito y Mejía.

Debido a la rápida expansión urbana y al creciente avance de la frontera agrícola, principales causantes de la contaminación del Río San Pedro, es necesario e importante realizar un estudio para medir la gravedad de la contaminación en este río y su afectación a los pobladores, ya que éstos utilizan el agua para: riego, crianza de ganado, crianza de aves, lavado de ropa, uso industrial, entre otros.

Además la gran mayoría de descargas contaminantes vertidas al río son producto de las aguas residuales domésticas, razón por la cual es importante determinar el grado de contaminación y sus posibles causas, para proponer posibles soluciones sobre qué se debe hacer para disminuir la contaminación en dicho río.

Al no haberse realizado anteriormente estudios de este tipo en la zona no se ha podido dar soluciones a las demandas hechas por los pobladores de la zona sobre los problemas que tanto los aquejan.

1.3.- Objetivos

1.3.1.- Objetivo General

Aplicar un Modelo que explique la variación de concentración de Materia Orgánica en el Río San Pedro para el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia por medio de un balance de masas, para así determinar el grado de contaminación por materia orgánica de dicho río.

1.3.2.- Objetivos Específicos

- Aplicación de un Modelo de Materia Orgánica mediante la aplicación balances de masas y criterios de cinética química en el Río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y La Armenia.
- Verificación del Modelo de Materia Orgánica y análisis de los resultados obtenidos de este modelo aplicado para el Río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y La Armenia.
- Proponer un conjunto de posibles soluciones al problema de la contaminación por Materia Orgánica en el Río San Pedro.

2.1.- Marco teórico

2.1.1.- Modelo Hídrico SWAT

El Modelo Hídrico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo que fue desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para la evaluación del impacto del manejo del uso del suelo en las cuencas hidrográficas.²

En el caso de este estudio se utilizó la versión 99.2 que posee una interfase con ArcView y se instala como una extensión de éste para facilitar así la manipulación de la información geográfica.

El programa SWAT basa su funcionamiento en un balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento de agua en la cuenca.

Un balance hídrico es la relación existente entre el agua que ingresa y sale de una cuenca.

Se encuentra definido por la siguiente ecuación:

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - Et_i - P_i - Qr_i) \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:

SW_t ⇒ es el contenido de agua en mm en el suelo en el día t

SW ⇒ es el agua aprovechable por las plantas en mm o el contenido de agua en el suelo en mm menos el contenido de agua a 15 bar (a tensión de 15 bares).

R ⇒ es la precipitación diaria en mm

² Programa gratuito (Web: <http://www.brc.tamus.edu/swat/index.html>)

Q ⇒ es la cantidad de escorrentía diaria en mm

ET ⇒ evapotranspiración diaria en mm

P ⇒ percolación diaria en mm

QR ⇒ el flujo de retorno o flujo base en mm

El SWAT para mejorar la precisión de los datos divide cada cuenca en pequeñas subcuencas para mejorar la exactitud de los cálculos de los caudales y los sedimentos.

Además como el comportamiento del agua en el suelo depende del tipo de suelo y de su uso, el programa realiza la combinación de estas dos coberturas que dan como resultado las llamadas Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) que son las unidades con las que el programa trabaja y realiza sus cálculos.

Toda la información que se ingresa al programa es clasificada y categorizada dentro de los siguientes temas: topografía de la cuenca, suelos, uso del suelo, precipitación, clima, lagunas y reservorios y aguas subterráneas.

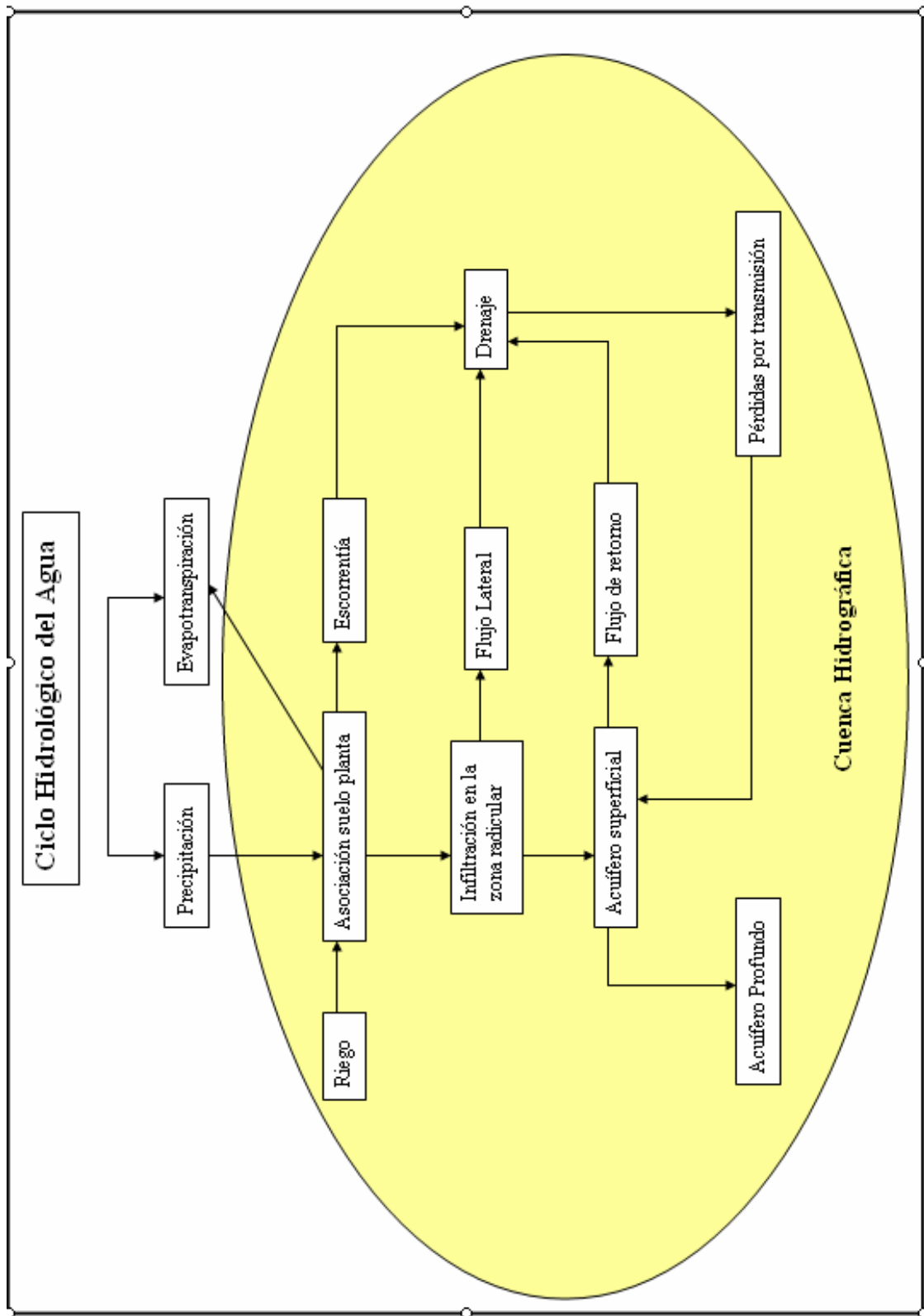


Figura 1 (Diagrama del Ciclo Hidrológico del Agua)³

³ Figura obtenida de las Bases Teóricas del SWAT

2.1.1.1.- Variables del SWAT:

Escorrentía: es parte de la precipitación que al llegar al suelo no se puede infiltrar y corre por la superficie arrastrando con ella parte de los sedimentos desprendidos por la lluvia hasta los drenajes naturales o artificiales de una cuenca.

Infiltración: es el agua que penetra en el suelo por distintos caminos ya sea por grietas o suelos más permeables.

Flujo Lateral: es el agua que se mueve por debajo de la superficie del suelo y sobre el nivel de los acuíferos, la cual fluye subsuperficialmente y alimenta los canales de drenaje, las quebradas y los ríos.

Percolación: es el movimiento lento del agua dentro de un medio poroso. El agua de percolación es esa parte de agua filtrada que logra atravesar la zona radical, que está considerada por el SWAT entre 0 y 2 metros.

Flujo de Retorno: es el flujo de agua que llega hasta el cauce de los canales naturales desde las aguas subterráneas

Evapotranspiración: es la cantidad de agua transferida a la atmósfera por transpiración de las plantas y por evaporación de agua del suelo.

Variables Climáticas: Las variables climáticas para el SWAT son precipitación, temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa.

Todas estas variables deben ser diarias y provenir de una o más estaciones meteorológicas ubicadas dentro o en las cercanías de la zona de estudio, por un período mínimo de 10 años consecutivos.

Sedimentación: en este caso son todos los sólidos perdidos por acción de la erosión hídrica.

2.1.1.1.1.- Estimación de caudales

Para estimar la producción de caudales, el SWAT basa su análisis en el balance hídrico de la cuenca.

Este balance hídrico depende de varios factores como son: los tipos de suelos, el uso actual de suelo, la cobertura vegetal, la precipitación y la temperatura diaria de la cuenca.

A partir de estos datos, el SWAT realiza un modelamiento y proporciona los caudales estimados.

2.1.1.1.2.- Variables Meteorológicas

Las variables meteorológicas utilizadas por el SWAT son: precipitación diaria por un período mínimo de 10 años, temperatura diaria por un período mínimo de 10 años, humedad relativa y punto de rocío.

2.1.2.- Balance de Masas

Un balance de masa se define como la verificación de la igualdad cuantitativa de masas que debe existir entre los insumos de entrada y los productos y residuos de salida.

Es la aplicación de la ley de la conservación de la masa. O ley de Lavoisier que dice ***"En toda reacción química la masa se conserva, esto es, la masa total de los reactivos es igual a la masa total de los productos"***(la materia ni se crea ni se destruye solo se *transforma*).

Dentro de esta ley todo lo que entra es igual a lo que sale, es decir el flujo másico que entra es igual al flujo másico de salida.

La aplicación de un modelo basado en el balance de masas permite la determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos, presentados en el aire, agua, y suelo (expresados en concentración o masa) y la determinación del grado de contaminación

que pueden provocar dichos parámetros bajo diversas condiciones. Los balances se pueden aplicar para sustancias conservativas y no conservativas.

El cálculo del flujo másico para efectuar el balance de masas se realiza con la siguiente ecuación:

$$W = Q * C \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

C = Concentración (mgr/lit)

W = Flujo másico

Q = caudal volumétrico (lit)

2.1.2.1.- Balance de Masas para Sustancias Conservativas:

Para una sustancia conservativa se realiza un balance general de la siguiente manera:

$$W_x = W + W_1 + W_2 + W_3 \quad (\text{Ec.3})$$

$$Q_x = Q + Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

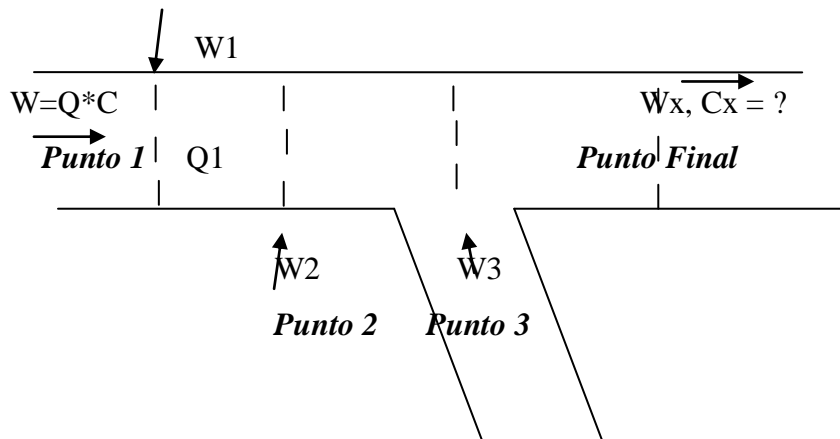
W_x = Flujo másico final

W_1, W_2, W_3 = Flujo másico en el punto 1, 2 y 3

Q_x = caudal volumétrico final (lit)

Q_1, Q_2, Q_3 = caudal volumétrico (lit) del punto 1, 2 y 3

Gráfico 1 Balance de Masas para Substancias Conservativas



Autor: Catherine Proaño

2.1.2.2.- Balance de Masas para Substancias No Conservativas:

Para una sustancia no conservativa se realizan balances puntuales de la siguiente manera:

Balance en el Punto 1

$$W + W1 = W1' \quad (\text{Ec.5})$$

$$Q * C + Q1 * C1 = Q1' * C1' \quad (\text{Ec.6})$$

$$Q1' = Q + Q1 \quad (\text{Ec.7})$$

$$C2' = C1' * e^{-kx1/v} \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

Q = Flujo volumétrico de entrada al punto 1(lt)

W = Flujo másico de entrada al punto1(mgr/s)

C = Concentración de entrada al punto 1(mgr/lt)

W1' = Flujo másico de salida del punto 1 (mgr/s)

Q1' = Flujo volumétrico de salida del punto 1 (lt)

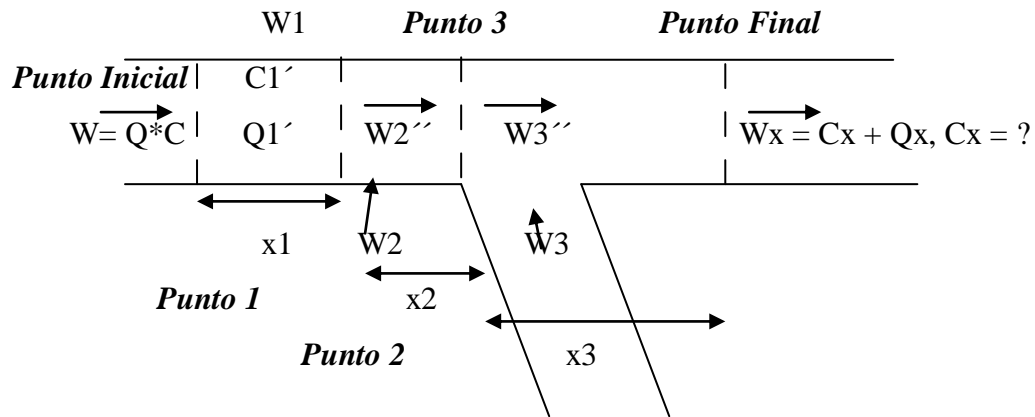
C1' = Concentración de salida del punto1(mgr/lt)

C2' = Concentración de entrada al punto 2 (mgr/lt)

x1 = Distancia del punto 1 al punto 2 (m)

k= Constante de variación del río (días⁻¹)

Gráfico 2 Balance de Masas para Substancias No Conservativas



Autor: Catherine Proaño

Balance en el Punto 2

$$W_2' + W_2 = W_2''$$

$$C_2'' = W_2'' / Q_2$$

$$C_3'' = C_2'' * e^{-kx_2/v}$$

Balance en el Punto 3

$$W_3' + W_3 = W_3''$$

$$C_3'' = W_3'' / Q_3$$

$$C_x = C_3'' * e^{-kx_3/v}$$

2.1.2.3.- Balance de Masas para Cargas Distribuidas:

$$C_x = \frac{CD}{K} (1 - e^{-kx/v}) \quad (\text{Ec. 9})$$

$$CD = \frac{W}{A * l} \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

W = Flujo másico de la carga distribuida (mgr/s)

A = área (m^2)

C_x = concentración final del tramo (mgr/lt)

CD = concentración carga distribuida (mgr/lt)

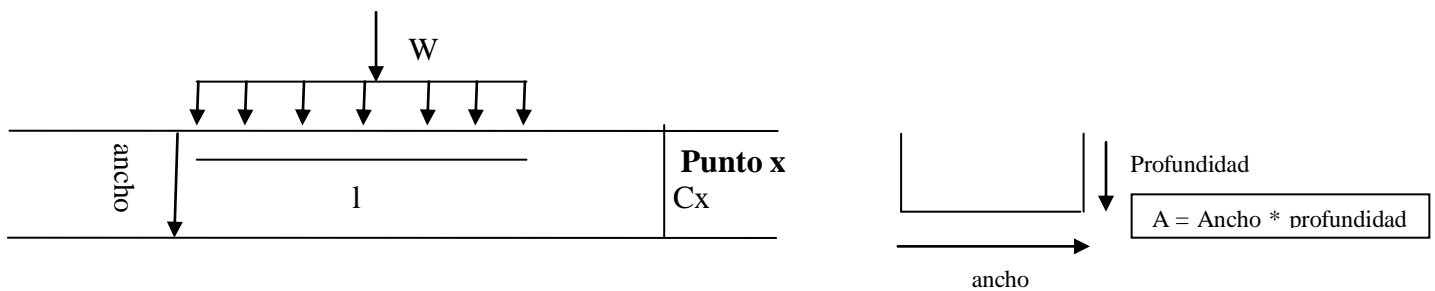
x = distancia entre el punto inicial y final del tramo analizado (m) $x \leq l$

l = distancia de la carga distribuida (m)

v = velocidad (m/s)

k = constante

Gráfico 3 Balance de Masas para Cargas Distribuidas



Autor: Catherine Proaño

2.1.3.- Parámetros para la determinación de Materia Orgánica

2.1.3.1.- Materia orgánica

La contaminación orgánica proviene de desechos domésticos (humanos y animales), agrícolas (herbicidas, insecticidas y restos de plantas) e industriales (desechos de mataderos, de procesamiento de alimentos, de diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas).

La contaminación de un cauce, con alta concentración de materia orgánica viene de los procesos de descomposición de la misma, los que consisten básicamente en reacciones químicas que requieren de oxígeno disuelto en el agua para su desarrollo.

Se habla de contaminación en el agua cuando la cantidad de materia orgánica supera la capacidad de autopurificación de la misma, es decir el agua mientras es transportada adquiere oxígeno en intercambio con la atmósfera lo que permite que los microorganismos que viven en ella puedan degradar la materia orgánica existente. Pero si esta cantidad supera la capacidad de un cuerpo de agua de degradar esta materia, entonces podemos hablar de que este cuerpo de agua se encuentra contaminado.

La medida de la concentración⁴ de materia orgánica en el agua se realiza por medio de diversas técnicas como son: la determinación de la concentración de DBO y DQO.

2.1.3.2. - Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Mide la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el agua y que es susceptible de una oxidación química.

Por este motivo debe ser siempre mayor que la concentración de DBO₅, ya que este solo expresa la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua.

Para la medición de DQO se sustituyen los microorganismos oxidantes por un poderoso agente químico como el dicromato de potasio o el permanganato de potasio en medio ácido.

Esta oxidación como ya se mencionó antes da una idea cuantitativa de la cantidad de sustancias susceptibles de oxidación que existen en el agua ya sean inorgánicas u orgánicas.

⁴ Concentración: es la magnitud física que expresa la cantidad de un elemento o un compuesto por unidad de volumen. (Wikipedia 2007)

El resultado se expresa tanto en (mgr o₂/lt) como en (ppm o₂)⁵, representando la cantidad de oxígeno equivalente al oxidante químico utilizado en la determinación del DQO.⁶

En la mayoría de los casos un valor elevado indica un agua con muchas sustancias oxidables, o sea, con gran cantidad de contaminantes orgánicos.

2.1.3.3.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es el parámetro que se maneja para tener una idea de la concentración en materia orgánica biodegradable presente en el agua.

Se calcula generalmente midiendo el DBO₅ que es la disminución en la concentración de oxígeno disuelto en el agua después de incubar una muestra durante 5 días a 20°C.

La reacción se lleva a cabo en la obscuridad, para evitar la producción de oxígeno por las algas, a la dilución adecuada y manteniendo el pH entre 7 y 7.5.

Las unidades de medida son (mgr o₂/lt) o (ppm o₂).⁷

El DBO₅ se calcula con la siguiente ecuación:

$$DBO_5 = (OD \text{ Blanco} - OD \text{ titulación}) \times \text{factor (P)} \text{ (Ec. 11)}$$

⁵ ppm o₂ : partes por millón de oxígeno disuelto en el agua.

⁶ Contaminación Ambiental – Una visión desde la química (Universidad de Burgos)

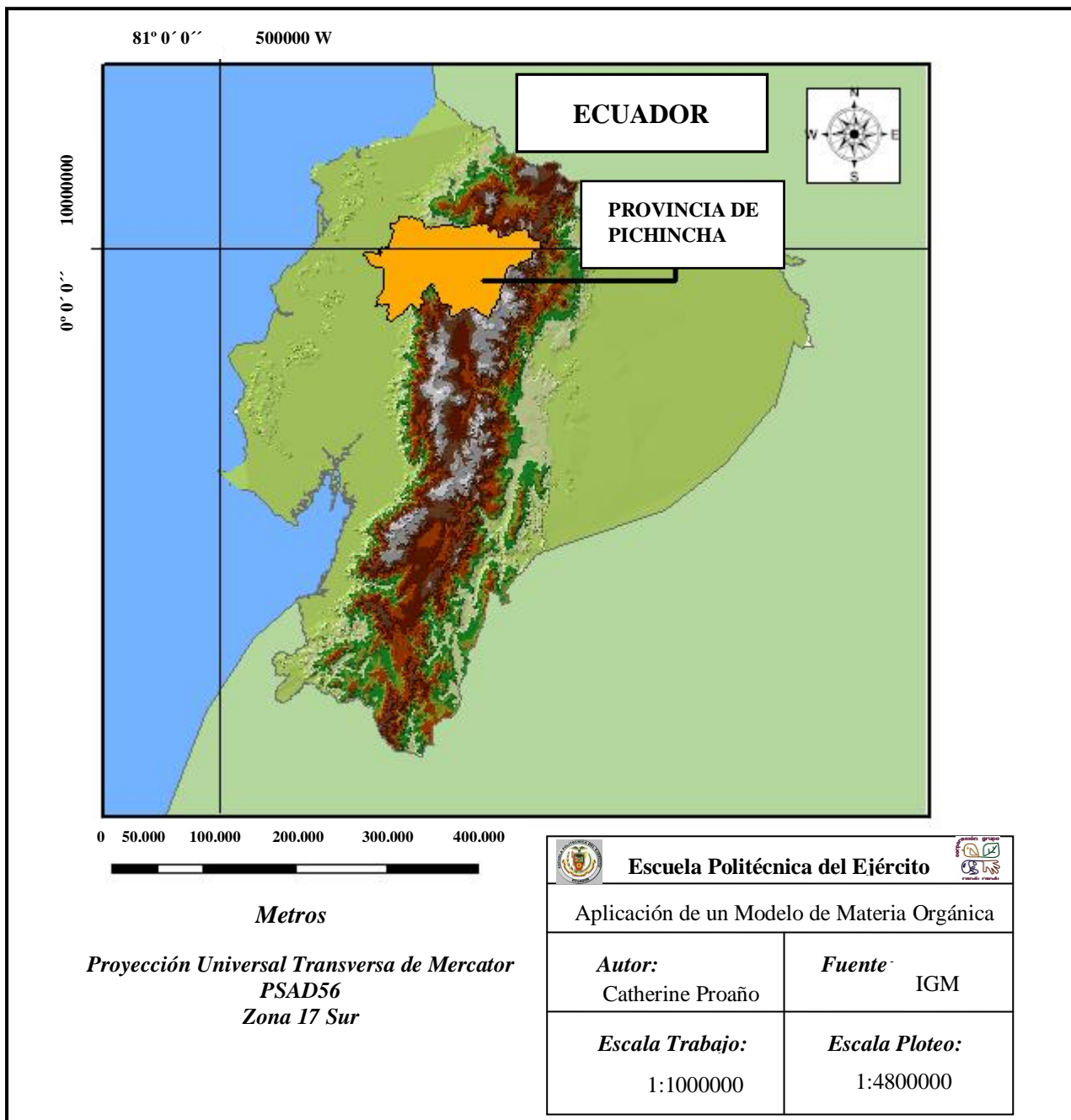
⁷ Contaminación Ambiental – Una visión desde la química (Universidad de Burgos)

3.1.- Descripción de la Zona de Estudio

El área a ser estudiada en esta cuenca corresponde al tramo comprendido entre Tambillo y La Armenia y equivale al área más urbanizada de la cuenca.

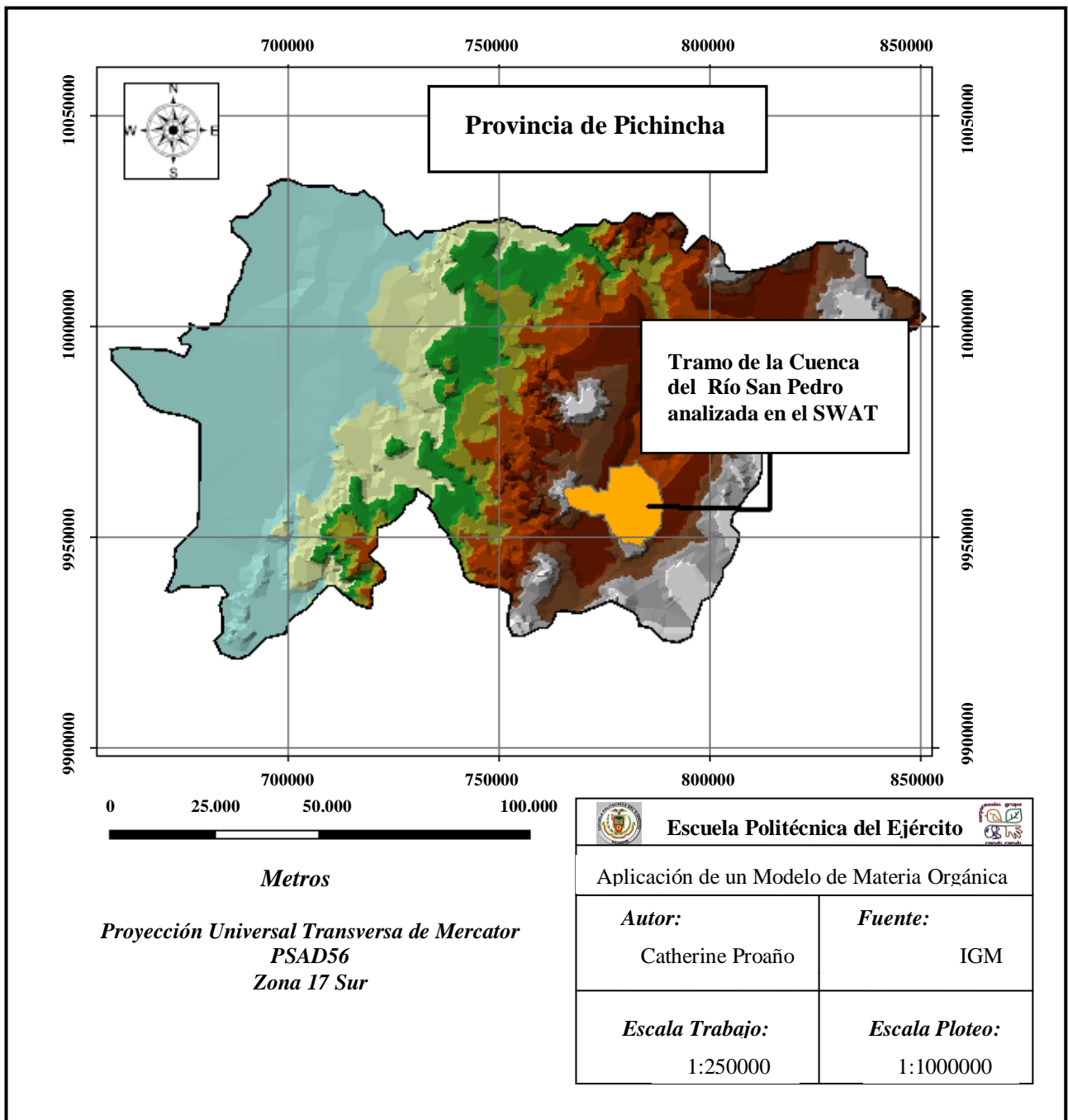
Área de Estudio

Gráfico 4 Área de Estudio a Nivel Nacional



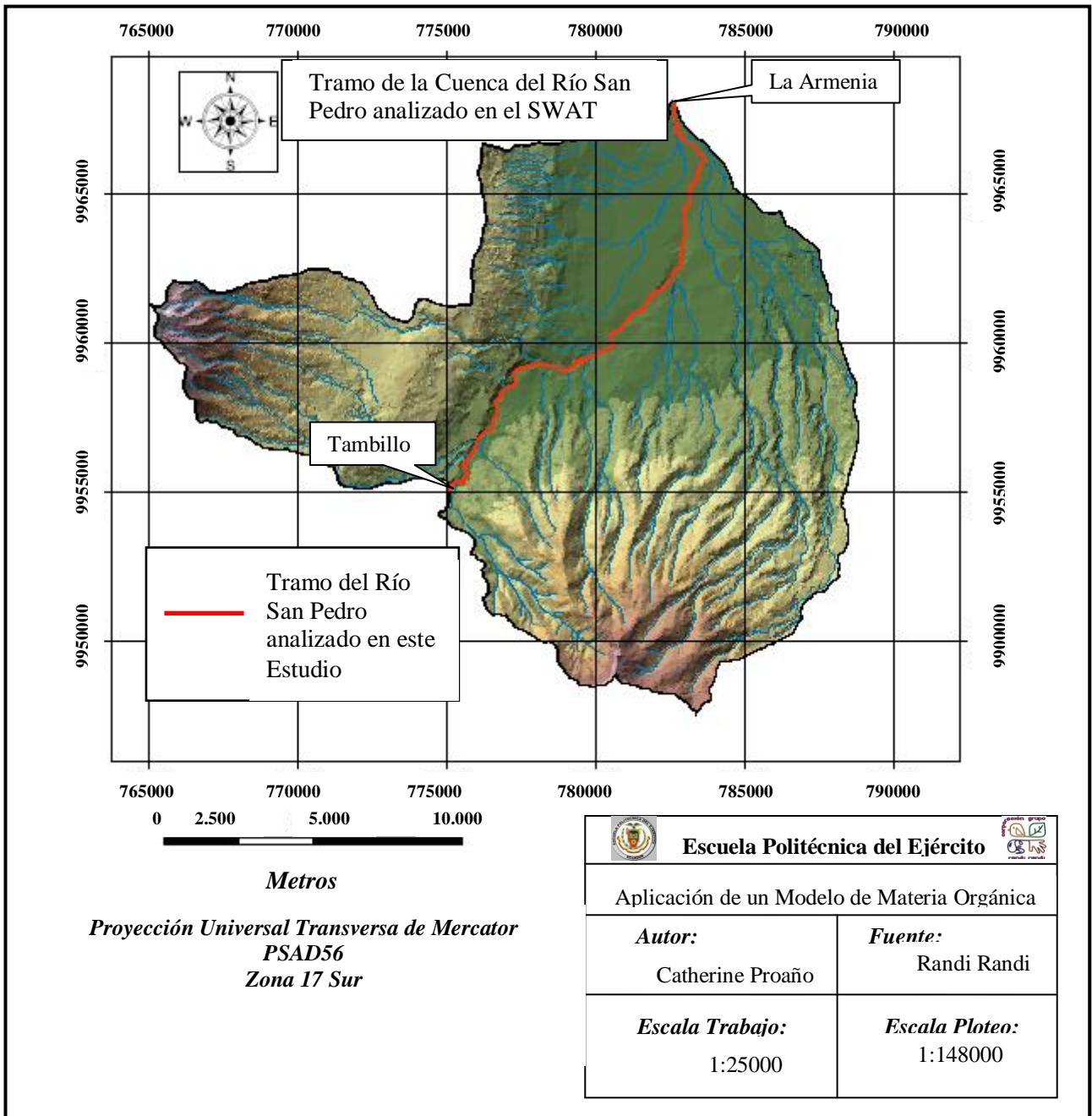
Autor: Catherine Proaño

Gráfico 5 Área de Estudio a Nivel Provincial



Autor: Catherine Proaño

Gráfico 6 Área de Estudio a Nivel de Cuenca



Autor: Catherine Proaño

El Río San Pedro se encuentra casi en su totalidad en la provincia de Pichincha y atraviesa los cantones de Mejía, Rumiñahui y Quito, dentro de los cuales contribuyen a aumentar su caudal distintos afluentes y quebradas.

Dentro de los principales afluentes en esta zona se encuentran el Río Cachaco, Santa Clara, Capelo y Pita. (Anexo 3, mapa 3)

Al atravesar la población de San Rafael la cuenca sufre una intervención importante, ya que su caudal es canalizado casi en su totalidad dentro de un canal paralelo al curso del río.

De esta manera es trasladado a la represa de Guangopolo en donde es utilizado para la producción de energía eléctrica y después es entubado en conjunto con el resto del caudal para ser liberado posteriormente a la altura de la población de Tumbaco en donde se une con otros afluentes importantes para así transformarse en el río Guayllabamba.

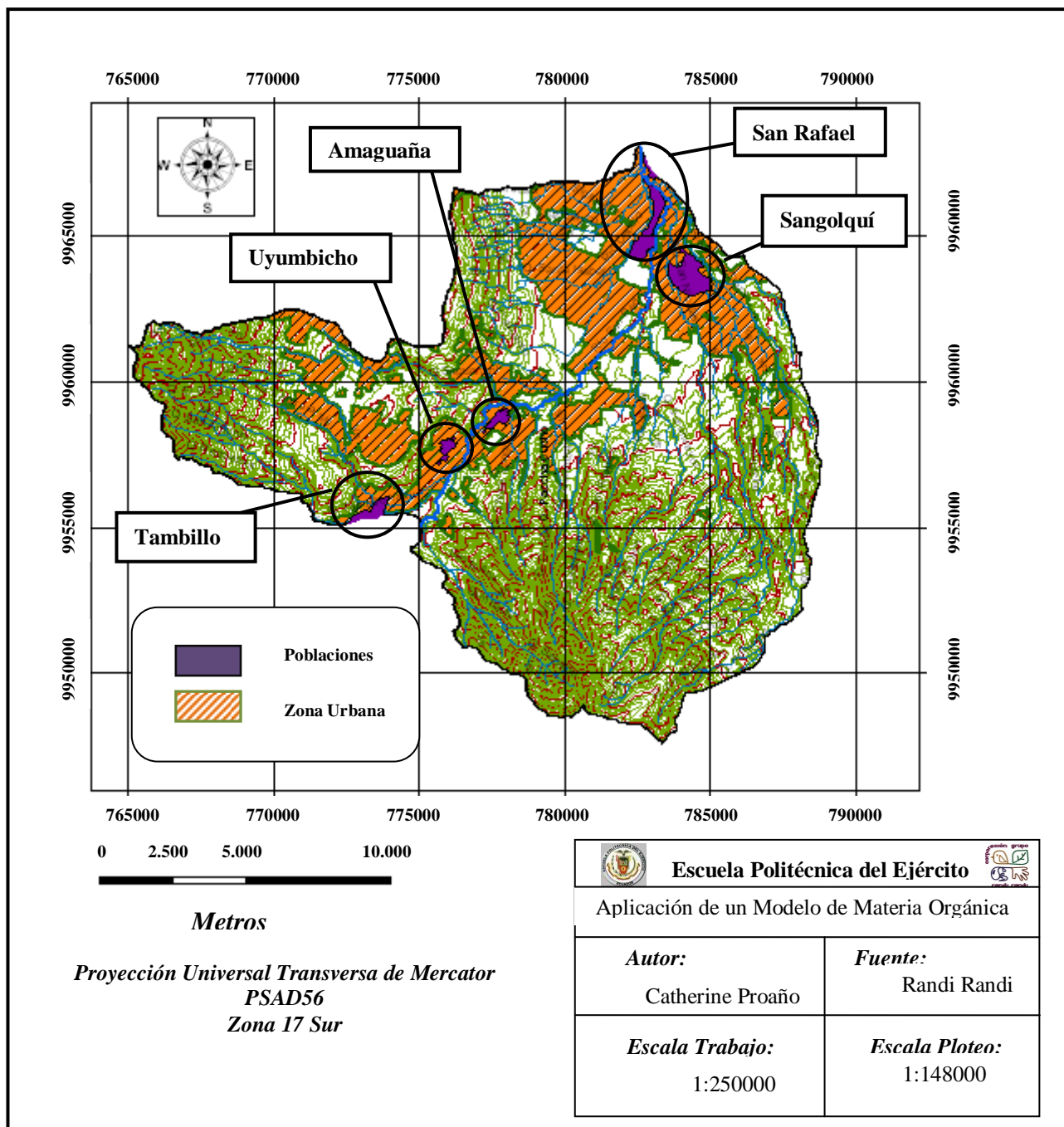
Esta cuenca es de vital importancia para los tres cantones anteriormente mencionados, ya que es proveedora de agua para riego y para la alimentación del ganado y también sirve como desfogue de las agua lluvias y las aguas servidas.

La zona de estudio al ser básicamente urbana es una zona que recibe una buena cantidad de aguas servidas provenientes de las viviendas que allí se encuentran y que al no tener una planta de tratamiento, las vierten directamente al río.

Las principales poblaciones existentes en este tramo son Tambillo, Uyumbicho, Amaguaña, Sangolquí y San Rafael que son las más contaminantes y las más afectadas a su vez por esta contaminación.

Por esta razón las construcciones hechas a las orillas del río tienen que soportar un pésimo paisaje al encontrarse basura en las orillas del río y flotando en sus aguas, además de los malos olores, insectos y roedores que viven y se alimentan en este ambiente insalubre.

Gráfico 7 Poblaciones Principales que se Encuentran en el Área de Estudio



Autor: Catherine Proaño

San Rafael y Sangolquí tienen un crecimiento habitacional aproximado del 8% anual.

Este gran crecimiento habitacional está provocando la pérdida de grandes extensiones de terrenos cultivables y ha llegado a tal punto que podríamos decir que ya no existe una división tangible entre las poblaciones de Conocoto, San Rafael, Alangasí y el Tingo.

A pesar de este gran crecimiento poblacional todavía se puede encontrar sobre todo en la parte norte de la zona de estudio otros usos de suelo como son:

- La agricultura (principalmente maíz)
- El cultivo de pastos para la cría de ganado
- Bosque cultivado de eucalipto

El área a ser utilizada para el SWAT está comprendida entre las siguientes coordenadas:

Cuadro 1: Coordenadas del área usada en el SWAT

Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas						
		°	'	''	°	'	''	
765009.22 Este	9968211.26 Norte	78	37	9.06	Oeste	0	17	14.46 Sur
788937.50 Este	9968211.26 Norte	78	24	15.68	Oeste	0	17	14.46 Sur
765009.22 Este	9947402.65 Norte	78	37	9.06	Oeste	0	28	31.61 Sur
788937.50 Este	9947402.65 Norte	78	24	15.68	Oeste	0	28	31.61 Sur

Mientras que el tramo de río a ser analizado para el balance de masas está comprendido entre las siguientes coordenadas:

Cuadro 2: Coordenadas inicial y final del tramo del río analizado

Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas						
		°	'	''	°	'	''	
775070.30 Este	9955042.57 Norte	78	31	43.75	Oeste	0	24	22.89 Sur
782662.12 Este	9968147.49 Norte	78	27	38.49	Oeste	0	17	16.41 Sur

El área de estudio seleccionada dentro de este proyecto es de aproximadamente 26373.046 has⁸ para ser utilizada en el SWAT y la longitud del tramo del río a analizarse en este estudio es de aproximadamente 20.45 Km.⁹

⁸ Área obtenida en el SWAT.

⁹ Distancia obtenida del Arc Gis

3.1.1.- Descripción del Clima

La temperatura y la precipitación, son los principales factores meteorológicos que determinan el clima.

El clima a su vez establece el tipo de fauna y flora existente en una zona en específico.

Por esta razón la actividad económica que se desarrollará en una determinada zona del planeta depende básicamente del clima y los tipos de suelos presentes en este lugar.

Para la zona en la que se desarrolló el proyecto se puede decir que es una zona muy húmeda, con precipitaciones muy altas y durante la mayor parte del año por lo cual tiene un suelo con alta saturación de agua.

Mientras que la morfología de la zona que está compuesta por altas elevaciones, profundas quebradas generalmente provenientes de fallas geológicas y grandes planicies formadas por flujos de lodo (muy impermeables) y flujos piroclásticos debido a la alta actividad volcánica de la zona lo que provoca la alta concentración de humedad.

A través de los datos obtenidos de las dos estaciones meteorológicas presentes en la zona que son la estación de Quito y la de Izobamba, se puede decir que en esta región al igual que en todo el Ecuador se tienen dos estaciones muy marcadas, una estación seca que va desde mediados de junio a mediados de septiembre con precipitaciones y temperaturas promedio de 15,36 mm mensual y 13.85 °C y una estación lluviosa que va de finales de septiembre a principios de junio con precipitaciones y temperaturas promedio de 122,73 mm mensual y 13.89°C.

Todos estos factores nos dan un clima templado y húmedo muy apto para la agricultura principalmente de maíz, aunque en grandes extensiones de la zona se cultivan pastos para la cría de ganado vacuno.

Pero a su vez al ser un clima agradable y muy cercano a la ciudad de Quito provoca que sea un buen lugar para vivir con lo cual la población capitalina empieza a migrar a esta zona urbanizándola de una manera desmedida y sin planificación.

Gráfico 8 Diagrama Ombrotérmico estación Izobamba – Promedio de los años 1990 al 2000

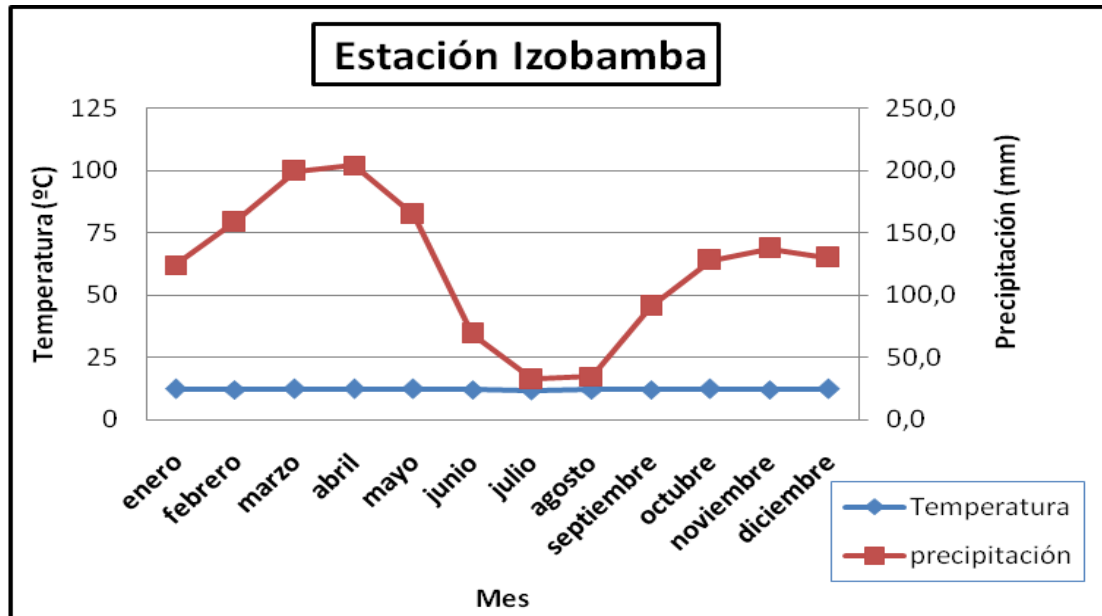
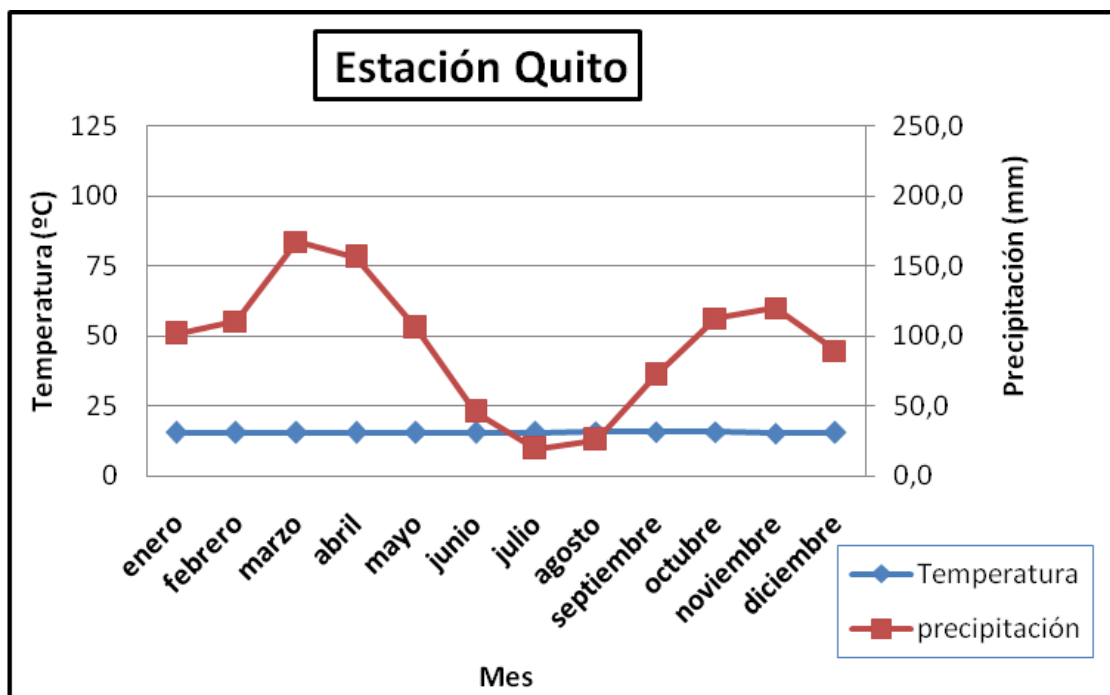


Gráfico 9 Diagrama Ombrotérmico estación Quito – Promedio de los años 1990 al 2000



En los diagramas se puede observar como en la época seca comprendida por los meses de junio, julio y agosto hay un ligero aumento en la temperatura y hay una pronunciada disminución en las precipitaciones con un promedio de 113mm de lluvia para todo este

período, estos datos fueron obtenidos a partir del promedio de las precipitaciones mensuales de las dos estaciones.

La época lluviosa se divide en dos partes una comprendida de enero a mayo y la otra de septiembre a diciembre.

Es una época con temperaturas más bajas y en la cual existe un pico de precipitaciones en abril con un promedio de 180 mm mensuales y otro pico en octubre con un promedio de 123,84 mm mensuales, estos datos fueron obtenidos a partir del promedio de las precipitaciones mensuales de las dos estaciones.

3.1.2.- Descripción de los suelos (Anexo 3, mapa 1)

La descripción hecha en los mapas de suelos a escala 1:50000 del Ministerio de Agricultura y Ganadería está basada en el Sistema Norteamericano de Taxonomía.

Este sistema se basa en la morfología de los suelos descrita en términos de sus horizontes, clasificando así los suelos en órdenes, subórdenes y gran grupo.

Las órdenes: son las que permiten agrupar los suelos de acuerdo a los procesos de formación indicada por la presencia o ausencia de horizontes.

Las subórdenes: son los que indican la homogeneidad genética, es una subdivisión de las órdenes de acuerdo a la presencia o ausencia de propiedades asociadas con la humedad del suelo, material de partida dominante y efectos de la vegetación.

El gran Grupo: son las subdivisiones de las subórdenes de acuerdo con la clase, disposición de los horizontes, temperatura, humedad del suelo y presencia o ausencia de capas.

3.1.2.1.- Suelos en la zona de estudio:

En esta zona se encuentran suelos de orden Mollisoles, Inceptisoles y Entisoles los cuales están divididos en las siguientes subórdenes:

- Mollisoles: Suelo con una capa oscura, suave, espesa, orgánicamente rica, producida por deshielo.
 - Udolls: Suelo con epipedón móllico de las áreas húmedas, suelos más o menos bien drenados, no permanecen secos ni 90 días o 60 días acumulados.
 - Ustolls: Suelo de áreas subhúmedas o secas con sequías frecuentes y fuertes
- Inceptisoles: Suelo con un ligero desarrollo de horizontes, se presenta en los depósitos volcánicos recientes en los depósitos piemontanos recientes.
 - Andepts: Suborden de suelos correspondientes al grupo de los Inceptisoles derivados de materiales parentales volcánicos.
- Entisoles: Suelo sin presencia de horizontes, poca o ninguna evidencia de formación o desarrollo por estar sujetos a erosión o por poco desarrollo.
 - Orthents: Entisoles primarios, formados sobre superficies de erosión reciente, deja expuesto a la superficie material parental grueso o material cementado.

Con lo cual se puede decir que la mayoría de los suelos que se encuentran en esta zona son suelos fértiles y aptos para la agricultura, suelos negros, limosos, con una alta retención de agua y relativamente profundos encontrados sobre cangagua.

En estos suelos sobre todo en la parte norte de la zona de estudio se encuentran pastizales, en la parte media una mezcla de cultivos sobre todo de maíz y construcciones

urbanísticas y en su parte sur se podría decir que es una zona exclusivamente urbana construida sobre suelos aptos para cultivos provocando la pérdida de estos suelos y su consecuente disminución de las áreas cultivables.

3.2.- Normativas (Anexo 1, literal 1.1, 1.2 y 1.3)

El cuidado de las fuentes de agua, de los ríos y en general del medio ambiente está claramente contemplado en la Constitución de La República del Ecuador, en la Sección Segunda del Medio Ambiente, la cual reconoce el derecho de todo ciudadano a vivir en un ambiente sano y libre de contaminación.

Basados en este derecho expresado en la constitución, se encuentra dentro del Texto Unificado de Legislación Ambiental Simplificada (TULAS), las normas para mantener las fuentes de aguas subterráneas y superficiales libres de contaminación.

Esta contaminación depende del uso que se le vaya a dar a estas fuentes de agua, ya sea para consumo humano (previa potabilización), para la preservación de la flora y fauna, para uso agrícola y pecuario, para fines recreativos, para uso estético, para transporte o para uso industrial.

Dependiendo de estas condiciones en el TULAS “Anexo 1 literal 4 Desarrollo”, se observan los criterios de calidad para el uso del agua así como los límites permisibles de contaminantes vertidos en las mismas. (Anexos1, literal1.1).

De la misma manera cada Municipio puede crear sus propias ordenanzas como en este caso en lo que se refiere al cuidado medio ambiental y en específico a la calidad de las aguas subterráneas y superficiales.

Con lo cual se tiene los reglamentos del Municipio de Rumiñahui para los desechos líquidos orgánicos que serán vertidos en una fuente de agua. (Anexos1, literal1.3).

Las mismas que se observa no son aplicadas, ya que no existe un control real sobre las descargas realizadas de alcantarillado.

4.1.- Metodología

4.1.1.- Obtención de la Información

4.1.1.1.- Para el Cálculo de Caudales con el SWAT :

4.1.1.1.1.- Cartografía Base

Se obtuvieron 5 cartas topográficas (Rumipamba, Amaguaña, Sangolquí, Chillogallo y Selva Alegre) escala 1:25000 del sector.¹⁰

4.1.1.1.2.- Datos Meteorológicos e Hidrológicos

Se recopiló la información meteorológica diaria por diez años consecutivos de las estaciones de Izobamba (que se encuentran dentro de la zona de estudio) y la de Quito (que se encuentra en las cercanías de la zona de estudio) y la información hidrológica de la estación de “San Pedro en Machachi” que se encuentra en el Río San Pedro.¹¹

4.1.1.1.3.- Mapa de Suelos de la Zona

Se obtuvo el mapa de los tipos de suelos del área de estudio.¹² (Anexo 3, mapa 1)

4.1.2.- Procesamiento de la Información

4.1.2.1.- Cartografía Base

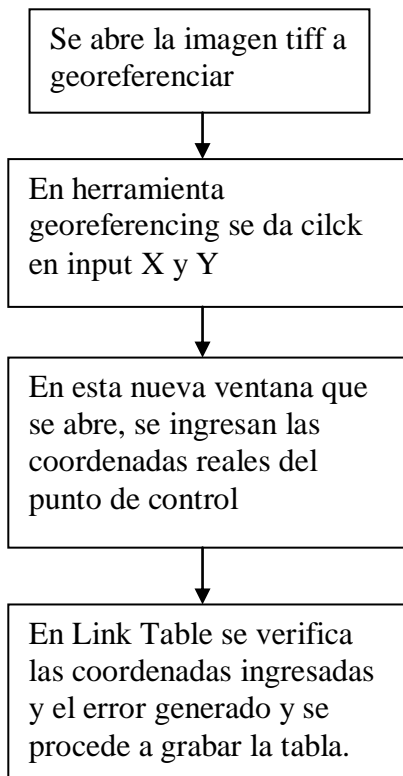
4.1.2.1.1.- Georeferenciación en ArcGIS

¹⁰ Cartas topográficas del IGM (Instituto Geográfico Militar)

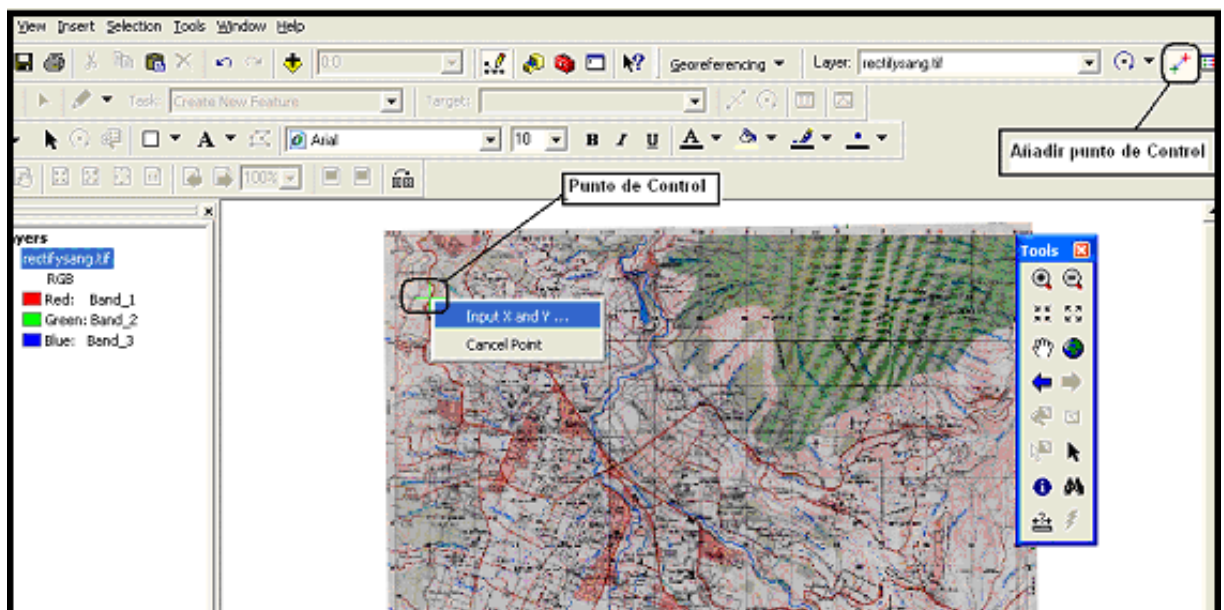
¹¹ Datos meteorológicos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología)

¹² Mapa de suelos del SIGAGRO (Sistema de Información Geográfico Agropecuario)

FLUJOGRAMA 1: GEOREFERENCIACIÓN EN ARCGIS



- Para georeferenciar, en la herramienta Georeferencing se colocan los puntos de control



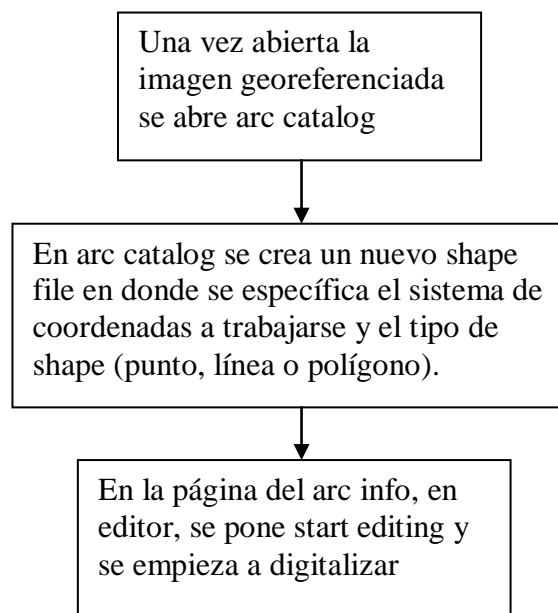
- Después en view link table se verifica las coordenadas y el error residual que este caso fue menor al 0.08

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	780996.067652	9969001.353786	780996.067652	9969001.353786	0.00000
2	782001.235385	9970006.521519	782001.235385	9970006.521519	0.00000
3	783006.403116	9967991.004778	783006.403117	9967991.004777	0.00000
4	779431.322009	9970260.404090	779431.322007	9970260.404090	0.00000

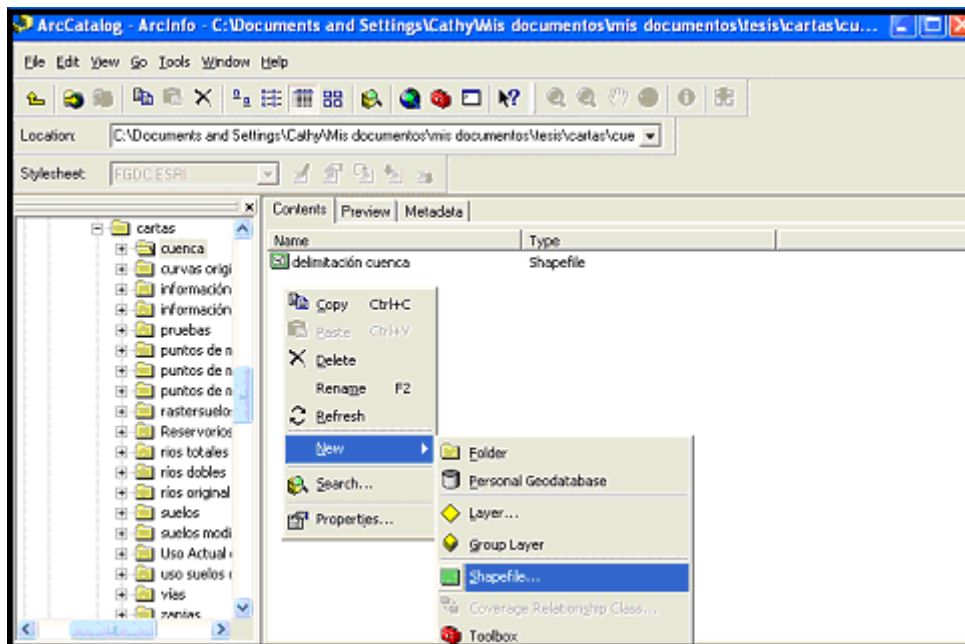
Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine) Total RMS Error: 0.00000
 Load... Save... OK

4.1.2.1.2.- Digitalización en ArcGIS

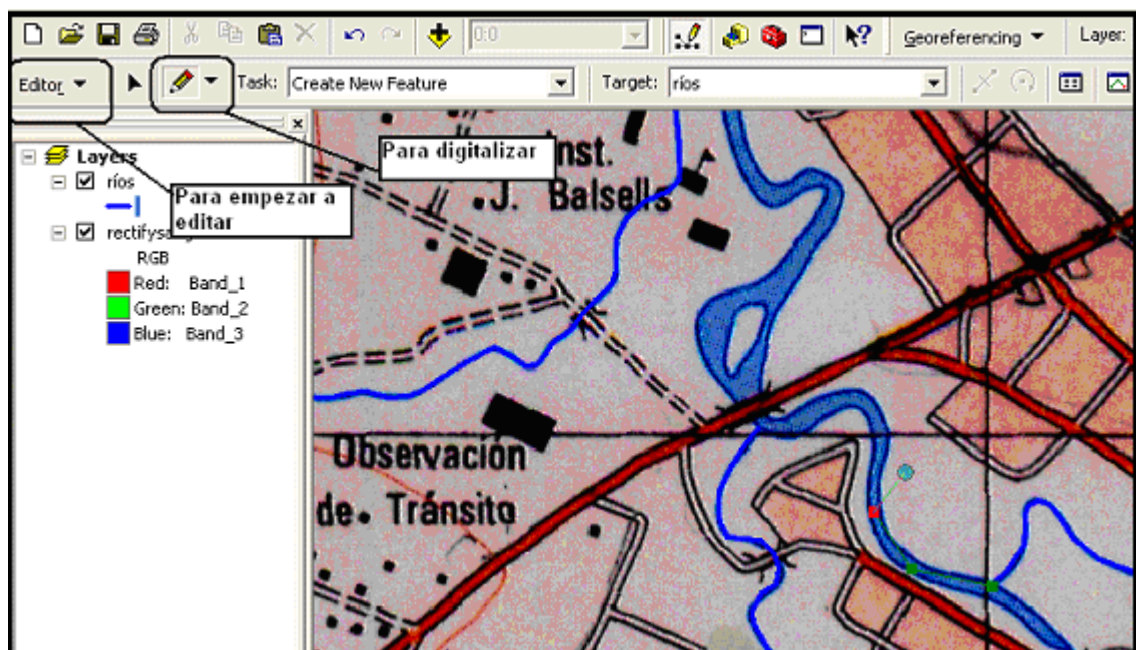
FLUJOGRAMA 2: DIGITALIZACIÓN EN ARCGIS



- Para digitalizar, se inicia con las imágenes georeferenciadas y se crea un nuevo shape que contendrá lo que se va a digitalizar



- Una vez hecho esto se procede a digitalizar



Todos los datos que se calculan a continuación hasta antes del uso del SWAT, es información necesaria para editar las bases de datos de dicho modelo, sin las cuales no podría realizar la estimación de caudales.

4.1.2.2.- Proceso de los datos meteorológicos:

Una vez obtenida la información del INHAMI, se procedió a clasificar y ordenar los datos y a sacar los respectivos promedios.

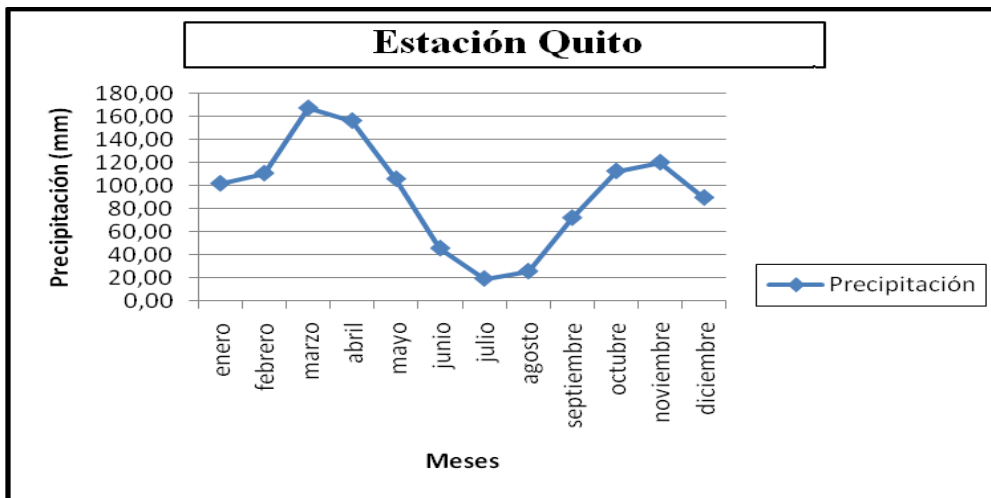
4.1.2.2.1.- *Datos de Precipitación*

- Se procedió a obtener el promedio de las precipitaciones diarias de los diez años. (datos de la estación Quito (Cuadro 3) y datos de la estación Izobamba (Cuadro 4)).

Cuadro 3: Estación Quito - precipitaciones promediadas de 10 años de 1990 al 2000:

Mes	Precipitación en mm
<i>Enero</i>	101,67
<i>Febrero</i>	110,56
<i>Marzo</i>	167,07
<i>Abril</i>	156,05
<i>Mayo</i>	105,68
<i>Junio</i>	45,54
<i>Julio</i>	19,24
<i>Agosto</i>	25,62
<i>Septiembre</i>	71,96
<i>Octubre</i>	112,49
<i>Noviembre</i>	120,05
<i>Diciembre</i>	89,48

Gráfico 11 Precipitaciones Mensuales estación Quito

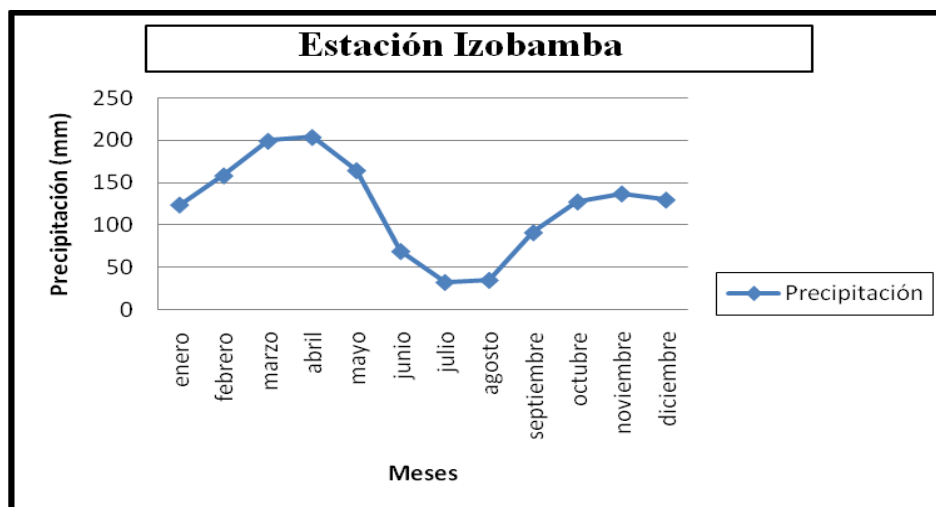


En el Cuadro 3 y el Gráfico 11 se puede observar que existe una época lluviosa dividida en dos partes una que va de enero a mayo y otra de septiembre a diciembre con un promedio de 1035 mm y otra época seca que va de junio a agosto con un promedio de 90 mm.

Cuadro 4: Estación Izobamba - precipitaciones promediadas de 10 años de 1990 al 2000:

Mes	Precipitación en mm
<i>Enero</i>	124,04
<i>Febrero</i>	158,57
<i>Marzo</i>	199,49
<i>Abril</i>	203,95
<i>Mayo</i>	164,66
<i>Junio</i>	69,01
<i>Julio</i>	32,37
<i>Agosto</i>	34,85
<i>Septiembre</i>	91,18
<i>Octubre</i>	127,63
<i>Noviembre</i>	137,21
<i>Diciembre</i>	129,84

Gráfico 12 Precipitaciones Mensuales estación Izobamba



En el Cuadro 4 y el Gráfico 12 se puede observar que existe una época lluviosa dividida en dos partes una que va de enero a mayo y otra de septiembre a diciembre con un promedio de 1337 mm y otra época seca que va de junio a agosto con un promedio de 136 mm precipitaciones que son mayores que las registradas para la estación Quito.

➤ Después se procedió a realizar los cálculos de intensidad para media hora de lluvia y para 6 horas de lluvia (Cuadro 5), a partir de la siguiente ecuación:

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e * PT^f \quad ^{13} \text{ (Ec.14)}$$

Donde :

I j Intensidad de lluvia (mm)

a,b,c,d,e,f j Constantes calculadas para la Región Andina para este tipo de cálculos

T j Número de años

t j Tiempo en horas

M j Valor máximo anual de precipitación (mm)

N j Número de días de lluvia al año

PT j Precipitación media anual (mm)

¹³ Ecuación obtenida a partir de la ecuación de Kothyari y Garde

Cuadro 5: Cálculo de la intensidad y las medias de precipitación para la Estación Quito

Año	Valor Máximo (mm)	Año	Días de Lluvia (mm)	Año	Media Anual (mm)
1990	35.60	1990	149	1990	854.40
1991	29.60	1991	153	1991	901.50
1992	90.40	1992	121	1992	836.40
1993	49.50	1993	177	1993	912.80
1994	51.50	1994	162	1994	1246.30
1995	37.80	1995	141	1995	1069.70
1996	71.60	1996	176	1996	1320.80
1997	43.50	1997	152	1997	1130.50
1998	60.20	1998	171	1998	1009.00
1999	55.50	1999	200	1999	1528.60
2000	37.40	2000	172	2000	1101.00
M=	51.10	N(11 años)=	161	PT(11años)=	1082.80

Intensidad para Media Hora (mm) (Ec.14)	Intensidad para 6 Horas (mm) (Ec.14)
62.20	12.40

En este cuadro se puede observar que a partir de 1994 la media anual de precipitaciones aumentó en promedio de 300 mm anuales.

- Posterior a eso se continuó con los cálculos de la desviación estándar y el coeficiente de asimetría (cuadro 6) a partir de las siguientes ecuaciones:

Desviación Estándar:

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (\text{Ec. 15})$$

Coefficiente de Asimetría:

$$s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_j - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (\text{Ec.16})$$

Cuadro 6: Cálculo de la Desviación Estándar y el Coeficiente de Asimetría para la Estación Quito

Mes	Desviación Estándar	Coeficiente de Asimetría
enero	6.73	2.87
febrero	8.07	2.47
marzo	8.18	1.90
abril	8.56	2.76
mayo	8.31	5.86
junio	5.27	5.50
julio	2.24	5.39
agosto	4.59	6.64
septiembre	5.64	2.95
octubre	6.75	2.72
noviembre	7.36	2.39
diciembre	6.54	3.29

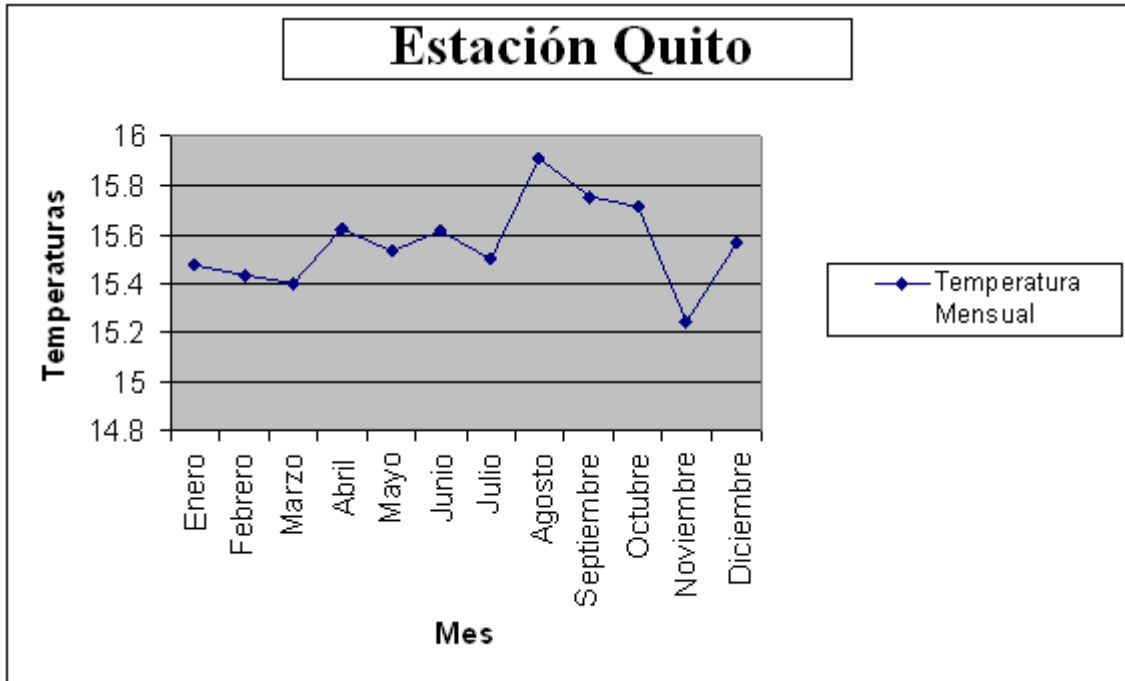
4.1.2.2.2.- Datos de Temperatura

- Se procedió a obtener el promedio de las temperaturas diarias de los diez años. (datos de la estación Quito (Cuadro 7) y datos de la estación Izobamba (Cuadro 8)).

Cuadro 7: Estación Quito - temperaturas promediadas de 10 años de 1990 al 2000:

Mes	Temperaturas (°C)
<i>Enero</i>	15.48
<i>Febrero</i>	15.44
<i>Marzo</i>	15.40
<i>Abril</i>	15.62
<i>Mayo</i>	15.54
<i>Junio</i>	15.61
<i>Julio</i>	15.50
<i>Agosto</i>	15.91
<i>Septiembre</i>	15.75
<i>Octubre</i>	15.71
<i>Noviembre</i>	15.24
<i>Diciembre</i>	15.57

Gráfico 13: Temperatura Mensual estación Quito

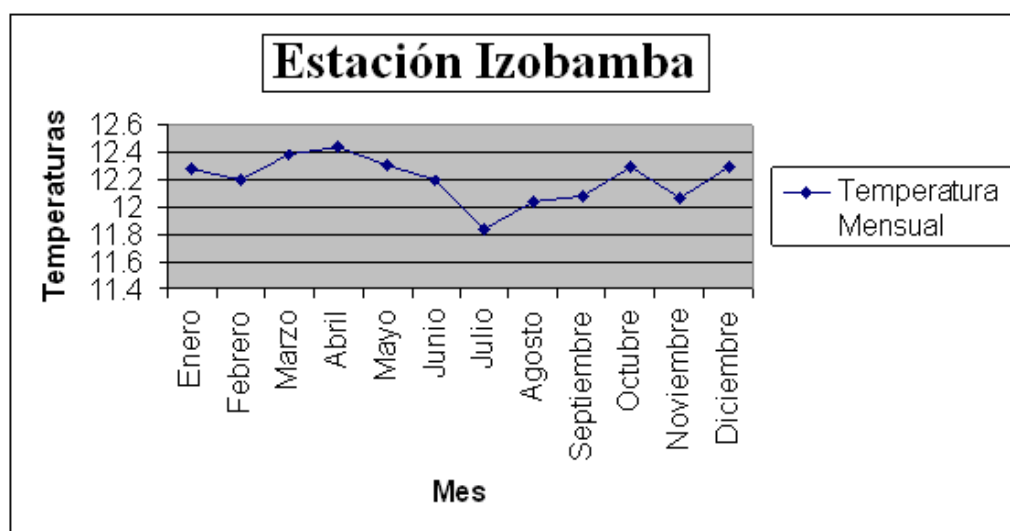


En el Cuadro 7 y el Gráfico 13 se puede observar que la variación de temperatura no es muy grande durante todo el año, sin embargo se puede diferenciar una pequeña variación entre la época lluviosa dividida en dos partes una que va de enero a mayo y otra de septiembre a diciembre con un promedio de 15.52 °C y otra época seca que va de junio a agosto con un promedio de 15.54 °C , esto es debido a que en la época lluviosa la temperatura durante todo el día es baja, mientras que en la época seca durante el día hace calor pero en las noches y madrugadas se producen heladas que provocan que las temperaturas lleguen alrededor de los 0 °C.

Cuadro 8: Estación Izobamba - temperaturas promediadas de 10 años de 1990 al 2000:

Mes	Temperaturas (°C)
<i>Enero</i>	12.27
<i>Febrero</i>	12.20
<i>Marzo</i>	12.38
<i>Abril</i>	12.44
<i>Mayo</i>	12.30
<i>Junio</i>	12.20
<i>Julio</i>	11.84
<i>Agosto</i>	12.04
<i>Septiembre</i>	12.08
<i>Octubre</i>	12.29
<i>Noviembre</i>	12.07
<i>Diciembre</i>	12.29

Gráfico 14: Temperatura Mensual estación Izobamba



En el Cuadro 8 y el Gráfico 14 se puede observar que la variación de temperatura no es muy grande durante todo el año, sin embargo se puede diferenciar una pequeña variación entre la época lluviosa dividida en dos partes una que va de enero a mayo y

otra de septiembre a diciembre con un promedio de 12.25 °C y otra época seca que va de junio a agosto con un promedio de 12.03 °C , esto es debido a como ya se explicó anteriormente que en la época lluviosa la temperatura durante todo el día es baja, mientras que en la época seca durante el día hace calor pero en las noches y madrugadas se producen heladas que provocan que las temperaturas lleguen alrededor de los 0 °C.

- Se procede con los cálculos del coeficiente de variación para el promedio de temperatura por mes (TMP_CV) (que es el promedio de las temperaturas medias) y la desviación estándar (Cuadro 9), con la siguiente ecuación:

$$\delta = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (\text{Ec. 15})$$

Cuadro 9: Cálculo de la Desviación Estándar y el Coeficiente de Variación para el Promedio de Temperaturas

Mes	Desviación Estándar	Coeficiente del promedio de las temperaturas medias (TMP_CV) (°C)
enero	6.73	2.87
febrero	8.07	2.47
marzo	8.18	1.90
abril	8.56	2.76
mayo	8.31	5.87
junio	5.27	5.50
julio	2.24	5.39
agosto	4.59	6.64
septiembre	5.64	2.95
octubre	6.75	2.72
noviembre	7.36	2.39
diciembre	6.54	3.29

4.1.2.3.- Mapas de tipos de suelos de la zona

4.1.2.3.1.- Se determinó los tipos de suelos de la zona (Cuadro 10)

Cuadro 10 Tipos de suelo de la zona¹⁴.

Tipos de suelos	Descripción
C	Suelo duripan o cangagua a menos de un metro de profundidad. Suelo limoso o arenoso muy fino sobre ceniza dura. Presencia de un horizonte argílico, presencia de carbonatos. Cangagua pura erosionada.
Cf	Horizonte argílico muy negro. Cangagua a 70 cm. de profundidad con algunos revestimientos negros sobre 5/ 10 cm.
Ck	Suelo arenoso fino o limoso negro pardo oscuro. 20 a 40 cm.: horizonte argílico muy negro. Cangagua a 40 cm. de profundidad con algunos revestimientos negros sobre 5/10 cm.
Ct	Horizonte argílico de poco espesor y algunas veces en la superficie en afloramientos. Cangagua de 20 cm. de profundidad con algunos revestimientos negros sobre 5 cm.
Hc	Suelo negro profundo con arena muy fina de 0 a 50 cm. de espesor. En la profundidad de 50cm hasta 1 m se puede observar la presencia de un poco de arcilla.
HMa	Suelo arenoso negro sobre 50 cm. de espesor y más arcilloso en la profundidad a antes de un metro de profundidad más de 30% de arcilla de tipo halloysita.
Md	Suelo negro arcilloso con muchos revestimientos brillantes encima de la cangagua suelta o toba volcánica poco dura a 80 cm. de profundidad. pH de 6.
Hdb	Es lo mismo que el suelo Hb pero con una saturación de cationes menor al 50%
Ma	Suelo arenoso arcilloso negro profundo, uniforme sin

¹⁴ Suelos obtenidos a partir del mapa de suelos del SIGAGRO (Sistema de Información Geográfico Agropecuario)

	revestimientos.
Cxn	Suelo arenoso fino o limoso negro o pardo oscuro. Se puede observar la presencia de carbonato de calcio y en la profundidad algunas crestas de hierro de poco espesor.
Db	Suelo pseudo-limoso muy negro con más de 50% de agua
Dc	Suelo pseudo-limoso muy negro con más de 20 cm. de profundidad y menos de 50% de retención de agua.
De	Suelo pseudo-limoso negro en la parte superior y amarillo oscuro en la profundidad, leve retención de agua.
Df	Suelo negro generalmente profundo pseudo-limoso suave.
Dhp	Suelo pseudo-limoso negro igual que el suelo Dp pero con retención de agua del 50 a 100%.
Dm	Suelo pseudo-limoso muy negro con retención de agua del 50 al 80%.
Dn	Suelo pseudo-limoso o pseudo- limo arenoso muy negro con retención de agua de 20 a 50 %.
Dp	Suelo negro profundo de 0 a 50 cm. de pseudo-limo, suave sobre 50cm con retención de agua.
Ha	Suelo negro profundo limoso con arena muy fina
Hb	Suelo negro profundo, limoso con arena muy fina. Más de 6% de materia orgánica de 0 a 20 cm, un poco menos en la profundidad.
Hi	Suelo muy negro profundo, limoso con arena muy fina. Saturación de bases más del 60%.

En el cuadro 10 se puede observar que la mayoría de los suelos en la zona de estudio son suelos negros limosos y a veces arcillosos o con arena muy fina razón por la cual es una zona con para producción agrícola aunque su uso actualmente se haya tornado principalmente urbano.

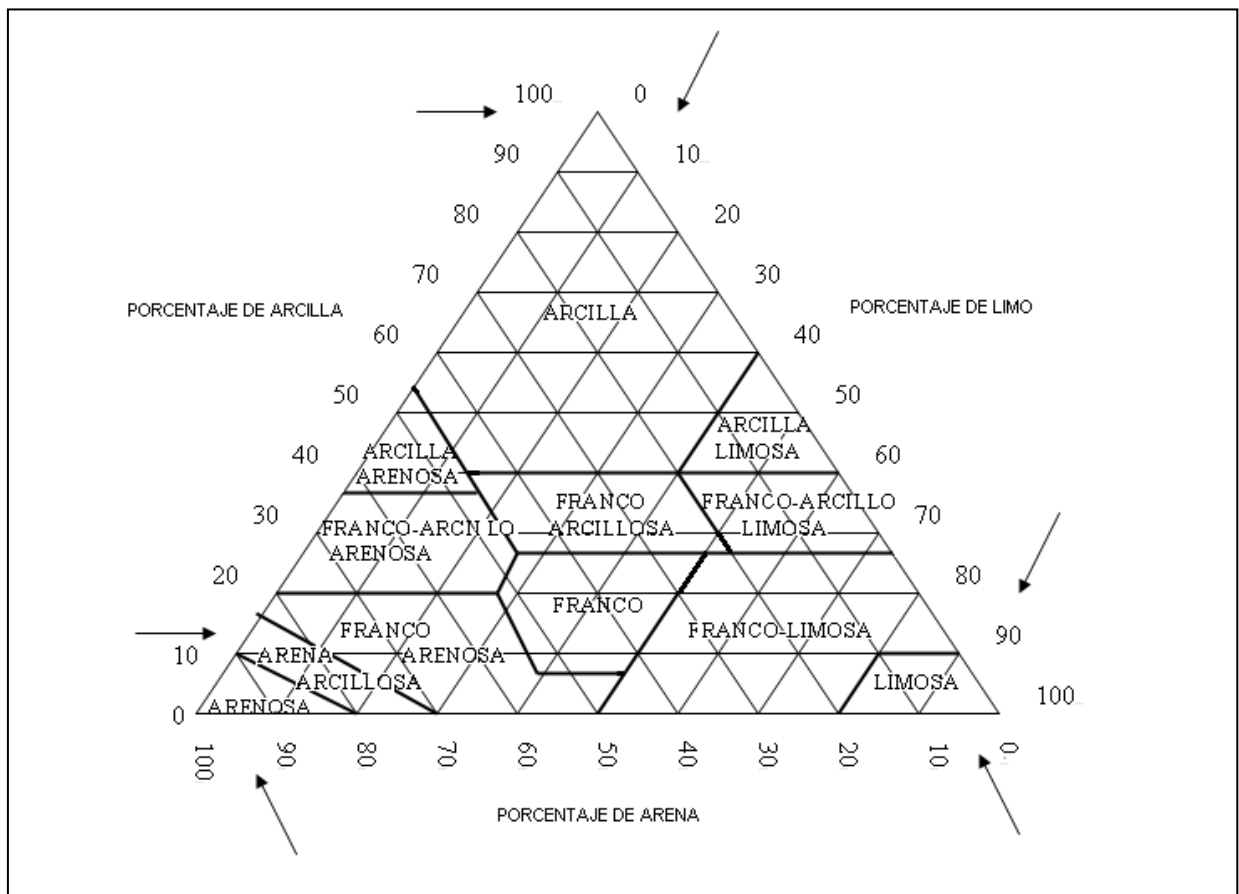
4.1.2.3.1.- Con los datos de estos tipos de suelos se calculó la erodabilidad, la conductividad hidráulica y el porcentaje de arenas, limos y arcillas contenidas en cada tipo de suelo. A cada uno de estos suelos se les asignó un código (un número) para facilitar así su uso en el SWAT.

➤ Porcentaje de arenas, limos y arcillas:

Se determina a partir del siguiente triángulo conociendo el tipo de suelo.

Se lo identifica dentro del triángulo (ya sea arenoso, arcilla, franco, etc.), generalmente se lo coloca en el centro del área que corresponde al Tipo de suelo y con ayuda de las líneas se determina a la derecha el porcentaje de limos, a la izquierda, el porcentaje de arcilla y abajo el porcentaje de arena.(Gráfico 15).

Gráfico 15: Porcentaje de arenas, limos y arcillas



➤ Erodabilidad:

$$K = \frac{2.1 M^{1.14} (10)^{-4} (12-a) + 3.25 (b-2) + 2.5 (c-3)}{100} * 1.2928^{15} \text{ (Ec.17)}$$

Donde:

K j Índice de erodabilidad

M j (% limo + % arena muy fina) (100 - % arcilla)

a j % de materia orgánica

b j Clasificación de la estructura de acuerdo al tipo y clase de ésta. Esta clasificación se da del 1 al 4 dependiendo del tipo y tamaño del suelo desde granular muy fina = 1 hasta laminar = 4.

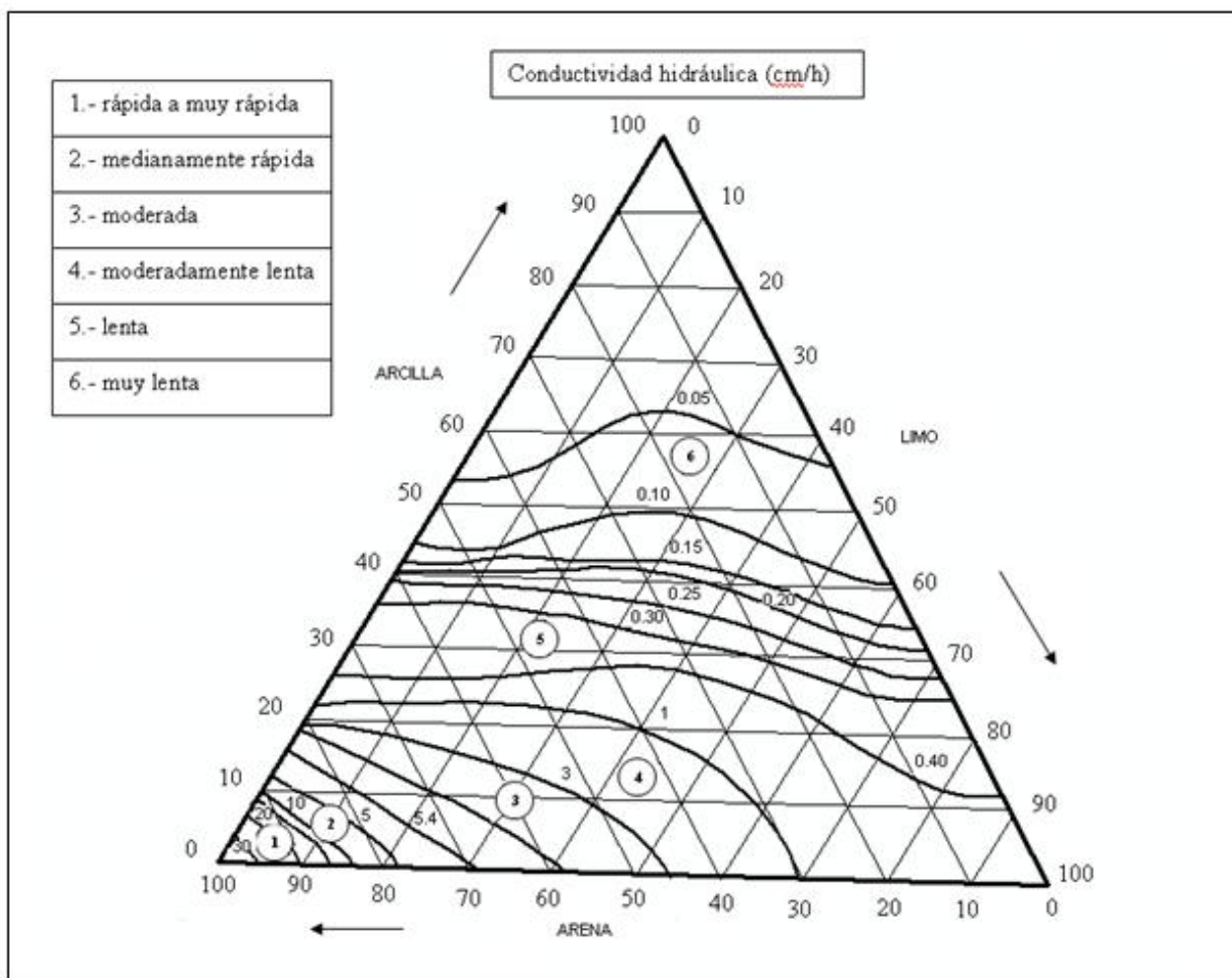
c j Clasificación de la permeabilidad. Esta se da en función de la velocidad y va desde muy rápida =1 hasta muy lenta = 6

➤ Conductividad Hidráulica:

Se determina mediante este triángulo, conociendo el porcentaje de arcilla, limo y arena con ayuda de las líneas, llegamos al cruce de las tres, la correspondiente al limo, a la arcilla y a la arena se determina en que zona se encuentra y según eso se tiene la conductividad hidráulica. (Gráfico16).

¹⁵ Ecuación de Wischmeier y Smith (1978)

Gráfico 16: Conductividad hidráulica



4.1.2.4.- Mapas de uso de suelos de la zona (Anexo 3, mapa 2)

4.1.2.4.1.- Este mapa se lo realizó mediante la fotointerpretación de las siguientes fotografías.¹⁶

- Línea 30 R-52RC30, fotografías 12454 y 12455
- Línea 31 R-52RC30, fotografías de la 12429 a la 12435
- Línea 32 R-52RC30, fotografías de la 12418 a la 12421

¹⁶ Las fotografías son del año 2000 y pertenecen al Proyecto Carta Nacional del IGM

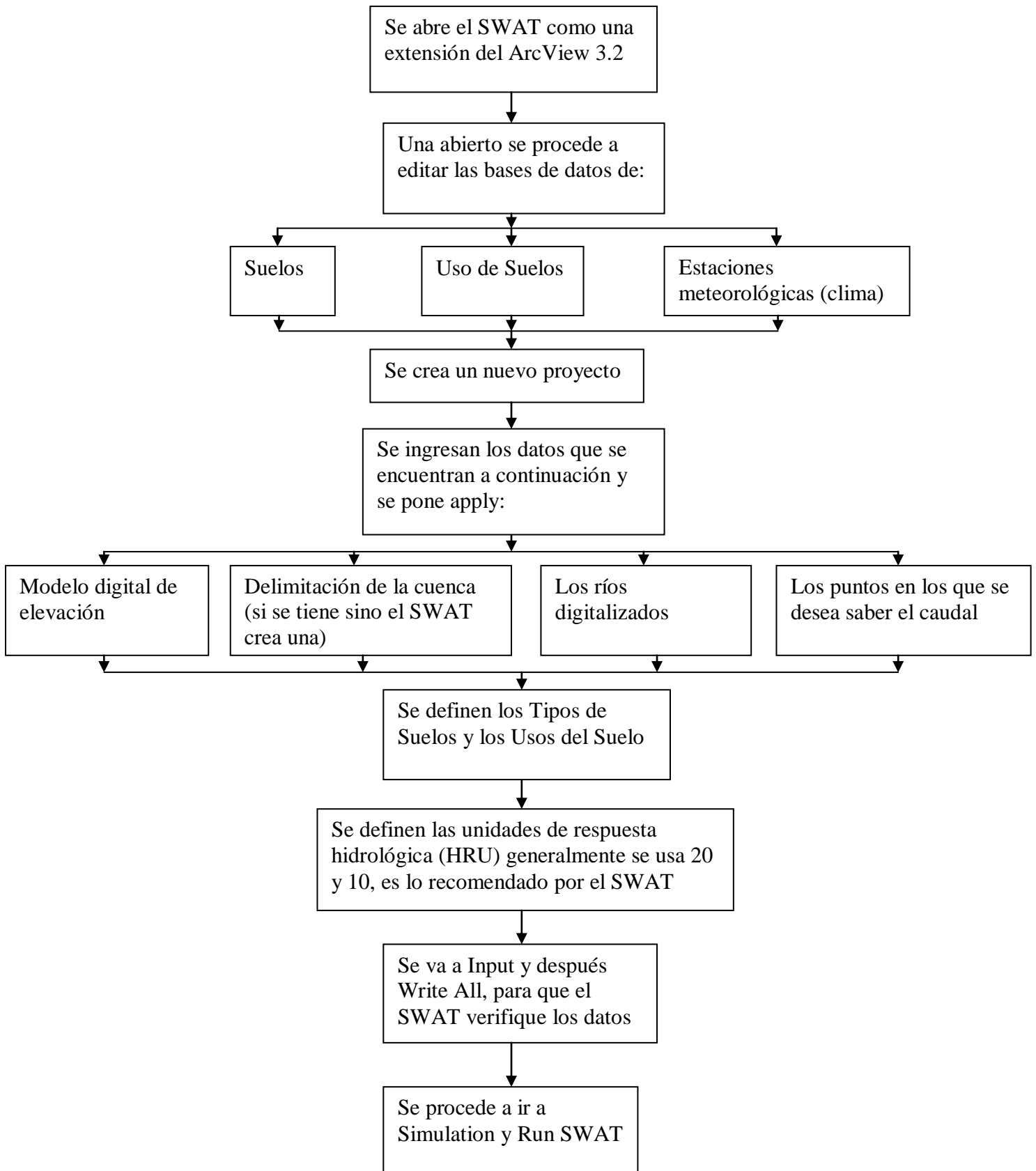
Una vez realizada la fotointerpretación se pasó la información directamente a las cartas topográficas que posteriormente fueron digitalizadas para obtener de esta manera el mapa de uso de suelos.

4.1.2.4.2.- A cada tipo de uso de suelo se le asignó un código (un número) para mayor facilidad de la aplicación del SWAT.

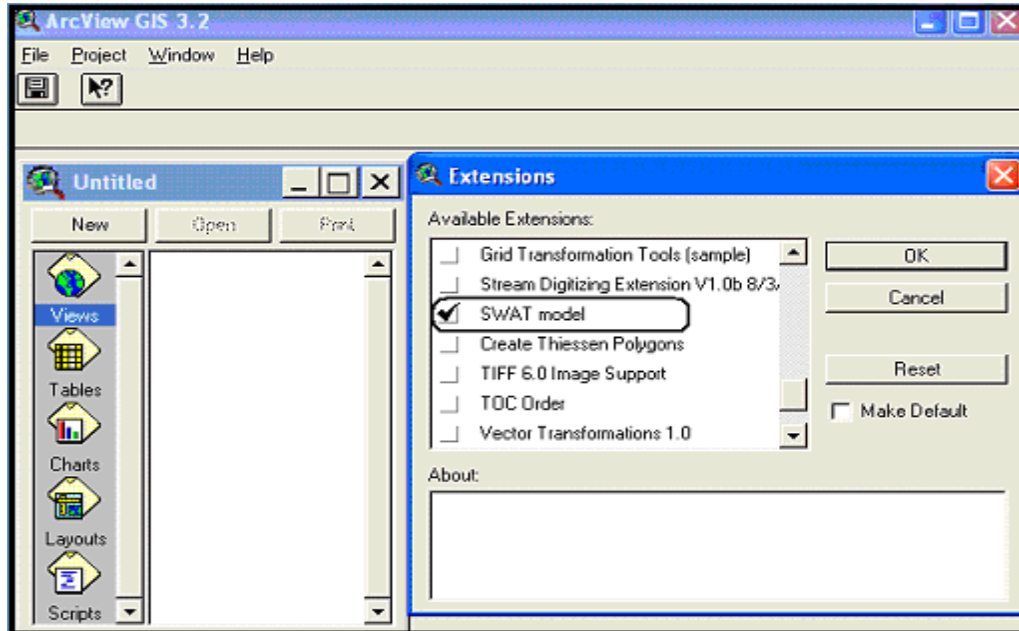
FID	Shape	ID	CODIGO	CODIG02
0	Polygon	0	1	URBN
1	Polygon	0	1	URBN
2	Polygon	0	1	URBN
3	Polygon	0	1	URBN
4	Polygon	0	2	EUCA
5	Polygon	0	3	FRST
6	Polygon	0	1	URBN
7	Polygon	0	1	URBN
8	Polygon	0	1	URBN
9	Polygon	0	1	URBN

4.1.2.5.- Uso del SWAT

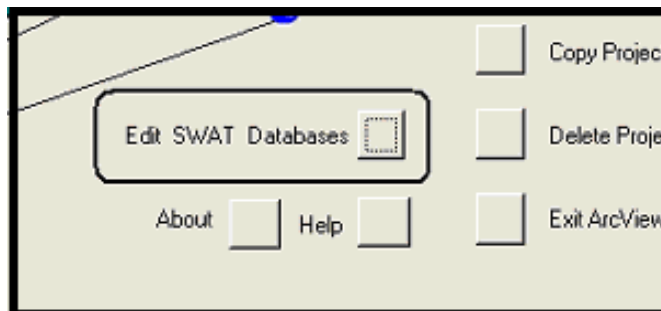
FLUJOGRAMA 3: USO DEL SWAT



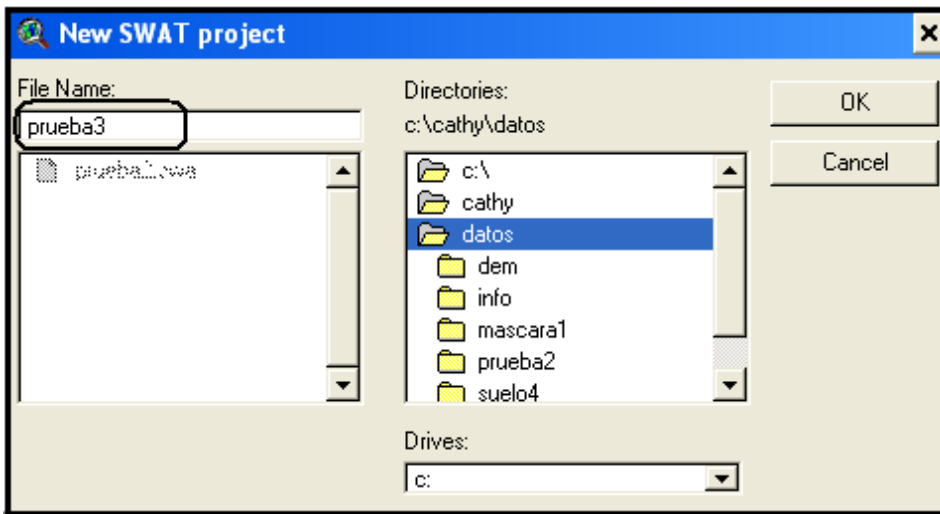
4.1.2.5.1.- El SWAT posee una interfaz para Arc View y aparece como una extensión del mismo



4.1.2.5.2.- Se procede a editar las bases de datos del SWAT para ingresar los suelos, usos de suelos y estaciones meteorológicas no existentes en el SWAT, al igual que para ingresar los valores de todos los cálculos que se realizaron anteriormente.



4.1.2.5.3.- Una vez hecho esto se procede a crear un nuevo proyecto en el SWAT para proceder a su ejecución.



4.1.2.5.4.- El SWAT realiza la ejecución de la siguiente manera¹⁷:

Realiza un balance hídrico de la cuenca con lo cual obtiene la cantidad de agua o caudal de agua en toda la cuenca o en una parte específica de ella.

➤ La escorrentía diaria o Q se lo obtiene de la siguiente manera:

Si $R > 0.2s$

$$Q = \frac{(R - 0.2s)^2}{R + 0.8s} \text{ (Ec. 18)}$$

Si $R \leq 0.2s$

$$Q = 0.0 \text{ (Ec. 19)}$$

Donde:

R j es la lluvia diaria

s j es el parámetro de retención

¹⁷ Bases teóricas del SWAT (Enrique A. Torres)

- La percolación en el SWAT usa una técnica de almacenamiento combinado para predecir el flujo medio de cada capa del suelo, ya que el agua una vez percolada al acuífero profundo no puede alimentar el escurrimiento.

La percolación se calcula por sustitución de SW desde SWoi

$$SW_i = SW_{oi} \exp\left(\frac{-\Delta t}{TT_i}\right) \quad (\text{Ec. 20})$$

$$TT_i = (SW_i - FC_i) / H_i \quad (\text{Ec. 21})$$

$$O_i \text{ o } P = SW_{oi} \left[1 - \exp\left(\frac{-\Delta t}{TT_i}\right) \right] \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde:

SWoi y SWj son los componentes del agua del suelo en el comienzo y el final del día.

Δt_j es el intervalo de tiempo

TTij es el tiempo de viaje a través de la capa del suelo

Hij es la conductividad hidráulica

FCij es el contenido de agua en cada capa

- El flujo de retorno es calculado con la siguiente fórmula:

$$QR = q_{i-1} e^{-\infty \Delta t} + Rc (1.0 - e^{-\infty \Delta t}) \quad (\text{Ec.23})$$

Donde:

qij es el flujo de retorno en el día i

∞_j es la constante de proporcionalidad

Δ_j es la recarga del acuífero superficial

- La evapotranspiración en el SWAT tiene distintos métodos para calcularse pero en este caso se usó el de Penman – Monteith, ya que este

fue experimentado en Colombia y es el que más se ajusta a nuestra realidad.

4.1.2.5.5.- Cuando se finaliza la ejecución del SWAT, se observa la siguiente pantalla con los resultados de la simulación (cuya tabla principal y con la que se trabaja es la Bsb).

The screenshot displays the SWAT software interface with several windows open:

- Output Map:** Shows a map of the watershed area with subbasins outlined in green.
- Bsb (Subbasin Summary Table):**

Subbasin	Date	Precip	Snomelt	Surg	Wyld	F3
1	01011990	1.000	0.000	0.000	0.000	
2	01011990	1.000	0.000	0.000	0.000	
3	01011990	1.000	0.000	0.000	0.001	
4	01011990	1.000	0.000	0.000	0.001	
5	01011990	1.000	0.000	0.000	0.000	
6	01011990	1.000	0.000	0.000	0.001	
7	01011990	1.000	0.000	0.000	0.000	
8	01011990	1.000	0.000	0.000	0.000	
1	01021990	0.000	0.000	0.000	0.000	
2	01021990	0.000	0.000	0.000	0.000	
3	01021990	0.000	0.000	0.000	0.000	
4	01021990	0.000	0.000	0.000	0.001	
5	01021990	0.000	0.000	0.000	0.000	
6	01021990	0.000	0.000	0.000	0.001	
7	01021990	0.000	0.000	0.000	0.000	
- Rch (Reach Summary Table):**

Subbasin	Date	Flow_In	Flow_Out	Sed_In	Sed_Out	Sedconc
1	01011990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
2	01011990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
3	01011990	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.01
4	01011990	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
5	01011990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
6	01011990	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
7	01011990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
8	01011990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
1	01021990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
2	01021990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
3	01021990	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.01
4	01021990	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
5	01021990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
6	01021990	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.01
- prueba4.apr:** A file explorer window showing a list of files including Views, Tables, Charts, and Layouts.

4.1.2.5.6.- Para la calibración del SWAT, se utiliza la tabla resumen Bsb, donde se encuentran los datos promediados de precipitación (precip) y velocidad (wyld) por mes de cada año.

En esta tabla también aparecen algunas otras variables como : el número asignado a cada microcuenca (subbasin) y la fecha (date). Para el cálculo de caudales se multiplica la velocidad por el área de cada microcuenca.

A partir de estos datos, se hace una consulta para seleccionar solamente el punto del cual tenemos los datos reales de caudales con los que se van a calibrar los datos calculados por el SWAT.

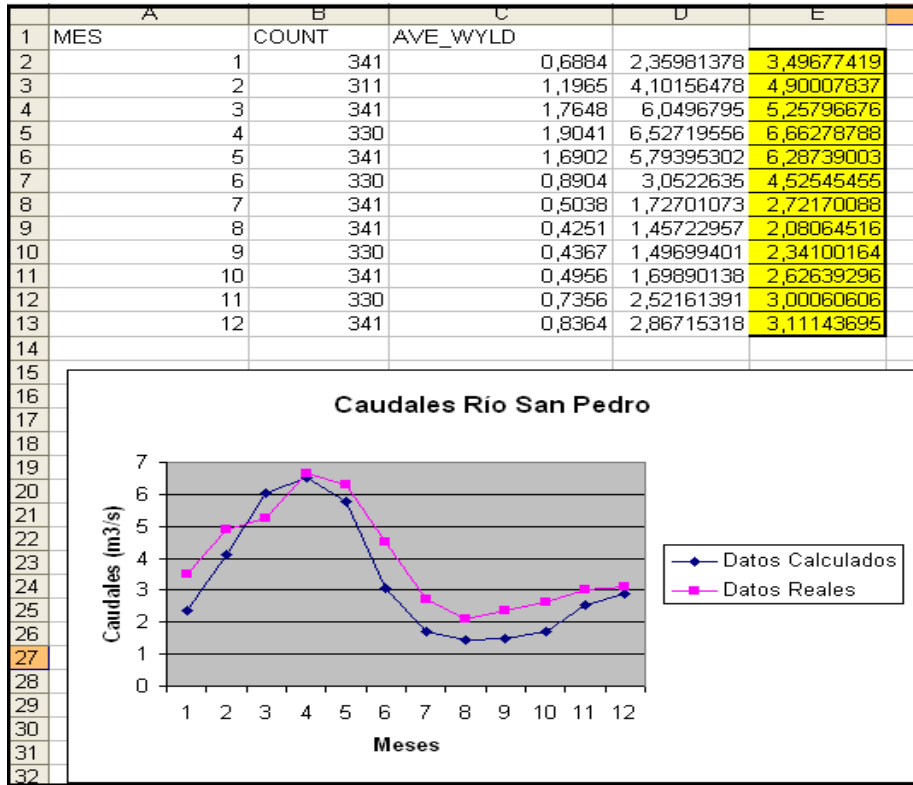
Se exportan estos datos a Excel para cambiar el campo date en formato fecha. Se abre esta tabla arreglada en el SWAT y se crea un campo para escoger solamente los meses y se hace la sumatoria para obtener una tabla de los caudales por mes de los 11 años.

Tabla Bsb de los datos de precipitación y velocidad por mes de cada año.

Bsb			
Subbasin	Date (mes/día/año)	Precip (mm)	Wylid (mm/d)
13	01/01/1990	0,700	0,000
1	01/02/1990	11,300	7,651
2	01/02/1990	11,300	0,113
3	01/02/1990	11,300	0,511
4	01/02/1990	11,300	0,822
5	01/02/1990	11,300	0,303
6	01/02/1990	11,300	0,809
7	01/02/1990	11,300	0,692
8	01/02/1990	11,300	1,280
9	01/02/1990	11,300	0,075
10	01/02/1990	11,300	2,246
11	01/02/1990	11,300	1,262
12	01/02/1990	11,300	0,283
13	01/02/1990	11,300	0,166

4.1.2.5.7.- Se exportan estos nuevos datos a Excel y junto con los datos reales de la estación hidrométrica se hace un gráfico para ver si las curvas tanto de los datos reales como calculados por el SWAT coinciden.

Caudales Sin Calibrar

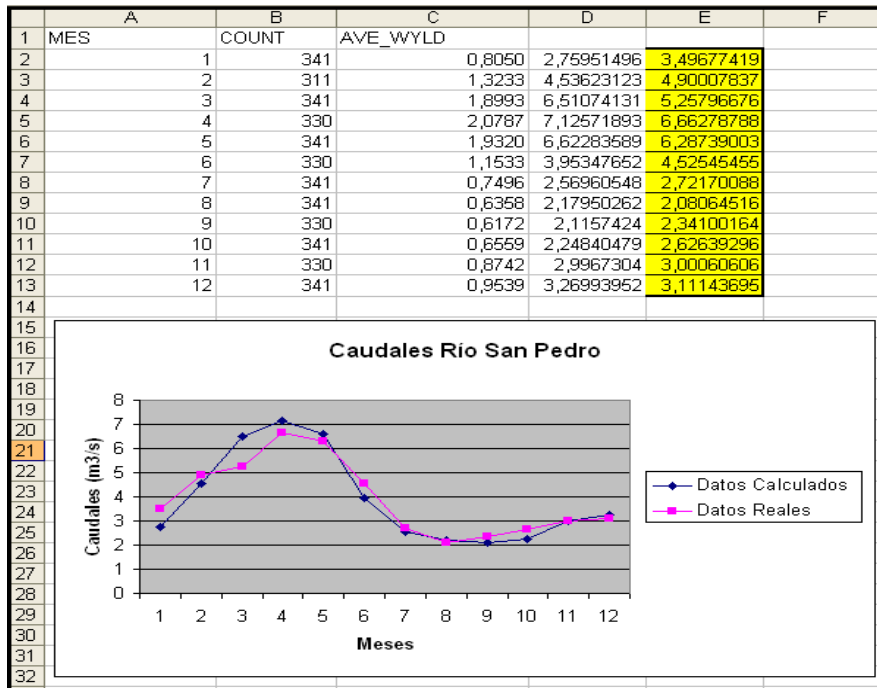


4.1.2.5.8.- Si los datos no coinciden se procede a variar ciertos datos del SWAT según el tipo de desplazamiento de las curvas. En este caso se varió el GWQMN que trata de límite del flujo de retorno de los acuíferos.

Se vuelve a correr el SWAT y se vuelve a realizar todo el proceso de las tablas hasta obtener los datos promedio por mes de los 11 años.

Se vuelve a hacer el gráfico comparando los datos reales de la estación hidrométrica con nuevos datos calculados por el SWAT para ver si las curvas coinciden y se continúa con el proceso hasta que las curvas encajen lo mejor posible.

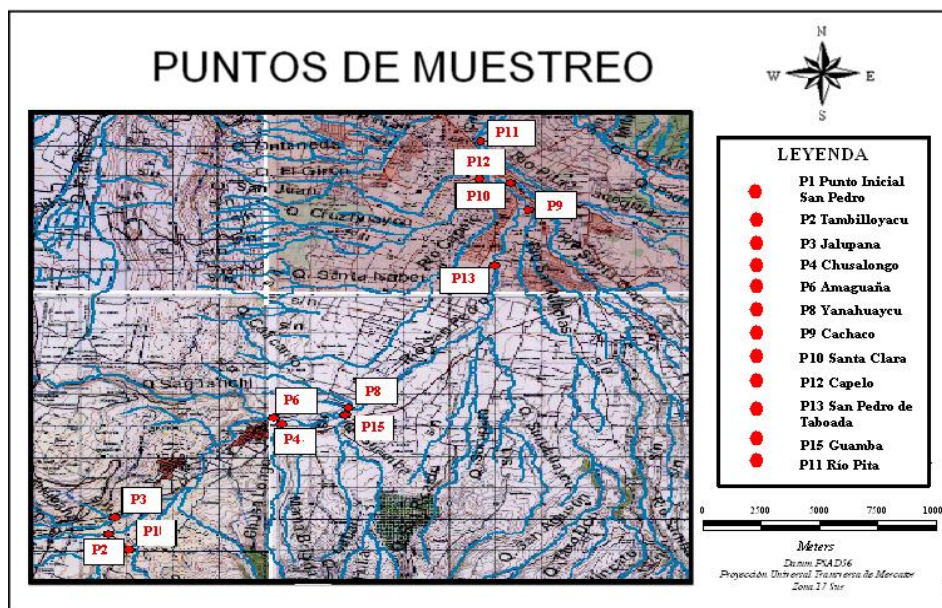
Caudales Calibrados



4.1.2.6.- Recolección de las muestras

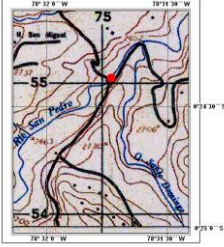





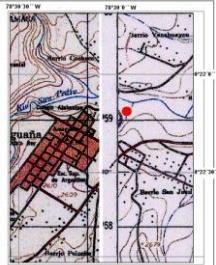

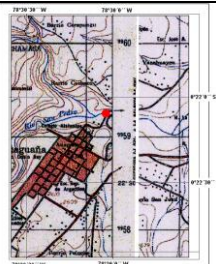
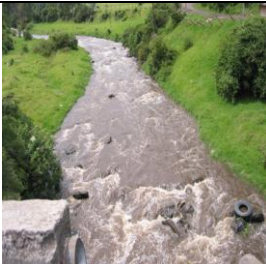
4.1.2.6.1.- En las cartas se identificó los afluentes del Río San Pedro en el tramo a estudiarse y se determinó sus coordenadas. (Gráfico 17 y Cuadro 11)







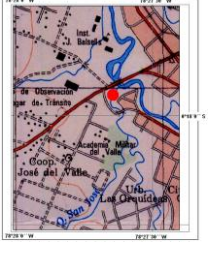



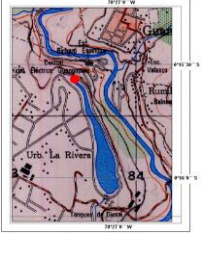

Gráfico 17 : Ubicación de Los Puntos de Muestreo (Anexo 3, mapa 4)

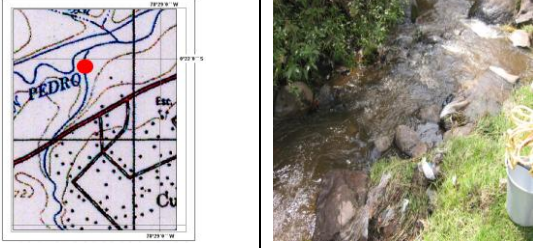


Autor: Catherine Proaño

Cuadro 11: Localización Gráfica y Coordenadas de los Puntos de Muestreo

Punto	Nombre	Localización (en UTM)		
		Este	Norte	Gráficos
1	Inicio	775070.94	9955039.88	 
2	Tambilloyac u	774651.90	9955536.47	 
3	Jalupana	774761.14	9956054.33	 
4	Chusalongo	778362.52	9959073.29	 
6	Amaguaña	778203.11	9959248.79	 

Punto	Nombre	Localización (en UTM)		
		Este	Norte	Gráficos
8	Yanahuaycu	779833.44	9959599.24	 
9	Cachaco	783716.43	9965954.78	 
10	Santa Clara	783305.02	9966801.02	 
12	Capelo	782649.68	9966935.10	 
13	San Pedro de Taboada	782974.03	9964138.04	 
14	Guangopolo	783500.46	9971294.33	 

Punto	Nombre	Localización (en UTM)		
		Este	Norte	Gráficos
15	Guamba	779741.62	9959371.67	

4.1.2.6.2.- Se procedió a tomar las muestras según los estándares establecidos.



4.1.2.7.- Aplicación de balance de masas

Para la aplicación de este modelo es necesario tener las entradas de caudal y concentración de materia orgánica, que en este caso son los afluentes del río San Pedro en el tramo analizado y las descargas directas de alcantarillado de las viviendas en este mismo tramo.

Con los datos anteriores y una vez realizado el análisis de la variación de concentración de materia orgánica obtendremos la concentración final de todo el tramo analizado.

Para la aplicación del balance de masas para la determinación de las concentraciones se utilizaron las fórmulas para una sustancia no conservativa, ya que la materia orgánica es una sustancia no conservativa.

4.1.2.7.1.- Cargas Puntuales:

Punto1

$$Q4' = Q3 + Q4 \text{ (Ec. 7)}$$

$$2,79 \text{ m}^3 + 0,31 \text{ m}^3 = 3,10 \text{ m}^3$$

$$Q3 * C3 + Q4 * C4 = Q4' * C4' \text{ (Ec. 6)}$$

$$C4' = ((Q3 * C3) + (Q4 * C4)) / Q4'$$

$$((2,77 \text{ m}^3 * 4,70 \text{ mgr/lit}) + (0,31 \text{ m}^3 * 27,80 \text{ mgr/lit})) / 3,10 \text{ m}^3 = 6,98 \text{ mgr/lit}$$

$$C5 = C4' * e^{-kx/v} \text{ (Ec. 8)}$$

$$6,98 \text{ mgr/lit} * e^{-((2,4 \text{ (1/día)} * 490,55 \text{ m}) / 80038,01 \text{ m/día})} = 6,93 \text{ mg/lit}$$

Donde:

W = Flujo másico ((m³* mgr)/(s*lt))

Q = caudal volumétrico (m³)

C = concentración (mgr/lt)

x = distancia (m)

v= velocidad (m/día)

k= constante de degradación del río

W1,W2,W3 = Flujo másico en el punto 1, 2 y 3

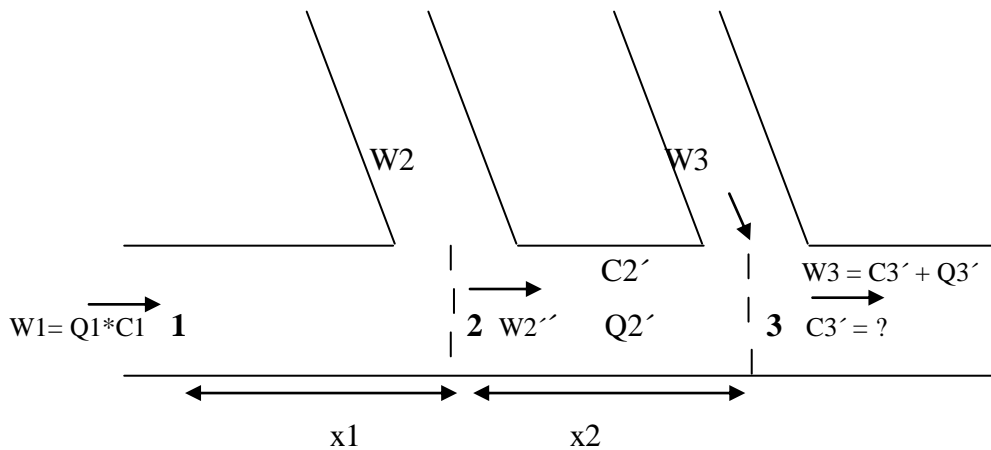
Q1,Q2= caudal volumétrico (m³) del punto 1 y 2

C1,C2,C3 = concentración de salida (mgr/lt) del punto 1, 2 y 3

C2' y C3' = concentración de ingreso (mgr/lt) al punto 2 y 3

Q2' = caudal volumétrico (m³) de salida del punto 2

Gráfico 18 Balance de Masas para Cargas Puntuales



Autor: Catherine Proaño

Donde:

x_3 = distancia del punto 2 al 3 (m)

v = velocidad (m/día)

k = constante de degradación del río

W_2' y W_3' = Flujo másico de llegada al punto 2 y 3

W_2'' y W_3'' = Flujo másico de salida del punto 2 y 3

Q_2, Q_3 = caudal volumétrico (m^3) del punto 1 y 2

C_2'' y C_3'' = concentración de salida (mgr/lit) del punto 2 y 3

De la misma manera y con las mismas ecuaciones se procede con todos los puntos de los afluentes desde el P1 (inicial) hasta un Px (final).

4.1.2.7.2.- Cargas Distribuidas:

$$Q_9' = Q_8 + Q \text{ carga distribuida 1 (Ec. 7)}$$

$$4,502 \text{ m}^3 + 0,031 \text{ m}^3 = 4,533 \text{ m}^3$$

$$CD = \frac{W}{A * l} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$\frac{8,99 \text{ ((m}^3 \text{ mgr)/(s*lt))}}{9,54 \text{ m}^2 * 2214,516 \text{ m}} = 4,255 * 10^{-4} \text{ mgr/(s* lt)}$$

$$4,255 * 10^4 \text{ mgr/(s* lt)} * 86400 \text{ (s/día)} = 36,76 \text{ mgr/(día* lt)}$$

$$C9' = \frac{CD}{K} (1 - e^{-kx/v}) \text{ (Ec. 9)}$$

$$\frac{36,76 \text{ mgr/(día* lt)}}{2,4 \text{ (1/día)}} (1 - e^{-(2,4(1/día)*2214,516 \text{ m}) / 78719,236 \text{ m/día}}) = 1,00$$

$$C9 = (C8 * e^{-(2,4(1/día)*2214,516 \text{ m}) / 78719,236 \text{ m/s}}) + C9' = 6,14 \text{ mgr/lt}$$

$$C9 = 5,48 \text{ mgr/lt} + 1,00 = 6,48 \text{ mgr/lt}$$

Donde:

W = Flujo másico ((m³* mgr)/(s*lt))

Q = caudal volumétrico (m³)

A= área (m²)

CD = concentración de la carga distribuida (mgr/lt)

C2 = concentración de ingreso al punto 2 (mgr/lt)

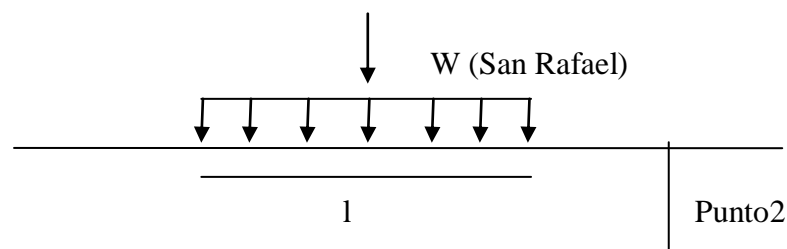
l = distancia de la carga distribuida (m)

v = velocidad (m/s)

k= constante

x = distancia del punto1 al punto 2 (m)

Gráfico 19 Balance de Masas para Cargas Distribuidas



Autor: Catherine Proaño

Con estas ecuaciones se calculan las cargas distribuidas de las zonas pobladas como Sangolquí, San Rafael y San Pedro de Taboada.

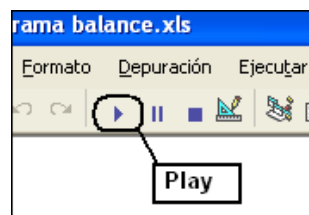
4.1.2.8.- Aplicación del programa para el modelo de balance de masas:

Con esas fórmulas se crea un programa en Excel para obtener la concentración de ingreso a cada punto y la concentración en el punto final.

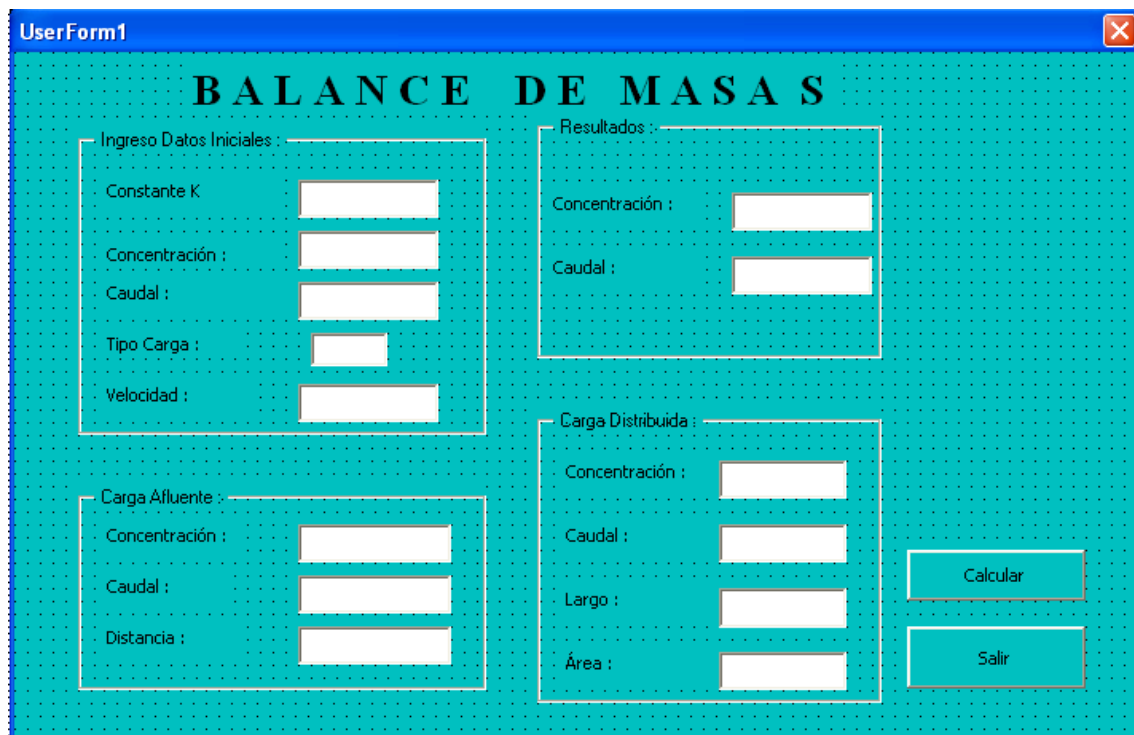
Para la creación de este programa se utilizó macros con visual basic en Excel.

4.1.2.8.1.- *Uso del programa:*

Los datos que solicita dicho programa son concentración inicial, caudal inicial, número de afluentes, la constante k para el río, y la concentración y caudal de los afluentes y descargas; así como la velocidad del río y la distancia entre puntos.



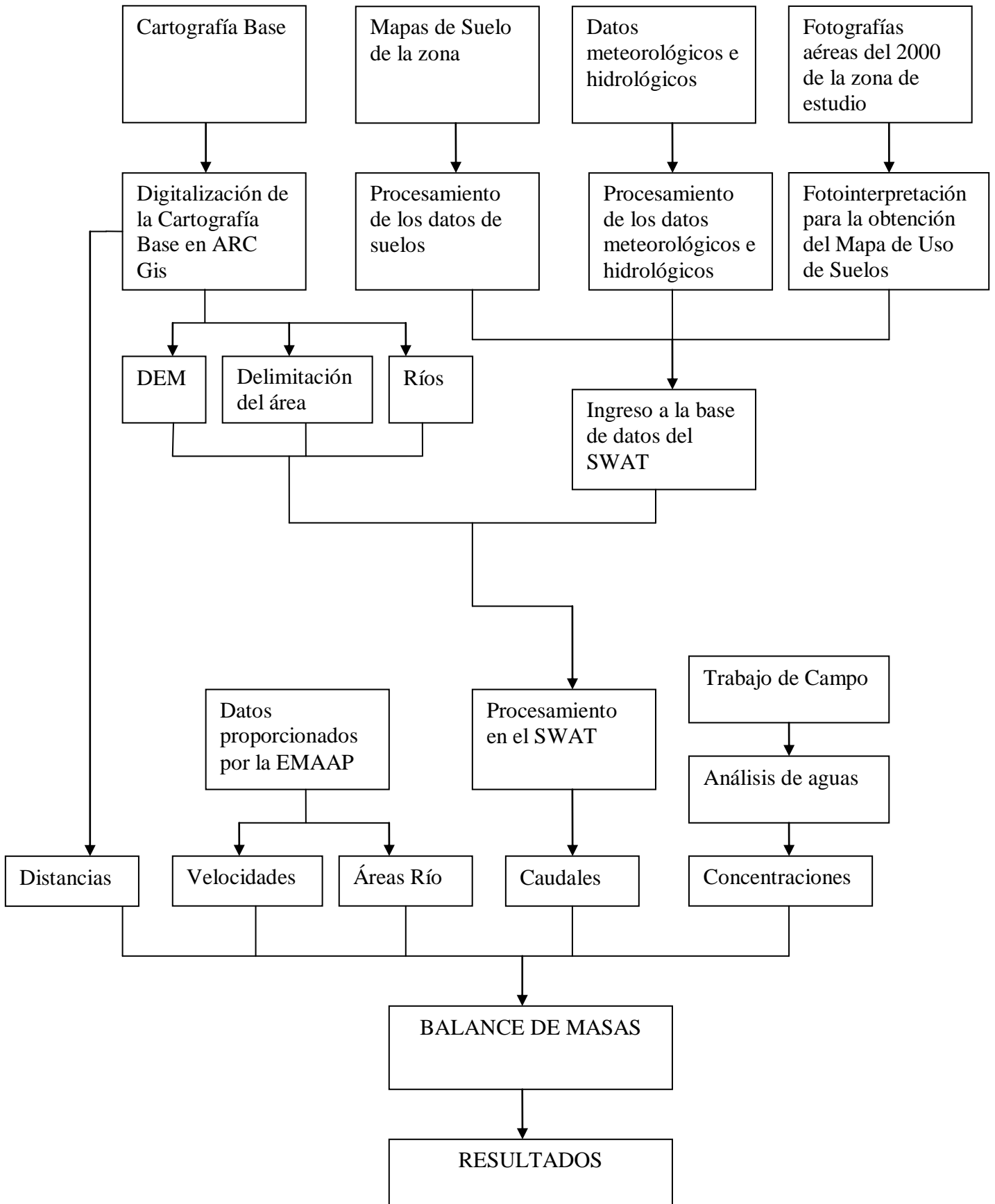
Pantalla de ingreso de datos:

A screenshot of a VBA UserForm titled 'UserForm1' with a blue border and a light blue dotted background. The title 'BALANCE DE MASAS' is centered at the top. The form is divided into several sections:

- Ingreso Datos Iniciales:** Contains five input fields for 'Constante K', 'Concentración', 'Caudal', 'Tipo Carga', and 'Velocidad'.
- Resultados:** Contains two input fields for 'Concentración' and 'Caudal'.
- Carga Afluente:** Contains three input fields for 'Concentración', 'Caudal', and 'Distancia'.
- Carga Distribuida:** Contains four input fields for 'Concentración', 'Caudal', 'Largo', and 'Área'.

At the bottom right, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

FLUJOGRAMA 4: METODOLOGÍA



5.1.- Resultados

5.1.1.- Mapa de uso de suelos

El mapa de uso de suelos (ver Anexo3, mapa 2) fue obtenido a partir de la fotointerpretación de las fotografías aéreas a escala 1:60000 del año 2000 de la zona de estudio. Este mapa es utilizado como parte de los datos necesarios para el SWAT.

5.1.2.- Resultados del SWAT

A partir de la ecuación 1 del balance hídrico en la cual se basa el SWAT para determinar caudales y posterior a su calibración se obtuvieron los siguientes resultados para cada una de las microcuencas que conforman los afluentes del Río San Pedro, al igual que el caudal promedio para la época lluviosa, época en la cual se realizó el estudio.

* Cuadro 12: Punto Inicial (Río San Pedro)

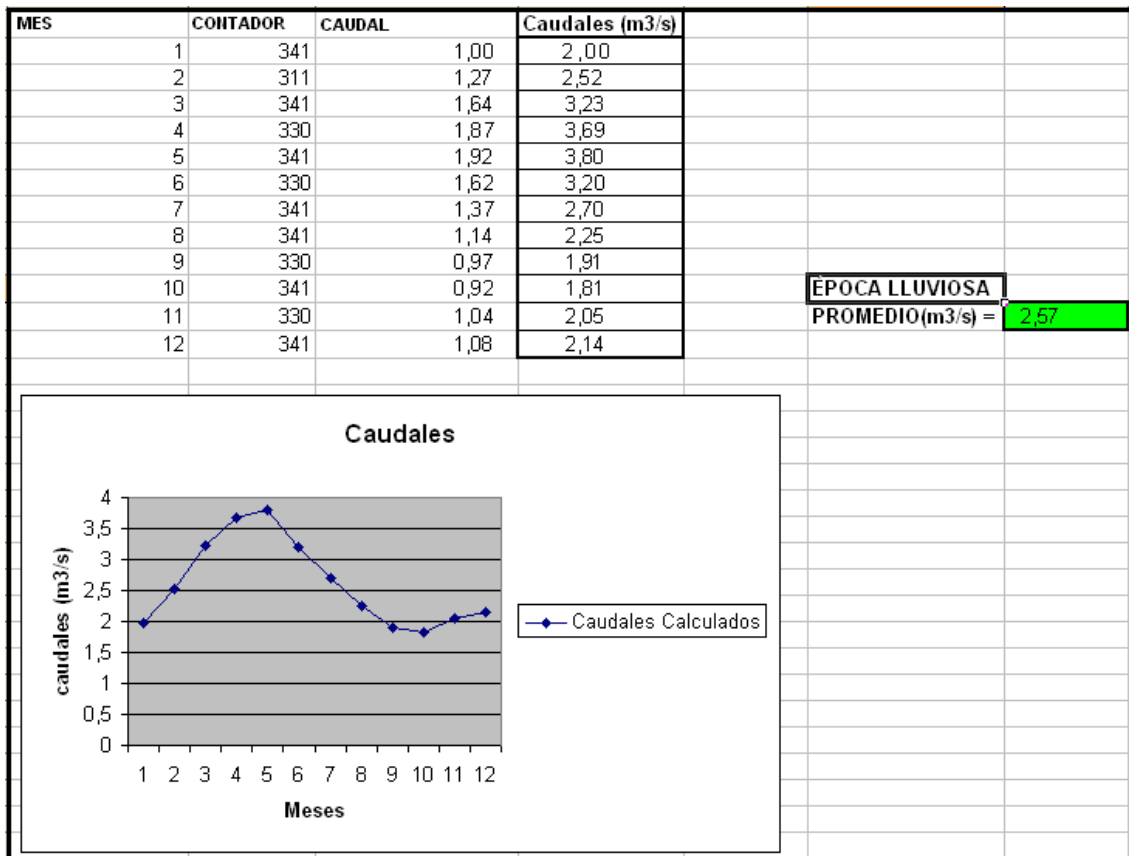


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

*** Cuadro 13: Quebrada Santo Domingo (P21 solo aporte de caudal)**

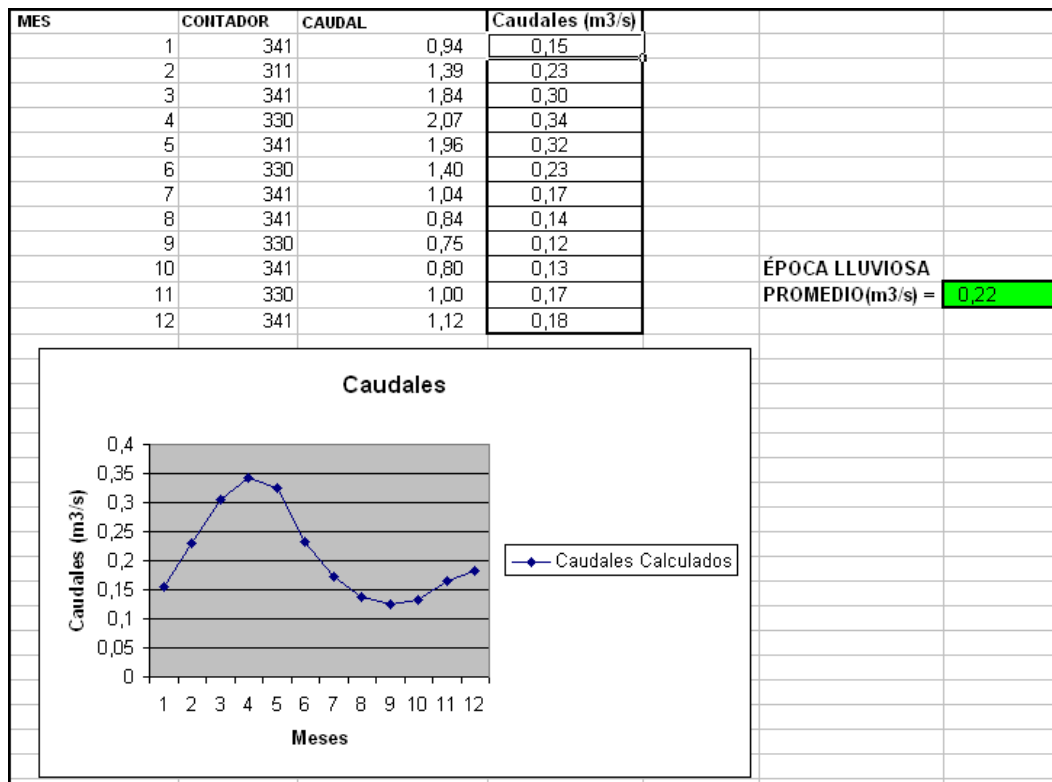


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

*** Cuadro 14: Quebrada Tambilloyacu (P2)**

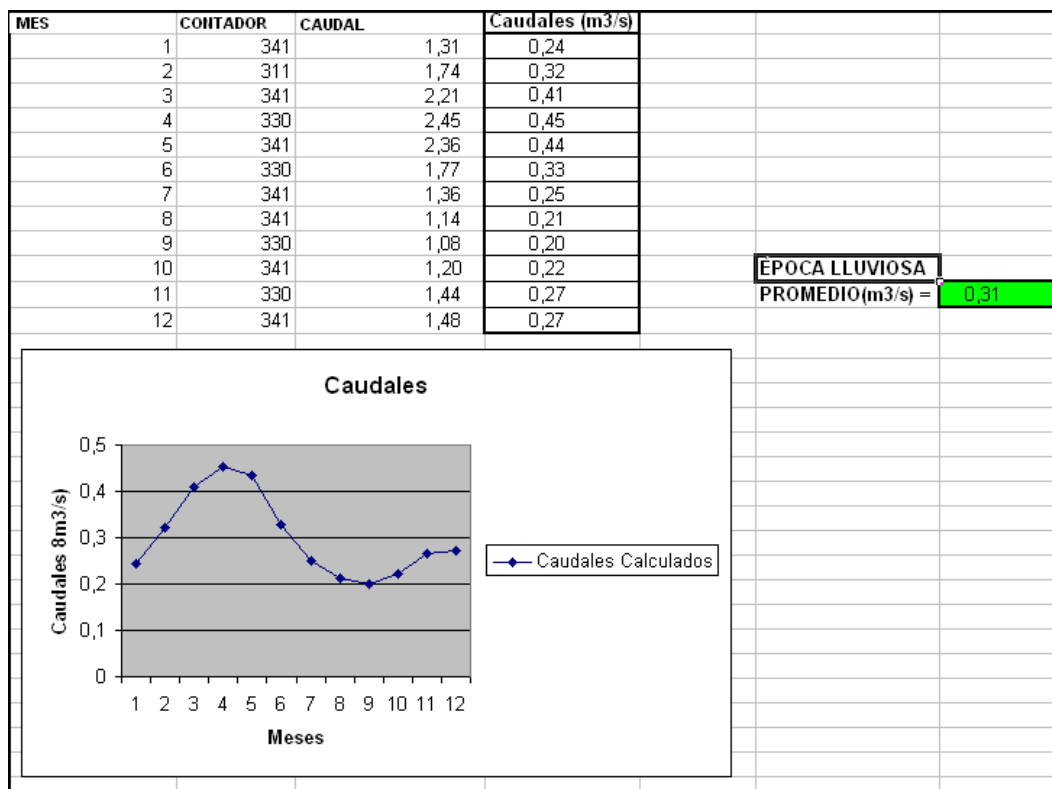


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 15: Quebrada Jalupana (P3)

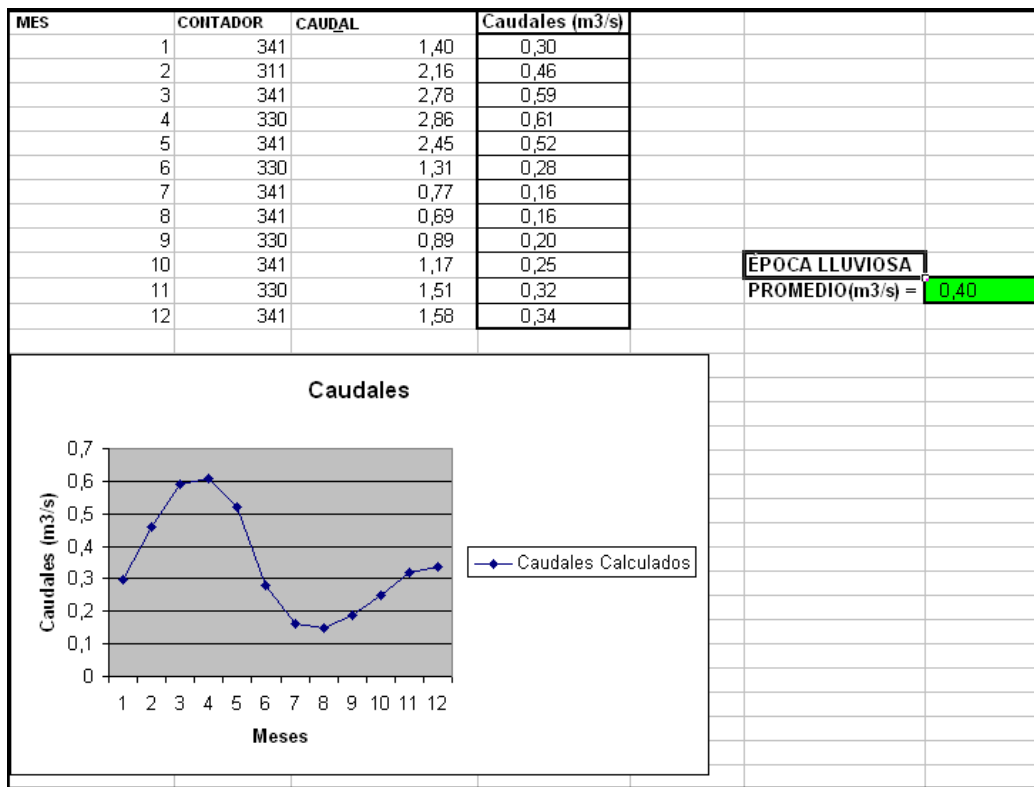


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 16: Quebrada Chaquishcahuaycu (P16 solo aporte de caudal)

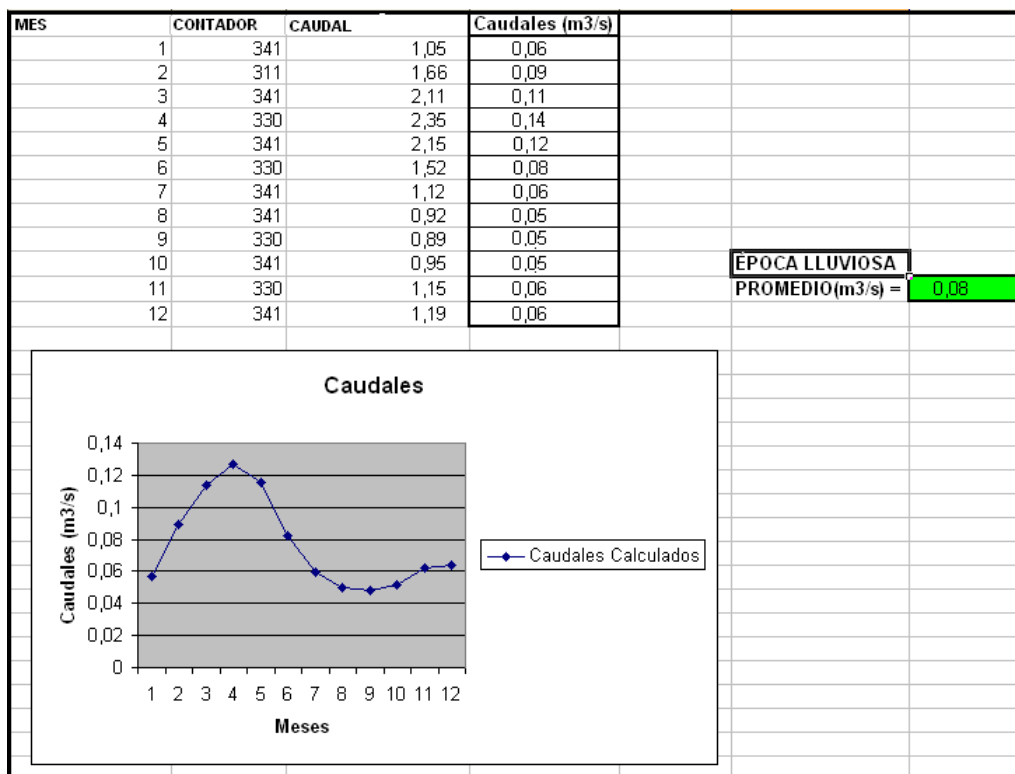


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

*** Cuadro 17: Quebrada Anchamazo (P17 solo aporte de caudal)**

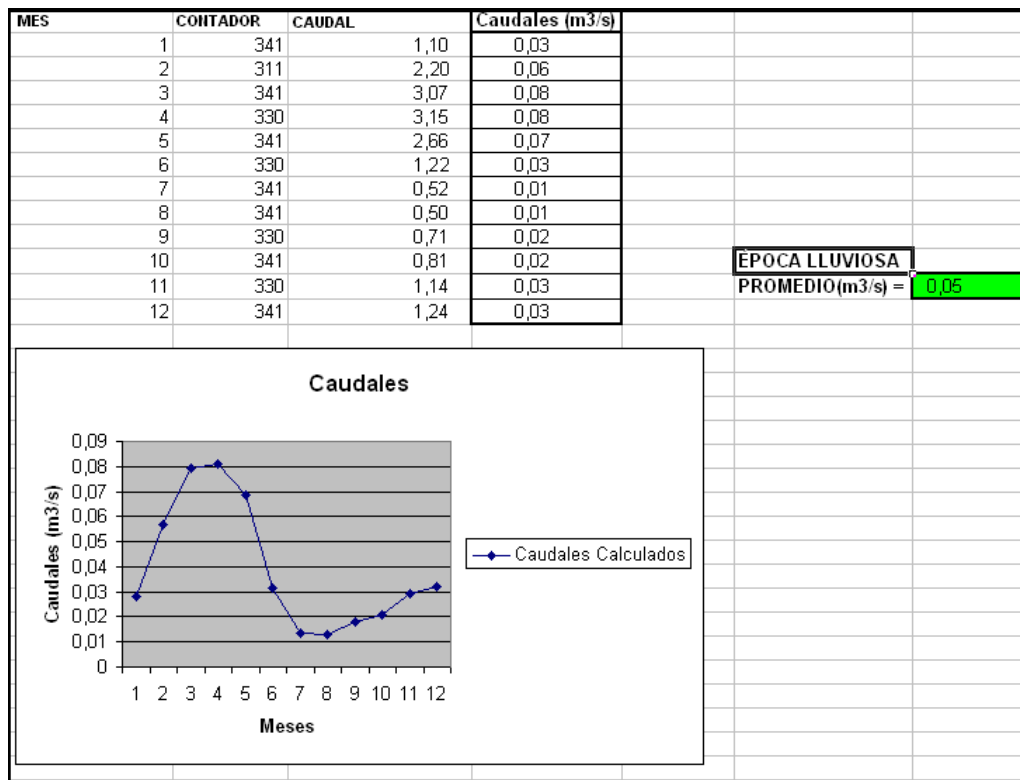


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

*** Cuadro 18: Quebrada Saguanchi (P18 solo aporte de caudal)**

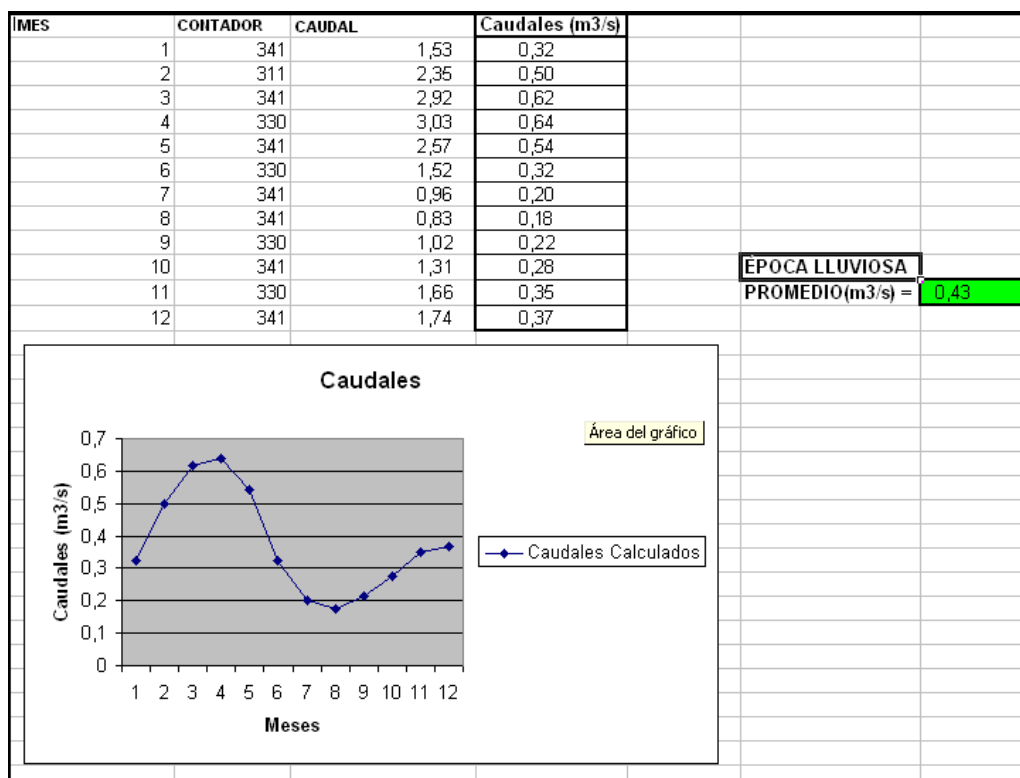


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 19: Quebrada Chusalongo (P4)

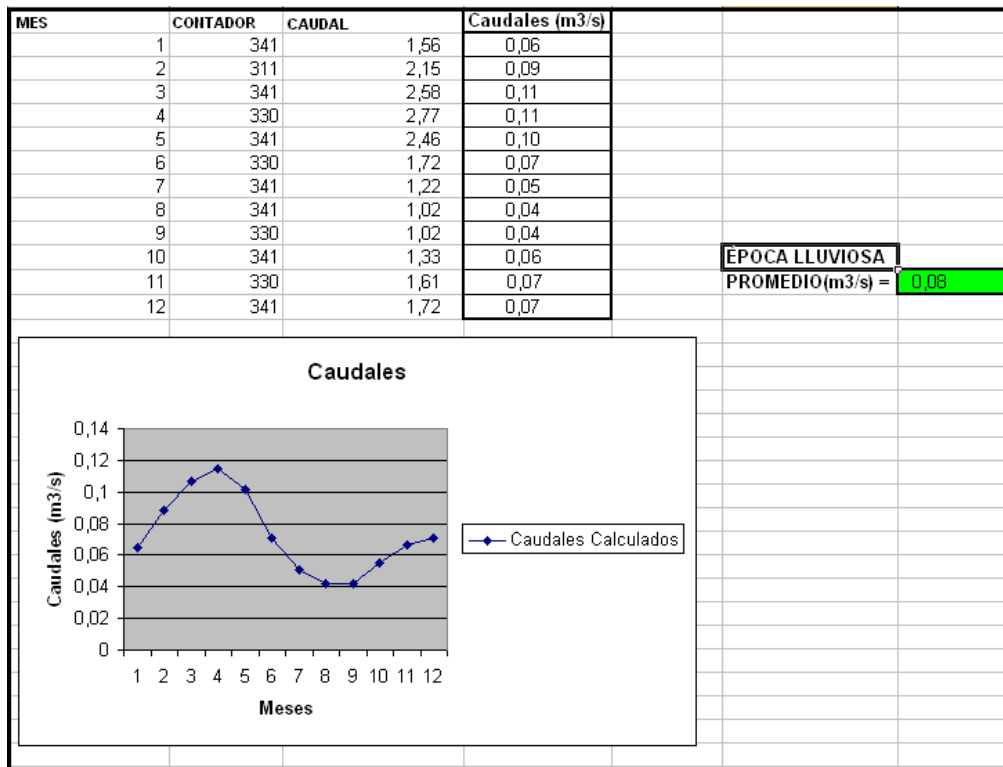


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 20: Quebrada Mama Brigida (P19 solo aporte de caudal)

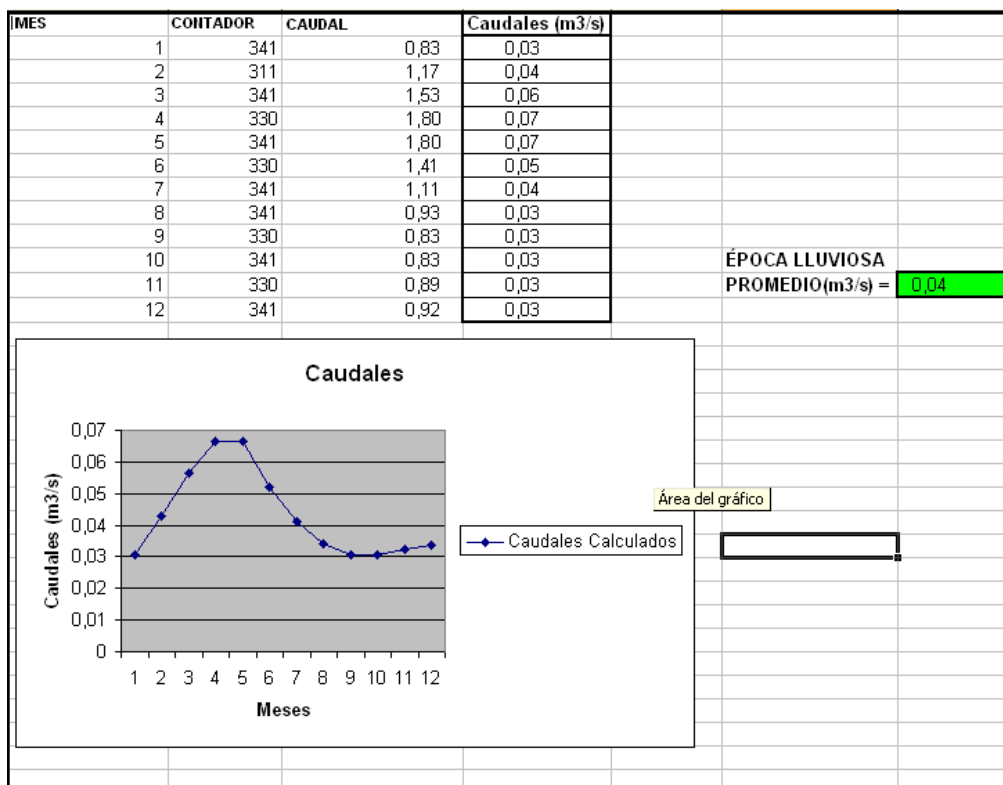


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 21: Quebrada Guamba (P15)

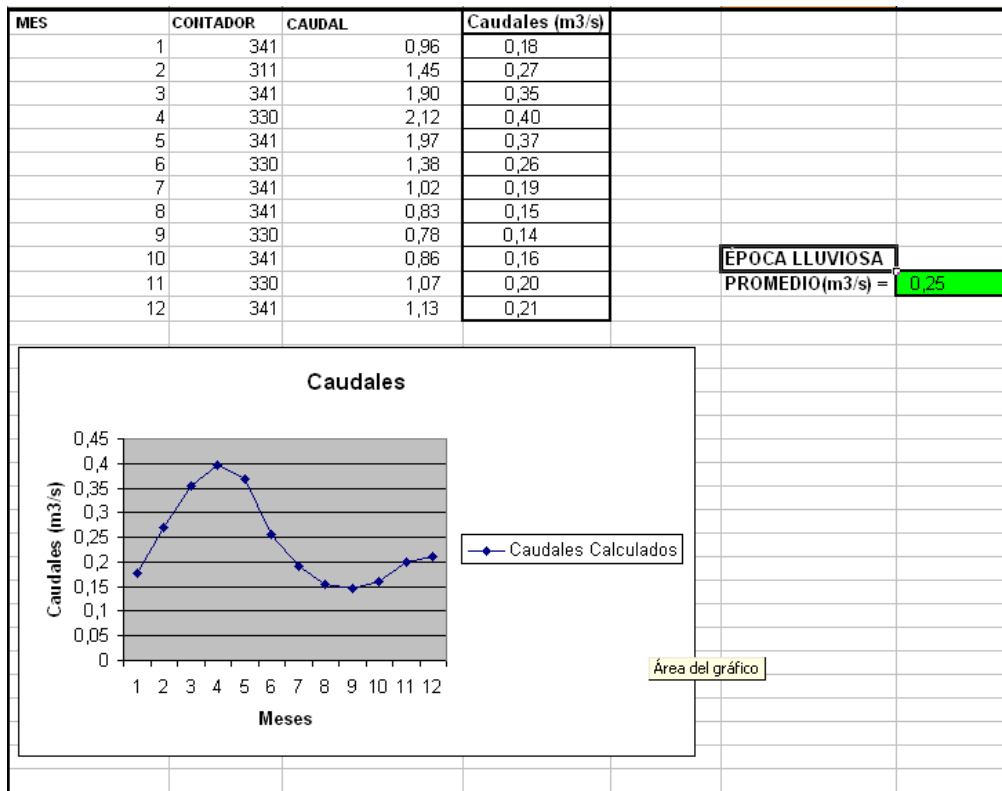


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 22: Quebrada Yanahuaycu (P8)

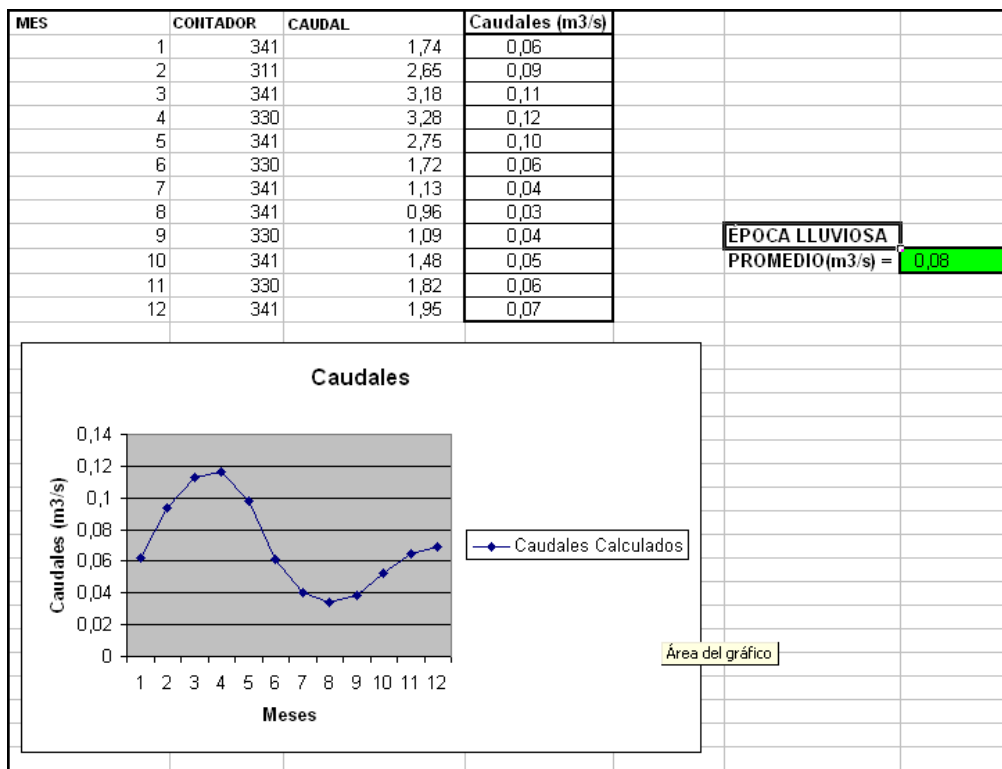


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 23: Quebrada Suruhuaycu (P20 solo aporte de caudal)

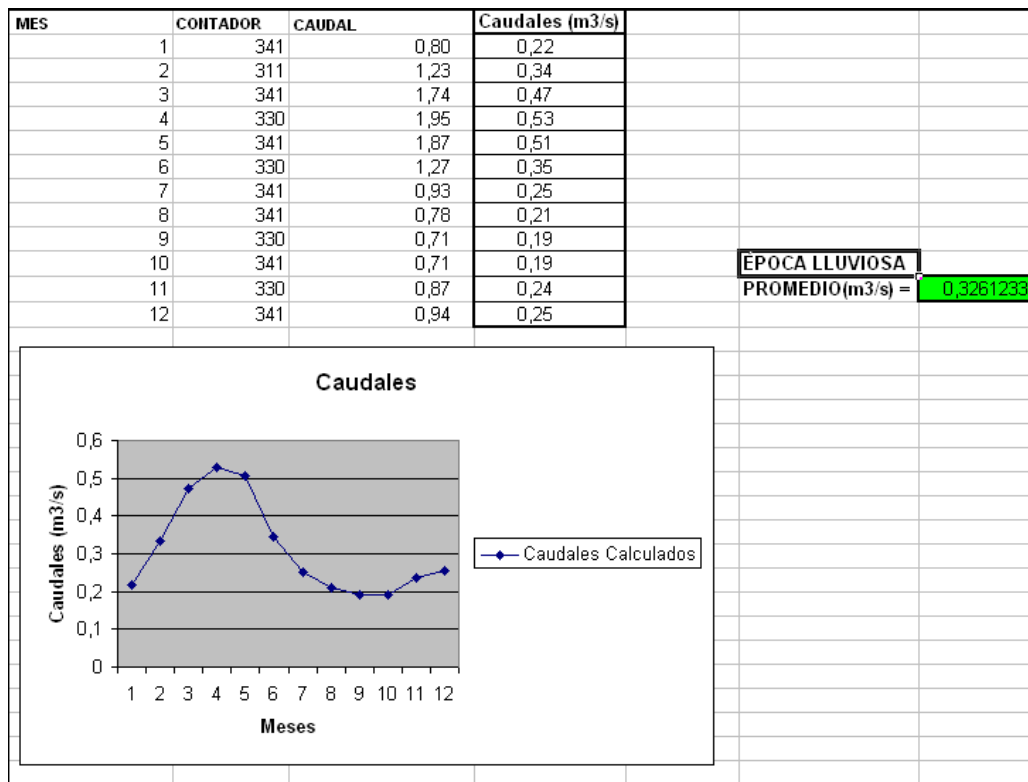


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 24: Río Cachaco (P9)

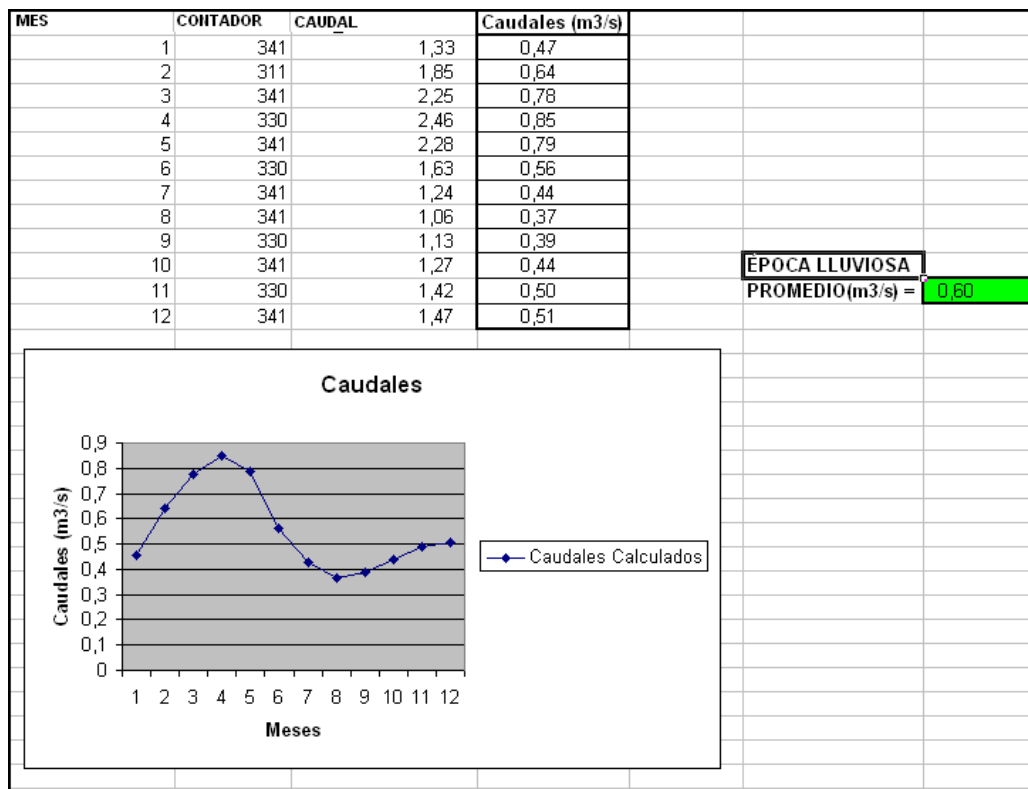


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 25: Río Santa Clara (P10)

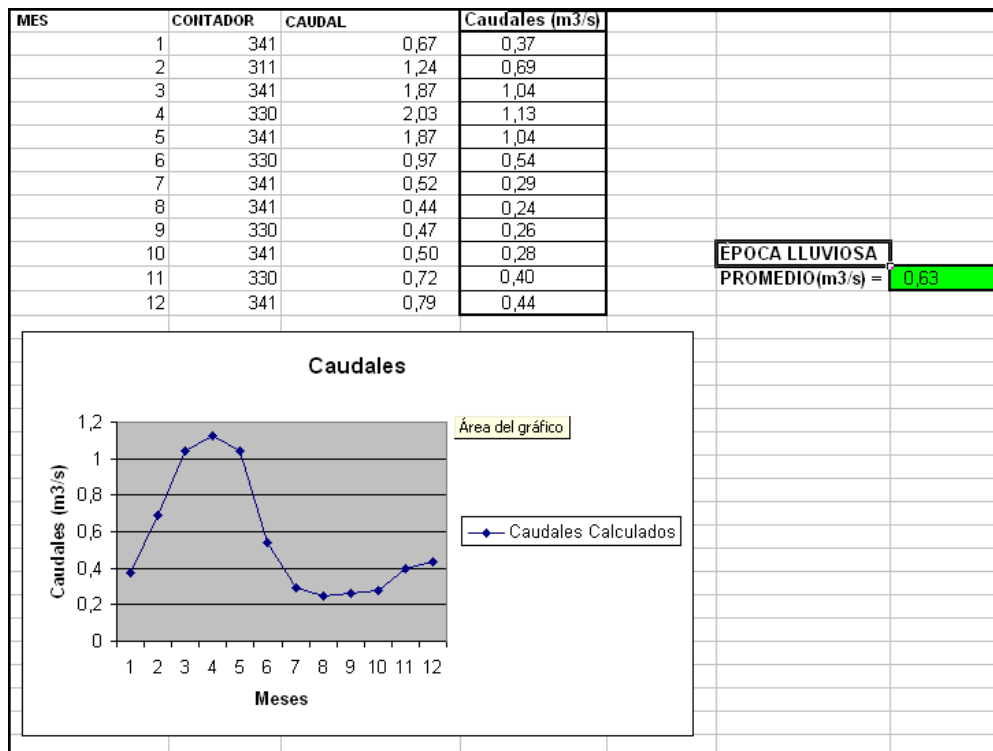


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

* Cuadro 26: Río Capelo (P12)

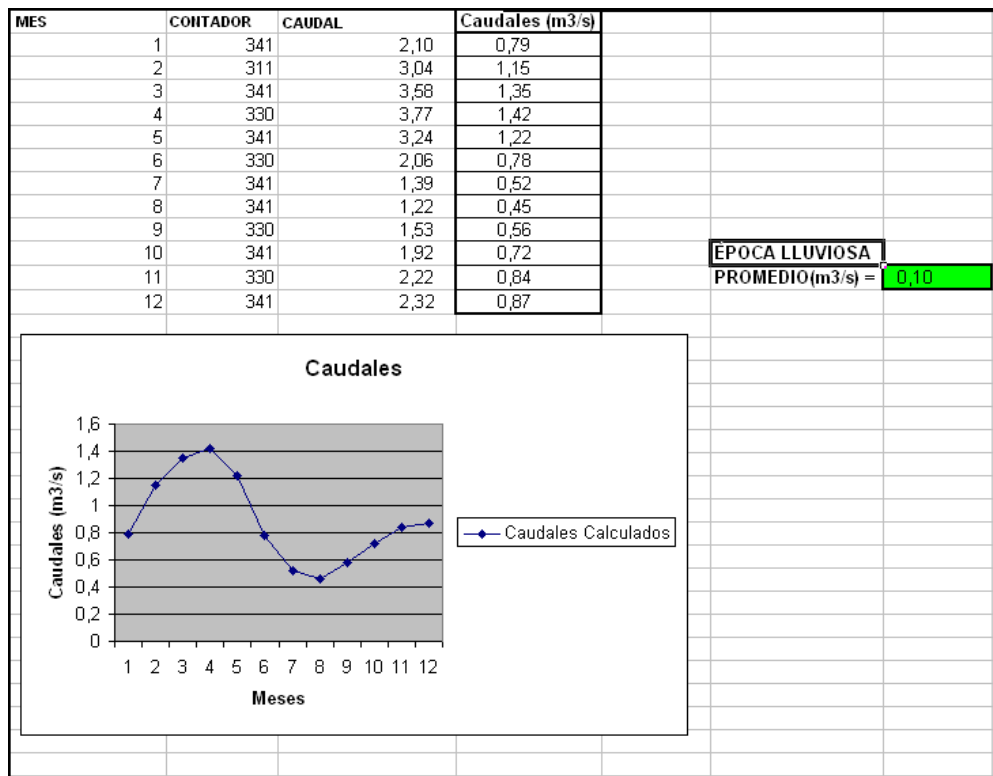


Gráfico de caudales del Río San Pedro en el tramo analizado.

5.1.3.- Resultados de los Caudales de las Cargas Distribuidas

Se obtuvo en el caso del Cantón Rumiñahui a través de la determinación del número de habitantes de las zonas aledañas al río y que por pendiente descargarían sus aguas servidas a dicho río y este valor se lo multiplicó por una descarga promedio de 200 lt/hab/día¹⁸ y el resultado se lo transformó a m³/s, mientras que lo referente al Cantón Quito se lo obtuvo de datos de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua potable (EMAAP).

Cuadro 27: Caudal Cargas Distribuidas Cantón Rumiñahui

	CAUDAL (m ³ /s)	CAUDAL (lt/s)
area distribuida1	0,03	31,42
area distribuida2	0,04	43,18
area distribuida3	0,05	51,80
area distribuida4	0,01	12,70
area distribuida5	0,00	3,44
area distribuida6	0,00	5,51

Muestra el caudal de cargas de alcantarillado de la zona urbana del Cantón Rumiñahui vertidas al Río San Pedro distribuidas a lo largo de toda la zona poblada.(Anexo 3, mapa 6)

Cuadro 28: Caudal Cargas Distribuidas Cantón Quito

	Caudal (m ³ /s)	Caudal (lt/s)
Cantón Quito (área Balbina)	0,01	13,08
Cantón Quito (área Cuendina)	0,00	1,65

Muestra el caudal de cargas de alcantarillado de la zona urbana del Cantón Quito vertidas al Río San Pedro distribuidas a lo largo de toda la zona poblada.(Anexo 3, mapa 6)

¹⁸ Dato obtenido de “ Estudios y Diseños para el tratamiento de Aguas Servidas Mediante el Sistema de Filtros Verdes para el Campus Politécnico” Escuela Politécnica del Ejercito.

5.1.4.- Resultados de las Concentraciones de Materia Orgánica (DBO5 y DQO)

(Anexo 3, mapa 5)

Se los alcanzó a partir de la aplicación del modelo de Materia Orgánica basado en Balance de Masas.

Son los resultados de la aplicación de las ecuaciones 5 y 8 para las cargas puntuales y de las ecuaciones 5 y 10 para las cargas distribuidas.

Cuadro 29: Concentraciones de DBO5 obtenidas a partir del Modelo de materia Orgánica

Tramos		Concentración DBO5 Calculada (mg/lit)	Para Agua Potable	Para Agua para Riego
Tramo18	carga dist5 a P11	9,37	no es apta	si es apta
Tramo17	carga dist.5	9,55	no es apta	si es apta
Tramo16	carga dist.4	9,97	no es apta	si es apta
Tramo15	carga dist3	8,50	no es apta	si es apta
Tramo14	carga dist.2	7,43	no es apta	si es apta
Tramo13	carga dist.1	6,48	no es apta	si es apta
Tramo12	P8 a carga dist.1	5,86	no es apta	si es apta
Tramo11	P15-P8	6,10	no es apta	si es apta
Tramo10	P19-P15	6,03	no es apta	si es apta
Tramo9	P4-P19	6,30	no es apta	si es apta
Tramo8	P6-P4	5,79	no es apta	si es apta
Tramo7	P18-P6	5,83	no es apta	si es apta
Tramo6	P17-P18	6,53	no es apta	si es apta
Tramo5	P16-P17	6,97	no es apta	si es apta
Tramo4	P3-P16	7,55	no es apta	si es apta
Tramo3	P2-P3	6,93	no es apta	si es apta
Tramo2	P21-P2	4,70	no es apta	si es apta
Tramo1	P1-P21	5,16	no es apta	si es apta

Muestra la concentración de DBO5 (mgr/lit) obtenida a partir de la aplicación del modelo.

5.1.5.- Resultados del Promedio de las concentraciones de los Afluentes

Cuadro 30: Promedios de las concentraciones de los Afluentes

Puntos	Promedio	
	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)
P1	5,40	<50
P2	20,33	74,67
P3	13,45	<50
P4	39,65	115,37
P6	5,66	<50
P8	5,60	57,90
P9	20,60	74,07
P10	6,38	<50
P11	8,12	93,33
P12	9,82	69,00
P13	6,78	<50
P14	6,58	<50
P15	7,85	119,33

Muestra las concentraciones de DBO5 y DQO de los afluentes del tramo analizado del río San Pedro obtenidos a partir de los respectivos análisis (Anexo 2)

5.1.6.- Resultados del Modelo de Balance de Masas

En el Cuadro 31 se puede observar los caudales proporcionados por el SWAT y las concentraciones obtenidas del Balance de Masas para cada tramo analizado hasta llegar al punto final de la zona de estudio que es la unión del Río Pita (P11) con el San Pedro.

Lugar en el cual después de la unión del Río Capelo (P12) con el Río San Pedro, éste último es desviado en su totalidad o casi en su totalidad dependiendo de la cantidad de caudal existente en el río hacia un canal que lo conduce a la represa de Guangopolo con lo que a partir de este punto y hasta la unión del Río Pita con el San Pedro, por su cauce solo recorren aguas servidas.

5.1.7.-Obtención de la Constante

Para el modelo de Balance de Masas se utilizó una constante de $2,4 \text{ día}^{-1}$ que fue calibrada a partir de un valor inicial de 0,4 obtenido en bibliografía¹⁹ como ejemplo de constante de degradación para un río.

A este valor inicial de $0,4 \text{ día}^{-1}$ se lo fue incrementando hasta que los valores de los puntos 6 Amaguaña y 13 San Pedro de Taboada se asemejaran lo más posible a los valores reales con lo cual se obtuvo la constante de $2,4 \text{ día}^{-1}$, que fue la aplicada para todos los puntos dentro de la aplicación del Modelo de Balance de Masas.

Cuadro 31: Datos Reales y Calculados para los puntos 6 y 13

Puntos	Valores Reales de DBO5 (mg/lt)	Valores calculados DBO5 (mg/lt)
Punto 6 Amaguaña	5,66	5,83
P13 San Pedro de Taboada	6,78	6,48

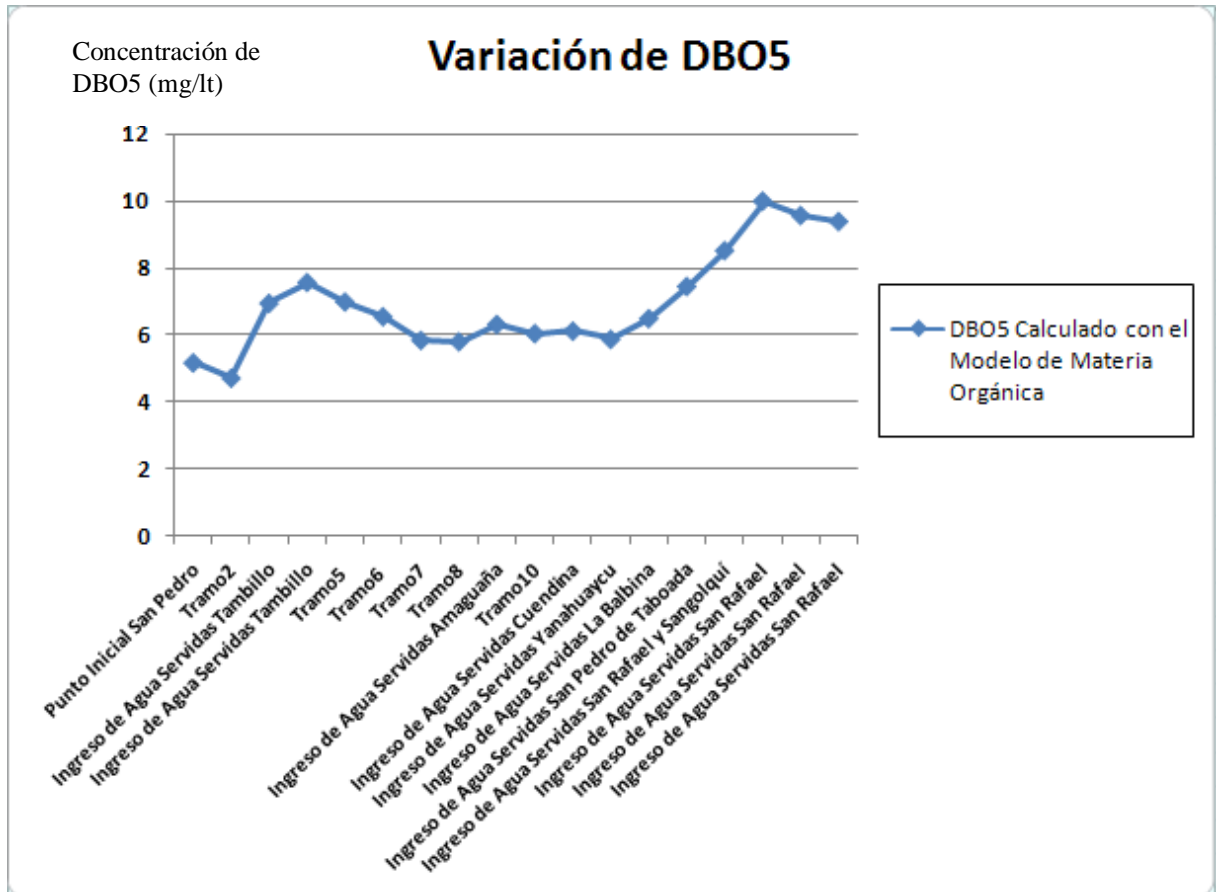
El cuadro muestra los valores reales y los calculados para los puntos 6 Amaguaña y 13 San Pedro de Taboada después de la calibración de la constante.

¹⁹ “Principles of Surface Water Quality Modelling and Control”- Robert V. Thomann y John A. Mueller.

Cuadro 32: Resultados Finales		APLICACIÓN DE BALANCE DE MASAS									
Constante k	2.4	Concentración Inicial del tramo		5.4	Concentración Final		9,367619259	Caudal Final		6,867	
		Caudal Inicial del tramo		2,586							
Tramos	Concentración DBO5 Afluente (mg/lit)	Caudal Afluente (m³/s)	Distancia entre Afluentes o Descargas (m)	Velocidad para cada Tramo (m/s)	Caudal Calculado (m³/s)	Concentración Calculada (mg/lit)	Para Agua Potable	Para Agua para Riego			
Tramo18	carga dist.5 a P11	0,00	1324,10	56045,09	6,87	9,37	no es apta	si es apta			
Tramo17	carga dist.5	290,00	479,01	78719,24	5,87	9,55	no es apta	si es apta			
Tramo16	carga dist.4	290,00	1113,03	78719,24	5,24	9,97	no es apta	si es apta			
Tramo15	carga dist.3	290,00	2753,56	78719,24	4,63	8,50	no es apta	si es apta			
Tramo14	carga dist.2	290,00	2244,68	78719,24	4,58	7,43	no es apta	si es apta			
Tramo13	carga dist.1	290,00	2214,52	78719,24	4,53	6,48	no es apta	si es apta			
Tramo12	P8 a carga dist.1	5,60	1297,31	78719,24	4,50	5,86	no es apta	si es apta			
Tramo11	P15-P8	7,85	165,04	78719,24	4,42	6,10	no es apta	si es apta			
Tramo10	P19-P15	0,00	1097,04	78719,24	4,17	6,03	no es apta	si es apta			
Tramo9	P4-P19	39,65	689,57	78719,24	4,13	6,30	no es apta	si es apta			
Tramo8	P6-P4	0,00	239,86	78719,24	4,05	5,79	no es apta	si es apta			
Tramo7	P18-P6	0,00	120,39	86673,44	4,05	5,83	no es apta	si es apta			
Tramo6	P17-P18	0,00	1883,20	86673,44	3,62	6,53	no es apta	si es apta			
Tramo5	P16-P17	0,00	1905,67	80038,01	3,58	6,97	no es apta	si es apta			
Tramo4	P3-P16	13,45	514,72	80038,01	3,50	7,55	no es apta	si es apta			
Tramo3	P2-P3	27,80	490,55	80038,01	3,10	6,93	no es apta	si es apta			
Tramo2	P21-P2	0,00	387,94	80038,01	2,79	4,70	no es apta	si es apta			
Tramo1	P1-P21	0,00	1531,91	80038,008	2,568	5,16	no es apta	si es apta			
Los Puntos resaltados en azul, son los puntos usados para la calibración											

6.1.- Discusión de Resultados

Gráfico 20 : Variación de DBO5 Calculado por el Modelo de Materia Orgánica en el tramo analizado del Río San Pedro



- Al analizar el gráfico se puede observar que al inicio de la zona de estudio encontramos un DBO5 menor al 5,4 mg/Lt por lo que no sobrepasa los valores para agua de riego²⁰ y esto se debe a que recorre un gran tramo de aproximadamente 6,4 km prácticamente libre de descargas de aguas servidas y a que recibe ingreso de aguas limpias provenientes del Pasochoa.
- Se puede observar que en las zonas más pobladas la concentración de materia orgánica aumenta como por ejemplo al pasar por Tambillo llega a 7,55 mg/Lt y

²⁰ Normas existentes para agua para riego en Florida (EEUU) e Israel - Datos obtenidos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

después empieza a disminuir hasta llegar a la entrada de Amaguaña donde encontramos valores de 5,83 mg/lit de DBO5, valores que aún se encuentran dentro de los rangos para agua para riego aunque no para agua para consumo humano²¹.

- Ya en la ciudad de Amaguaña tenemos nuevos ingresos de aguas servidas con lo cual la concentración de materia orgánica aumenta un poco a niveles de 6,30 mg/lit ya que tiene el ingreso de agua limpia de quebradas provenientes del bosque de Cachaco.
- Posteriormente, la materia tiende a mantenerse relativamente constante con valores que varían de 5,86 mg/lit a 6,10 mg/lit hasta donde empiezan las áreas más pobladas, sin embargo al igual que para los otros tramos el agua sigue siendo apta para riego más no para consumo humano.
- A partir de San Pedro de Taboada, el grado de materia orgánica comienza a aumentar debido a la cantidad de aguas servidas de grandes poblaciones como San Pedro de Taboada, San Rafael y Sangolquí, que en esta zona son densamente pobladas llegando así a valores de 9,97 mg/lit, conservando aún un nivel bajo de materia orgánica permitiendo que el agua aunque no sea apta para consumo humano, sí sea apta para riego.
- En el último tramo analizado es decir desde la unión del Río San Pedro con el Río Capelo, el San Pedro es desviado casi en su totalidad a un canal que lo conduce a la represa hidroeléctrica de Guangopolo, tramo en el cual no recibe descargas de importancia por lo que su concentración de DBO5 permanece alrededor de 9 a 9,5 mg/lit lo que la sitúa dentro de los rangos de agua para riego aunque no de agua para consumo humano.

²¹ Límites Máximos Permisibles para Aguas de Consumo Humano y Uso Doméstico que Únicamente Requieren Tratamiento Convencional y Límites Máximos Permisibles para Aguas de Consumo Humano y Uso Doméstico que Únicamente Requieran Desinfección – Texto Unificado de La Legislación Secundaria TULAS.

7.1.- Conclusiones

- El tramo analizado, principalmente desde San Pedro de Taboada hasta el sector del Triángulo es una zona netamente urbana y por lo tanto produce una gran cantidad de aguas servidas que son vertidas en parte al Río San Pedro y en su mayoría a los afluentes de este río, sin embargo el poder de autopurificación del río permite que éste no tenga una alta concentración de materia orgánica.
- La baja concentración de materia orgánica en el río durante la época lluviosa es debido en gran medida a su pendiente, velocidad y a algunas entradas de agua limpia, que ayudan a su oxigenación.
- Al comparar la cantidad de materia orgánica (7mg/lt promedio) con los límites existentes para agua de riego²² en algunos países como Estados Unidos e Israel que son < 35mg/lt (datos proporcionados por la FAO) se puede decir que el agua de este río en cuanto a lo referente a materia orgánica es perfectamente apto para riego, mientras que para agua potable en el que debe ser < a 2mg/lt (datos comparados con el TULAS) el agua del Río San Pedro no es apta para ser potabilizada.
- El SWAT (Soil and Water Assessment Tools) se puede concluir que es un modelo hídrico confiable para el cálculo de caudales, ya que usa una gran cantidad de información como es tipo de suelos, uso del suelo, precipitación, temperatura, radiación solar, entre otros, y lo principal es que es un modelo que permite la calibración con datos reales de estaciones hidrométricas que se puedan encontrar en la zona.

²² Normas existentes para agua para riego en Florida (EEUU) e Israel - Datos obtenidos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

7.2.- Recomendaciones

- Ejercer un mayor control por parte de los municipios de Quito y Rumiñahui sobre las descargas de aguas servidas vertidas a las corrientes de agua para así poder evitar que en un futuro éstas lleguen a sobrepasar el poder de autopurificación de río.
- Crear un mejor sistema de alcantarillado por parte de los dos municipios para así poder llevar las aguas servidas a una planta de tratamiento ya sea de tipo biológico o químico, y las aguas de lluvia directamente al río.
- Elaborar un estudio similar para la época seca para así poder comparar como varía la contaminación en éstas dos estaciones.
- Realizar estudios más completos sobre las aguas del Río San Pedro en los cuales se incluyan los parámetros de coliformes fecales, metales, etc.
- Monitorear de forma periódica para ver mantener controlada la cantidad de materia orgánica en el río.
- Recomendar a las instituciones públicas dar una mayor accesibilidad a la información para así facilitar el uso de modelos como el SWAT que son modelos confiables para el cálculo de caudales sobre todo cuando no se tienen los recursos para medir caudales directamente en el río o cuando el acceso a éste es muy difícil.

Bibliografía.-

- **Valenzuela Cárdenas Paola Karina**, Tesis: Aplicación de Modelo Hídrico SWAT 99.2 para el Análisis del Impacto de la Deforestación y del Avance de la Frontera Agrícola en la Producción y Almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del Río San Pedro, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí 2005
- **Enrique A. Torres** , Bases teóricas del SWAT
- **S.L. Neitsch, M. Diluzio**, Guía del Usuario, Noviembre 1999
- **Escuela Politécnica del Ejército**, Estudios y Diseños para el tratamiento de Aguas Servidas Mediante el Sistema de Filtros Verdes para el Campus Politécnico
- **Robert V. Thomann , John A. Mueller**, Principles of Surface Water Quality Modelling and Control, Nueva York 1987
- **Ministerio del Ambiente**, Texto Unificado de La Legislación Secundaria TULAS
- **Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación** FAO, Normas existentes para agua para riego en Florida (EEUU) e Israel
- **Universidad de Burgos**, Contaminación Ambiental – Una visión desde la química
- **Wikipedia**, Enciclopedia Libre 2007, <http://es.wikipedia.org/wiki/2007>
- **Gobierno de la Provincia de Pichincha**, Información Cantonal, <http://www.agroecuador.com/HTML/Censo/Censo.htm>

- **Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación**
FAO, El Contexto de Quito, <http://www.fao.org/docrep/W7445S/w7445s03.htm>
- **Parodi Gabriel Norberto**, Fotointerpretación,
<http://www.parodi.nl/Funcionalidad.htm>
- **Universidad de Murcia**, Teledetección y Fotointerpretación,
<http://www.um.es/geograf/sig/teledet/>
- **Gobierno de la Provincia de Pichincha**, Pichincha: Ficha Provincial,
http://www.pichincha.gov.ec/download/bajadocu/ficha_provincial_bilingue.xls
- **Dirección Nacional de meteorología del Uruguay**, Principales Factores Climáticos, http://www.meteorologia.com.uy/caract_climat.htm
- **Ing. Ftal. Fabian Reuter**, Carpeta de trabajos Prácticos: Teledetección Forestal, <http://fcf.unse.edu.ar/pdf/lpr/p5.PDF>