



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN
EN RECURSOS ACUÁTICOS
DE NICARAGUA

CIRA/UNAN-MANAGUA



Trabajo de Tesis
Para optar al grado de
Máster en Ciencias del Agua

Título:

Influencia del uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales
en la Microcuenca río Pire, Municipio de Condega, Departamento de Estelí

Autora:

Licda. Lisseth Carolina Blandón

Tutor: MSc. Yelba Flores Meza

Asesora: MSc. Mauricio Lacayo

Managua, 23 de Marzo del 2018.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN
EN RECURSOS ACUÁTICOS
DE NICARAGUA



CIRA/UNAN-MANAGUA



Trabajo de Tesis
Para optar al grado de
Máster en Ciencias del Agua

Título:

Influencia del uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales
en la Microcuenca río Pire, Municipio de Condega, Departamento de Estelí

Autora:

Licda. Lisseth Carolina Blandón

Tutor: MSc. Yelba Flores Meza

Asesora: MSc. Mauricio Lacayo

Managua, 23 de Marzo del 2018.

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres

Por su apoyo en todo momento, sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por su compañía y brindarme una vida llena de aprendizajes experiencias y sobre todo felicidad.

Gracias a mis padres por su apoyo, sobre todo por su excelente ejemplo de vida a seguir.

Le agradezco la confianza Apoyo y dedicación de tiempo a mi tutora: MSc Yelba Flores Meza y asesor MSc Mauricio Lacayo; gracias por haber compartido conmigo sus conocimientos.

Gracias al Ingeniero Carlos Herrera Samayoa, de la unidad municipal de Gestión de Riesgo de alcaldía de Condega, por su apoyo y facilidades que fueron otorgadas en la realización de la presente investigación.

Dar gracias a la coordinación de la maestría CIRA/UNAN-Managua por su apoyo brindado a través del compañero Rommel Lacayo en las giras de campo realizadas, además de la gestiones y préstamos de equipos.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Área de estudio	5
1.2 Antecedentes	7
1.3 Planteamiento del problema	9
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo general	10
1.4.2 Objetivos específicos	10
1.5 Justificación del estudio	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Uso potencial del suelo	13
2.2 Clases de suelo según su uso	13
2.3 Uso actual del suelo	15
2.4 Degradación del suelo	15
2.5 Escorrentía	16
2.6 Soil and Water Assessment Tool (SWAT)	18
2.7 Marco Legal e Institucional del Sector Hídrico	23
2.8 Calidad del agua	23
2.8.1 Calidad Físico-química	23
2.8.2 Calidad Bacteriológica	27
2.9 Plaguicidas	28
2.9.1 Organoclorado (OCL)	28
2.9.2 Organofosforado (OF)	29
2.10 Guías de calidad de agua	31
2.11 HIPÓTESIS	32
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	33
3.1 Tipo de estudio	33
3.2 Universo y muestra	33
3.3 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	34
3.3.1 Recopilación de información	34
3.4 Procedimientos para la recolección de Datos e Información	38
3.5 Plan de tabulación y análisis	40
3.6 Geología	41
3.6.1 Geología histórica y estructural	41
3.7. Litología y Geomorfología	42
3.8. Taxonomía	46
3.9 Uso potencial de la tierra	49
3.10 Clima	50
3.11 Hidrología	50
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1 Datos de entrada del modelo SWAT	52
4.1.1 Usos de suelo 2015	52

4.1.3 Reclasificación de usos de suelo con categorías de SWAT	55
4.1.3 Datos climáticos.....	55
4.2 Resultados de las simulaciones 2006-2016.....	57
4.2.1 Delimitación de Unidades de respuesta hidrológica (HRUs), cobertura de suelo año 2015.....	57
4.2.2 Caudales en la microcuenca simulados por SWAT período 2007-2016	58
4.2.3 Caudales: Escenario 1 (Uso actual año 2016) y 2 (Uso potencial)	59
4.2.4 Escorrentía comportamiento año 2007-2016.....	61
4.2.5 Escurrimientos (escorrentía): Escenario 1 (Uso actual año 2016) y 2 (Uso potencial)	61
4.2.6 Sedimentos: Escenario 1(Uso actual año 2016) y 2 (Uso potencial)	64
4.2.7 Balance Hídrico: Escenario 1 (Uso actual año 2016) y 2 (Uso potencial)	65
4.2.8 Caudales por Unidad de respuesta hidrológica (HURs) año 2016.....	69
4.2.9 Escorrentía a nivel de unidad de respuesta hidrológica (HURs).....	71
4.2.10 Sedimentos a nivel de unidad de respuesta hidrológica (HURs)	76
4.2.11. Dinámica hidrológica de acuerdo a escenarios (Uso actual y potencial de suelo). 78	
4.3 Calidad de las aguas superficiales de la Mc Río Pire	80
4.3.1 Indicadores físicos del agua.....	80
4.3.2 Composición hidroquímica del agua	85
4.3.3 Tipo Hidroquímico del agua	87
4.3.4. Clasificación de aguas para riego	89
4.3.5 Caracterización química.....	90
4.3.6 Indicadores químicos	93
4.3.6.1 Nitrógeno	93
4.3.7 Indicadores biológicos.....	94
4.3.8 Plaguicidas	96
4.3.9 Principales hallazgos: calidad del agua superficial en la microcuenca Río Pire.....	96
4.4. Alternativas de conservación del recurso agua y suelo	97
4.4.1 Alternativas para áreas críticas a la escorrentía	97
4.4.2 Alternativas para áreas críticas a la producción de sedimentos	99
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	102
CAPÍTULO.VI. RECOMENDACIONES	103
CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA.....	104
CAPÍTULO VIII. ANEXOS	111
Anexo 1: Fallas Geológicas en la Microcuenca rio Pire.....	111
Anexo 2: Reconocimiento y caracterización de los recursos Edáficos, Hídricos y Forestales del Municipio de Condega	112
Anexo 3: HWSD.....	114
Anexo 4: Diagramas utilizados para la determinación del grupo Hidrológico y conductividad Hidráulica saturada de los perfiles de suelo.....	115
Anexo 5 Valores del código y permeabilidad USDA para la estructura del suelo	116
Anexo 6: Censo poblacional de las comunidades de la Microcuenca Río Pire	117
Anexo 8: Sedimentos y conductividad en las aguas superficiales	119

Anexo 9: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación con SWAT.....	120
--	-----

Índice de ilustraciones

Ilustración 2. Representación del ciclo hidrológico y balance hídrico (promedio anual)....	66
Ilustración 3. HURs con mayores volúmenes de escorrentía	71
Ilustración 4. Categorías de pérdidas de suelo.	76
Ilustración 5: HURs de mayor producción de sedimentos	76
Ilustración 6: HURs y establecimiento de alternativas de conservación	98
Ilustración 7: HURs de mayor producción de sedimentos y medidas de conservación. .	100

Índice de gráficos

Gráfico 1: Caudales en la microcuenca simulados por SWAT período 2007-2016.....	58
Gráfico 2. Volumen total de caudales mensuales en la Mc Río Pire año 2016.....	59
Gráfico 3. Comportamiento de la precipitación, ET y caudal en la microcuenca Río Pire. (Media mensual año 2016).....	60
Gráfico 4. Comparación de la precipitación y los escurrimientos anuales en la microcuenca. (Volumen total anual).	61
Gráfico 5 Lámina de agua precipitada y escorrentía generada en la Microcuenca Río Pire (Promedio mensual año 2016).	62
Gráfico 6: Escorrentía mensual por uso de suelo actual vs potencial.	63
Gráfico 7: Producción de sedimentos y escorrentía en la microcuenca Río Pire	65
Gráfico 8: Balance Hídrico de la Microcuenca Río Pire (Promedio mensual)..	67
Gráfico 9: componentes del ciclo hidrológico y balance hídrico (escenario 1 y 2)	69
Gráfico 10. Volumen de escorrentía generada por cobertura de uso	73
Gráfico 11 .Comportamiento de la escorrentía, escenario 1 y 2.....	73
Gráfico 12: Comparación de producción de sedimentos mensual, uso de suelo 2015 y uso potencial (HURS más productivas).....	78
Gráfico 13: Valores de pH en las aguas superficiales	80
Gráfico 14: Valores de conductividad y solidos totales disueltos.....	82
Gráfico 15: Valores de Temperatura en la Microcuenca Río Pire.....	84
Gráfico 16: Valores de Turbidez en la Mc Río Pire.....	85
Gráfico 17. Cationes en agua superficial Mc Río Pire (Verano-Invierno).....	86
Gráfico 18: Aniones en el agua superficial de la microcuenca Río Pire (Verano-Invierno)	87
Gráfico 19: Gráfico 8: Diagrama de Piper. Tipo Hidroquímico del agua del Río Pire	88
Gráfico 20: Diagrama de clasificación de las aguas, para riego. Normas Riverside para evaluar la calidad del agua de riego.	90
Gráfico 21. Dureza y alcalinidad de las aguas superficiales de la Mc Río Pire.....	91
Gráfico 22: Concentraciones de Hierro total en la Mc Río Pire.....	92

Gráfico 23: Concentraciones de Nitratos, Amonio y Nitritos en las aguas superficiales del Mc Río Pire	93
Gráfico 24: Coliformes totales, Coliformes termotolerantes y E.coli.	94
Gráfico 25. Coliformes totales, Coliformes termotolerantes y E.coli	95

Índice de mapas

Mapa 1: Ubicación de la Microcuenca Río Pire	6
Mapa 2: Puntos de muestreo	36
Mapa 3: Series geológica de la Microcuenca Río Pire	42
Mapa 4: Litologías Microcuenca Río Pire	44
Mapa 5: Geomorfología, Microcuenca el Río Pire	45
Mapa 6: Fallas geológicas localizadas en la microcuenca Río Pire.....	46
Mapa 7: Ordenes de suelo en la Microcuenca el Río Pire	48
Mapa 8: Uso potencial del suelo en la Microcuenca el Río Pire	49
Mapa 9: Unidades Hidrológicas en la Microcuenca Río Pire	50
Mapa 10: Uso de suelo, año 2015	53
Mapa 11: HURs Microcuenca Río Pire.....	57
Mapa 12: Producción Hídrica por HURs en la Mc Río Pire	70
Mapa 13: Escorrentía y producción de sedimentos en la Microcuenca Río Pire	75
Mapa 14: Valores de STD mgl -1 en las 55 HURs	83

Índice de tablas

Tabla 1: Niveles de erosión en cuencas, FAO	16
Tabla 2: Ecuación de equilibrio, Balance hídrico.....	19
Tabla 3: Estimación de sedimentos en SWAT	20
Tabla 4. Datos de entrada de suelo requeridas por SWAT	21
Tabla 5: Datos climáticos de entrada requeridos en SWAT	22
Tabla 6: Docena sucia de plaguicidas.....	30
Tabla 7: Descripción de puntos de muestreo	34
Tabla 8: Métodos utilizados en la determinación de los parámetros físico del agua.....	37
Tabla 9: Métodos utilizados en la determinación de los parámetros químicos del agua ...	37
Tabla 10: Clases de uso de suelo año, 2015	53
Tabla 11: Variables de entrada necesarias en la modelización en SWAT	54
Tabla 12: Categoría de usos de suelo reclasificados en SWAT	55
Tabla 13: Datos de entrada por horizonte de suelo para la modelización en SWAT	56
Tabla 14: Resumen de los componentes del balance hídrico de la Microcuenca Río Pire (Promedio en mm mensual por HURs).....	68
Tabla 15: HURs que generan los mayores volúmenes de escorrentía mensual (Unidad: mm).....	71
Tabla 16: HURs que generan más sedimentos en la microcuenca.	77
Tabla 17: Valores de índice SAR y clasificación de las aguas superficiales de la Mc Río Pire	89

En la microcuenca las HURs más productivas son ocho de las cuales, una de ellas esta muy cerca de la categoría erosión hídrica moderada.. 100

ABREVIACIONES

- SWAT: Soil and Water Assessment Tool.
- HURs: Unidad de respuesta de Hidrológica.
- Mc: Microcuenca
- EQGS: Canadian Water Quality Guidelines
- CT : Coliformes Totales
- CTT: Coliformes Termotolerantes
- CEE: Comunidad Económica Europea
- E. coli: Escherichia coli
- PAN: Pesticide Action Network International
- OCL: Organoclorado
- OF: Organofosforado
- USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
- MARENA: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales
- INETER: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales
- MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

RESUMEN

Influencia del uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales en la Microcuenca río Pire, Municipio de Condega, Departamento de Estelí
Lisseth Carolina Blandón

La microcuenca Río Pire está ubicada en el corredor seco centroamericano que se extiende desde Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Honduras y Costa Rica. Esta zona se caracteriza por presentar déficit del recurso hídrico vinculado a las condiciones climáticas presentes. De las 12 subcuencas perteneciente al municipio de Condega, la microcuenca Río Pire tiene una extensión de 109 km² y alberga alrededor de 8,900 habitantes; considerándose la más densamente poblada del municipio.

En el año 2015 el levantamiento de uso de suelo elaborado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), muestra que el uso predominante de la tierra es tucotales/pasto (50%), pastizales (37.6%), cultivo anual (7.43%), bosque latifoliado (4.7%) y centro poblado (0.1%), con respecto al uso potencial que establece que el 70% del territorio presenta vocación forestal y el 30% restante corresponde a agropecuario; es evidente que en la microcuenca no se aprovechan los suelos con respecto a su vocación.

Para evaluar la influencia del uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales se utilizó la herramienta de evaluación de agua y suelo (SWAT); desarrollado y probado por la ARS (USDA, Agricultura Research Service) para la simulación y predicción hidrológica de los procesos relacionados con los recursos hídricos en cuencas no instrumentadas.

Las variables integradas al modelo para la microcuenca Río Pire son: precipitación, humedad relativa, radiación solar, viento, temperatura máxima, mínima y media. En la ejecución del modelo se utilizó una serie de datos climáticos de 11 años (2005-2016), modelo digital de terreno de 30 m, cobertura del suelo año 2015, uso potencial del suelo, tipos de suelo y su respectiva caracterización por horizontes. Se establecieron dos escenarios (Uso actual y potencial); y en cada uno de ellos se dividió la microcuenca en 55 unidades de respuesta hidrológica (HURs) y se simuló la producción de sedimentos, caudales, escorrentía y balance hídrico.

Para valorar la calidad del agua se tomaron un total de 8 muestras (4 periodo seco y 4 periodo lluvioso) a lo largo del cauce principal, analizándose la calidad físico-química, biológica y presencia de plaguicidas en las aguas superficiales y con ello

determinar si el uso actual de suelo está generando efectos adversos en las condiciones de las aguas.

Al comparar los escenarios simulados uso actual y potencial, se observó que el primero disminuye los volúmenes de caudal, escurrimiento subsuperficial y aumenta el volumen de escorrentía y sedimentos en la microcuenca con respecto al uso potencial; que muestra resultados favorables en la dinámica hidrológica del área.

En la clasificación de la degradación de los suelos causados por erosión hídrica establecida por la FAO (1980); en la microcuenca la pérdida suelo se encuentra en la categoría **ligera**, las mayores pérdidas se han obtenido en elevadas pendientes, áreas cubiertas por pastizales, tacotales/pasto, al igual sucede con la escorrentía las máximas láminas de agua escurrida se presenta en HURs con características similares, además de ubicarse en zona de recarga al acuífero.

De las 12 variables físico-químicas monitoreadas, las que se vieron afectadas por el uso de suelo son: Conductividad y turbidez, dado que las concentraciones encontradas en algunos de los puntos sobrepasan lo establecido en la normas. Desde el punto de vista de los componentes mayoritarios y oligoelementos presentes en las aguas se consideran de buena calidad para la vida acuática y riego. En lo que respecta a los indicadores biológicos se midieron tres variables: Coliformes Totales (CT) Coliformes Termotolerantes (CTT) y Escherichia Coli (E. Coli), encontrándose valores por encima de los establecido en las normas de calidad de agua. En cuanto a plaguicidas no se detectó la presencia de ellos en ninguno de los puntos muestreados.

Palabras claves: Swat, Calidad de agua, Sedimentos, Escorrentía, Balance hídrico.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

Parte del territorio de los departamentos de Madriz, Nueva Segovia, municipios del norte de León, Estelí, Chinandega y oeste de Matagalpa conforman el denominado Corredor Seco de Nicaragua, el cual es una prolongación de las áreas del mismo nombre; que inician en Guatemala, atraviesan El Salvador y Honduras, pasa por Nicaragua y continúa hasta Costa Rica. El área se caracteriza por un período seco de larga duración y lluvias irregulares en el cual las precipitaciones se presentan en rangos de 800 mm (mínima) y máximo de 900 mm anual.

La microcuenca Río Pire, se ubica en la subcuenca del Río Estelí perteneciente al corredor seco, la sequía en esta zona crea condiciones difíciles para el desarrollo de actividades agropecuarias, por lo cual la mayoría de los habitantes de la zona están afectados gravemente por agudos desajustes económicos, sociales y severos problemas ambientales. Actualmente la deforestación y uso inadecuado del suelo, constituyen una de las principales causas de los problemas socios ambientales que enfrentan los habitantes de la microcuenca Río el Pire. La magnitud de los efectos es sensible a las características del suelo, la topografía y el clima del territorio, pero los efectos son más visibles en la población rural, los cuales se expresan en mayores índices de pobreza. (AMUNSE, 2010).

El presente documento se estructura en 3 capítulos:

I. Estimación de caudales, escorrentía, sedimentos y balance hídrico: Desde hace décadas, la erosión del suelo se percibe como uno de los problemas ambientales más importantes del mundo, sobre todo en regiones de climas estacionalmente contrastados y sometidos a fuerte presión humana. (López Bermúdez, 2002). Este proceso natural puede verse fuertemente acelerado por cambios en el uso del suelo, representando un importante riesgo para la sostenibilidad a largo plazo de la agricultura y los ecosistemas en los que se desarrolla (García Ruiz y López Bermúdez, 2009). Citado por (Navas, 2012). Es por ello la importancia de cuantificar la erosión a diferentes escalas y periodos de tiempo.

El cambio de uso en el suelo, genera aumento de los caudales fluviales que desplaza y transporta hacia los recursos hídricos diversos compuestos presentes en el suelo, plaguicidas, pesticidas y agentes patógenos. En Nicaragua muchas de las tierras de pastoreo se encuentran en áreas secas susceptibles al déficit hídrico ejemplo de ello es la Microcuenca Río Pire; toda disminución en calidad posterior de los recursos hídricos afectará en gran medida la disponibilidad de agua para pastoreo, lo que implica un impacto sobre la productividad de los territorios.

Lo anterior muestra una necesidad de obtener información sobre la dinámica hidrológica en la microcuenca. Para ello se realizó la modelación hidrológica basada en dos escenarios (Uso actual y potencial de suelo) utilizando “Soil and Water Assessment Tool, (SWAT); que permitió estimar el impacto del uso de suelo en la generación de sedimentos, escorrentía caudales y balance hídrico en las 55 unidades de respuesta hidrológica (HURs). Las variables climáticas integradas al modelo fueron: Precipitación, Humedad, Radiación solar, Viento, Temperatura, Punto de Rocío, tomando en cuenta un mínimo de 11 años (2005-2016). Además se integró el uso de suelo actual (año 2015), potencial, tipos de suelo y la caracterización a nivel de horizontes.

En la estimación las variables hidrológicas, se obtuvo que el escenario actual con respecto al escenario potencial, disminuye los volúmenes de caudal y aumenta los volúmenes de escorrentía. Las HURs que generan los mayores volúmenes de escorrentía y sedimentos, están ubicadas en zonas de recarga alta, localizadas por encima de los 700 m y cubiertas por pastizales. A estas áreas se les considera como críticas dado que el agua escurrida que no logra infiltrarse tiene efectos directos en la disminución de la percolación, recarga al acuífero y demás variables del balance hídrico.

II. Variación espacial y temporal de calidad Físico–Química y Bacteriológica del agua: son múltiples los impactos de las prácticas agrícolas sobre los recursos hídricos y sobre el régimen hidrológico (disponibilidad de agua) y la calidad del agua (conductividad y sólidos totales disueltos, nitrógeno, fósforo total, turbidez, composición química y calidad bacteriológica). Un claro ejemplo de ello, es el aumento de la escorrentía que incrementa la erosión y por lo tanto la carga de sedimentos en el agua, modificando su calidad. Para evaluar la relación entre las variables uso de la tierra, producción de sedimentos, escorrentía y calidad de las aguas superficiales en la microcuenca se tomaron un total de 8 muestras a las cuales se realizó análisis Físicoquímico, Microbiológico y plaguicidas.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos con SWAT, que muestran que el uso actual de suelo tiene impactos significativos en la generación de escurrimiento (superficial y subsuperficial), sedimentos, percolación, infiltración y recarga, se encontró que; desde el punto de vista físico, los parámetros conductividad, y turbidez se encuentran por encima de la norma; turbidez es una medida importante en la potabilización de las aguas para consumo humano, pues las pequeñas partículas pueden portar gérmenes patógenos importantes.

Partiendo de las variables químicas analizadas las aguas de la microcuenca se consideran buena calidad para riego, en lo que respecta a los Indicadores

bacteriológicos, las aguas no son aptas para consumo humano, labores domésticas (aseo personal) y usos agrícolas.

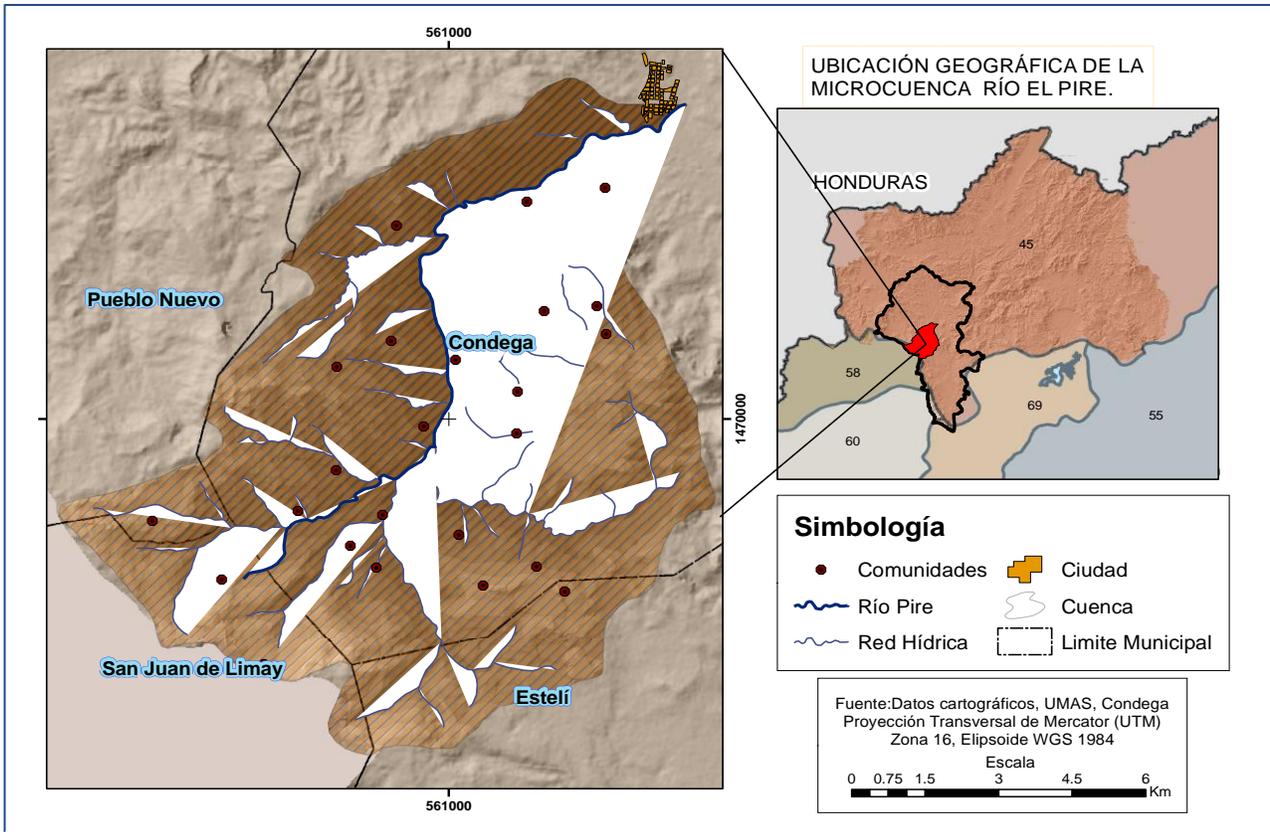
III. Alternativas de conservación del recurso agua y suelo en la Microcuenca:

En zonas como como el corredor seco de Nicaragua, la disponibilidad de agua podría considerarme como el factor que limita el establecimiento de actividades económicas (agricultura-ganadería). Desde el punto de vista de los recursos hídricos en esta zona existe un problema de estacionalidad, los mayores volúmenes de agua disponible se presentan en los meses lluviosos, lo cual no es coincidente con la demanda que ocurren los meses secos. Es evidente que la degradación del suelo está provocando que la mayoría del agua precipitada en la cuenca se pierda por escurrimiento, es por ello importante establecer medidas o diversos tipos de obras de captación para que tener disponibilidad de agua en los meses secos.

A través de la ejecución del modelo se determinaron los meses y las unidades de respuesta hidrológica que generan mayor sedimento, escorrentía y caudales. Esto permitió identificar puntos de captación de agua, instalación de obras de conservación como barreras vivas, que contribuyan a mitigar impacto de la escorrentía en el suelo, calidad y disponibilidad del agua; además de identificar zonas prioritarias para restauración de bosque que favorezcan la infiltración y recarga del agua proveniente de las precipitaciones, todo ello se resume en garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos en la microcuenca.

1.1 Área de estudio

La Microcuenca de Río Pire, pertenece a la unidad hidrográfica 9516 (Río coco), la misma posee una extensión de 109 km² y es compartida por 4 municipios, Condega, San Juan de Limay, Estelí y Pueblo nuevo. El 78% de la superficie total de la microcuenca es ocupada por Condega, 10% Estelí, 9% San Juan de Limay y 3% Pueblo nuevo. En área se encuentran 24 comunidades, organizadas en 3 Microrregiones (2, 3,4) que suman un total de 8,900 habitantes. (Ver anexo 6: Censo poblacional de las comunidades de la Microcuenca Río Pire, pág. 117).



Mapa 1: Ubicación de la Microcuenca Río Pire

1.2 Antecedentes.

La microcuenca se caracteriza por ser una zona en la cual la actividad predominante es la ganadería y la agricultura, ambas se desarrollan de forma extensiva y sin ninguna práctica de conservación de suelo y agua. En los últimos años producto del cambio de uso en el suelo se han sustituido áreas de vocación forestal por áreas de cultivos y pastos, considerándose esto la causa fundamental que afecta la dinámica hidrológica de las aguas superficiales. Los estudios han sido realizados principalmente en el Río Estelí, del cual es afluente el río Pire.

La fundación para el desarrollo tecnológico Agropecuario y forestal de Nicaragua (FUNICA), en su documento **Propuesta de Intervención de FUNICA para la zona Norte Estelí, Madriz y Nueva Segovia**, plantea que el Municipio de Condega presenta una sobreutilización de los suelos en un 54%. Sumado a esto el uso de agroquímicos, el monocultivo y la falta de prácticas conservacionistas, están afectando la calidad de las aguas superficiales.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en su documento **“Buenas Prácticas para la Creación, Mejoramiento y Operación Sostenible de Organismos y Organizaciones de Cuenca” (2005)**, hace referencia que el grado de degradación y deforestación de la cuenca Estelí es muy avanzado por lo que la erosión ha aumentado significativamente. El caudal anual se estima en 10.6 millones de metros cúbicos y los sedimentos descargados ascienden a 92.500 ton por año, equivalentes a aproximadamente a 8.7 gramos por litro. El abastecimiento de agua potable a la población del departamento Estelí se realiza a través de pozos, los cuales se estiman tienen capacidad para abastecer solamente un 75% de la población actual. Los principales problemas con respecto al agua, principalmente en los Municipios de Estelí, Condega y San Juan de Limay son el deficiente abastecimiento y poca disponibilidad de agua para consumo humano por distintas causas: agotamiento de los acuíferos, fuentes superficiales y la contaminación de las mismas.

En la investigación titulada, **Reconocimiento y caracterización de los recursos hídricos, edáficos y forestales del Municipio de Condega, Departamento de Estelí, Nicaragua. (1988)**. El municipio de Condega se caracteriza inminentemente por presentar suelos de vocación forestal. Actualmente la mayoría de la superficie presenta pendientes fuertes que limitan el uso agrícola y hacen susceptibles a erosión los suelos, al igual se explica que el 54.2% de los suelos en la microcuenca Río Pire se encuentra sobreutilizados, lo cual favorece fuertes procesos de erosión hídrica en la parte alta y media, dificultando el aprovechamiento del recurso hídrico.

En el **Plan de desarrollo urbano 2005-2015** elaborado para el departamento de Estelí, se establece que los principales focos de contaminación de las aguas superficiales, se deben fundamentalmente a la descarga de aguas residuales urbanas e industriales, que no cuentan con tratamiento adecuado antes de ser depositadas a los cuerpos de agua.

Water y Earth Bisolution, en el documento titulado **Balance de agua para el Municipio de Condega departamento de Estelí, Nicaragua**; plantea que las formas de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas son producto del arrastre e infiltración de los agroquímicos. Al igual se registran como fuentes de contaminación, el descuido del lavado de los equipos utilizados para fumigar y la preparación de las mezclas a orillas de ríos, quebradas o pozos.

A nivel de la subcuenca Estelí no se encontró estudios en los cuales se emplee la herramienta de Evaluación de suelo y Agua (SWAT), para ello la investigación se apoyó en diferentes experiencias en Nicaragua:

- Simulación de la escorrentía y producción de sedimentos aplicando SWAT en las microcuencas 7 y 13, subcuenca III, Cuenca Sur del lago de Managua, Nicaragua.
- Comparación de métodos para estimar escurrimiento y producción de sedimentos en la microcuenca 7, de la subcuenca III de la Cuenca Sur del lago de Managua, Nicaragua.

1.3 Planteamiento del problema.

En la subcuenca Estelí, se ha calculado pérdidas de suelo por encima de las 200 Ton/ha/año proveniente de áreas dedicadas a la ganadería y agricultura (MARENA 2001); sumado a ello la escorrentía transporta fertilizantes, pesticidas y patógenos que tienen como destino final los cuerpos de agua superficial. La microcuenca del Río Pire (109 km²), es un área que representa el 25.7% del territorio de Condega y tiene el índice de población más concentrada del territorio, con 8,900 habitantes (88 hab. /km²).

El área se encuentra en estado avanzado de degradación ambiental debido a la sobreutilización de los suelos, altos niveles de deforestación en terrenos con aptitud forestal que conduce a procesos de erosión severos, que compromete la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos.

Actualmente no se plantea, ¿Cuál es Influencia del uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales en la Microcuenca Río Pire, Municipio de Condega, Departamento de Estelí?

Las preguntas de sistematización correspondientes al problema principal se presentan a continuación:

¿Qué relación existe entre el uso de suelo, caudales, escorrentía sedimentos y balance hídrico en la microcuenca Río Pire?

¿Cuál es la calidad de las aguas superficiales y la relación con los usos de suelo en la microcuenca?

¿Qué acciones puede ser empleada para mitigar el impacto que genera los usos de suelo y su efecto en la disponibilidad y calidad de las aguas superficiales?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la Influencia del uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales en la Microcuenca río Pire, Municipio de Condega, Departamento de Estelí, año 2016.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Estimación de caudales, escorrentía, sedimentos y balance hídrico en la Microcuenca Río el Pire.
2. Determinar la variación espacial y temporal de calidad Físico–Química y Bacteriológica de las aguas superficiales.
3. Proponer alternativas de conservación del recurso agua y suelo en la Microcuenca en estudio.

1.5 Justificación del estudio.

Estudios anteriores muestran una serie de problemas medioambientales en la subcuenca Estelí; asociados a la contaminación de los recursos hídricos producto del manejo inadecuado de suelos, aplicación de agroquímicos e inadecuado tratamiento y disposición de las aguas residuales que están afectando la calidad y disponibilidad de las aguas superficiales en los tributarios del Río Estelí, incluyendo la microcuenca Río Pire.

Las pérdidas de áreas boscosas para dar lugar a áreas de ganadería y agricultura, provocan disminución en los caudales y aumento en la tasas de sedimentos, que alteran la calidad Físico-química y bacteriológica de las aguas superficiales.

La mayoría de los habitantes de la microcuenca hacen uso directo de la aguas del río para labores domésticas, lavado de ropa, aseo personal, recreación e irrigación de cultivos, lo cual hace importante evaluar las condiciones de calidad del agua y disponibilidad de la misma.

De acuerdo con lo anterior y lo establecido en La ley 620 “Ley General de Aguas y su Reglamento” artículo 87, establece: “Toda fuente de agua, sea subterránea o superficial, debe ser objeto de estudios hidrológicos e hidrogeológicos y análisis para determinar la calidad de sus aguas”. Planteándose que:

- Los resultados suministrados por el modelo Swat, permitirán establecer, áreas de captación de agua, prácticas agrícolas con menor impacto en las aguas superficiales, cuantificación de volúmenes de agua (caudales) disponible en período seco y lluvioso; además de estimar la producción de sedimentos. Los resultados son datos importantes para los tomadores y ejecutores de proyectos como: MAG, INTA y MARENA, puesto que les permitirá en conjunto tomar decisiones con respecto a la solución de la problemática.

Un modelo matemático como SWAT permite de la simulación la dinámica hidrológica con posibles escenarios de uso de la tierra, además determina la respuesta a estos escenarios. Con los resultados se recomiendan medidas correctivas y preventivas, de cambios de uso de suelo, obras de captación de agua y control de agua de escorrentía y construcción de obras transversales.

A partir de los resultados mostrados por SWAT de la dinámica hidrológica es importante conocer las condiciones de calidad de las aguas, con el objetivo de identificar el impacto del uso de la tierra en las aguas superficiales.

- Los resultados de los análisis físico-químicos, Microbiológicos y plaguicidas permiten tener un panorama de las condiciones de calidad del agua; con el modelo SWAT se estima los volúmenes de aguas disponibles y los análisis permiten determinar el estado del agua y definir cuál es la actividad de afectación que permitan establecer su aprovechamiento, cuidado y conservación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Según la Ley 620, Ley General de Aguas Nacionales de Nicaragua, capítulo III, artículo 12. “La cuenca es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por una línea imaginaria que marca los puntos de mayor elevación en dicha unidad, donde brota o escurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye en forma superficial y subterránea, hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal”.

A su vez, la cuenca hidrográfica está integrada por subcuencas y estas últimas por **microcuencas**. La microcuenca es la unidad que mejor se ajusta a los objetivos de la planificación, pues engloba todas las modificaciones que pueden influir en los recursos naturales (Morales, 1999). Los procesos asociados al recurso agua como escorrentía, calidad, erosión hídrica y producción de sedimentos normalmente se analizan sobre esas unidades geográficas.

2.1 Uso potencial del suelo

Según el Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo-SINAC (2000), es el uso que cada suelo debería tener en función de sus cualidades y de las condiciones ecológicas en que se encuentra, uso que puede coincidir o no con el que en este momento soporta. Actualmente, según el mapa de uso potencial de suelo en Nicaragua del año 2000, el área en estudio es de vocación forestal lo que no coincide con el uso actual que presenta el suelo en la microcuenca.

La utilización apropiada del suelo se realiza de acuerdo a las características climáticas, físico-químicas del suelo y topografía que mediante sistemas de manejo adecuado puedan ser explotados sostenidamente con el mínimo deterioro de los suelos, para obtener rendimientos económicamente rentables en las actividades agrícolas, pecuarias y forestales (www.crucero.venamisitio.com/suelos).

2.2 Clases de suelo según su uso

Según Sanz, (1975). Los suelos se definen como aglomerados de partículas de las rocas debido a la erosión: están constituidos por elementos relativamente pequeños y no homogéneos. Una grava, arena o arcilla se consideran desde un punto de vista geológico como roca, mientras que en la geotecnia lo encuadra dentro del concepto de suelo. En principio los suelos recubren siempre las rocas en capas más o menos gruesas.

La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas. Las variaciones en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres sicionaturales. Sin embargo, el cultivo de la tierra priva al suelo de su cubierta vegetal y de la protección contra la erosión hídrica y eólica, acelerando su degradación.

Según Millar, 1982, pueden haber suelos con vocación agrícola y otros que no son apropiados para cultivarse, dividiendo estos en diferentes clases según su uso

Clase de Tierra	I _(a)	I _(b)	II	III	IV	V _(a)	V _(b)
Pendiente (%)	0 - 1.5	1.5 - 8	8 - 15	15 - 25	25 - 35	35 - 50	> 50
Profundidad (cm)	0 - 1.5	1.5 - 8	8 - 15	15 - 25	25 - 35	35 - 50	> 50
> 90 Profundo	Ag	Ag _c	Ag _{ic}	(FT) _c P Ag _{ic}	(FT) _c CF	(FT) _c CF (RF) _M	(RF) _M
50 - 90 Medio Profundo	Ag	Ag _c	Ag _{ic}	(FT/P) _c	CF	(RF) _M	(RF) _M
20 - 50 Delgado	(FT/V/B)	(FT _B /V) _c	P _{CC} /cc	FT/P	CF	(RF) _M	(RF) _M
< 20 Muy Delgado	P	P _{CC}	P _{CC} /cc	P _{CC}	P _{ic}	(RF) _M	(RF) _M

Ag =	Agricultura	Ag _c =	Agricultura con medidas de conservación
FT =	Frutales	() _c =	() con medidas de conservación
V =	Legumbres	Ag _{ic} =	Agricultura con medidas de conservación intensiva
B =	Frijoles		de suelo / agua / medio ambiente
P =	Pasto	cc =	Cultivo de cobertura
CF =	Forestería Social	CG =	Control de pastoreo
(RF) _M	Protección Integral Forestal (Manejada)	RF =	Protección Integral Forestal

Fuente: Millar, 1982.

Figura 1: Clases de uso, Millar 1982

Las Clases I, II y III incluyen suelos apropiados para el cultivo regular. Los suelos de la Clase I tienen el rango de utilización más amplio, y el menor riesgo de daño. Los suelos de la Clase II tienen una amplitud mediana de aprovechamiento, y requieren prácticas especiales de manejo, y protección. Los suelos de la Clase III tienen un rango muy estrecho de empleo, y requieren un manejo cuidadoso, posiblemente terracería, o disponer del agua en las áreas bajas y húmedas. La Clase IV debe cultivarse con mucha cautela. Generalmente es preferible dedicar esta tierra para pastura o frutales.

Las Clase V, VI y VII abarcan tierra que no son aptas para el cultivo, deberá utilizarse para pastizales o bosque. De hecho, las tierras con clase VI y VII necesitarán

cuidado especial, aún dedicada a esos usos por pendientes pronunciadas, capa muy delgada de suelo, y características semejantes (Millar, 1982).

2.3 Uso actual del suelo

En el año 1999, el Ministerio de Agropecuario y Forestal (MAGFOR) definió el uso actual del suelo como categorías de manejo que los productores implementan en función de sus necesidades actuales sin tomar en cuenta su verdadera capacidad de uso.

2.4 Degradación del suelo

La FAO, define, la degradación del suelo como un cambio en la salud del suelo, resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios. Los suelos degradados contienen un estado de salud que no pueden proporcionar los bienes y servicios normales del suelo en cuestión en su ecosistema.

La erosión del suelo es un término común que a menudo se confunde con la degradación del suelo, ya que realmente se refiere a las pérdidas absolutas de suelo de la capa superficial y nutriente del suelo. De hecho es el efecto más visible de degradación del suelo, pero no cubre totalmente todos sus aspectos. La erosión del suelo se refiere a un proceso natural en zonas montañosas, pero con frecuencia se empeora mediante las malas prácticas de manejo (FAO).¹

La erosión del suelo proporciona efectos tanto in situ como ex situ. La pérdida de productividad del suelo suele ser el principal efecto in situ, mientras que el aumento de la productividad en los suelos al pie de las laderas, la sedimentación y eutrofización de los cursos y reservas de agua son efectos comunes ex situ. Se torna difícil y complejo de estimar los costos de la erosión del suelo debido a que los efectos in situ son a menudo compensados por el uso de mayores cantidades de fertilizantes reemplazando las pérdidas de productividad, y porque el costo de los bienes y servicios ambientales dependen en gran medida del punto de vista de los diferentes agentes.

La FAO ha establecido niveles de erosión que se detallan a continuación:

¹ <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>, Portal de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura.

Tabla 1.
Niveles de erosión en cuencas, FAO

Categoría	Pérdida de suelo	
	Ton/ha/año	mm/a
Ninguna a ligera	<10	<0.6
Moderada	10-50	0.6-3.3
Alta	50-200	3.3-13.3

2.5 Escorrentía

Hay muchas formas de definir la «Escorrentía superficial». Se puede decir que es la parte de la precipitación que escurre superficialmente por el suelo y por las vías naturales del drenaje y llega el cauce de un río.

Según Kazmann «es el agua residual del ciclo hidrológico» es la precipitación que no ha sido evaporada por las plantas o no se ha infiltrado por la superficie del terreno y que es directamente aprovechable para ser usada por la humanidad. Esta definición no considera como escurrimiento superficial el aporte de las napas subterráneas lo cual deja incompleto el concepto, ya que teóricamente es difícil separar ambos escurrimientos.

La **escorrentía subsuperficial** es la parte de la precipitación que se infiltra inmediatamente después de la precipitación y se mueva por las capas superficiales del suelo y por encima de la napa subterránea. Parte de esta escorrentía sale a la superficie incrementando el caudal de los ríos y parte se infiltra hacia las napas subterráneas. Es una escorrentía que dura hasta pocos días después de haberse producido la precipitación. (Benitez Girón , 1998)

La **escorrentía subterránea** es aquella parte de la precipitación que por percolación o infiltración profunda se incorpora al escurrimiento subterráneo. Esta escorrentía puede interceptar el cauce de un río y aportarle parte de su flujo subterráneo. Este aporte a la escorrentía total del río se manifiesta con un retardo muy prolongado, pueden ser años en comparación con los otros elementos que componen el escurrimiento total, dependiendo del desfase de la importancia de la lluvia, de la estructura geológica de la cuenca y de la humedad de los estratos del suelo. (Benitez Girón , 1998)

Es importante tomar en cuenta que la escorrentía superficial está constituida por dos tipos de escorrentía. La «**escorrentía directa**» que es la se incorpora al río de forma inmediata después de la lluvia y la «**escorrentía o caudal base**» que

corresponde al escurrimiento generado por el aporte de los afloramientos de la napa subterránea y que se mantiene durante mucho tiempo después de haberse producido la lluvia. (Benítez Girón , 1998).

Parte de esta escorrentía se incorpora al **caudal**, el cual se define como la cantidad de agua expresada en términos de magnitud, duración, época y frecuencia del flujo y la calidad del agua expresada en rangos, frecuencias y duración de la concentración de las variables claves que son requeridas para mantener un nivel deseado de salud en el ecosistema. En términos generales el tratar de conservar un caudal en una cuenca dada pretende asegurar la suficiente cantidad de agua distribuida en un patrón de lo más normal posible, con parámetros físico-químicos y biológicos de calidad de agua a niveles apropiados. (Jiménez , Calvo, Pizarro , & Gonzáles, 2005)

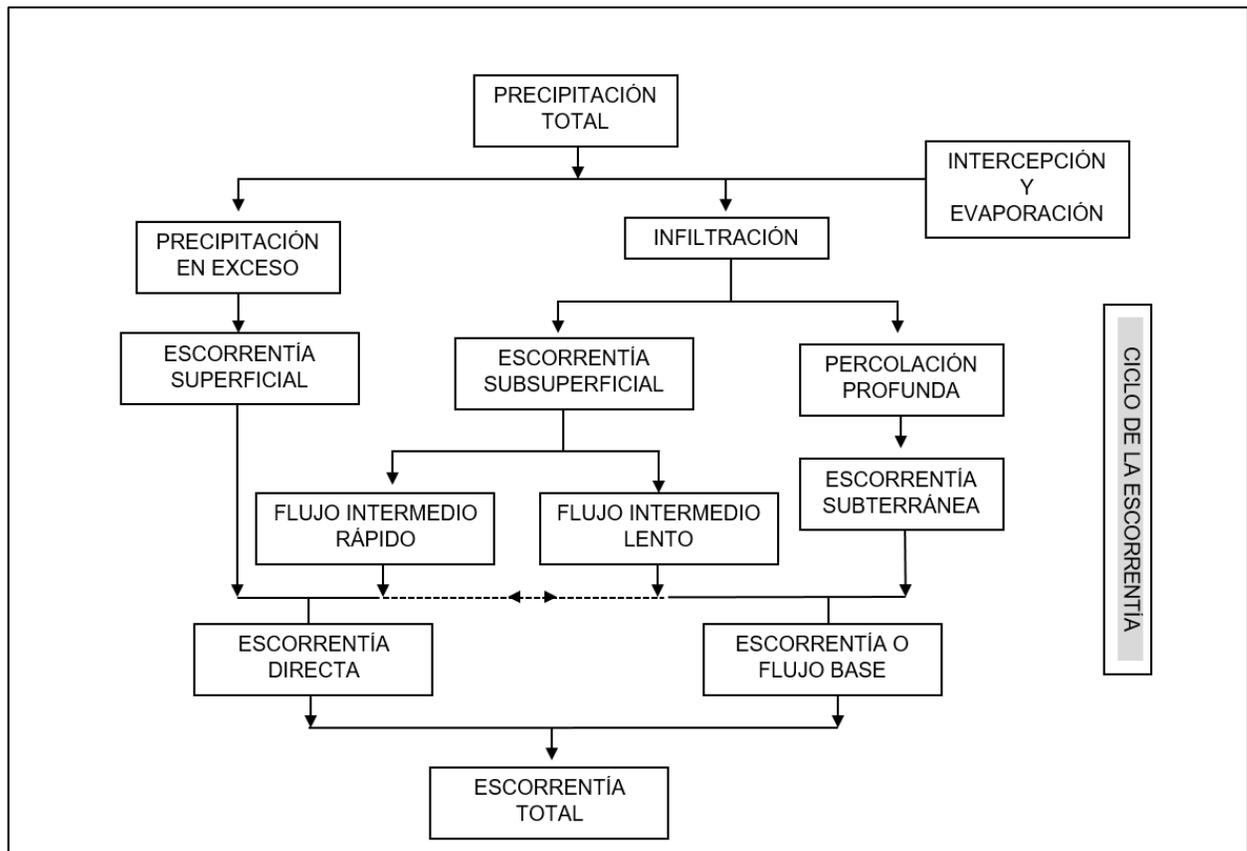


Figura 2: Ciclo de la escorrentía, (Benítez Girón, 1998)

Los caudales de un río poseen regímenes a los que las poblaciones bióticas se han adaptado en el transcurso de millones de años. El régimen de una caudal está

compuesto por varios elementos, el primero de ello es el caudal base, que implica los volúmenes de agua que se presentan con mayor frecuencia durante la estación seca o la estación lluviosa. Otro de los componentes importantes de los caudales son las llamadas avenidas anuales, que implican descargas relativamente puntuales de grandes volúmenes de agua. (Jiménez , Calvo, Pizarro , & Gonzáles, 2005).

2.6 Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Un modelo hidrológico es una representación simplificada de un sistema complejo (Venneker, 2002). Es una esquematización en general matemática de toda o una parte del sistema hidrológico, capaz de simular los estados sucesivos del sistema a partir del estado inicial y del conocimiento de las variables de entrada (Roche et al., 2012). El desempeño o performance del modelo depende de que tan bien están incorporado los procesos, sus interacciones y la cantidad de datos disponibles (Hingray et al., 2009) citado por (Tamayo García, , 2017, pag 4).

El programa de modelo SWAT, es una herramienta de Evaluación de suelo y Agua, por sus siglas en Inglés, desarrollado por la USDA-ARS es una consecuencia directa del modelos SWARRB (Simulador de Recursos Hídricos en Cuencas Rurales) (Williams et. al.1985; Arnold et al. 1990). Fue diseñado para simular los efectos de la gestión del agua y el movimiento de sedimentos en cuencas rurales. SWAT es un modelo Hidrológico de base física y distribuida desarrollado para predecir los efectos de los cambios en el paisaje, las prácticas de gestión en materia de agua, sedimentos, y los rendimientos químicos agrícolas en una cuenca hidrográfica. (Arnold et al., 1998). *Citado por*, (Zuleta Salmon, 2013).

SWAT está definido por 8 componentes: Hidrología, clima, erosión y sedimentación, temperatura del suelo, crecimiento de las plantas, nutrientes, pesticidas y manejo de suelo. (Miller et al 2007). *Citado por* (Zuleta Salmon, 2013)

El presente estudio se enfoca en los componentes de hidrología y clima. El balance de agua simulado por SWAT se basa en la siguiente ecuación de equilibrio.

$$SW_t = SW_o + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Donde:

Tabla 2.

Ecuación de equilibrio, Balance hídrico. (Guevara Ochoa, Cazenave, Vazquez Amabile, Collazos , & Vives, 2012)

SWt	Es el contenido final de agua en el suelo (mm)
SWo	Es el contenido de agua inicial en el día i (mm)
t	Es el tiempo (día)
Rday	Es la cantidad de precipitación en el día i (mm)
Qsurf	Es el escurrimiento superficial en el día (mm)
Ea	Es la evaporación en el día (mm)
Wseep	Es la cantidad de agua acumulada en la zona no saturada del perfil del suelo en día i (mm)
Qgw	Es la cantidad de flujo de retorno en el día i (mm).

SWAT permite la simulación de un gran número de procesos físicos en la cuenca, esta es fraccionada en varias subcuencas a través de un valor de área umbral, que dependerá del objetivo y exactitud del estudio, dichas subcuencas poseen una posición geográfica determinada y están relacionadas con las vecinas. Las subcuencas se dividen en unidades de respuesta hidrológica (HRUs) que conforman una combinación única de tipos de suelo, usos y cobertura, de forma que cada subcuenca posee al menos una HRUs. La subdivisión de la cuenca permite al modelo reflejar diferencias en la evapotranspiración para varios tipos de suelos y coberturas. La escorrentía se predice separadamente para cada HRUs y es canalizada en función del modelo digital del terreno para obtener el total en la cuenca. Esto aporta una mayor precisión en la descripción física del balance de agua. (Ortiz Rivera, Mendoza Cantú, & Bravo Espinosa, 2010).

A continuación se explica las variables estimadas con el modelo:

La escorrentía en el modelo SWAT es estimada de forma diaria mediante modificaciones de la metodología de **Número de curva**, con ajustes según pendiente y humedad del suelo. La infiltración se estima como la diferencia entre la precipitación y la escorrentía. El modelo permite la opción de estimar la escorrentía e infiltración mediante el método de **Green –Amp**, desagregando la lluvia diaria en intervalos homogéneos de intensidad. Para ello requiere información adicional sobre el patrón de lluvia, cuya expresión básica adaptada a SWAT se puede ver en la siguiente ecuación:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0,2 \cdot S)^2}{(R_{day} + 0,8 \cdot S)} \quad y \quad S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Dónde:

Q_{surf} : Es la escorrentía superficial (mm),

R_{day} : Es la precipitación diaria (mm),

S : Corresponde a las pérdidas máximas posibles de agua (mm).

CN : Es el parámetro del Número de Curva que depende de los usos, de los tratamientos culturales del suelo y del grupo hidrológico de suelo (adimensional).

La producción de sedimentos se estima mediante la ecuación universal Pérdidas de suelo Modificada (MUSLES). Con este fin, se emplea el volumen de escorrentía estimado mediante el Número de Curva. El gasto pico se obtiene mediante una modificación de la formula racional, donde la intensidad de las lluvias se sustituye por la lluvia que ocurre dentro del tiempo de concentración, según la relación de la lluvia máxima de media hora y la lluvia total diaria. En la fase erosiva se modeliza la producción de sedimentos mediante la ecuación universal modificada de pérdida de suelo (MUSLE) (William, 1975), la cual se muestra en la ecuación

$$sed = 11,8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0,56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG$$

Dónde:

Tabla 3.

Estimación de sedimentos en SWAT

sed	Tasa de emisión de sedimentos para cada unidad hidrológica de respuesta (HRU) para un día en el que se ha producido escorrentía (toneladas)
Qsurf	Escorrentía superficial (mm /ha)
qpeak	Caudal punta de cada día que se produce escorrentía (m ³ /s).
área hru	Es el área de cada HRU (ha),
K usle	Es el factor de erosionabilidad del suelo estimado según la metodología de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) (Wischmeier and Smith, 1965, 1978) (t m ² h/(m ³ t cm))
C usle	Es el factor de cultivo de la USLE (adimensional),
P usle	es el factor de prácticas de conservación del suelo de la USLE (adimensional)
LSsweep	es el factor topográfico estimado según la metodología propuesta por la USLE (adimensional)
CFRG	Es el factor de pedregosidad del suelo, que actúa como un modificador de la tasa final de sedimentos

Los factores topográficos se derivan de información aportada por el usuario (o del modelo digital de elevación, si se emplea una interfaz para sistemas de información

geográfica. La erosionabilidad y el factor prácticas de conservación de suelo los aporta el usuario directamente. El factor cobertura del uso y manejo de la tierra se estima según la biomasa sobre el suelo, la cual es simulada por el componente de crecimiento de cultivo.

El componente de cultivo provee información de cobertura para estimar erosión y el consumo de agua por parte de las plantas para los fines de balance hídrico. La escorrentía es afectada poco, e indirectamente, por el cultivo, ya que el valor de número de curva es ajustado solo por la humedad del suelo y es independiente de la cobertura. No obstante, el usuario puede indicar el valor de Número de curva para las labores. El cultivo se simula de acuerdo a la biomasa potencial que puede acumularse según la radiación solar de cada día.

Los variables de entrada de suelo y climáticas utilizadas por el modelo se presentan en las tablas 4 y 5:

Tabla 4.
Datos de entrada de suelo requeridas por SWAT

Columna	Descripción	Unidades
TITLE/TEXT	Titulo	
SNAM	Nombre del suelo	
HYDGRP	Grupo Hidrológico	s/u
SOL_ZMX	Máxima profundidad de las raíces	mm
ANION_EXCL	Fracción de porosidad del cual los aniones son excluidos	Fracción
SOL_CRK	Potencial o máximo volumen de grietas del perfil del suelo, expresado como una fracción del total del volumen del suelo	Fracción del volumen total del suelo
TEXTURE	Textura	s/u
Información requerida a nivel horizonte		
SOL_Z	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el final de la capa	mm
SOL_BD	Densidad de humedad -volumen	Mg/m ³ o g/cm ³
SOL_AWC	Capacidad de agua disponible de la capa del suelo	mm H ₂ O/mm suelo
SOL_K	Conductividad hidráulica saturada	m/hr
SOL_CBN	Contenido de Carbono Orgánico	Contenido de Carbono Orgánico
SOL_CLAY	Contenido de arcilla	% Peso del suelo
SOL_SILT	Contenido de limo	% Peso del suelo
SOL_SAND	Contenido de arena	% Peso del suelo
SOL_ROCK	Contenido de fragmentos de roca	% Peso del suelo
SOL_EC	Conductividad eléctrica	dS/m

Información requerida a nivel de horizonte superficial

SOL_ALB	Albedo suelo húmedo	s/u
USLE_K	Ecuación Universal de Perdida del Suelo	0,013(metric ton m ² hr)/(m ³ -metric ton cm)
	Cobertura y uso de la tierra	-

Tabla 5
 Datos climáticos de entrada requeridos en SWAT

Tipo	Unidades	Formato	Observación
Precipitación diaria	mm	Notepad	Mínimo 10 años
Temperatura máxima y mínima diaria	°C	Notepad	Mínimo 10 años
Velocidad del viento diaria	m/seg	Notepad	Mínimo 10 años
Radiación solar diaria	MJ/m2	Notepad	Mínimo 10 años
Humedad relativa diaria	%	Notepad	Mínimo 10 años
Punto de Rocío diaria	°C	Notepad	Mínimo 10 años

Los modelos hidrológicos no pueden evitar incertidumbres originadas a partir de los datos de entrada y parámetros de estructura de los modelos. Por lo tanto la calibración y validación del modelo es un factor clave para reducir la incertidumbre y el aumento en la capacidad de predicción, convirtiéndolo en un modelo más eficaz para el análisis de información. *SWAT es particularmente útil porque su uso está*

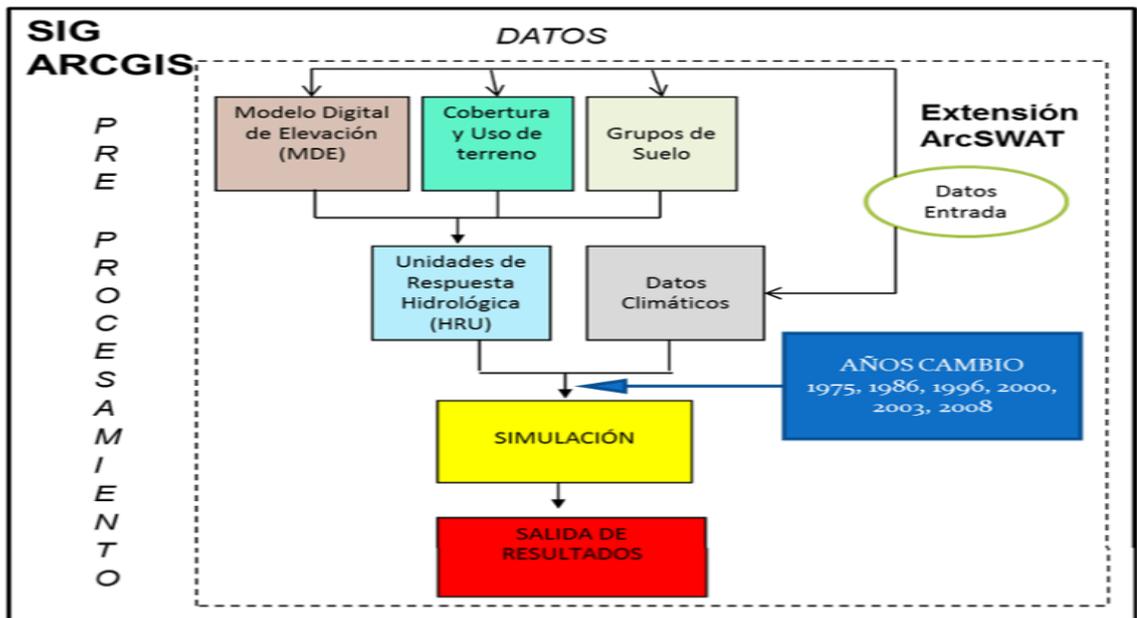


Figura 3: Metodología utilizada en SWAT

recomendado para cuencas que no cuentan con registros de aforo. (Ortiz Rivera, Mendoza Cantú, & Bravo Espinosa, 2011).

2.7 Marco Legal e Institucional del Sector Hídrico

Con la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua (Ley 217), puesta en vigencia en 1996, se inicia la introducción de una legislación dirigida a proteger los recursos hídricos de una manera más integral.

En 2007, se aprueba y promulga la primera Ley 620, la cual tiene por objetivo establecer un marco normativo integral para las aguas nacionales que es acorde con la Política Nacional de administrar, conservar, desarrollar, usar, aprovechar sostenible y equitativamente así como preservar en cantidad y calidad los recursos hídricos existentes en el país.

Conjunto a la ley, se crea la Autoridad Nacional del Agua (ANA) que es el órgano descentralizado del Poder Ejecutivo en materia del agua, con personería jurídica propia, autonomía administrativa y financiera y que tiene facultades técnicas normativas, técnicas-operativas y de control y seguimiento, para ejercer la gestión, manejo y administración en el ámbito nacional de los recursos hídricos, de conformidad a la presente Ley y su reglamento.

2.8 Calidad del agua

El término calidad del agua es relativo y solo adquiere relevancia cuando está relacionado con el uso del recurso. Un curso de agua suficientemente limpio como para permitir la vida de los peces puede no ser apto para que la gente nade en él, así como un agua apta para consumo humano puede no ser útil para todas las industrias, tal sería el caso de un agua dura. (López, y otros, 2006).

2.8.1 Calidad Físico-química

La calidad del agua está dado por los elementos que contenga bien sea en solución, en suspensión o en estado coloidal, los cuales le confieren característica particulares que hacen que se diferencien de un tipo de agua de otro. Los criterios de calidad dependen fundamentalmente del uso, ya sea para consumo humano, actividades agropecuarias, recreación, procesos industriales, disposición en fuentes de agua y como receptor de líquidos (PAHO, 1976).

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua —que pueden ser de origen natural o antropogénico— define su composición física y química.

2.8.1.1 Las características físicas

Son llamadas así porque pueden impresionar los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua, considerándose importantes las siguientes:

- Turbiedad;
- Sólidos solubles e insolubles;
- Color;
- Olor y sabor;
- Temperatura
- pH.

2.8.1.2 Las características químicas

La concentración de diversos compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos que generalmente se encuentran en las aguas de abastecimiento puede afectar su calidad y por lo tanto restringir su uso. Esto obliga a determinar la cantidad presente de cada una de ellas y definir su tolerancia, para así conocer su grado de potabilidad, necesidad o no de acondicionamiento y tipo más adecuado de tratamiento a aplicar de ser el caso. (Guevara, 1989, López, 1981), Citado por (PAHO 1976).

En cuanto a las propiedades químicas:

Aniones:

Cloruros (Cl⁻): En general son sales solubles, no se oxidan ni reducen en aguas naturales. Los cloruros casi siempre van asociados al ion Na⁺. Se encuentran en concentraciones entre 10 y 250 ppm en aguas dulces y en otras aguas superficiales pueden encontrarse en contenidos hasta varios miles de ppm. Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y confieren corrosividad a las aguas. (Custodio & Llamas, 2001).

En ríos, es típico el incremento de cloruros a la largo del recorrido del cauce fluvial desde su nacimiento hasta su desembocadura.

Sulfatos (SO_4^{2-}): Son sales moderadamente solubles a muy solubles. En agua pura el SO_4 Ca satura a 1500 ppm, y puede llegar hasta 7200 ppm en aguas salinas. En medios reductores con abundante materia muerta, los sulfatos pueden sufrir reducción bacteriana. Se encuentran en concentraciones entre 2 y 150 ppm en aguas dulces (Custodio & Llamas, 2001). Los sulfatos están presentes de forma natural en muchos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en la industria química. Se liberan al agua procedente de residuos industriales y mediante precipitación desde la atmósfera; no obstante, las concentraciones más altas suelen encontrarse en aguas subterráneas y provienen de fuentes naturales. El ión sulfato procede del lavado de terrenos formados en ambiente marino de la oxidación de sulfuros que se encuentran ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias de descomposición de sustancias orgánicas.

No se conocen efectos nocivos en la salud por el consumo de agua con alto contenido de sulfato, en algunas ocasiones los efectos gastrointestinales son notorios en la población. Las altas concentraciones de sulfatos en las aguas de consumo pueden producir un sabor salobre apreciable, y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución.

Bicarbonatos (CO_3H^-) y Carbonatos (CO_3^{2-}): Estos iones comunican la alcalinidad al agua en el sentido que dan la capacidad de consumo de ácido al crear una solución tampón. El anhídrido carbónico disuelto en agua y los diversos compuestos que forma en ella juegan un importante papel en la química del agua. Se disuelve en el agua en función de su presión parcial ($p\text{CO}_2$). Una parte permanece en disolución en forma de gas mientras otra reacciona con el agua para dar ácido carbónico que se disocia parcialmente para dar iones carbonato y bicarbonato.

En aguas alcalinas con pH mayor que 8,3 puede haber concentraciones importantes, hasta 50 ppm en algunas aguas naturales. Las aguas bicarbonatadas sódicas son inadecuadas para riego, debido a la fijación del Na en el terreno y creación de un medio alcalino (Custodio & Llamas, 2001).

Nitrato (NO_3^-) y Nitrito (NO_2^-): Los iones Nitrato (NO_3^-) y Nitrito (NO_2^-), son aniones inorgánicos de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno. En este ciclo, los desechos que contienen nitrógeno orgánico se descomponen en el suelo o el agua, por acción de los microorganismos, para formar amoníaco en primera instancia. Posteriormente, este se oxida para formar iones de nitrito y estos, a su vez, para dar nitratos. El uso excesivo de fertilizantes, incluyendo el amoníaco así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales, pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua. Generalmente los nitratos son solubles y no se adsorben a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y

subterráneas. El consumo de agua con elevada dosis de nitrito produce efectos adversos en la salud; como las methemoglobinemia, que produce síntomas como: hipoxia, dolor de cabeza, fatiga, debilidad y convulsiones.

Cloruros, fosfatos y nitritos son indicadores típicos de contaminación residual domestica vertida a un cauce natural.

Cationes

Sodio (Na⁺): El sodio es liberado por la meteorización de silicatos tipo albita (Na Al SiO₃) y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos, en que se presenta fundamentalmente como NaCl. Una fuente importante de Na⁺ la constituyen los aportes de agua marina en regiones costeras tanto por fenómenos de intrusión en acuíferos costeros como por infiltración del agua de lluvia a la que se incorpora desde el mar.

La presencia de sodio en cantidades elevadas es muy perjudicial para la agricultura ya que tiende a impermeabilizar los suelos, especialmente en zonas de drenaje deficiente: la presencia de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ atenúa este efecto. Fisiológicamente la presencia de altos contenidos de Na en la sangre está asociado a problemas cardiovasculares, hipertensión y patologías renales. (Marin Galvín, 2003).

Calcio (Ca²⁺): El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos, especialmente en el grupo de las plagioclasas. En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato: CaCO₃, (calcita y aragonito). CaMg (CO₃)₂ (dolomita) o de sulfato: CaSO₄·2H₂O (yeso) o CaSO₄, (anhidrita).

El ión calcio junto con el magnesio y a veces con el ion Hierro (II), determinan la dureza del agua. Estas sales generalmente están presentes como bicarbonatos o sulfatos que originan la dureza de la misma. Una de las manifestaciones más comunes de la dureza del agua son los grumos insolubles que se forman por la reacción del jabón, detergentes con los iones de calcio y magnesio. Otro problema causado por el agua dura es la obstrucción de las cañerías de abastecimiento de agua. (E. Manahan, 2007).

Magnesio (Mg²⁺): El magnesio es menos abundante que el Ca⁺⁺ en las aguas naturales, procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas) evaporitas y de la alteración de Silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina.

En los ríos, la concentración de magnesio suele aumentar desde el nacimiento hasta la desembocadura por disolución de las rocas y minerales del terreno. El Mg es

importante en ciertos sistemas enzimáticos e intervienen en la formación de los huesos. Parece ser que la ingesta de aguas con bajos niveles de este metal, se relaciona con altas tasas de enfermedades coronarias. Es importante tomar en cuenta que un elevado contenido de Mg en aguas de bebida puede provocar efectos laxantes y sabor amargo. (Galvín, 2003).

Potasio (K⁺): Procede de la meteorización de feldspatos y ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas en particular de sales de tipo silvina (KCl) o carnalita (KCl Mg Cl₂, 6H₂O). Las concentraciones de K es generalmente mucho menor que de la Na, dado que el K tiende a ser fijado en la formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico.

Es importante señalar, que las concentraciones de K a lo largo de un río suele disminuir a la vez que el Na se incrementa a consecuencia de la tendencia de potasio a sustituir al sodio contenido en las arcillas. El K es un elemento importante en la fisiología del ser humano (sistemas nervioso y muscular, así como corrosivo cuando se emplean aguas que lo contengan. (Galvín, 2003).

Hierro (Fe²⁺): Puede estar en los estados de valencia 2⁺ y 3⁺ La concentración de este elemento en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros. Su disponibilidad biológica se encuentra influenciada principalmente por sus propiedades químicas como valencia, solubilidad, grado de complejamiento o estado de oxidación. En cantidades apreciables produce sabor desagradable en el agua lo que evita a menudo su ingestión en grandes dosis, que podría afectar al sistema nervioso central; además causa manchas rojizos-café en la ropa, porcelana, platos, utensilios, vasos, lavaplatos, accesorios de plomería y concreto.

2.8.2 Calidad Bacteriológica

La calidad **bacteriológica** del agua se realiza mediante la determinación de los organismos Coliformes totales y fecales, es de esperar que las aguas de consumo humano no tengan presencia de estos organismos.

Las principales enfermedades de origen microbiano contraídas por el consumo de agua son adquiridas por la vía fecal-oral. Entre ellas se encuentran la fiebre tifoidea, la hepatitis A y el cólera. El criptosporidio es un parásito relativamente nuevo, transmitido por el agua, cuya existencia se conoce desde 1976, y cabe mencionar que los brotes de enfermedad producidos por el mismo, están volviéndose cada vez más comunes. La transmisión de todas estas enfermedades puede ocurrir por:

- Ingestión directa del agua contaminada.
- Forma indirecta, por medio de los alimentos o bebidas que hayan entrado en contacto con agua contaminada.
- Por ingerir accidentalmente agua al nadar o en otras actividades recreativas.

Las enfermedades entéricas causadas por bacterias Coliformes se transmite casi exclusivamente por contaminación de origen fecal en aguas y alimentos ya que este tipo de microorganismos se encuentra radicado en el tracto intestinal de mamíferos y animales de sangre caliente. La transmisión vía contaminación de los suministros de agua es la forma de infección porcentual más importante, siendo en ocasiones la causa de epidemias masivas especialmente de fiebre tifoidea y cólera. De aquí la importancia de los análisis rutinarios para la comprobación de la inexistencia de este tipo de bacterias en las aguas de uso público. (Galvín, 2003).

2.9 Plaguicidas

Plaguicidas, el artículo 2 del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas (FAO, 1990) define los plaguicidas como «cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos.

2.9.1 Organoclorado (OCL)

La estructura química de los **Organoclorados** corresponde a la de los hidrocarburos clorado lo que les confiere una alta estabilidad física y química, haciéndolos insolubles en agua, no volátiles y altamente solubles en disolventes orgánicos. Estas características favorecen su persistencia en el ambiente y su lenta biodegradabilidad. Su vida media es de 5 años, aunque varía según el producto; por ejemplo, para el beta hexaclorociclohexano es de 3 años, para el aldrín de 6 años y para el DDT es de 30 años .El compuesto como tal o sus metabolitos son contaminantes ubicuos de varios tejidos en humanos y de los mamíferos en general. A causa de su alta lipofilidad tienden a acumularse principalmente en el tejido celular subcutáneo, en el componente graso de la leche materna y de la sangre.

Productos representativos de este grupo son el DDT, el aldrín, el dieldrín y el endrín, así como el endosulfán y el lindano. (Ramírez & Lacasaña, 2001).

Los plaguicidas OCL al ingresar al sistema acuático por diversos mecanismos, ocasionan problemas de contaminación ya que deterioran la calidad del medio ambiente y provocan efectos nocivos sobre la biota (organismos vegetales y animales) acuáticos y la salud humana. Entre las rutas de entrada está el arrastre, infiltración y erosión de los suelos, principalmente de los agrícolas que fueron rociados con plaguicidas, el lavado de dichos suelos hace que estos alcancen los ríos y ecosistemas costeros y marinos; también está el agua utilizada para lavar el material de rociado y que es vertida en estanques, ríos y lagunas; otra ruta es a través de la precipitación proveniente de la atmosfera.

2.9.2 Organofosforado (OF)

Los compuestos **organofosforados (OF)**, que son ésteres, amidas o tioles derivados de los ácidos fosfóricos, fosfónico, forman otro grupo. Se descomponen con mayor facilidad y se degradan por oxidación e hidrólisis, dando origen a productos solubles en agua, tentativamente menos persistentes y poco acumulables en el organismo humano. Pertenecen a este grupo el paratión, el malatión, el diazinón, el clorpirifos y el diclorvos. (Ramírez & Lacasaña, 2001).

El agua es un factor que puede convertirse en un vehículo para la adquisición de diversas enfermedades en el ser humano. Actualmente, existen descritas más de 20 enfermedades en las que el agua actúa directa o indirectamente en su aparición, algunas de ellas con alto impacto en términos de morbilidad y mortalidad, es por ella la importancia de evaluar los cuerpos de agua desde el punto bacteriológico.

En lo que a plaguicidas se refiere, las formas de afectación de los plaguicidas al ser humano son variables; actúan disolviendo la membrana lipídica que rodea las fibras nerviosas interfiriendo en el transporte de iones por ellas; modifican la acción de enzimas metabólicas importantes, como es el caso de la acetilcolinesterasa, por lo tanto interfieren en el funcionamiento del sistema nervioso central.

Los ríos y lagos se consideran como aguas superficiales, que pueden ser incluidos como fuentes de abasto crudo para agua potable.² De la calidad del agua de consumo que disponen las poblaciones dependen en gran medida la calidad de vida de las mismas, pues el agua insalubre es uno de los diez factores de riesgo que producen mayor carga de morbilidad en el mundo, según estudios de la OMS.³

²http://prwreri.uprm.edu/publications/PR_2009_01.pdf

³<http://www.unanleon.edu.ni/universitas/pdf/1ro/Arto1VO11.pdf>

La agricultura es también una fuente de contaminación, El amoníaco es un acidificante todavía mayor que el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno. Es una de las causas principales de la lluvia ácida que daña los árboles, acidifica los suelos, los lagos y los ríos y perjudica la biodiversidad. A medida que otros gases acidificantes como el dióxido de azufre se someten a un control más estricto, el amoníaco puede llegar a ser la causa principal de acidificación. Es probable que las emisiones de amoníaco procedentes de la agricultura sigan aumentando, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Las proyecciones pecuarias suponen un aumento del 60 por ciento en las emisiones de amoníaco procedentes de excrementos de animales. (FAO, Agricultura Mundial hacia los años 2015 /2030. Informe Técnico, 2002).

Los plaguicidas se comercializaron en forma masiva y con singular éxito para la industria agroquímica a partir de la segunda guerra mundial, fue a raíz de su uso indiscriminado a nivel mundial que luego se pudo evidenciar sus altos riesgos y efectos nocivos en la salud de la población, dada la cantidad de muertes por intoxicaciones que se venían registrando, además de otras patologías asociadas a su uso, así como su alta persistencia ambiental. (CCLA, 2006)

Fue así que, entre los miles de plaguicidas que se venían usando en la actividad agrícola, destacaron en forma negativa los más tóxicos, los de extrema peligrosidad, que a partir de 1985 motivaron el inicio de una campaña mundial impulsada por la PAN Internacional contra esos plaguicidas extremadamente peligrosos, que luego serían conocidos a nivel internacional como la famosa «Docena Sucia» (Tabla 6). (CCLA, 2006).

Tabla 6.
Docena sucia de plaguicidas

No	Nombre	Nombre común	Clase
1	DDT ¹	Diclorodifenil tricloroetano	Insecticida
2	LINDANO ¹	Gamexane	Insecticida
3	LOS DRINES ¹	aldrin, dieldrín, endrín	Insecticida
4	CLORDANO HEPTACLORO ¹	clordano / heptacoloro	Insecticida
5	PARATION ²	Paratión, metil paratión	Insecticida
6	PARAQUAT ³	Paraquat, Gramoxone	Herbicida
7	2, 4, 5 - T ⁴	Tributon 60 - Tordon Basal - Tordon 225e	Herbicida
8	PENTACLOROFENOL (PCB) ⁷	Pentaclorofenol	Insecticida
9	DIBROMOCLOROPROPANO (DBCP) ⁵	Nemafume, Nemagón, Fumazone	Insecticida
10	DIBROMURO DE ETILENO (EDB) ⁶	Bromofume, Dibrome, Granosan	Fungicida
11	CANFECLORO ¹	Confecloro, Toxafeno	Insecticida
12	CLORIDIMEFORMO: (CDF) ⁸	Galecron, Fundal, Acaron	Acaricida

¹Organoclorado, ² Organofosforado, ³ Dipiridilo, ⁴ Clorofenoxilico, ⁵ Alocaburo, ⁶ Halocarbono, ⁷ Insecticida clorinado, ⁸ Formamidiras

La contaminación por fertilizantes se produce cuando estos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos o cuando se eliminan por acción del agua o del viento de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos. Los excesos de nitrógeno y fosfatos pueden infiltrarse en las aguas subterráneas o ser arrastrados a cursos de agua. Esta sobrecarga de nutrientes provoca la eutrofización de lagos, embalses y estanques y da lugar a una explosión de algas que suprimen otras plantas y animales acuáticos.

En las proyecciones de cultivos para el año 2030, se supone un menor crecimiento del uso de fertilizantes nitrogenados que en el pasado. Si se puede mejorar el rendimiento, el incremento en el uso total de fertilizantes entre 1997-99 y 2030, podría ser reducido como el 37 por ciento. Sin embargo, el uso actual en muchos países en desarrollo es muy ineficaz. En China, el mayor consumidor del mundo de fertilizantes nitrogenados, casi la mitad del nitrógeno aplicado se pierde por volatilización y de un 5 a un 10 por ciento más por infiltración. (FAO, Agricultura Mundial hacia los años 2015 /2030. Informe Técnico, 2002).

2.10 Guías de calidad de agua

Las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable tienen como objetivo establecer los valores máximos de aquellos componentes o características del agua que representan un riesgo para la salud de la comunidad, o inconvenientes para la preservación de los sistemas de almacenamiento y distribución del líquido, así como la regulación que asegure su cumplimiento.

Las Guía de calidad de agua potable emitidas por las Organización Mundial de la Salud (OMS), explican los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos y valores de referencia específicos, y el modo en que deben aplicarse tales requisitos. Describe así mismo los métodos utilizados para calcular los valores de referencia e incluye hojas de información sobre peligros microbianos y químicos significativos.

Al igual se encuentran a la disposición las Canadian Water Quality Guidelines, la cual contiene las directrices con recomendaciones para los parámetros químicos, físicos, biológicos, necesarios para proteger y mejorar los usos designados de agua. Es importante tomar en cuenta que esta guía de calidad de agua, sólo se aplican a las aguas interiores superficiales y subterráneas y no a los estuarios y aguas marinas. Actualmente Nicaragua se encuentra adscrito y es miembro como país de las normas CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica , Panamá y República Dominicana), la cual tiene como objetivo velar por la calidad del agua de consumo humano y por consiguiente,

ajustar, eliminar o reducir al mínimo aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento del agua, Nicaragua como país miembro utiliza los métodos de análisis y en la medida de lo posible cumple con lo establecido en las mismas.

2.11 HIPÓTESIS

Las causas de la disminución de caudales, aumento de escorrentía, carga de sedimentos y contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del Río Pire es producto del uso del suelo no acorde a la vocación.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de estudio

El estudio es de tipo descriptivo analítico; dado que se evalúa los impactos del uso de suelo y la influencia en la producción de agua, sedimentos, escorrentía y calidad de las aguas superficiales.

Durante la investigación se colectó información que se lleva a cabo en el tiempo de vida operativa del estudio, por lo cual presenta un **diseño transversal, y tiene (enfoque) cuali/cuantitativa**. Además de utilizar una estrategia de recolección de datos en la que se miden las variables del fenómeno en estudio: uso de suelo, calidad de agua, escorrentía y sedimentos.

3.2 Universo y muestra

El universo de estudio es la microcuenca Río Pire (*Ver mapa 1: Ubicación de la Microcuenca Río Pire, pág. 6*), que se ubica en la subcuenca Estelí y esta a su vez pertenece a la unidad hidrográfica 9516 (Río Coco).

Caudales, escorrentía, sedimento: Para estimar las variables Caudales, escorrentía, sedimento, se utilizó la herramienta de evaluación agua y suelo (SWAT), incorporándose al modelo datos climáticos de 11 años, provenientes de 3 estaciones. (*Ver anexo 9: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación con SWAT pág. 120*).y datos de taxonomía del suelo, uso de suelo (potencial-actual), modelo digital de elevación del terreno.

Calidad de agua: Para evaluar la calidad del agua se tomaran 8 muestras distribuidas en todo el cauce principal de la microcuenca, tomando en cuenta parte alta, media y baja, estableciéndose como punto control el sitio llamado (Labranza 2). La toma de muestra se efectuó en el periodo seco (Abril) y lluvioso (Octubre) del año 2016. **A las muestras se les realizó análisis físico-químicos, Organoclorado, Organofosforado y microbiológicos.**

En cada punto muestreado se midieron parámetros de campo: pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y potencial de oxidación reducción; para conocer las condiciones in situ del agua. (*Ver tabla No 7: Descripción de puntos de muestreo Pág. 34*).

3.3 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.3.1 Recopilación de información

Se realizó una recopilación de información existente: características físicas, uso de suelo, ubicación, geología, geomorfología y calidad de las aguas superficiales. Posterior a ello se procedió a ordenar, analizar, sistematizar y unificar las bases de datos cartográficas.

En la caracterización del medio biofísico de la Microcuenca el Pire: Se empleó la cartografía digital procedente del área de SIG-INETER, para ello se utilizó las siguientes herramientas: ArcGis, paquete de office y bases de datos cartográficas. En cuanto a la Geología se utilizó información actualizada proveniente del área de Hidrogeología - CIRA, UNAN.

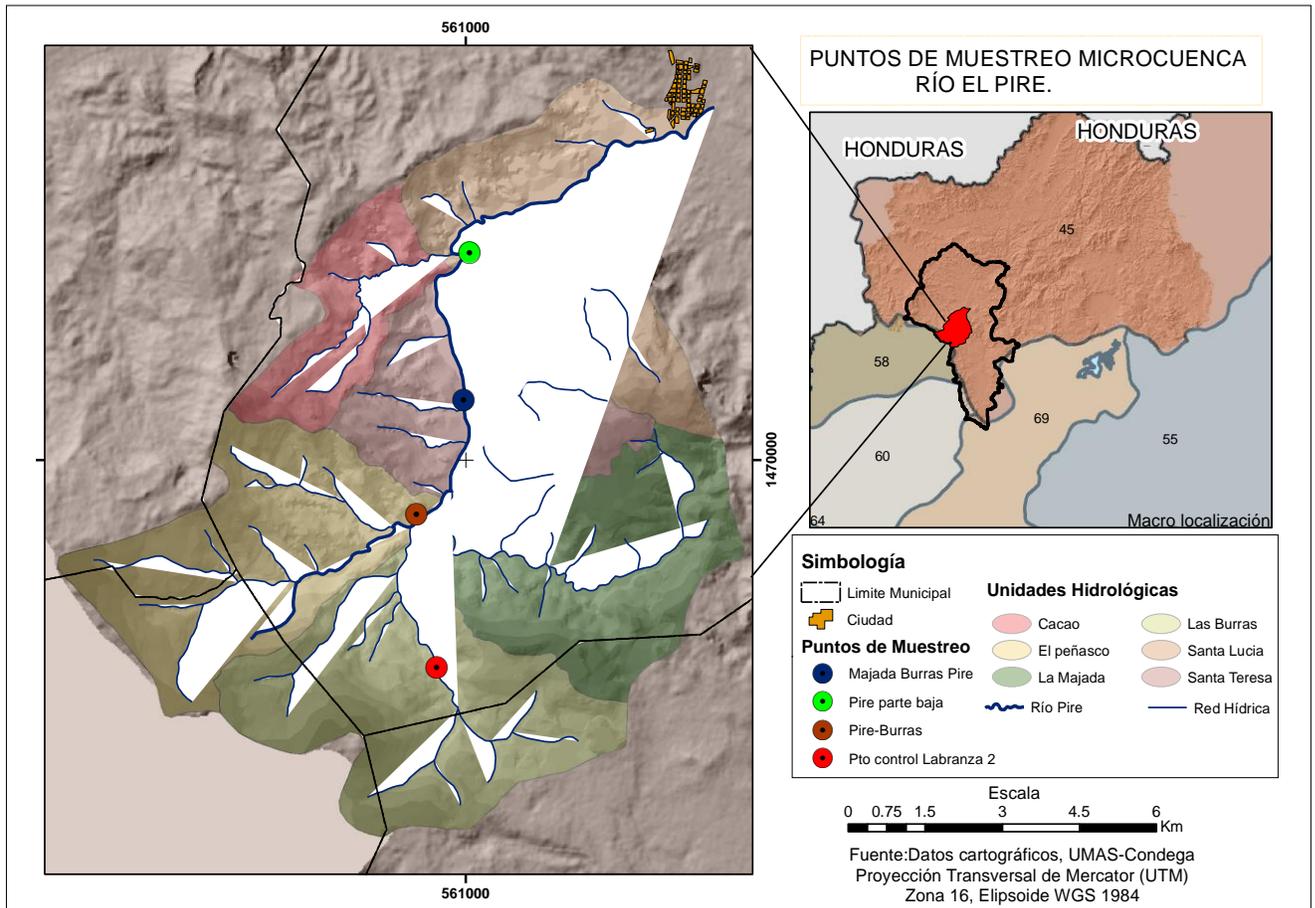
Estimación de caudales, escorrentía y producción de sedimentos, se utilizó base de datos climáticos de 10 años (2005 hasta el 2016), provenientes de tres estaciones meteorológicas y uso de suelo año 2015, todo suministrado por el Instituto de Estudio Territoriales (INETER). En lo que respecta al tipo de suelo y la caracterización por horizontes se obtuvo de un levantamiento edáfico realizado por la Universidad Nacional Agraria (UNA). Se revisó, homogenizó toda la información y se tabularon de acuerdo a la metodología propuesta por SWAT. Posterior se ejecutó el modelo utilizando la plataforma de ArcGis.

Los materiales a utilizar son: Pc, software ArcGis 10.1, y datos puntuales de uso de suelo, precipitaciones, radiación solar, viento, humedad, temperatura máxima, mínima media, cobertura forestal, tipos de suelo.

Tabla 7
Descripción de puntos de muestreo

#	COORDENADAS	ANÁLISIS	INSTRUMENTOS	OBSERVACIONES
1	X:560048 Y:1468967	Físico- química	-Oxigenometro -Redox -pH-metro Conductivimetro -1 Galón	Parte alta: Confluencia de los ríos de las unidades hidrológicas Pire-Burras y algunas quebradas intermitentes.
2	X:560968 Y:1471205		-1 par de guantes -Termo con hielo. -GPS -Biker 500ml -cadena de custodia.	Parte media: Confluencia de los ríos de las unidades hidrológicas Pire-Burras-Majada y algunas quebradas intermitentes.
3	X:560706 Y:1474454		-Cámara fotográfica -1 recipiente para amonio. -1 ml de H ₂ SO ₄	Parte Baja: confluencia del Rio Pire con el rio cacao y san pedro

4	X:559196 Y:1467231			PUNTO CONTROL (Labranza #2)
1	X:560048 Y:1468967	Organofosforado Organoclorado	Oxigenometro -Redox -pH-metro -Conductivimetro 1 recipiente de vidrio para plaguicidas 3lt -1 par de guantes -Termo con hielo. -GPS -Biker 500ml -cadena de custodia. -Cámara fotográfica -50ml de hexano	Parte alta: Confluencia de los ríos de las unidades hidrológicas Pire-Burras y algunas quebradas intermitentes. Parte media: Confluencia de los ríos de las unidades hidrológicas Pire-Burras-Majada y algunas quebradas intermitentes Parte Baja: confluencia del Rio Pire con el rio cacao y san pedro
2	X:560968 Y:1471205			
3	X:560706 Y:1474454			
4	X:559196 Y:1467231			
1	X:560048 Y:1468967	Microbiológico	Oxigenometro -Redox -pH-metro -Conductivimetro Recipiente cubierto de papel aluminio. -1 par de guantes -Termo con hielo. -GPS -Biker 500ml -cadena de custodia. -Cámara fotográfica	Parte alta: Confluencia de los ríos de las unidades hidrológicas Pire-Burras y algunas quebradas intermitentes. Parte media: Confluencia de los ríos de las unidades hidrológicas Pire-Burras-Majada y algunas quebradas intermitentes Parte Baja: confluencia del Rio Pire con el rio cacao y san pedro
2	X:560968 Y:1471205			
3	X:560706 Y:1474454			
4	X:559196 Y:1467231			



Mapa 2: Puntos de muestreo

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

1. Delineación de la subcuenca
2. Adaptar parámetros tanto de la cobertura y de los grupos de suelo.
3. Adaptación de los archivos de precipitación y temperatura
4. Generación de archivo de entrada
5. Ejecución del programa de Modelo SWAT.
6. Resultados de los escenarios.

Para evaluar la calidad de las aguas en la subcuenca, se realizaron análisis físico-químicos, Microbiológicos y plaguicidas, los criterios para la selección de estos puntos muestreados, fueron la incidencia de las actividades agrícolas y ganaderas, particularmente la agricultura, todas la muestras se recolectaron tomando en cuenta los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales

y Aguas Naturales del CIRA / UNAN, que obedecen a los procedimientos descritos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition. En las tablas 8 y 9 se resume el parámetro analizado y el método utilizado:

Tabla 8.

Métodos utilizados en la determinación de los parámetros físico del agua.

Métodos utilizados en la determinación de los parámetros Físico del agua		
Parámetro	Rango detección	Nombre del método
pH	0.10 a 14 Unidades de pH	Potenciométrico
Conductividad	0.010 a 200000 uS. cm ⁻¹	Método de laboratorio
Turbidez	0.00 a 999 UNT	Nefelométrico
Color verdadero	5.0 a 70.0 mg, l ⁻¹	Comparación visual
Sólidos totales	Hasta 20.000 mg, l ⁻¹	Gravimétrico
Sólidos disueltos	Hasta 20.000 mg, l ⁻¹	Gravimétrico

Fuente: American Public Health Association (APHA). (1999). Standard Methods for the Examination of

Tabla 9.

Métodos utilizados en la determinación de los parámetros químicos del agua

Métodos utilizados en la determinación de los parámetros químico del agua		
Parámetro	Rango detección	Nombre del método
Alcalinidad Total		
Dureza (CaCO ₃)	0.125 mg.l ⁻¹	Titrimétrico
Alcalinidad a la Fenolftaleína		
Calcio (CaCO ₃)	0.08 mg.l ⁻¹	Titrimétrico
Magnesio (CaCO ₃)	0.2 mg.l ⁻¹	Gravimétrico
Sodio	0.18 mg.l ⁻¹	Fotométrico de Emisión de Llamas
Potasio	0.1 mg.l ⁻¹	Fotométrico de Emisión de Llamas
Cloruros	0.25 mg.l ⁻¹	Cromatografía Iónica
Nitritos	0.003 mg.l ⁻¹	Colorimétrico
Nitratos	0.05 mg.l ⁻¹	Cromatografía Iónica
Fósforo total	0.005 mg.l ⁻¹	Ácido ascórbico
Sílice disuelta	0.2 mg.l ⁻¹	Molibdosilicato
Hierro	0.04 mg.l ⁻¹	Fenatrolina
Sulfatos	0.25 mg.l ⁻¹	Tirbidimétrico
Boro	0.02 mg.l ⁻¹	Curcumina
Carbonatos	-	-
Bicarbonatos	-	-

Fuente: American Public Health Association (APHA). (1999). Standard Methods for the Examination of

En la toma de los parámetros de campo se utilizaron los siguientes instrumentos:

- pH-metro YSI 550A
- Oxigenómetro YSI Waterproof
- Conductivímetro:63-25F
- Redox: A121. ORION STAR

En la toma de muestras se usaron los siguientes instrumentos:

- Fisicoquímico: Recipientes estériles de 2 litros de volumen de plástico, termo con hielo, guantes estériles, biker de 500 ml. En cuanto al amonio se requiere un recipiente de plástico estéril y 1ml H₂SO₄ para preservar la muestra.
- Bacteriológico: Recipientes estériles de 1 litro de polipropileno, papel aluminio, termo con hielo, guantes.
- Organoclorado y organofosforado: Envase de vidrio de 3 litros, y 50 ml hexano para preservar la muestra.

3.4 Procedimientos para la recolección de Datos e Información

Los procedimientos llevados a cabo para la caracterización del medio biofísico, consistió en la realización de un corte a todos las capas (ubicación, Geología, Geomorfología, Taxonomía, Uso potencial de la tierra, Clima e Hidrología) utilizando el módulo de ArcMap de ArcGis. Posteriormente se realizó la edición final de los mapas y redacción del primer objetivo.

En la realización de la modelización hidrológica, utilizando SWAT; la metodología comprendió las siguientes etapas: (i) procesamiento de los datos de entrada; (ii) cálculo de variables; y (iii) procesamientos de base de datos y generación de mapas. En estación meteorológica de Condega código: 45050, se encontraron en un 90% los datos requeridos para la ejecución del modelo. Las dos estaciones restantes que fueron utilizadas contenían datos de precipitación, evaporación y punto de rocío. Se procedió a revisar y tabular los datos climáticos y de suelo en Excel y posterior en notepad para su incorporación a SWAT.

El modelo dividió la cuenca en múltiples subcuencas, que a su vez se subdividen en unidades de respuesta hidrológicas (HRUs) homogéneas, tomando en cuenta uso de la tierra, topografía y las características del suelo. Se introducen datos de

información climática diaria de precipitación (mm), temperatura máxima y mínima, radiación solar y humedad relativa procedentes de los últimos 11 años.

Para la aplicación del modelo se requiere determinar 16 parámetros para cada tipo de suelo, de los cuales 10 son específicos por estrato; Clase textural, profundidad, horizonte porcentaje de arena, limo, arcilla, tipo de suelo y taxonomía. (Ver anexo 2: *Reconocimiento y caracterización de los recursos Edáficos, Hídricos y Forestales del Municipio de Condega Pág. 112*).

En la determinación del grupo hidrológico y conductividad Hidráulica Saturada, se utilizó la metodología propuesta por MOPU (1990)⁴ en el cual se gráfica sobre el diagrama textural los porcentajes de limo, arcilla y arena obtenidos para la Microcuenca Rio Pire. (Ver Anexo 4: *Diagramas utilizados para la determinación del grupo Hidrológico y conductividad Hidráulica saturada de los perfiles de suelo pág. 115*). El contenido de carbono orgánico y conductividad eléctrica, se obtuvieron de la base de datos armonizadas de suelo del mundo de la FAO (HWSD)⁵ (Ver anexo 3, *datos de perfiles de suelo para Nicaragua, pág. 114*).

En cuanto al factor erodabilidad (K-Usle) se utilizó la Metodología para evaluación de erosión hídrica en cuencas y vertientes, Modelos USLE.⁶

Para ello se empleó la ecuación que presenta a continuación:

$$K = 2,71 \cdot 10^{-6} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - a) + 4,2 \cdot 10^{-2} \cdot (b - 2) + 3,23 \cdot 10^{-2} \cdot (c - 3)$$

Dónde:

K: Factor de Erodabilidad del suelo (t.m².h/J.ha.cm).

M: X.Y

X: porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0,002 y 0,1 mm es decir limo y arena muy fina.

Y: porcentaje de partículas comprendidas entre 0,002 y 2 mm (es decir 100-% arcilla)

a: Porcentaje de Materia orgánica.

b: Clase de estructura del suelo

⁴ Pequeña Guía de uso del modelo MODIPÉ. Disponible

<http://www.oasification.com/archivos/Peque%C3%B1a%20gu%C3%ADa%20de%20uso%20del%20modelo%20MODIP%C3%89.pdf>

⁵ Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/mapas-historicos-de-suelos-y-bases-de-datos/base-de-datos-armonizada-de-los-suelos-del-mundo-v12/es/>

⁶ Disponible en

http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/Evaluaci%F3n%20Erosi%F3n%20en%20Cuencas_Ucauca_feb07.pdf

c: Clase de permeabilidad

Para la información topográfica se utilizó el modelo de elevación digital del terreno (DEM) de 30 metros, y finalmente se realiza la simulación de los escenarios (Uso actual y potencial).

En cuanto a la evaluación de la calidad del agua la recolección de las muestras, se realizó en horas de las 6h00 a 9h30, posterior se trasladaran a los laboratorios del CIRA-UNAN.

Análisis físico – químico.

Las muestras para los análisis físico-químicos se captaron, preservaron, transportaron y analizaron tomando en cuenta los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales y Aguas Naturales del CIRA-UNAN, que obedecen a los procedimientos descritos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition.

Análisis bacteriológico

Las muestras para análisis de Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli y Estreptococos, se captaron en recipientes de plástico, de 1 litro y de material no tóxico (polipropileno), cubiertos con papel de aluminio. Las muestras fueron transportadas en un periodo no mayor a 8 horas al laboratorio; posterior se analizaron de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología del CIRA / UNAN, que obedecen a los Métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 1999, 20th edition.

Organoclorado y organofosforado

Las muestras de plaguicidas se colectaron en botellas de vidrio de 5 litros, estériles y forradas con papel aluminio, se preservaron con 70 ml de hexano, posteriormente transportadas al laboratorio en un termo con hielo, estas muestras fueron analizadas bajo los procedimientos Operativos Normalizados por el Laboratorio de cromatografía líquida en el CIRA-UNAN, que obedecen a los métodos del Standard Methods for examination of Water and Wastewater 1990, 20th edition.

3.5 Plan de tabulación y análisis

Los resultados de los análisis físicos, químicos y biológicos, fueron analizados por período de muestreos y posterior se compararon con las normas de calidad.

La información recopilada fue sistematizada y representada por medio de tablas, gráficos realizados en Excel y mapas elaborados en ArcGis 10.

3.6 Geología

3.6.1 Geología histórica y estructural

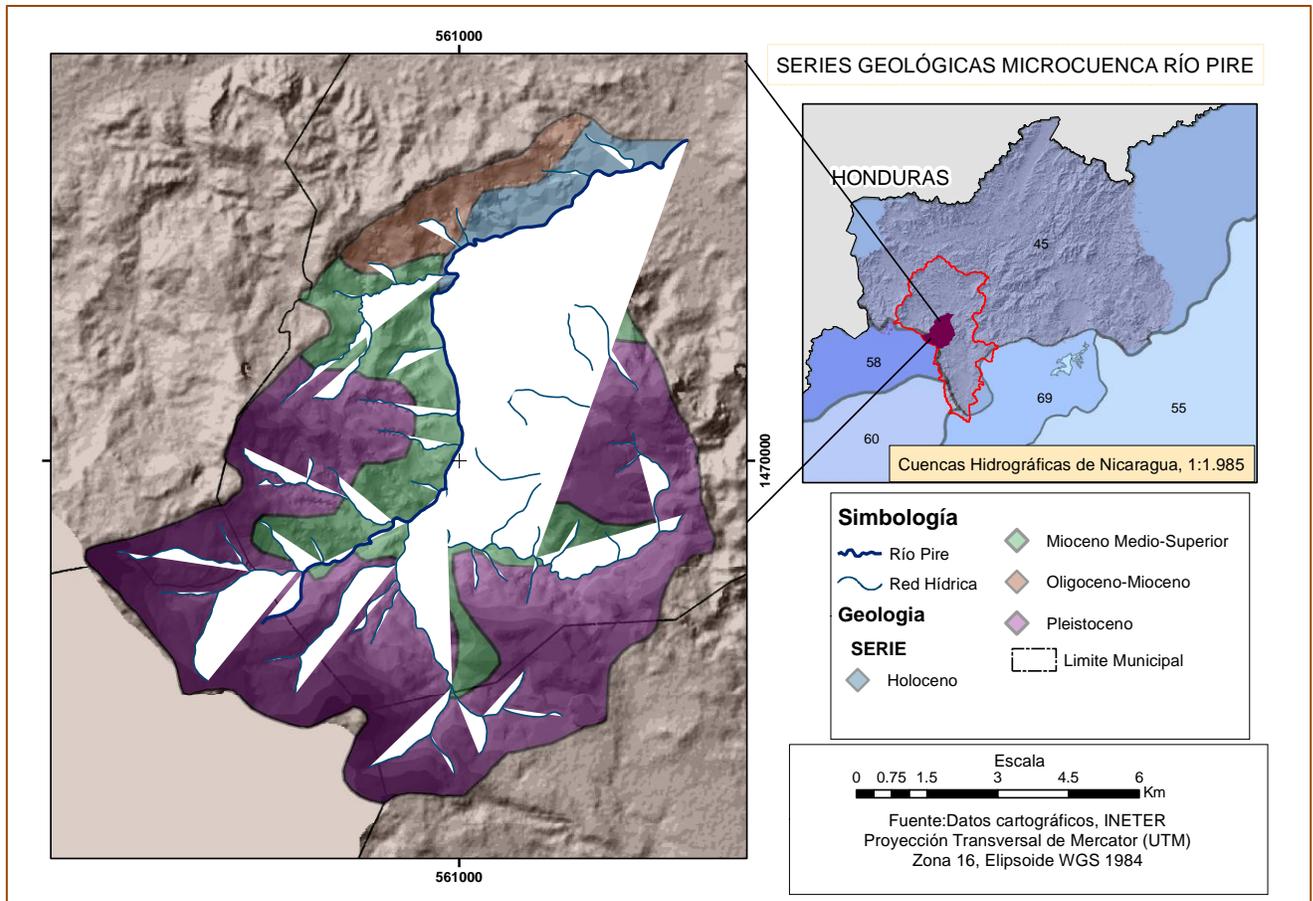
La Microcuenca del Río Pire, se encuentran ubicada dentro de la provincia central o volcánica terciaria constituidas principalmente por rocas volcánicas del terciario correspondiente a las formaciones coyol superior.

El mapa número 3, muestra cuatro series geológicas: formación del **pleistoceno** que ocupa 64.6 km² de extensión, de la era cuaternaria, con una edad de 13 millones de años. Resalta la presencia de rocas basálticas y lavas andesíticas. La segunda formación **Mioceno-medio superior**, tiene una extensión de 29.13 km², está formada por rocas basálticas, andesíticas, Ignímbritas de composición dacíticas y andesíticas, aglomerados de lavas con edad aproximada de 15 millones de años.

Las rocas basálticas presentes en la zona tienen colores desde negro a verde oscuro por la alteración de minerales ferromagnesianos piroxenos y olivino. En superficies muy alteradas el color puede ser rojizo por la liberación de óxidos de hierro procedentes de la alteración de piroxenos o del vidrio volcánico. En cuanto a su composición química contiene de 45 a 54 % de sílice y generalmente es rico en hierro y magnesio.

El grupo Matagalpa de edad **Oligoceno –Mioceno** cubre una pequeña extensión de 7 km², aflora en el sector Noreste. Estas rocas se caracterizan por una fuerte meteorización superficial que las hace más susceptibles a fenómenos de inestabilidad superficiales. Finalmente la última formación es del periodo **Holoceno** de la era cuaternaria. (Ver *mapa 3: serie geológica de la microcuenca río pire. Pág. 42*).

La parte baja de la Microcuenca de edad Holoceno es menor de 1.8 millones de años, cubre 8.5 km². Son sedimentos recientes, compuesto por guijarros, arenas y arcillas.



Mapa 3: Series geológica de la Microcuenca Río Pire

3.7. Litología y Geomorfología

De acuerdo con el mapa elaborado por Glen Hodgson V, el área pertenece a la provincia central, desarrollándose durante un proceso de intenso vulcanismo del terciario. Durante esta etapa se originó la cadena volcánica de la Sierra Isabelia y las fisuras de Amerrisque que facilitaron las erupciones de ignímbritas del mioceno.

La provincia central está caracterizada por el gran volumen y predominio de rocas volcánicas del terciario, que datan desde la época Eoceno hasta el Plioceno. Las rocas terciarias más comunes son: Basalto, andesita, dacita, toba, ignímbritas y sedimentos piroclásticos y están agrupados en tres grandes grupos: El pre-Matagalpa (sedimentos piroclásticos pre-terciario), el Matagalpa (terciario inferior) y el coyol (terciario superior) y un cuarto grupo al incluir también las de la Formación Tamarindo.

Esta provincia fue la más afectada por movimientos tectónicos con la intrusión de una gran variedad de rocas ígneas intrusivas, que son fuentes de mineralización,

por debajo de las rocas de esta provincia se encuentran rocas sedimentarias del cretáceo y terciario.

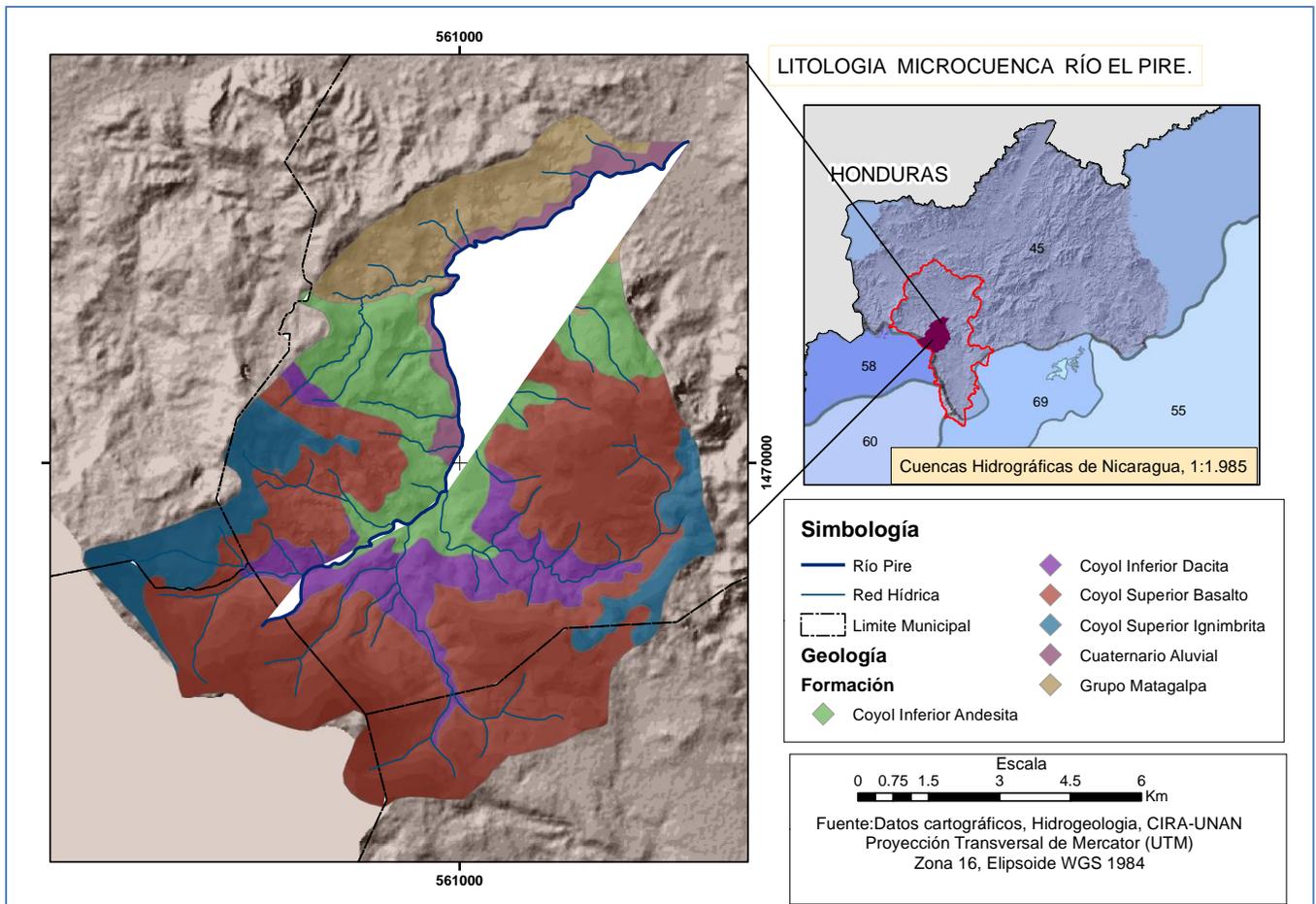
La Microcuenca presenta seis unidades estratigráficas:

Coyol superior basalto (Tpcb): Es una de las formaciones más extensas, ocupa un total de 52 km², se localizan en la zona sur y sureste del área. Se compone de basalto piroxeno y olivino (probablemente derivado del magma toleítico, de color gris oscuro, de textura afanítica a porfirítica), aunque en ciertos afloramientos se observan cambios graduales a andesitas (fenocristales grandes o listones de plagioclasas). (Hodgson, 2000)

Coyol inferior andesita (Tmca): Considerada la segunda unidad estratigráfica de mayor extensión (18.9 km²). Se ubica en la parte media, bordeando el cauce principal y extendiéndose en dirección oeste. Esta formación es ligeramente diferente a la morfología de las otras formaciones del Coyol, aquí no se diferencia las extensas mesas o grandes bancos horizontales; por el contrario presenta morfología de relieve irregular y variable, debido al intenso vulcanismo, deformaciones estructurales y la susceptibilidad a la meteorización. (Hodgson, 2000).

Grupo Matagalpa (Tomm): Localizado en su totalidad en la parte baja, ocupan un área de 13 km². Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo), con intercalaciones de sedimentos lacustre. Las rocas de este grupo se caracterizan por una fuerte meteorización superficial que las hace más susceptibles a fenómenos de inestabilidad. Cuando las rocas de este grupo afloran, generalmente forman una superficie lisa con escasa vegetación. (Hodgson, 2000).

Coyol Inferior Dacita: Esta formación del Coyol inferior está constituida por dacita ignimbrítica, Riolita y Toba soldada pomácea rosada, Toba soldada pomácea - obsidianas, ignímbritas andesíticas, con brecha y aglomerado. Hay interestratificación de sedimentos tobáceos al igual que en su nivel superior. En la Microcuenca ocupa un área de 10.3 km², ubicado en la parte alta y media.



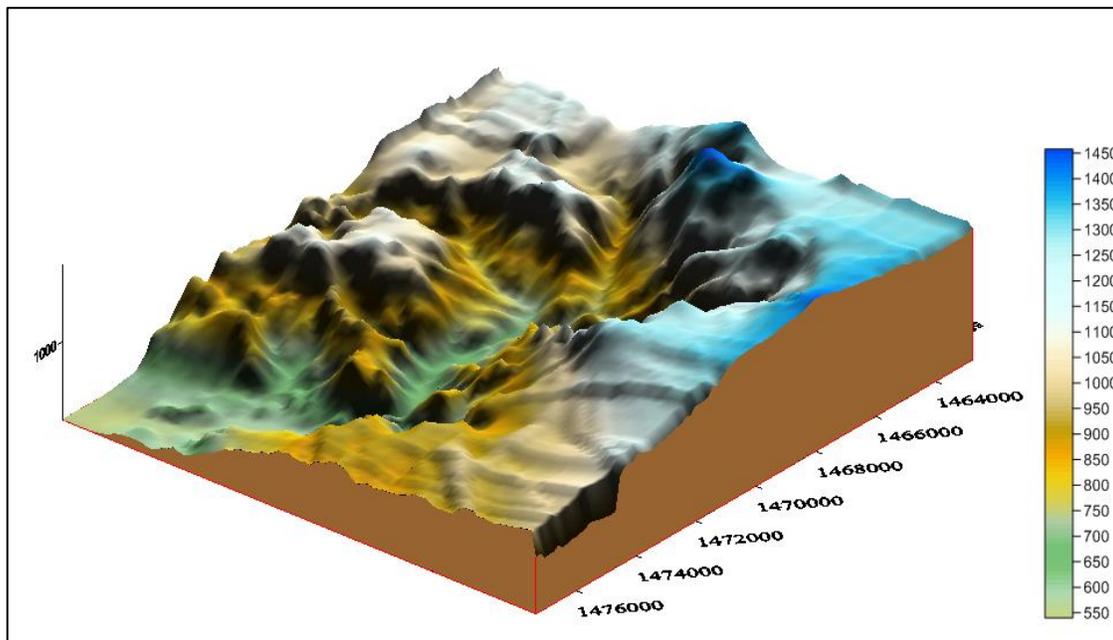
Mapa 4: Litologías Microcuenca Río Pire

Grupo Coyol superior Ignímbritas (Tpci): Esta formación está constituida por una secuencia en transición hacia arriba de andesita ignimbrítica a través de toba y ignímbritas dacíticas, riocacita con intercalaciones de toba lítica pomáceas, soldada y desvitrificada, brecha de obsidiana, perlita y toba vítrea (calcedonia u ópalo) y cristalina y en asociación a una intensa actividad hidrotermal y silicificación. Las rocas generalmente se encuentran en áreas aisladas y muy próximas a los centros eruptivos. Este grupo se ubica en los bordes este y oeste de la parte alta de Microcuenca, ocupando una extensión de 10.22 km².

Cuaternario aluvial (Qal): En extensión representa 4.5 Km², localizadas en todo el borde del cauce principal de la Microcuenca. Las mismas son acumulaciones de sedimentos depositados. Son materiales de granulometría arcillas y arenas

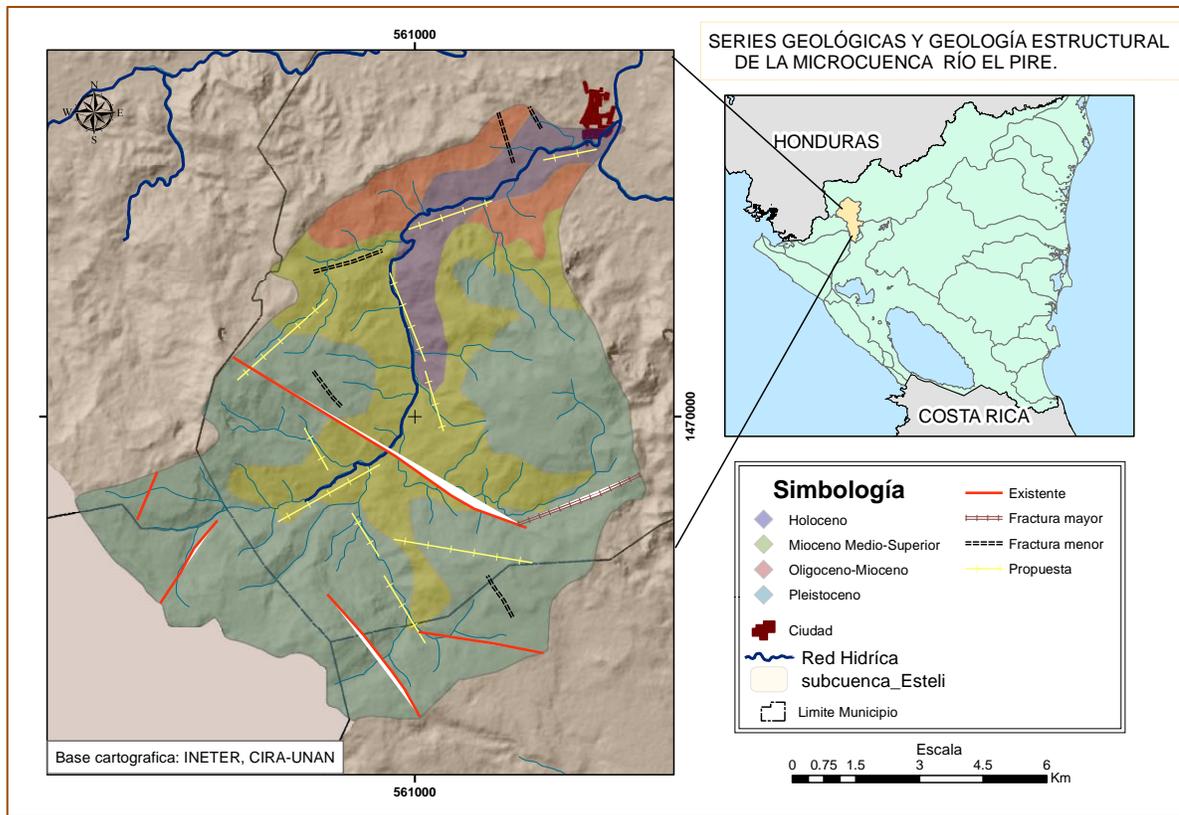
En el mapa número 5: *geomorfología, microcuenca el río pire*. pág. 45, muestra que la Microcuenca presenta relieve irregular con pendientes fisiográficas de escarpadas a extremadamente escarpadas. Se observan mesas y pequeñas planicies intercratéricas: con diferencias marcadas en altitud y diversidad de sistemas terrestres, que varían desde los 550 metros de altura en el valle de Condega hasta los 1,450 metros en la parte montañosa. (INIFOM, 2000).

La mayoría de las pendientes se encuentran desprovistas de vegetación, dado que gran parte del área en estudio ha sido sometida al despale indiscriminado. Sumado a esto las pendientes favorecen directamente el escurrimiento y arrastre de sedimentos que se depositan en la parte baja de la Microcuenca.



Mapa 5: Geomorfología, Microcuenca el Río Pire

En cuanto a la geología estructural, en el área existen algunas estructuras tectónicas que se encuentran representadas por fallas y diaclasas inferidas por fotos aéreas, evidencias topográficas, geomorfología y desplazamiento de rocas. La falla principal localizada en la microcuenca tiene una dirección de este-oeste que atraviesa horizontalmente toda el área. A demás de contabilizarse 5 fallas existentes.



Mapa 6: Fallas geológicas localizadas en la microcuena Río Pire

3.8. Taxonomía

Los suelos de Nicaragua se han clasificado en órdenes principales dependiendo del origen se encuentran: molisoles, inceptisoles, alfisoles, ultisoles, vertisoles, Entisoles. En la microcuena se han identificado 4 taxonomías de suelos, que a continuación se detallan: (*Ver mapa 7: ordenes de suelo en la microcuena el río Pire Pág. 48*).

Los procesos de formación del suelo, son una secuencia de sucesos que incluyen reacciones químicas, físicas (redistribuciones de la materia) y biológicos cuyas síntesis determina el grado de desarrollo y evolución de los suelos. La meteorización o intemperización es un proceso precursor de la formación del suelo, realizándose este con la intervención de agentes climáticos (temperatura precipitación) y organismos vivientes (plantas y animales), este proceso es una transformación gradual de los minerales primarios de las rocas, a través de procesos físicos, químicos y biológico, confiriéndole al suelo características que lo distinguen del material original. La importancia que tiene la génesis de los suelos radica en permitir

predecir el comportamiento frente a distintas condiciones de manejo (evolución regresiva). (Baéz , 1998).

Entisol: Suelos de formación reciente o joven, los mismos no han sufrido efectos evolutivos significativos. Estos suelos en su momento tuvieron horizontes diferenciados, pero en la actualidad por el proceso erosivo al que están sometidos no presentan horizontes desarrollados. Los procesos de formación que más influyen son la transformación del material rocoso y la ganancia de materia orgánica, seguido por procesos de erosión intensa.

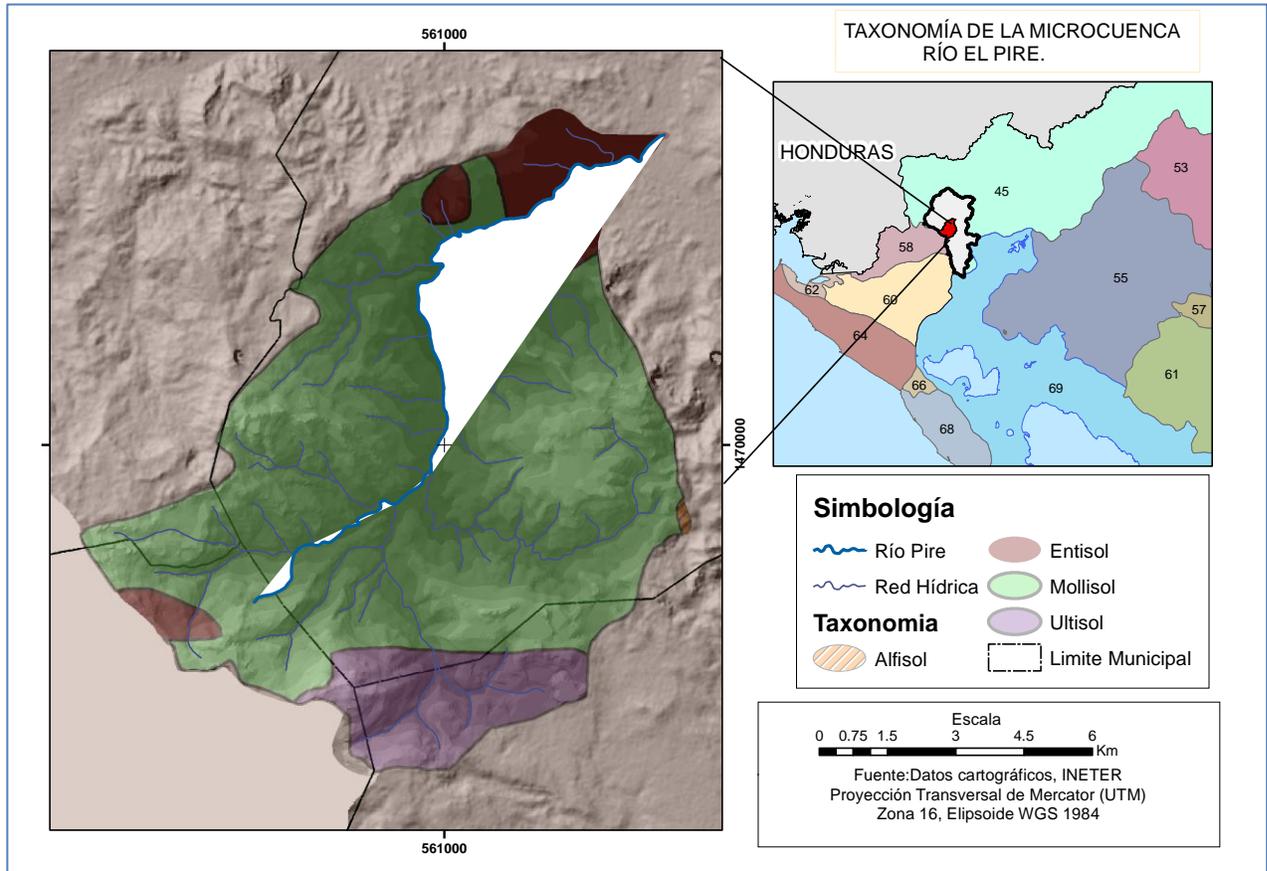
Los Entisoles son principalmente suelos que carecen de un horizonte de diagnóstico que no sea óchrico. Son comunes en superficies geomorfológicas recientes, con pendientes escapadas que están sujetas a erosión activa o en abanicos aluviales donde se han depositados materiales recientes erosionados. *En el mapa 7: ordenes de suelo en la microcuenca río Pire pág.48*, los suelos Entisoles se localizan en la sector norte y suroeste, ocupando un total de 10.6 km². Con respecto a las características morfológicas estos suelos se localizan al norte en alturas de 600 hasta los 800 m. En cuanto al sector suroeste se localiza a partir de los 1000 hasta los 1400 m. Presenta espesores entre 20 a 50 cm aproximadamente.

Su uso potencial o uso adecuado es forestal o vegetación natural, variedades de pastos adaptables a las condiciones y conservación de la flora y la fauna. (Hudiel, 2012).

Molisol: Ocupa 87.83 km², son suelos con desarrollo juvenil que presentan una secuencia de desarrollo de A-B-C; presentan horizontes diferenciados, tienen un epipedón mólico (capa de suelo negro, suave y de fácil laboreo) de 1% o más de materia orgánica. Generalmente tienen un espesor de 18 cm a más de 25 cm, tienen una saturación de bases (Calcio, Potasio, Magnesio, y sodio) mayor del 50%. (Baéz , 1998). En cuanto a sus características químicas, el contenido de materia orgánica es de muy bajo a alto, el pH es de fuertemente ácido a muy fuertemente alcalino. De acuerdo a las características edafológicas y climáticas estos suelos son aptos en pendientes de 30–50% se consideran aptos para bosques de explotación, bosque de protección, bosque de conservación y para agroforestería, mayores a 50% son apropiados únicamente para bosque de protección y conservación de la flora y fauna. (Hudiel, 2012).

Ultisol: Se localiza en el sector sur, son suelos maduros que poseen horizontes de diagnóstico bien definido formados por un epipedón óchrico sobre un horizonte B argílico con procesos evidentes de lixiviación presentando una secuencia de horizontes de A-B-. Tienen un drenaje interno natural de imperfecto a bien drenados, de profundos a muy profundos, en relieve plano a muy escarpado. La fertilidad

natural tiene valores de baja a media, con un contenido variable de aluminio. Estos suelos se han desarrollado a partir de rocas básicas, intermedias y ácidas, de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales. (Hudiel, 2012).



Mapa 7: Ordenes de suelo en la Microcuenca el Río Pire

Un suborden del Ultisol es el Humults, el cual tienen un elevado contenido en materia orgánica pero sin hidromorfismo. Se encuentran en zonas montañosas con pendientes elevadas y con una alta tasa de precipitación, aunque con periodos de baja humedad durante algunas estaciones. No obstante la gran mayoría están destinados para recursos forestales, encontrándose en ellos bosques de coníferas o vegetación forestal. (Asensio & Gisbert, 2000). Los suelos con pendientes de 30–50% son aptos para agroforestería y bosque, con prácticas y planes de manejo. Los suelos con pendientes >50% son aptos para bosques de protección o conservación de la flora y la fauna.

Alfisol: unos de los suelos con menor extensión (0.15 km²), tienen un epipedón ocrico, un horizonte argílico y una saturación de bases de moderada a alta (>35%). Se caracteriza por ser maduros, bien desarrollados con un horizonte superficial de

color claro (epipedón ócrico) o de color oscuro (epipedón úmbrico) y un subsuelo de acumulación de arcilla iluvial (horizonte argílico); de muy profundos a pocos profundo (60 a > 120 cm). En relieve de plano a muy escarpado, con una fertilidad de baja a media; desarrollados a partir de rocas ácidas, básicas, metamórficas, materiales indiferenciados y estratos sedimentarios de lutitas.

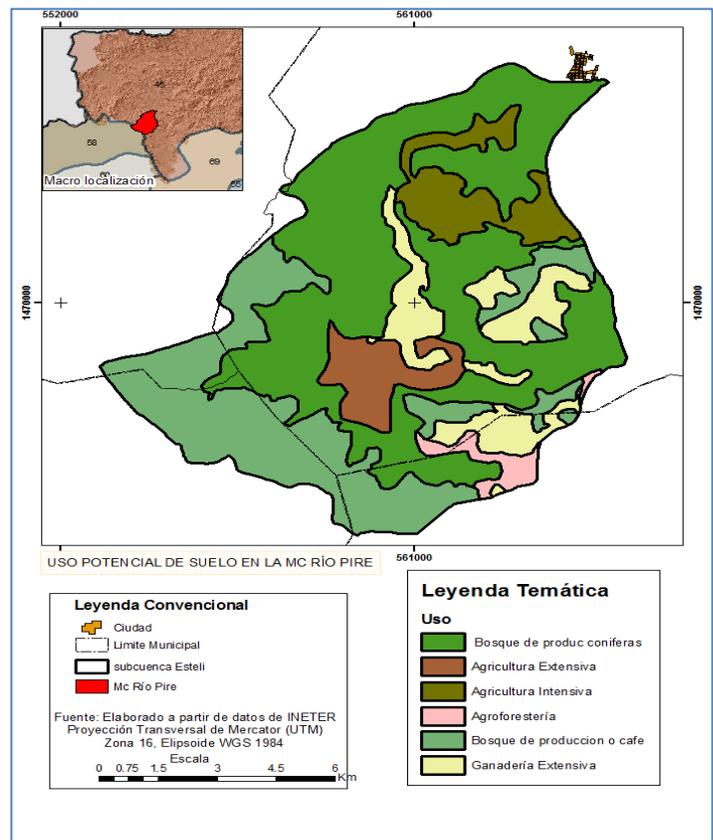
3.9 Uso potencial de la tierra

En el mapa numero 8: *Uso potencial de la tierra (MAGFOR)*, pág. 49, se observa que el 57% del territorio presenta suelo apto para la producción de Bosque de coníferas, dada las condiciones climáticas y relieve. En su mayoría estos suelos se extienden desde el sector sur hasta el Norte entre 400 a 900 metros de altura.

Suelos localizados en pendientes mayores 900 metros ubicadas al sur de la microcuenca, son aptos para la producción de bosques latifoliados o cultivos perennes (café). Representan el 26% del territorio con respecto área total. Esta zona presenta condiciones de recarga hídrica alta, por lo cual se debe de garantizar el uso ya establecido con respecto a su vocación.

En cuanto a la actividad pecuaria, se encuentra suelos con gran aptitud para la ganadería que se ubican en el centro y sureste de la microcuenca representando aproximadamente el 10.36%. Las áreas potenciales para la agricultura de carácter intensiva (7.48%) se localizan en la parte norte en alturas no mayores a los 500 metros; estas zonas se consideran como de recarga media.

Es importante tomar en cuenta que existen otros usos potenciales que representan un porcentaje muy bajo, entre ellos tenemos las agricultura extensiva (5.4%) que se ubica entre los valles intramontanos de Condega con cultivos como tabaco, hortalizas y pastizales para



Mapa 8: Uso potencial del suelo en la Microcuenca el Río Pire

ganadería, al igual existen unas pequeñas áreas con vocación para la agroforestería (2.1%).

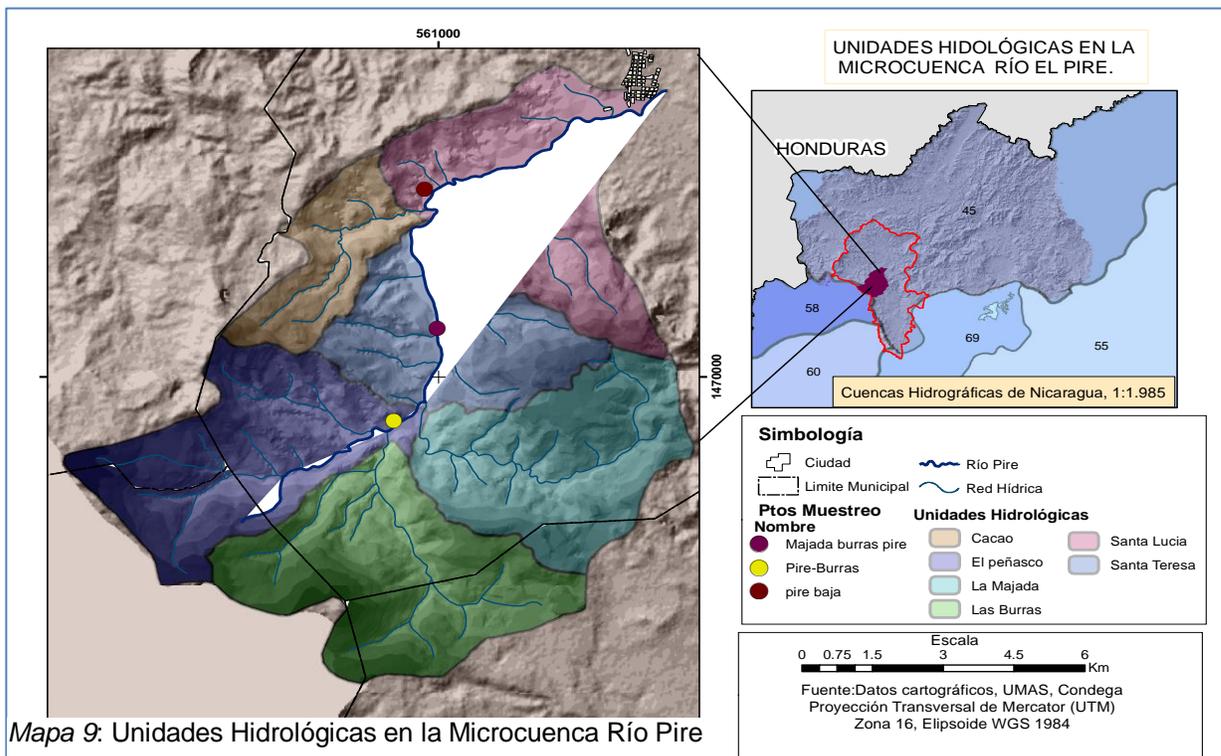
3.10 Clima

El clima en el área es Sabana Tropical; las precipitaciones anuales van desde los 800 a 1200 mm. Se considera una de las zonas más secas del país; con menor cantidad de agua disponible para la agricultura y ganadería. En cuanto al comportamiento de la canícula, es severa con un periodo de duración mayor de 40 días.

3.11 Hidrología

La Microcuenca del río Pire pertenece a la Cuenca del Río Coco, una de las más extensas a nivel de Centroamérica; a su vez en ella se ubica la subcuenca Estelí a la cual pertenece al área en estudio.

La Microcuenca se divide en 6 unidades hidrológicas. (Ver mapa 9, Pág. 50); y el afluente principal es el Río Pire que nace en la unidad hidrológica el Peñasco a una altura aproximadamente de 1120 metros. El río tiene una extensión de 17.69 km.



En la ficha municipal de Condega, acápite *5.13 Hidrología y recursos Hídricos*, explica que en su mayoría la lluvia que cae se escurre rápidamente y la mayor parte del agua caída se pierde por escorrentía, causando fuertes procesos de erosión en los suelos y una baja infiltración que alimenta al manto acuífero. Los volúmenes de agua escurrida para la microcuenca se estiman en **2, 792,926 m³/ año**.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La remoción de la capa superficial del suelo debido a la erosión provoca efectos en las características físicas y químicas del suelo, produciendo reducción en la infiltración del agua y disminución del almacenamiento. El aumento de sedimentos provenientes de las áreas de cultivos que se deposita en los cauces y la parte baja de la cuenca afecta en gran medida la calidad del agua superficial.

Cuando la tierra no se usa de acuerdo a su vocación ni se trata de acuerdo a sus necesidades de conservación, ocurre que su funcionamiento hidrológico no es el deseable. (Hernández, 1990); esto trae consigo un efecto económico-social bien definido como es la pérdida de productividad de los suelos. Para ello en la microcuenca se estima la variable caudal, sedimentos, escorrentía; balance hídrico, tomando en cuenta el uso de suelo 2015 y comprándolo con el uso potencial utilizando el modelo SWAT; además de evaluarse el componente calidad del agua superficial.

4.1 Datos de entrada del modelo SWAT

Los datos de entrada son:

- Uso de suelo año 2015
- Tipo de suelo
- Características físicas y químicas por horizonte de suelo.
- Datos climáticos: Temperatura, Precipitación, Humedad relativa, Viento y radiación solar y puntos de rocío. (2005-2016).
- Modelo de elevación digital el terreno (DEM 30 metros)

4.1.1 Usos de suelo 2015

El cambio de uso de suelo, se da principalmente a través de la expansión de las áreas dedicadas a la ganadería, cultivos anuales y agricultura de carácter migratorio, lo cual constituye uno de los factores responsables de las pérdidas de bosque.

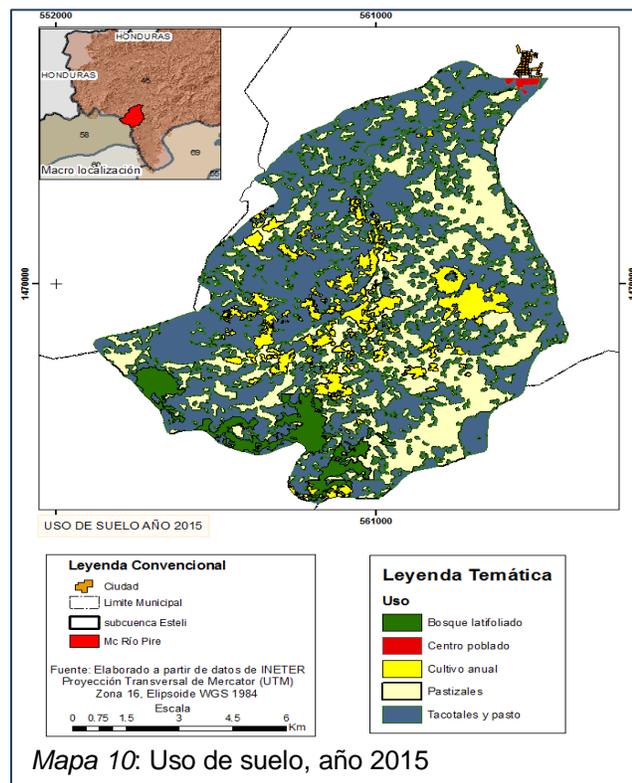
En la ficha municipal de Condega, *acápite 5.12.1, pág. 15*, explica que los bosques latifoliados; coníferas (pino) han sido sobreexplotados y convertidos en pastizales, quedando un remanente de bosque denso de apenas un 0.27% del área total (0.93 km²), ubicados en terrenos escarpados. El uso más productivo es la protección de los recursos existentes. Sin embargo el 70% del territorio municipal es de vocación forestal. Una de las alternativas propuestas para frenar esta situación, es la

implementación de los sistemas agroforestales de cultivos perennes, semiperennes y especies forestales de madera de serrar y de leña. Esto contribuye a la protección de la vida silvestre y la restauración de los recursos naturales degradados en el área sobre-utilizada.

El acápite 2.1: Uso potencial de la tierra, muestra seis categorías de uso basadas en las condiciones climáticas, taxonomía y relieve. Un 57% del territorio en estudio presenta vocación forestal y un 26% bosque de producción y café. La ocupación de suelo en la microcuenca ha variado en los últimos años, consecuencia del aumento demográfico y la ocupación de tierras para actividades agropecuarias. En el año 2015, las áreas de mayor extensión se encuentran ocupadas por tacotales y pasto (54.5 km²), pastizales (41 km²), cultivo anual (8.1 km²), bosque latifoliado (5.2 km²) y centro poblado (0.2 km²).

Tabla 10
Clases de uso de suelo año, 2015

Clase	Área km ²	Código
Pastizales	41.0 (37.6%)	Past
Tacotales y pasto	54.5 (50%)	Tac/pas
Centro poblado	0.2 (0.1%)	Cp
Cultivo anual	8.1 (7.4%)	Can
Bosque latifoliado	5.2 (4.7%)	BI
Total	109.00	



La agricultura de carácter extensivo acrecienta las áreas desprovistas de vegetación, provocando un mayor arrastre de sedimentos y degradación de los suelos. En el mapa 10: Uso de suelo, pág. 53, muestra el uso de suelo actual en la microcuenca

4.1.2. Datos a nivel de horizonte del suelo

En el acápite 3.8: Taxonomía, pág.46 se explican las características, extensión y localización de los tipos de suelos presentes en las microcuenca. Aquí se presenta un promedio de los datos introducidos al modelo. En la tabla 13 se presentan los valores por horizonte para cada tipo de suelo. (*Ver datos de perfiles de suelo pág. 57*).

Tabla 11

Variables de entrada necesarias en la modelización en SWAT

UNIDAD			<i>mm</i>	<i>g/m3</i>	<i>mm/hr</i>	<i>% Peso</i>	
SNAM	HYDG RP	TEXTUR E	SOL_Z	SOL_BD	SOL_K	SOL_CB N	pH
Alfisol	C	A	1200	0.001176	10	0.687	6.4
Entisol	B	FAa	880	0.001212	145	0.155	6.8
Molisol	B	Fa	1000	0.001191	104	1.123	7.1
Ultisol	B	FA	90	0.00114	250	0.81	7.1
			<i>% Peso</i>	<i>% Peso</i>	<i>% Peso</i>	<i>dS/m</i>	<i>s/u</i>
UNIDAD	HYDG RP	TEXTUR E	SOL_CLA Y	SOL_SIL T	SOL_SAN D	SOL_EC	USLE_ K
Alfisol	C	A	66	23	11	0.12	0.101
Entisol	B	FAa	20	22	58	1.5	0.963
Molisol	B	Fa	22	28	50	0.24	0.157
Ultisol	B	FA	63	16	21	0.16	0.209

HYDGRP: Grupo hidrológico. **TEXTURE:** Textura. **SOL_Z:** Profundidad desde la superficie del suelo Hasta el final de la capa. **SOL_BD:** Densidad de humedad-volumen. **SOL_K:** Conductividad hidráulica saturada. **SOL_CBN:** Contenido de Carbono Orgánico. **SOL_CLAY:** Contenido de arcilla. **SOL_SILT:** Contenido de limo. **SOL_SAND:** Contenido de arena. **SOL_EC:** Conductividad eléctrica. **USLE_K:** Ecuación Universal de Perdida del Suelo.

4.1.3 Reclasificación de usos de suelo con categorías de SWAT

Tabla 12
Categoría de usos de suelo reclasificados en SWAT

Usos de suelo 2015	Recalificados en SWAT
Bosque latifoliado ralo	FRSE:
Centros poblados	URML:
Pasto	PAST:
Tacotal y pasto con maleza	RGNB:
Pastizales	RNGE
POTENCIAL	
Bosque de conífera	PINE
Bosque de producción o café	FRSE
Agroforestería	FRSD
Ganadería extensiva	PAST
Agricultura intensiva	AGRL
Agricultura Extensiva	AGRR

4.1.3 Datos climáticos

Se utilizó datos diarios de precipitación, humedad relativa, radiación solar, viento, temperatura de los últimos 11 años (2005-2016), modelo de elevación digital del terreno con una resolución de 30 m.

Tabla 13
 Datos de entrada por horizonte de suelo para la modelización en SWAT

Tipo de suelo (1)	Suborden(1)	Grupo Hidrológico(1)	Clase textural(1)	Horizonte(1)	Profundidad cm(1)	Densidad aparente g/cm ³ (2)	Conductividad Hidráulica Saturada mm/hr	Porcentaje de arena (1)	Porcentaje de limo (1)	Porcentaje de arcilla (1)	Carbono orgánico % peso (2)	Conductividad eléctrica dm/s (2)	TOTAL	Arena fina (1)	MO (a) (1)	M (4)	clase de Permeabilidad (C) (3)	Clase de estructura (3) (b)	K USLE/Erodabilidad (4)	pH			
AFISOL	Vertic Haplustalfs	C	A	Alp	0-30	0.00107	10	17	39	44	1.76	0.1	100	39	8.8	218	4	5	2	0.120173439	6.3		
		C	A	Bt 1	30-62	0.00112	10	9	18	72	0.33	0.1	100	18	2.2	504	5	2	0.09658646	6.2			
		C	A	Bt2	65-95	0.00136	10	9	14	77	0.33	0.1	100	14	0.9	322	5	2	0.086339421	6.4			
		C	A	Bt3	95-128	0.00114	10	10	19	71	0.33	0.1	100	19	0.91	551	5	2	0.104669476	6.9			
ENTISOL	Vertic Ustorthents	B	Faa	Al	0-15	0.00112	160	46	23	31	0.1	1.5	100	23	3	158	7	3	2	0.108609921	7.3		
		B	Faa	A2	15-42	0.00125	160	48	25	27	0.1	1.5	100	25	2	182	5	3	2	0.141517113	6.1		
		B	Faa	C	42-58	0.00126	160	49	22	29	0.1	1.5	100	22	7.5	156	2	3	2	0.05333081	7.0		
	Typic Udorthents	B	Fa	Alp	0-27	0.00112	130	64	23	13	0.21	1.5	100	23	7.5	200	1	2	2	0.038429972	6.9		
		B	Fa	Bw	27-65	0.00125	130	68	21	11	0.21	1.5	100	21	1.1	186	9	2	2	0.126200411	6.8		
		B	Fa	C	65-88	0.00126	130	70	19	11	0.21	1.5	100	19	1.03	169	1	2	2	0.110017934	7.1		
Mollisol	Fluventic Haplustolls	B	Fa	Alp	0-15	0.00121	130	54	28	18	1.71	0.1	100	28	2.7	229	6	2	2	0.138685856	6.9		
		C	FA	A2	15-24	0.00121	250	38	35	27	1.71	0.1	100	35	3	255	5	4	2	0.219212106	6.5		
		B	F	A3	24-44	0.00117	80	43	33	24	1.71	0.3	100	33	2.2	250	8	3	2	0.199263958	7.5		
		B	F	IIA b	44-51	0.00124	80	44	32	24	0.63	0.3	100	32	4	243	2	3	2	0.157057163	7.5		
		B	Fa	IIb W1	51-59	0.00123	130	63	21	16	0.63	0.3	100	21	1.5	176	4	2	2	0.110644343	7.8		
		B	Fa	IIb w2	59-69	0.00122	130	63	22	15	0.63	0.3	100	22	0.8	187	0	2	2	0.13066215	7.1		
		B	Af	C	69-80	0.00111	40	81	12	7	0.63	0.3	100	12	2.9	111	6	4	2	0.105810244	6.7		
		Udic Argiustolls	B	F	Ap	0-28	0.00117	80	33	41	25	1.71	0.1	99	41	5.9	307	5	3	2	0.156474136	6.6	
	B		Fa	Bt	28-52	0.00120	130	57	24	19	1.71	0.3	100	24	2.4	194	4	2	2	0.113700472	7.6		
	B		F	Bts s	52-80	0.00117	80	38	39	23	0.63	0.3	100	39	2.6	300	3	3	2	0.234698451	7.3		
	C		A	Bts s	80-100	0.00120	10	33	23	44	0.63	0.3	100	23	1.43	128	8	5	2	0.165142195	7.2		
	Ultisol		Hapludults	B	FA	A	0-30	0.00149	250	41	42	17	0.39	0.1	100	42	1.43	390	1	3	2	0.355618922	7.1
				B	FA	Bt	30-60	0.00149	250	23	37	40	1.83	0.2	100	37	1.43	252	0	3	2	0.216093097	7.8
			C	Fa	C	60-90	0.00149	130	63	16	21	0.21	0.2	100	16	7.5	165	9	3	2	0.057122431	6.5	

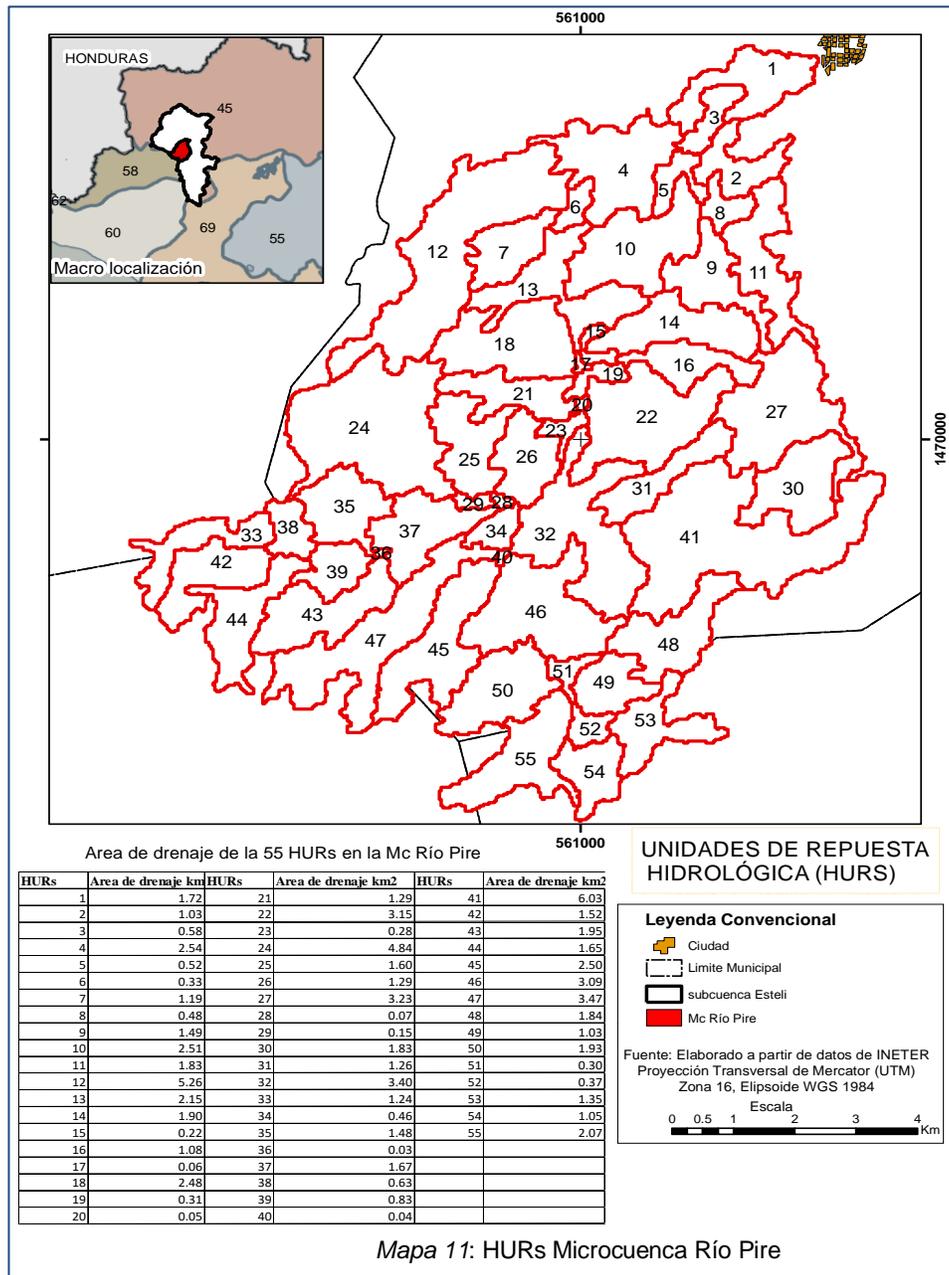
Fuente de datos:

(1): Reconocimiento y caracterización de los recursos hídricos, edáficos y forestales del municipio de Condega Departamento de Estelí, Nicaragua: levantamiento de reconocimiento de alta intensidad, Escala 1:50000, **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**. <http://repositorio.una.edu.ni/914/1/tnp10b142.pdf>. (2): Harmonized World Soil Database- Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/> (3): Simulación de Escorrentía y producción de sedimentos aplicando SWAT en las Microcuenca 7 y 13, Subcuenca III, Cuenca sur del lago de Managua, Nicaragua, (Gutiérrez Alarcón Mario Cesar). Página: 106. <http://repositorio.una.edu.ni/1030/1/tnp10g984s.pdf> (4): Metodología para evaluación de erosión hídrica en cuencas y vertientes, Modelos USLE. http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/Evaluaci%F3n%20Erosi%F3n%20en%20Cuencas_Ucauca_feb07.pdf

4.2 Resultados de las simulaciones 2006-2016.

4.2.1 Delimitación de Unidades de respuesta hidrológica (HRUs), cobertura de suelo año 2015.

Se ha establecido que los impactos observables se dan en cuencas con tamaños entre los 0.1 a 100 km² (FAO, 2005), tomando en cuenta esto, la microcuenca se dividió en 55 unidades de respuestas hidrológicas (HRUs) sobre las cuales se ha estimado el balance hídrico, producción de sedimentos, **caudales**, calidad de las aguas superficiales, y escorrentía.



4.2.2 Caudales en la microcuenca simulados por SWAT período 2007-2016

El promedio interanual del período (2007-2016) es de 28.3 m³/anual. Los caudales registrados superiores a este valor se les denominan como húmedos. Dentro del período de simulación se encuentran los años, 2010, 2011 y 2012. Los valores inferiores se catalogan como secos, correspondiente a los años 2007, 2009, 2013, 2014, 2015 y 2016: el resto de los valores se considera año promedio (2008).

El gráfico N°1 muestra un predominio de años secos, lo cual está asociado a las características climáticas de la zona, al igual estos caudales mínimos son coincidentes con años en los cuales se produjeron las más intensas sequías.

Según INETER, el ciclo 2014-2015 se consideró uno de los años en el cual el fenómeno del niño fue el más intenso del que se tiene constancia en los 136 años de registros meteorológicos. Probablemente la circulación general atmosférica del hemisferio sur ha presentado cambios a partir de la década de los años 80 (Hurrell y van Loon, 1994), y se refleje en las variables hidrológicas entre ellas caudal. *Citado por* (Guillermo, 1996).

El gráfico N°1 se observa que con respecto al promedio interanual, los máximos caudales se obtuvieron en los años 2008, 2010, 2011, 2012. Estos caudales son productos del efecto de la niña que se manifestó con intensas lluvias en el ciclo 2010 al 2011 según el INETER. Lo contrario ocurre en los años secos en los cuales se ve la influencia del fenómeno del niño en los caudales, observándose un descenso de los mismos a partir del año 2013, 2014, 2015 y 2016.

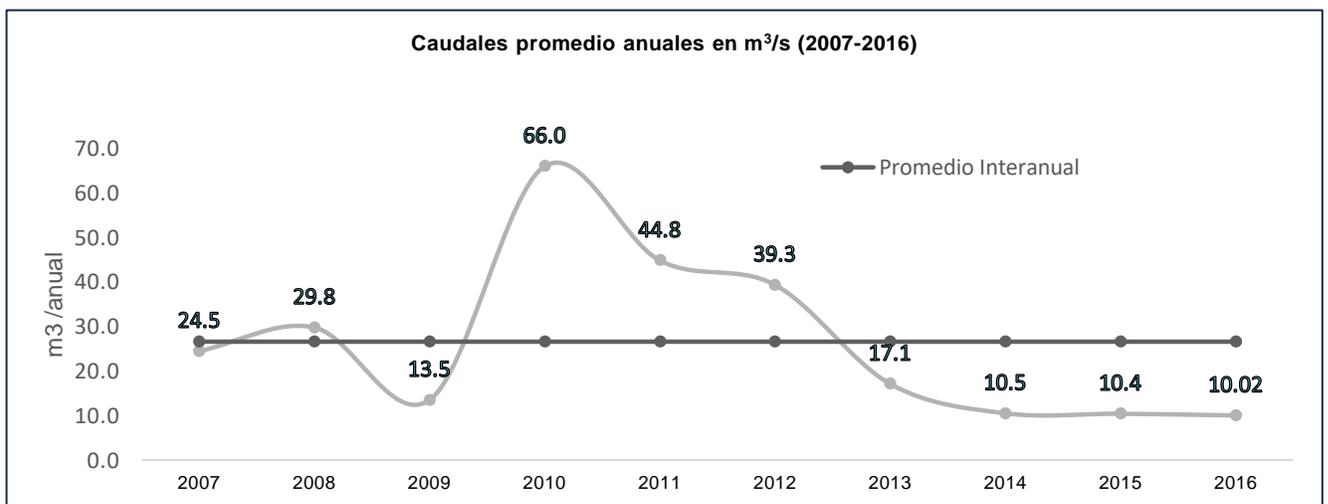


Gráfico 1: Caudales en la microcuenca simulados por SWAT período 2007-2016.

4.2.3 Caudales: Escenario 1 (Uso actual año 2016) y 2 (Uso potencial)

El gráfico N° 2, muestra los caudales promedio mensuales, obtenidos en el año 2016. Durante el período lluvioso el caudal pasa de 0.005 m³/s a un máximo de 0.08m³/s en los meses de mayo a junio. El descenso del caudal en el mes de julio a agosto está asociado a la canícula (inicio el 13 de junio y finalizado el 20 de agosto); durante este período no se presentan precipitaciones significativas mayores a los 20mm. En la época seca, los volúmenes agua no sobrepasan los 0.001 m³/mes observándose in situ que el cauce principal, prácticamente no conduce volúmenes de agua significativos sobre todo en la parte alta y media de la cuenca.

Anualmente se cuenta con flujo superficial (caudal) de 10 m³/año al ejecutar el modelo con el uso potencial, se obtuvo un volumen total de 10.2 m³/año es evidente que el cambio en el uso del suelo tiene influencia en los caudales. Al igual no se descarta que las variaciones en el caudal en cuencas se relacionen con los cambios de temperatura y la precipitación, que con los cambios de uso de suelo. Es importante tomar en cuenta que el comportamiento del caudal de un mes no solo depende de las precipitaciones mensuales, sino de las precipitaciones y caudales del mes o meses anteriores. (Girón, 1998).

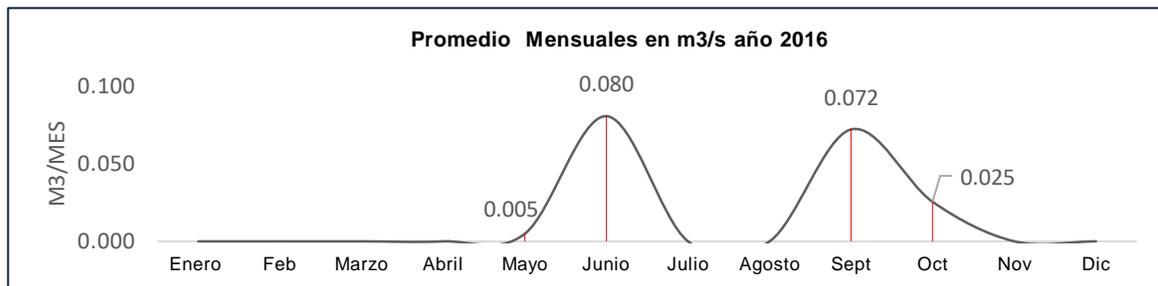


Gráfico 2. Volumen total de caudales mensuales en la Mc Río Pire año 2016.

El período estival es un período de escasez o ausencia de lluvias, por lo que las únicas aportaciones que recibe el río proceden del flujo subterráneo. En la microcuenca en particular el caudal estimado procede directamente de la escorrentía directa y la escorrentía subsuperficial o flujo lateral, dado que la descarga de agua subterránea es baja (2.8 mm/año). (Ver gráfico 8: Balance Hídrico de la microcuenca Río Pire pág.67). El efecto del cambio de uso de la tierra sobre el caudal en la estación seca depende de los procesos concurrentes, pero fundamentalmente de los cambios en la ET y de la capacidad de infiltración. El impacto neto es normalmente muy específico de las condiciones locales (Calder,

1998), en acápites posteriores se aborda por HURs los efectos del cambio de uso de suelo en el caudal.

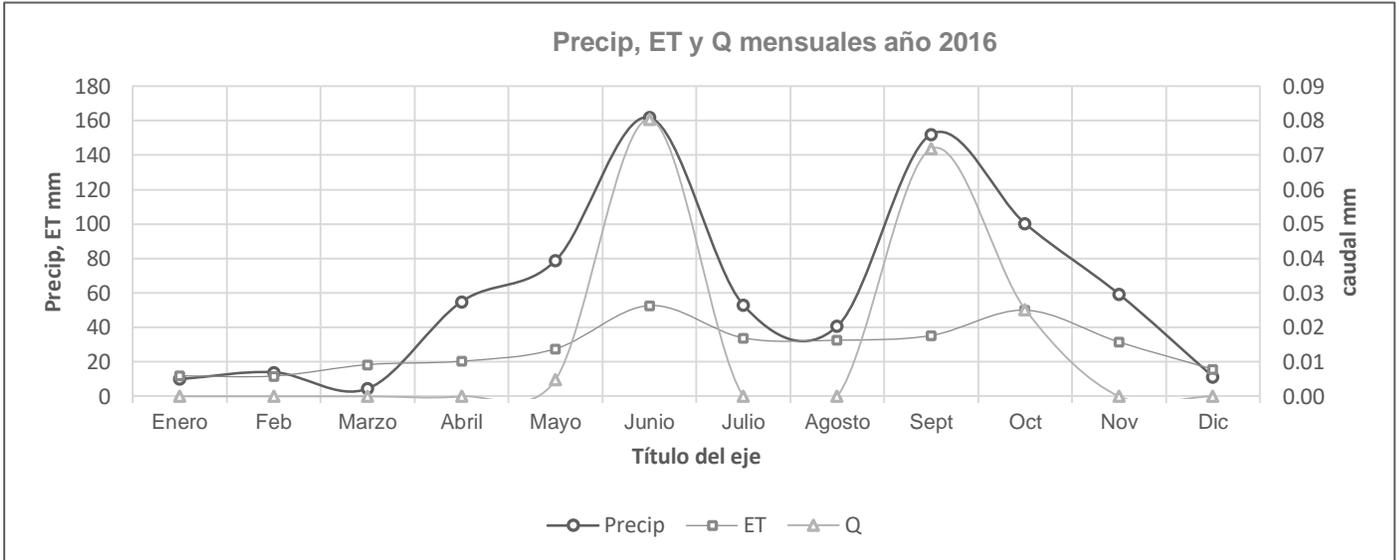


Gráfico 3. Comportamiento de la precipitación, ET y caudal en la microcuenca Río Pire. (Media mensual año 2016)

Los meses de enero, marzo y diciembre las ET fueron mayor que los registros de precipitación, indicando que los procesos de evapotranspiración son importantes en el área y tiene influencia directa en el descenso de los caudales en estos meses. In situ se observó que el cauce principal no conduce volúmenes de agua significativos durante la época seca.

A medida que las precipitaciones aumentan, lo hacen los caudales en los meses Mayo, Junio, Septiembre y octubre; parte del caudal proviene del aporte del flujo subsuperficial (Ver Tabla 14: *Resumen de los componentes del balance hídrico de la Microcuenca Río Pire* pág.68), el cual está constituido por la parte de la precipitación que infiltró en el suelo pero que se mueve horizontalmente sobre el tramo superior del suelo, por un estrato de baja permeabilidad paralelo a la superficie del suelo. Si el movimiento es rápido considera escurrimiento superficial, y si es lento se los considera escurrimiento subterráneo. Es importante destacar que SWAT no considera detalle los procesos subsuperficiales y subterráneos.

4.2.4 Escorrentía comportamiento año 2007-2016

El gráfico N°4 muestra los volúmenes de escorrentía superficial modelados por SWAT, del 100% de la precipitación caída en los años secos en promedio el 4% pasa a ser parte de la escorrentía, en lo que respecta a los años húmedos el 13% conforma la escorrentía, lo cual está asociado a los volumen de agua precipitada. . Se observan algunos eventos de mayor magnitud registrados en el año 2010, 2011 y 2012, vinculado al fenómeno de la Niña; estos máximos escurrimientos generan impactos negativos entre ellos: aumento de sedimentos, disminución del tiempo de concentración de las aguas que provoca inundaciones en la parte baja del en la microcuenca

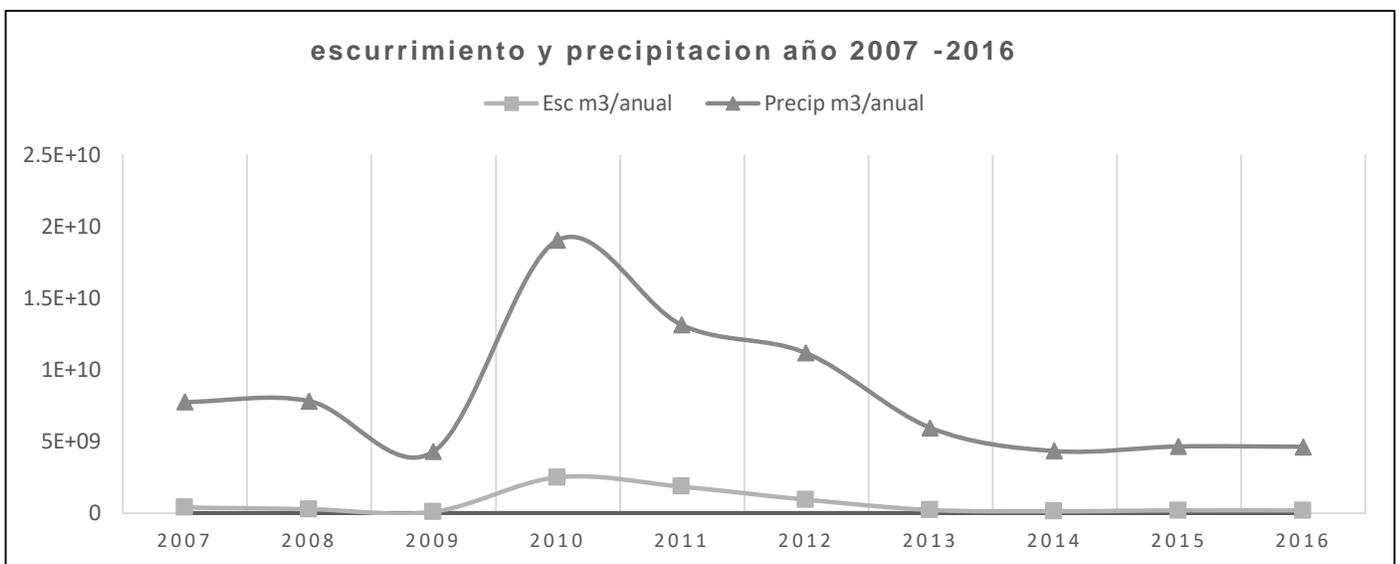


Gráfico 4. Comparación de la precipitación y los escurrimientos anuales en la microcuenca. (Volumen total anual).

Para evaluar la influencia que tiene el uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales en la microcuenca se realizó una comparación entre el uso de suelo actual y el potencial en la microcuenca y se hizo énfasis en la HURs consideradas críticas.

4.2.5 Escurrimientos (escorrentía): Escenario 1 (Uso actual año 2016) y 2 (Uso potencial)

Los máximos escurrimientos se presenta en los meses de Junio: (12.9 mm,) septiembre (17 mm) y mínimos en los meses de Noviembre: (0.3 mm), Diciembre: (0 mm), coincidentes con las máximas y mínimas láminas precipitadas, indicando que los escurrimientos dependen directamente del comportamiento e intensidad y

magnitud de las precipitaciones ocurridas, (Ver Gráfico 5 Lámina de agua precipitada y escorrentía generada en la Microcuenca Río Pire siguiente, pag.62). Estos volúmenes de agua no logran infiltrarse en el suelo en su totalidad, debido a que la intensidad de la lluvia excede la capacidad de infiltración de los suelos.

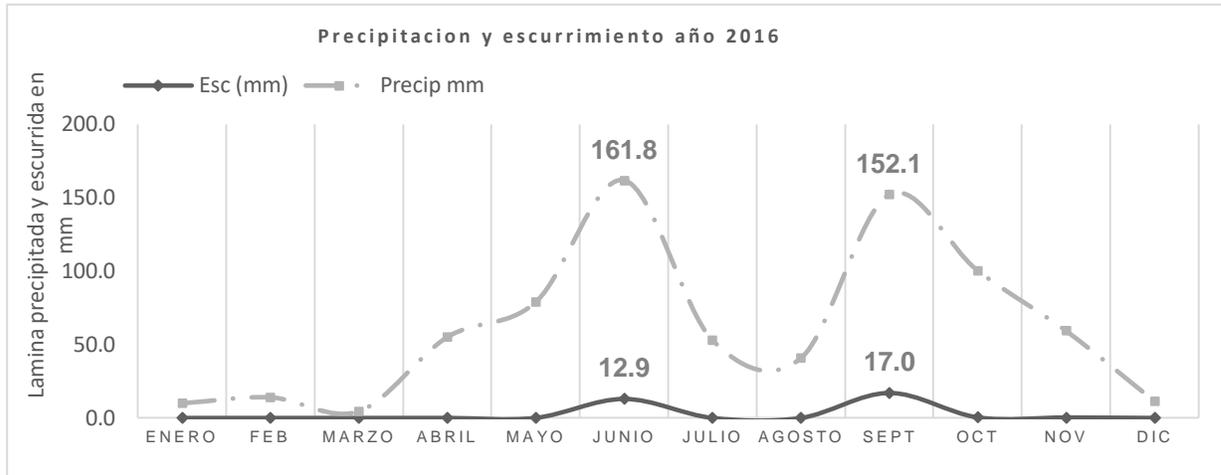


Gráfico 5 Lámina de agua precipitada y escorrentía generada en la Microcuenca Río Pire.(Promedio mensual).

Al observar las dos variables en el gráfico y establecer la relación precipitación-escurrimiento, es notorio que la lámina precipitada en el mes de Junio es mayor a la del mes de septiembre con ello se espera la misma variación en los escurrimientos; ocurriendo todo lo contrario la escurrimiento es mayor en el mes de septiembre con respecto a Junio. La explicación se basa, que lo mayores volúmenes de agua evaporada ocurrieron en el mes de junio con respecto al mes de septiembre. (Ver Gráfico 3: Comportamiento de la precipitación, ET y caudal en la microcuenca Río Pire pág.60). Otros factores involucrados podrían ser: cambios en la velocidad, dirección del viento que ocasionan desigual distribución en la lluvia sobre la superficie, e intensidad de la lluvia y duración.

Estableciendo la correlación entre variables se presenta una relación positiva (Pearson 0.8) en el cual se observa que los escurrimientos dependen significativamente de los precipitaciones y que las variaciones en el mismo son explicadas en un 70% (0.7, R2) por las precipitaciones.

Se modeló con el uso potencial de suelo y se comparó con los resultados actual; obteniéndose una reducción de los volúmenes de escurrimiento; en el mes de junio la escurrimiento actual es de 12.9 mm con respecto al uso potencial que genera un volumen de 8mm lo cual representa una disminución total de 4.9 mm. En cuanto al mes de septiembre se presentó una reducción de 5.5 mm. En el año 2016 el volumen promedio de escurrimiento estimado es 31 mm (3, 379,000 Mm³/año) con

respecto al uso potencial que se generó un volumen total de 20 mm. Es evidente que los escurrimientos son sensibles a los cambios de uso de suelo.

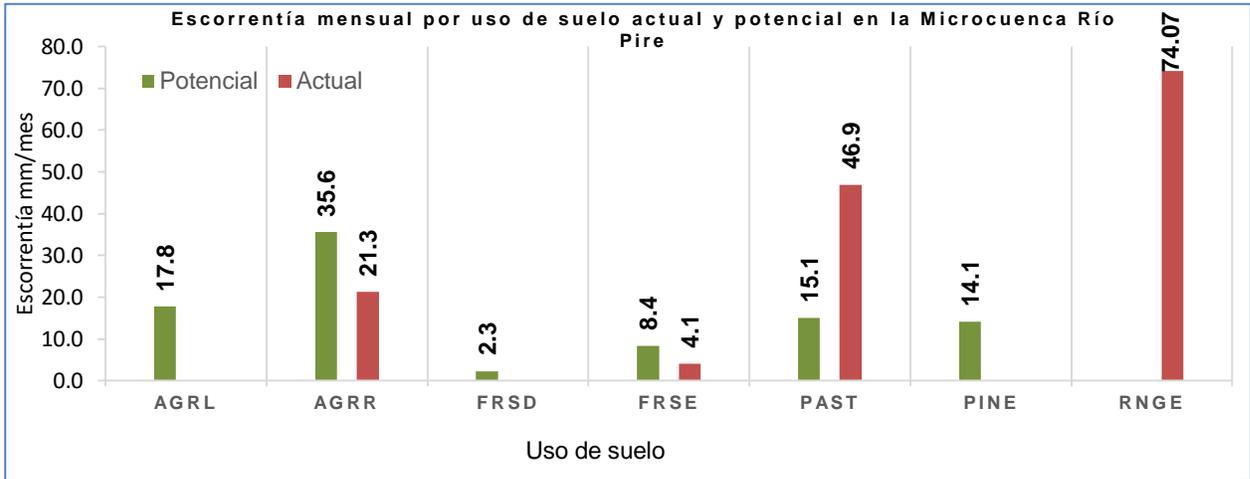


Gráfico 6: Escurrimiento mensual por uso de suelo actual vs potencial.

AGRL: agricultura Intensiva. **AGRR:** Agricultura extensiva. **FRSD:** Agroforestería. **FRSE:** Bosque de producción o café. **PAST:** Pasto. **PINE:** Bosque de conífera. **RNGE:** Pastizales.

Para el periodo de verano, el tipo de escurrimiento más importante es la superficial, representada por el caudal base. Durante el invierno el caudal corresponde principalmente a escurrimiento superficial. Se han establecido seis coberturas de uso (Ver mapa de uso potencial del suelo, pág. 49 y Categoría de usos de suelo reclasificados en SWAT. Pág. 55), el gráfico muestra que el uso potencial “agricultura extensiva” genera mayores mm de escurrimiento con respecto al total de áreas ocupadas actualmente. Con respecto al uso actual existen áreas dedicadas a agricultura extensiva (AGRR) produciendo menor escurrimiento que lo propuesto en el uso potencial; una de las razones fundamentales es la dinámica cambiante en el tiempo y espacio de los usos de suelo que se ha manifestado en los últimos 10 años en los cuales se tala parte del bosque para dar lugar a la agricultura extensiva en su momento.

Posterior se da un agotamiento de los suelos provocando bajos rendimientos en las cosechas y la población pasa a dedicarse a la ganadería, aumentando las áreas de pasto a partir del año 2005. El gráfico N°6 muestra que el uso que más genera escurrimiento corresponde a pastizales (50%) y pasto (31%).

De acuerdo con el mapa de uso potencial del municipio de Condega, las áreas ocupadas por bosque representa zonas de recarga alta, es de esperarse que estas áreas de bosque al ser sustituidas por pastizales y pasto, la infiltración se ve reducida; con ello el agua precipitada pasa a formar parte del componente escurrimiento.

En el año 2010 producto de un evento extremo (Tormenta Mateo), se identificaron sitio de inundación en la microcuenca Río Pire que corresponden a las comunidades de Santa Lucia, Los Cerritos, Las Labranzas, El Rodeo, la Naranjita, San José de Pire, Santa Teresa, estas tres últimas se ubican entre las HURs de mayor generación de escorrentía que corresponden a la #17, 34,29. El restante de las comunidades pertenece a las unidades de respuesta hidrológica con intervalos de generación de escorrentía entre 2.1-2.3 mm mensual. De acuerdo con información del plan Municipal de respuesta ante desastres de Condega, en estos puntos la principal amenaza es por desbordamiento del río Pire, lo cual es coincidente con el mostrado por el modelo.

4.2.6 Sedimentos: Escenario 1(Usó actual año 2016) y 2 (Usó potencial)

La erosión hídrica es un proceso complejo, multicausal, dinámico, de tipo episódico y sujeto a un conjunto de causas que ocurren en el ámbito de una cuenca hidrográfica, en el cual se ve involucrado el clima, relieve, tipo de suelo, sistemas de producción, escorrentía.

La máxima producción de sedimentos es coincide con los meses de máxima precipitación y máximos escurrimientos. En el mes de junio la producción de sedimentos en promedio alcanza 642.7 t/m posterior en el mes de septiembre un máximo de 1,189.1 t/m y un mínimo de 0 t/m en el mes de enero (Ver gráfico N°7 pág. 65).

Uno de los factores que favorece el transporte y erosión del suelo es la ausencia de cubierta vegetal en el área. Es importante tomar en cuenta que el contenido de material en suspensión en los cauces están estrechamente relacionado con los caudales y los aportes de sedimentos arrastrados por los escurrimientos superficiales de las laderas de las cuencas, generados durante los períodos de tormentas (Bogardi 1978, Simons y Sentürk 1977, Newtonde Oliveira, 1994, Obregón y Fragalá, 2002), *Citado por:* (Preciado, 2010).

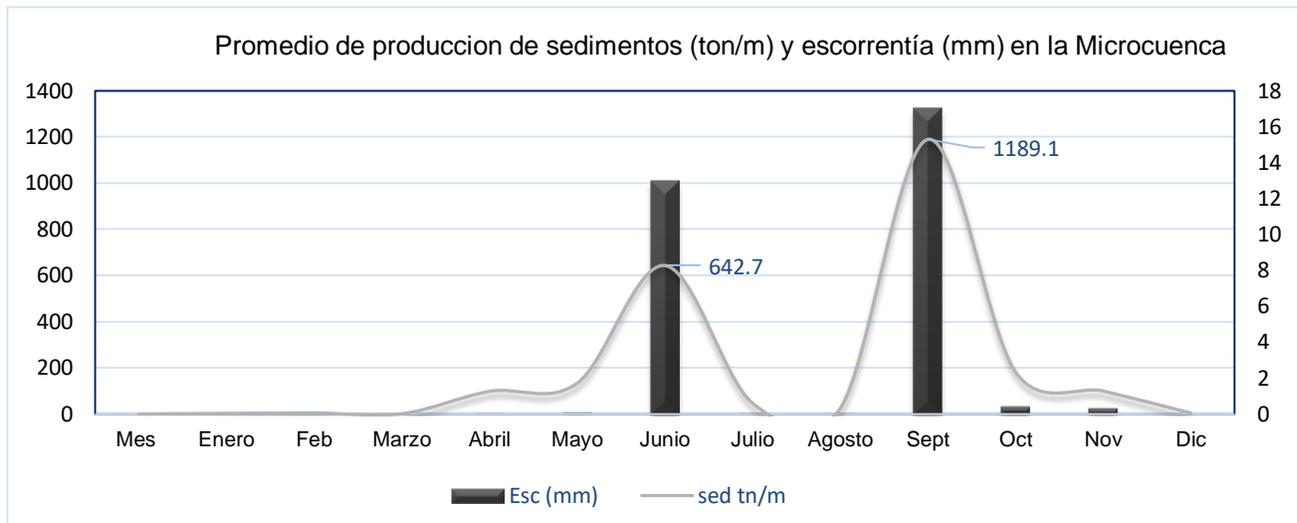


Gráfico 7: Producción de sedimentos y escorrentía en la microcuenca Río Pire

El coeficiente correlación de Pearson es de 0.97 indicando una relación positiva fuerte; a medida que aumenta la variable escorrentía aumenta significativamente los sedimentos. Al igual el coeficiente R^2 (Coeficiente de determinación) dio 0.94 indicando que la variaciones en los escurrimientos ocurridos en el área explican en un el 94% la producción de sedimentos. El volumen total de producción de sedimentos es 2,454.8 ton/m/añual, al modelar con uso potencial se obtuvo un total de 849.7 ton/m al año, lo cual representa una reducción de un 64% del volumen total producido con el uso actual. Son diversos los factores que controlan la generación de sedimentos en la microcuenca entre ellos se encuentra: uso de suelo, pendiente y precipitación.

En su mayoría los sedimentos provienen de áreas cubiertas por pastizales, tacotales ocupando más del 50% de la superficie. La actividad pecuaria corresponde principalmente a la ganadería extensiva, con muy poco control de la carga animal por superficie, un pasto natural muy pobre como alimento principal y quemas anuales en el manejo del mismo, lo cual favorece la producción de sedimentos, además de las pendientes y las precipitaciones en el área.

4.2.7 Balance Hídrico: Escenario 1 (Uso actual año 2016) y 2 (Uso potencial)

El ciclo hidrológico se simula en dos fases principales:

1. Fase del suelo en el ciclo, donde se controla la cantidad de agua, sedimentos y la carga de nutrientes en las aguas receptoras.
2. Fase de transporte que controla el agua a través de la red de drenaje

El ciclo hidrológico simulado por el AVSWAT está basado en la ecuación del balance hídrico:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{Dia} - Q_{Sup} - E_a - Q_{Lat} - Q_{Sub})$$

En promedio para la microcuenca se tiene como única fuente de entrada de agua de la precipitación que aporta una lámina de 740.9 mm, el 46% de la misma es devuelta hacia a la atmosfera por efecto de la transpiración de la plantas y evaporación del agua interceptada por la vegetación, otro porcentaje fluye, ya sea lateralmente a través del suelo (50.1% = 371.9mm) o escurriendo por la superficie (4% = 31mm) hasta llegar a los ríos; el exceso de agua contenida en los espacios porosos del suelo fluye hacia los acuíferos superficiales (1.3% = 10mm), un porcentaje del volumen contenido en los acuíferos superficiales alimenta los ríos mediante el flujo base (2.8 mm) y finalmente un porcentaje (0.5 mm=0.06%) pasa a ser parte de la recarga del acuífero profundo. (Ver ilustración 2: Balance Hídrico).

En total se tiene una producción de agua 405.7 mm al año (44, 221,300 Mm3/año) considerándose el agua disponible en el área, importante para los procesos de gestión de los recursos hídricos. Los detalles mensuales del balance hídrico se presentan el gráfico N ° 8 y la tabla N °14.

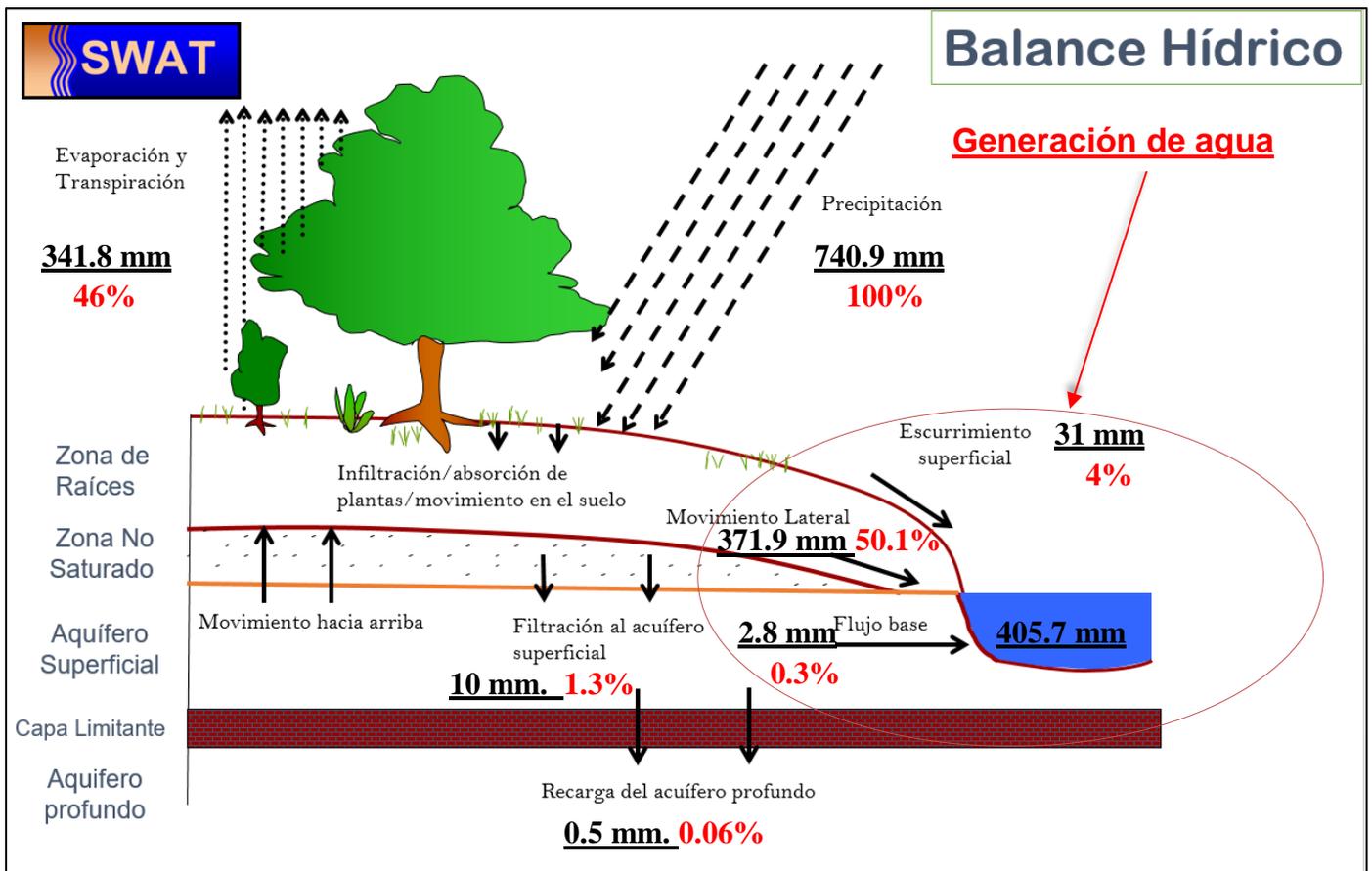


Ilustración 1. Representación del ciclo hidrológico y balance hídrico (promedio anual)

El gráfico N° 8, muestra de manera gráfica los resultados del balance hídrico simulado por el modelo SWAT para el periodo del año 2016. Un aspecto importante a considerar es que la evapotranspiración excede en los meses de enero y marzo a la precipitación pluvial, lo que implica que no se tiene almacenamiento de agua durante dichos meses y la diferencia entre ambos factores se considera déficit.

Los mayores volúmenes de agua mostrados es el balance hídrico están representados por el flujo subsuperficial que representa el 50.1% respecto al total de agua precipitada, mientras que la descarga de agua subterránea constituye el 0.3% y el escurrimiento superficial (4%) representando ambos los menores volúmenes de agua.

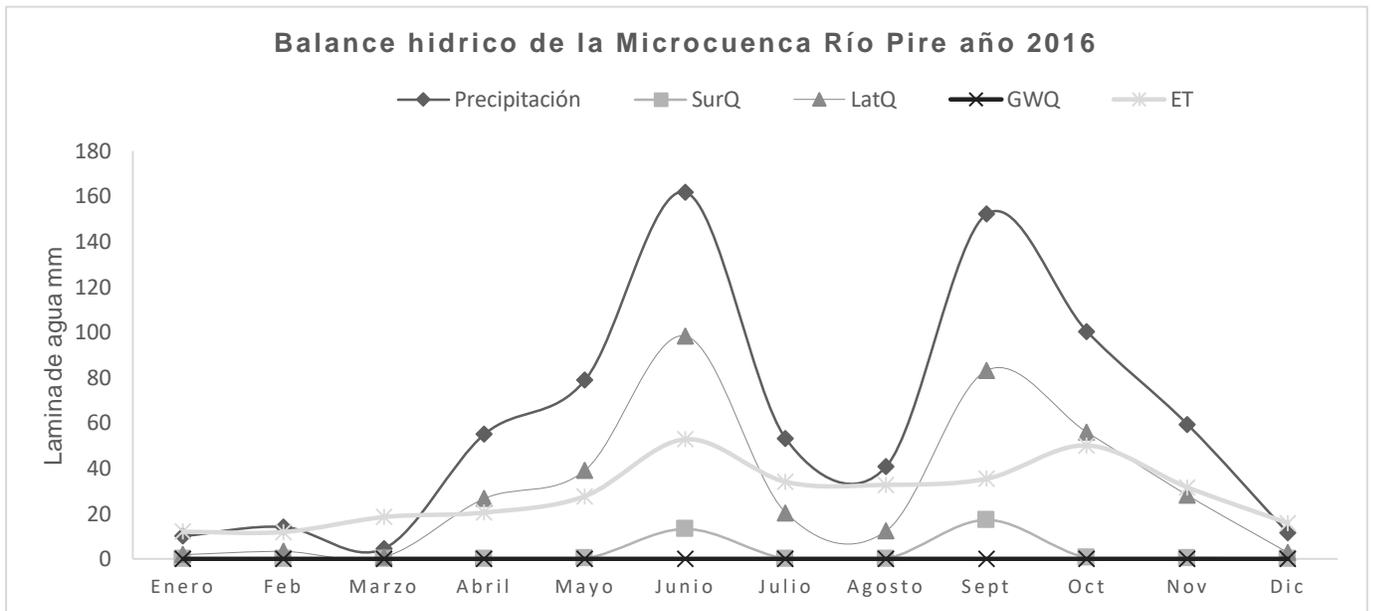


Gráfico 8: Balance Hídrico de la Microcuenca Río Pire (Promedio mensual). **SurQ:** Escurrimiento superficial. **LatQ:** Escurrimiento subsuperficial. **GWQ:** Descarga de agua subterránea. **ET:** Evapotranspiración. Debido a que la producción de agua considera únicamente las variables SurQ, LatQ y GWQ, según la ecuación no se tomó en cuenta la percolación en este gráfico.

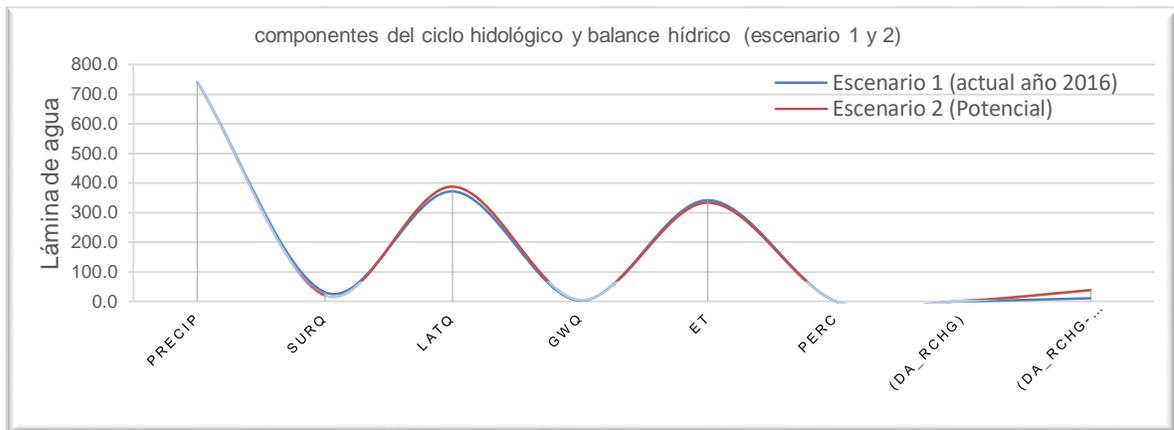
En los meses secos se dispone de volúmenes de agua que se encuentran distribuidos en los siguientes componentes: Escorrentía superficial (13mm), descarga de agua subterránea (0.1mm) y flujo subsuperficial (169.7 mm) que se manifiesta en la aparición de manantiales que la población utiliza para consumo humano, labores domésticas y de producción. Estos volúmenes de agua tienden a aumentar en el periodo de invierno. (Ver tabla N°14. Resumen de los componentes del balance hídrico de la Microcuenca Río Pire (Promedio en mm mensual por HURs. Pág. 68).

Tabla 14
Resumen de los componentes del balance hídrico de la Microcuenca Río Pire (Promedio en mm mensual por HURs)

	Precipitación	Escurrimiento superficial	escurrimiento subsuperficial	Descarga de agua subterránea	Evapotranspiración	Percolación	Recarga al acuífero profundo	Recarga al acuífero superficial
Mes	Precipitación	SurQ	LatQ	GWQ	ET	PERC	DA_R CHG	DA_R CHG-GW_RCH
Enero	10	0	1.8	0.0	11.9	0	0.1	1.8
Feb	14	0	3.2	0.0	11.8	0	0.0	0.6
Marzo	4.5	0	0.8	0.0	18.4	0	0.0	0.3
Abril	55	0	26.6	0.0	20.4	0	0.0	0.1
Mayo	78.8	0.1	39	0.0	27.6	0	0.0	0.0
Junio	161.8	13.1	98.3	0.1	52.7	0.1	0.1	1.6
Julio	53	0	20.3	0.4	33.9	0.7	0.0	0.8
Agosto	40.7	0	12.3	0.5	32.6	0	0.0	0.3
Sept	152.1	17.1	83.1	0.5	35.3	0	0.0	0.3
Oct	100.3	0.4	55.8	0.7	50	0.1	0.1	2.6
Nov	59.3	0.3	28	0.6	31.5	0	0.1	1.6
Dic	11.4	0	2.7	0.1	15.7	0	0.0	0.7
TOTAL/ actual	740.9	31	371.9	2.8	341.8	0.9	0.6	10.7

En la producción de agua no se considera las variables percolación, recarga al acuífero superficial y profundo. Es importante destacar que los bajos volúmenes de recarga está asociado a que el modelo no toma en cuenta las fallas y fracturas presenten en el subsuelo del área, no considerando la geología estructural.

Al ejecutar el modelo con el uso de suelo potencial es evidente un cambio en las variables que componen el balance hídrico; la producción de agua tiende a aumentar. Para el año 2016 el agua disponible es de 405.7 mm/año en promedio, en un escenario que predominan los pastizales y tacotales ocupando un área de 95.5 km² equivalente al 87.6% total de la superficie. Con respecto a la escenario 2, la producción de agua es 412.7 mm anual, indicando que el uso de suelo tienen influencia directa en el balance hídrico.



Actual	740.9	31	371.9	2.8	341.8	0.9	0.6	10.7
Potencial	740.9	20	388	4.7	334	1.4	2	38

Gráfico 9: componentes del ciclo hidrológico y balance hídrico (escenario 1 y 2)

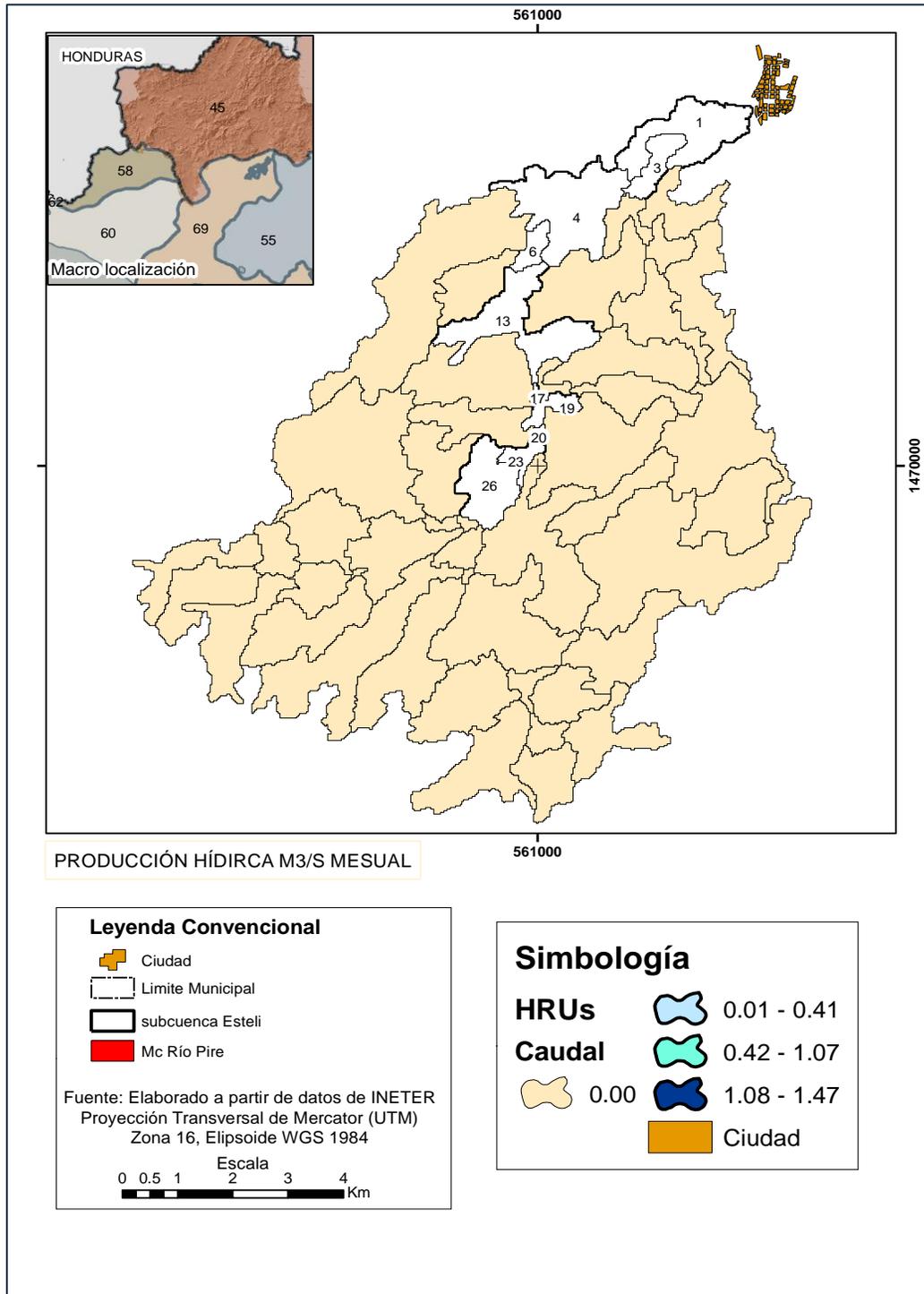
4.2.8 Caudales por Unidad de respuesta hidrológica (HURs) año 2016

La primera fase ciclo hidrológico está compuesta por precipitación, Evapotranspiración, Infiltración y Esguerrimientu Superficial, estos controlan la cantidad de agua, sedimentos y sustancias al canal principal de cada unidad de respuesta hidrológica. *En el mapa N° 12, muestra mensual la producción hídrica a nivel de la microcuenca Río Pire. Pág. 70.* Las HURs de la parte alta y media que bordean al cauce principal se consideran las menos productivas, dado que representan las áreas de recarga en las cuales los caudales son mínimos.

A medida que se desciende los caudales tiene a aumentar en la parte baja de la microcuenca considerándose estas las zonas de descarga del acuífero. Las unidades hidrológicas más productivas presentan caudales en intervalos de 0.01 a 1.47 m³/mes, correspondiente a las HURs 1,3, 4, 6,13, 17, 19, 20,23, 26, con un volumen total de agua 9.7 m³/s mes.

Los caudales de estas HURs se pueden aprovechar a través de la construcción de obras de retención de agua; tomando en cuenta que el restante 52.7 % presentan caudales de 0.00 m³/s. Las áreas de mayor caudal se caracterizan por ubicarse en suelos Entisoles y Molisoles, el 100% presenta ocupación de suelo por tacotales, pasto y cultivos anuales, con una precipitación promedio mensual de 61.6 mm

ubicadas a partir de los 31 m hasta la máxima 198 m. Los caudales mostrados se consideran como caudales útiles para las distintas actividades económicas.



Mapa 12: Producción Hídrica por HRUs en la Mc Río Pire

4.2.9 Escorrentía a nivel de unidad de respuesta hidrológica (HURs)

El área en estudio, actualmente está cubierta por pastos, pastizales y cultivos anuales y una pequeña extensión de bosque localizado en la parte alta. El uso presente favorece la escorrentía, producción de sedimentos y traslado de las partículas de suelo de la parte alta a la baja de la microcuenca.

En la tabla N° 15 (*HURs que generan los mayores volúmenes de escorrentía mensual*) se aprecia que los máximos volúmenes de escorrentía generados se presentan en intervalos de 7.65 – 4.17 mm/mensual. Las unidades de respuesta hidrológica en su mayoría están ocupadas por orden de extensión en pastizales, tacotales/pasto y cultivos anuales, ubicadas entre los 1379 m a 540 m, considera la parte alta del área.

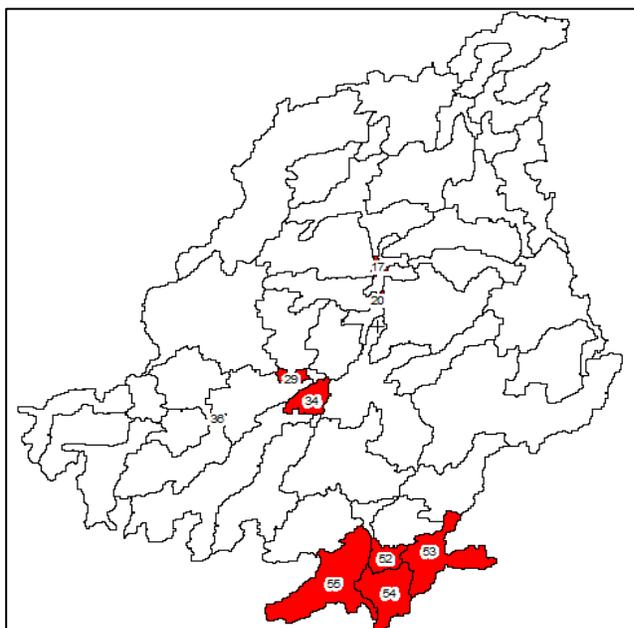


Ilustración 2. HURs con mayores volúmenes de escorrentía

Las HURs (tabla 15) se consideran áreas críticas, particularmente las ubicadas en suelos Ultisol el cual es considerado un suelo apto para bosque de protección, conservación o con prácticas y planes de manejo por sus características físicas y desarrollarse en relieve escarpados. Además de ello es importante destacar que tres de las áreas críticas (HURs: 55, 54 y 53) se ubican en zona de recarga alta de acuerdo al mapa de uso potencial elaborado por MAGFOR año 2010.

Tabla 15

HURs que generan los mayores volúmenes de escorrentía mensual (Unidad: mm)

Cobertura	Km ²	Código	HURS	Elevación Max-Min	Escorrentía mm		Tipo de suelo
					Actual	Potencial	
Pastizales	0.6	Pasta	55	1379-889	7.65	2.7	Ultisol
Tacotales y pasto	0.8	Tac/pas					
Cultivo anual	0.0	Can					
Bosque latifoliado	0.7	Bl					
	2.1						

Uso potencial: Bosque de producción (café, conífera) y bosque de conservación y protección							
Pastizales	0.02	Past	20	744-642	5.79	2.2	Molisol
Tacotales y pasto	0.00	Tac/pas					
Cultivo anual	0.03	Can					
	0.05						
Uso potencial: Ganadería extensiva							
Tacotales y pasto	0.02	Tac/pas	17	642-540	5.62	4.2	Molisol
Cultivo anual	0.03	Can					
	0.0						
Uso potencial: Ganadería extensiva							
Pastizales	0.7	Past	54	1191-900	5.53	2.9	Ultisol
Tacotales y pasto	0.3	Tac/pas					
Bosque latifoliado	0.1	Bl					
	1.0						
Uso potencial: Bosque de conservación-protección y bosque de producción de conífera							
Pastizales	0.2	Past	52	1000-900	5.31	3.6	Ultisol
Tacotales y pasto	0.1	Tac/pas					
Bosque latifoliado	0.1	Bl					
	0.4						
Uso potencial: bosque de producción de conífera y bosque de conservación-protección.							
Pastizales	1.1		53	1120-940	5.31	3.6	Ultisol
Tacotales y pasto	0.3						
	1.4						
Uso potencial: bosque de producción de conífera, bosque de conservación-protección y agroforestería.							
Pastizales	0.0	Past	29	820-740	4.93	9.1	Molisol
Tacotales y pasto	0.1	Tac/pas					
Cultivo anual	0.04	Can					
	0.1						
Uso potencial: agricultura extensiva y bosque de producción de conífera							
Pastizales	0.00	Past	36	850-826	4.59	0.2	Molisol
Tacotales y pasto	0.00	Tac/pas					
Cultivo anual	0.03	Can					
	0.03						
Uso potencial: Bosque de producción de conífera							
Pastizales	0.20	Past	34	820-718	4.17	4.3	Molisol
Tacotales y pasto	0.07	Tac/pas					
Cultivo anual	0.19	Can					
Uso potencial: agricultura extensiva							
Total	5.7	-	-	-	48.9	33.02	-

En el gráfico 19, se observa que la cobertura que más favorece el proceso de escorrentía es pastizales y cultivos anuales con respecto a tacotales y pasto. Mensualmente se tiene un volumen de escorrentía de 48 mm el cual está representado por un total de 8 unidades de respuesta hidrológica con una área de 5.7 km²; la pendiente tiene un papel muy importante, de acuerdo con el coeficiente correlación de Pearson aplicado a este conjunto de datos es de 0.50 indicando una

correlación positiva moderada; a medida que aumenta la variable pendiente aumenta significativamente los volúmenes de escorrentía. Al igual el coeficiente R^2 (coeficiente de determinación) dio 0.30, indicando que las variaciones de pendiente en el área explican en un 30% la generación de escorrentía.

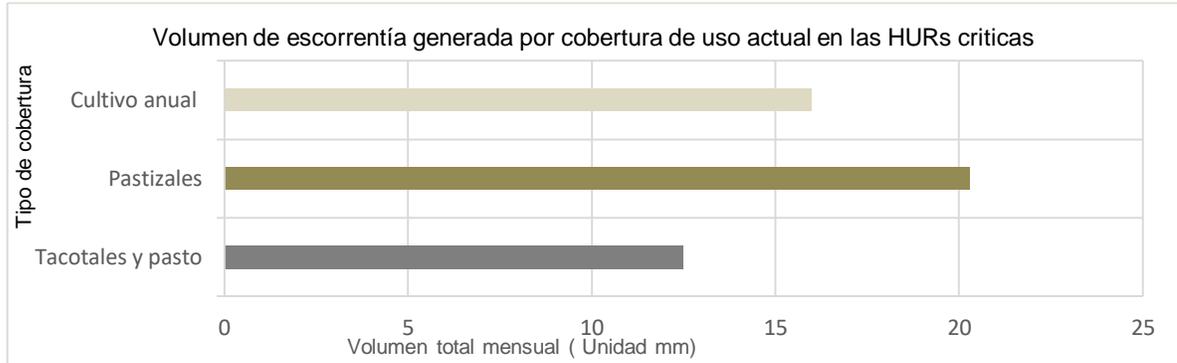


Gráfico 10. Volumen de escorrentía generada por cobertura de uso

En cuanto a la HURs que generan menos volúmenes de escorrentía, se localizan en su mayoría en la parte baja de la microcuenca, todas ellas ubicadas en elevaciones entre los 680m a 540 m, ocupadas por tacotales/pasto, pastizales y cultivos anuales. (Ver mapa 14 Escorrentía y producción de sedimentos en la Microcuenca Río Pire. Pág. 75). En general en la parte alta de la microcuenca el uso que mayor impacto tiene en la generación de escorrentía es cultivo anual y pastizales en lo que respecta a la parte media y baja la cobertura que menos impacto produce en los procesos de escorrentía es cultivo anual.

En el acápite 3.10: Uso potencial de la tierra, página 57, se encuentra establecido que aproximadamente el 87% del territorio presenta suelo apto para la producción de Bosque de coníferas, protección y café, ubicándose en estas áreas las nueve unidades de respuesta hidrológica consideradas críticas (ver tabla 15 HURs que generan los mayores volúmenes de escorrentía mensual pág. 72). Se procedió a simular con el uso potencial, con el fin de evaluar la influencia del uso de suelo en la variación de la escorrentía.

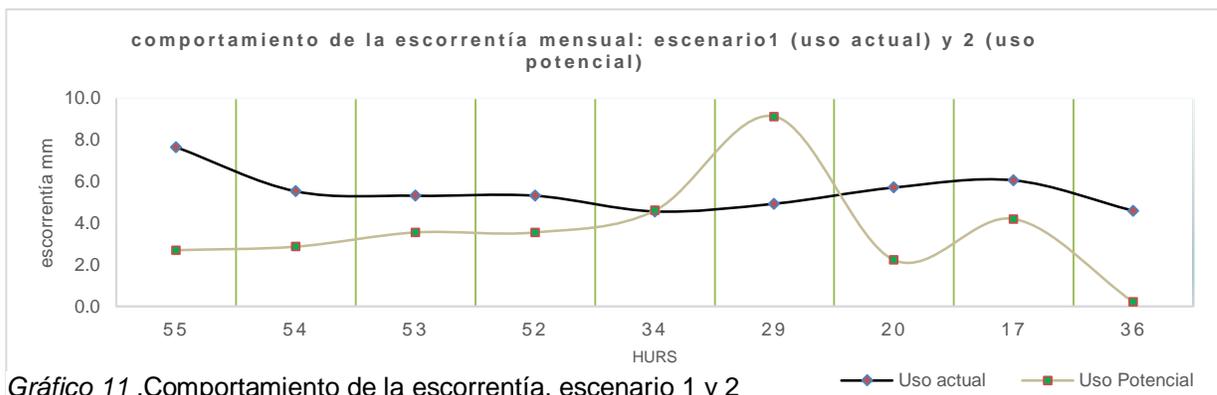
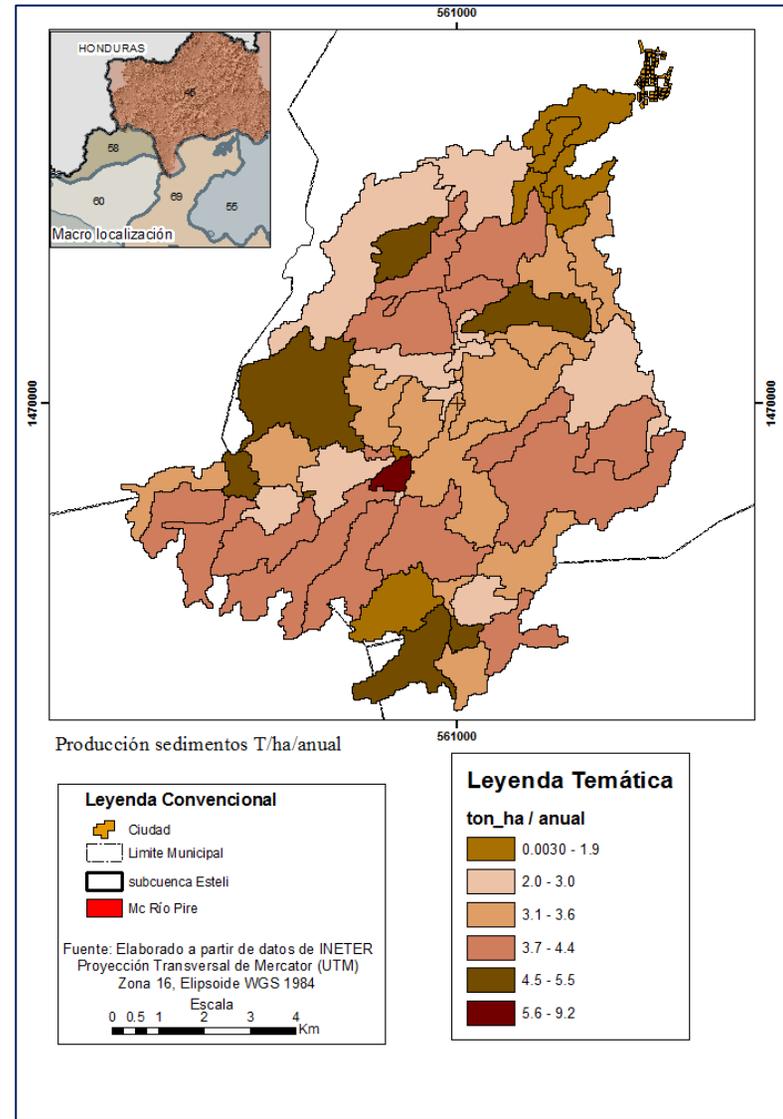
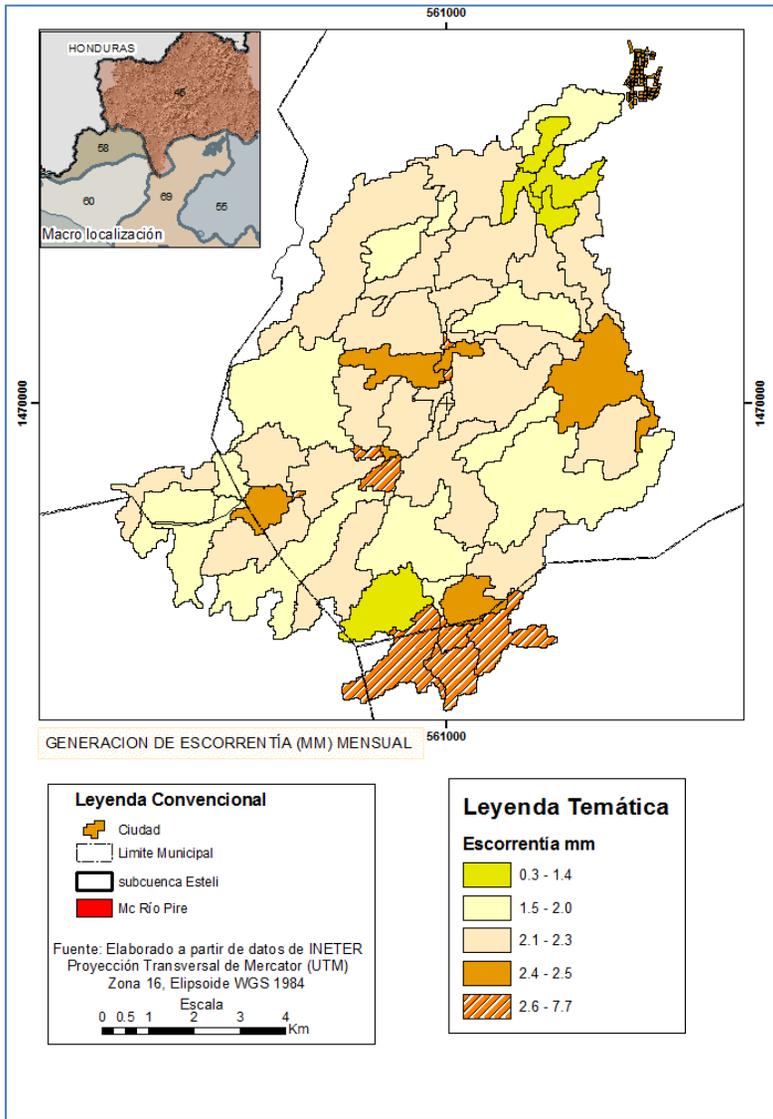


Gráfico 11. Comportamiento de la escorrentía, escenario 1 y 2

En el gráfico 11: *Comportamiento de la escorrentía, escenario 1 y 2*, se observa que el cambio de uso en los suelos aumenta los procesos erosivos el área; es así como el escenario 2 muestra una reducción de 15.8 mm/mensual de escorrentía menos en las HURs más productivas con respecto al escenario 1 que genera 48.9 mm de escorrentía. (Ver tabla 15.pag 71).

Los sistemas de pastizales en la HURs representan las áreas de mayor generación de escorrentía y producción de sedimentos, está cubierta con respecto a los tacotales/pastos y cultivos generan poca cobertura en el suelo, lo que permite el impacto directo de las gotas de lluvia sobre las partículas de suelo. Esta dinámica, se ve influenciada por el pastoreo del ganado que compacta el suelo, disminuye la infiltración y aumenta los volúmenes de escorrentía.

Los dos escenarios muestran que la disminución de los niveles de intercepción como consecuencia de la tala de árboles causa un aumento de la escorrentía superficial, como es el caso de la microcuenca río Pire. En períodos de tormentas, la mayor cantidad de agua de escorrentía genera un aumento de la erosión y arrastre de sedimentos a los cursos y cuerpos de agua, afectando su calidad. (Meneses y Gayoso, 1995). *Citado por* (FAO, 2005). Sumado a ello, el aumento de la turbidez y disminución de la concentración de oxígeno disuelto, lo cual puede tener efectos perjudiciales en las poblaciones de fauna, flora acuática y la disminución de la calidad de su hábitat, por el contrario el aumento de las extensiones con bosques logra una mayor rugosidad en el terreno, disminuye el escurrimiento superficial, se retarda el tiempo de la onda de crecida y se aumenta la capacidad de infiltración en el suelo provocando una disminución en los volúmenes de escorrentía.



Mapa 13: Escorrentía y producción de sedimentos en la Microcuenca Río Pire

4.2.10 Sedimentos a nivel de unidad de respuesta hidrológica (HURs)

En el mapa N°13 la producción de sedimentos (Ton/ha/año) pág. 75, se observa que la mayor producción de sedimentos se da en intervalos de 5.6 a 9.2, 4.5 a 5.5, 3.7 a 4.4 correspondiente a las unidades de respuesta hidrológica, ubicadas en la parte alta y media de la microcuenca.

En la clasificación de la degradación de los suelos causados por erosión hídrica establecida por la FAO (1980), establece una categoría de erosión que se observa en la ilustración 4.

Categoría	Pérdida de suelo	
	Ton/ha/año	mm/a
Ninguna a ligera	<10	<0.6
Moderada	10-50	0.6-3.3
Alta	50-200	3.3-13.3

Ilustración 3. Categorías de pérdidas de suelo.

La microcuenca fue dividida en 55 HURs en su mayoría la producción de sedimentos es menor a las 10 ton/h/año. Las áreas que más generan sedimentos corresponden a la HURs 38, 24, 14, 7, 55, 52, y 34, estas últimas tres son coincidentes con las áreas de mayor generación de escorrentía.

Las áreas de mayor uso están representadas por pastizales y tacotales/pasto, responsables de la mayor producción de sedimentos. En la microcuenca existen HRUs de menor extensión que contribuyen significativamente en la generación de sedimentos localizadas en alturas mayores a los 600 m entre ellas la N°34 (ver tabla N°16, pág. 87), que aporta aproximadamente 9.2 ton/ha/año de sedimentos, lo cual se encuentra muy cerca de

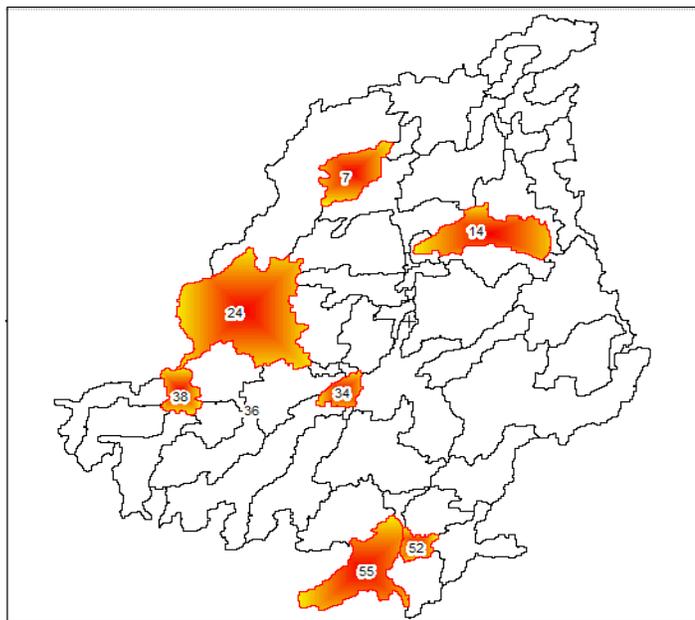


Ilustración 4: HURs de mayor producción de sedimentos

la categoría erosión hídrica moderada, la misma tiene una extensión de 0.4 km, tipo de suelo Molisol y el 100% está ocupado por tacotales.

La generación de sedimentos en esta área se ve favorecida por la confluencia de dos unidades hidrológicas (Peñasco y Las Burras) en alturas mayores a 800 m

Tabla 16.
HURs que generan más sedimentos en la microcuenca.

Cobertura	Km ²	Código	HURS	Elevación Max-Min	Sedimentos To/ha/año (promedio anual)		Tipo de suelo
					Actual	Potencial	
Pastizales	0.57	Past	55	1379-889	5.23	0.2	Ultisol
Tacotales y pasto	0.77	Tac/pas					
Cultivo anual	0.02	Can					
Bosque latifoliado	0.70	Bl					
	2.1						
Uso potencial: Bosque de producción (café, conífera) y bosque de conservación y protección							
Pastizales	0.1	Past	38	1279-838	4.98	0.2	Molisol
Tacotales y pasto	0.5	Tac/pas					
Cultivo anual	0.0	Can					
	0.63						
Uso potencial: : Bosque de producción de café y conífera							
Pastizales	0.0	Past	36	870-818	5.2	0.5	Molisol
Tacotales y pasto	0.004	Tac/pas					
Cultivo anual	0.0	Can					
	0.03						
Uso potencial: Bosque de producción de conífera							
Pastizales	0.20	Past	34	820-718	9.2	1.7	Molisol
Tacotales y pasto	0.07	Tac/pas					
Cultivo anual	0.19	can					
	0.4						
Uso potencial: Bosque de producción de conífera							
Pastizales	0.2	Past	52	1000-900	5.25	4.3	Ultisol
Tacotales y pasto	0.05	Tac/pas					
Bosque latifoliado	0.06	Bl					
	0.4						
Uso potencial: Bosque de producción de café y conífera							
Pastizales	1.07	Past	24	963-785	5.37	0.1	Molisol
Tacotales y pasto	3.37	Tac/pas					
Cultivo anual	0.41	can					
	4.8						
Uso potencial: Uso potencial: : Bosque de producción de café y conífera							
Pastizales	0.9	Past	14	960-685	5.46	0.3	Molisol
Tacotales y pasto	0.9	Tac/pas					
Cultivo anual	0.0	Can					
	1.9						
Uso potencial: Bosque de producción de conífera y agricultura intensiva							
Pastizales	0.3	Past	7	750-604	4.9	0.2	Molisol
Tacotales y pasto	0.9	Tac/pas					
	1.17						
Uso potencial: Bosque de producción de conífera							
Total	5.7	-	-	-	45.5	7.4	

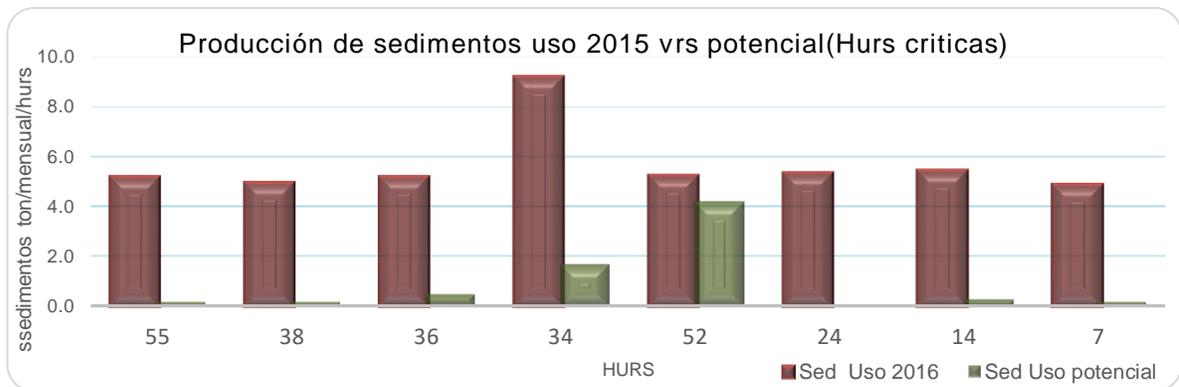


Gráfico 12: Comparación de producción de sedimentos mensual, uso de suelo 2015 y uso potencial (HURS más productivas).

Los resultados de la estimación sedimentos producidos, coinciden en el gran impacto que tiene el uso que se le dé al suelo, sin descartar las variables climáticas y topográficas tienen importancia en los procesos erosivos, se considera la acción del hombre, el detonante que altera el ciclo natural de evolución de la microcuenca acelerando los procesos en ella.

El gráfico N° 12, muestra una comparación del escenario 1 y 2 de las HURS que más aportan sedimentos. El escenario 1 muestra un total de 45.5 t/m/año de sedimentos con respecto al escenario 2 que genera un volumen de 7.4 t/m/año indicando una reducción de un 84% en las HURS críticas.

4.2.11. Dinámica hidrológica de acuerdo a escenarios (Uso actual y potencial de suelo).

La microcuenca tiene una extensión de 109 km², presenta cuatro tipos de suelo: Alfisol, Entisol, Ultisol, Molisol, este último ocupa el 87% del total del territorio, el uso del mismo está determinado por las características físicas del territorio; se ha establecido que en pendientes entre 30-50% son suelos aptos para bosques de protección. De acuerdo al tipo de suelo, pendiente y condiciones climáticas, la vocación de uso en los suelos de la microcuenca es bosque de protección el mismo debe ocupar el 57% del territorio; al realizar la confrontación de uso (Uso potencial y actual), el bosque representa el 4.7% actualmente, las áreas de mayor ocupación están representadas por pastizales (37.6%), tacional/pasto (50%).

Para la evaluación de la influencia del uso del suelo en la dinámica hidrológica, se modeló bajo dos escenarios 1 (Uso actual) y 2 (Uso potencial) encontrándose lo siguiente:

- El uso actual está generando un volumen de 31 mm de escorrentía anual con respecto al escenario de uso potencial que genera 20 mm.

- El escenario 1 produjo un volumen de 2,454.8 Ton/m/año con respecto al escenario 2 que presento una reducción de un 64% equivalente a 849.7 Ton/m/año.
- Las HURs que generan los mayores volúmenes de escorrentía y sedimentos, están ubicadas en zonas de recarga alta, localizadas por encima de los 700 m, parte de esta agua escurrida que no logra infiltrarse tiene efectos directos en la disminución de la percolación y recarga al acuífero, así lo demuestran la comparación de los escenarios.
- Las unidades de respuesta hidrológica que presentan los mayores volúmenes de agua escurrida, pueden ser aprovechadas, a través de la construcción de obras (cosecha de agua), para ser utilizadas en periodos de escasez.
- La cobertura de uso de suelo que favorece en mayor medida la escorrentía y producción de sedimentos es pastizales.
- El modelo hidrológico SWAT es una herramienta útil en la localización y categorización de las variables hidrológicas; para la microcuenca se diseñó una base de datos que posterior se representa a través de la ubicación espacial de las variables hidrológicas, los cuales pueden ser utilizados para la planificación de los recursos hídricos en un futuro.

4.3 Calidad de las aguas superficiales de la Mc Río Pire

La definición de calidad del agua es de difícil especificación por su complejidad. Son dos los principales condicionantes de la composición química y biológica de las aguas superficiales y, en particular, la de los ríos y canales. Por una parte, la disolución y arrastre de sustancias naturales que son propias de los terrenos por los que previamente han circulado las aguas, que podríamos definir como contaminación natural; por otra, la recepción de efluentes generados por la propia actividad humana, urbana, agrícola e industrial, que constituye la contaminación artificial. Cualquier análisis químico y biológico de las aguas manifiesta en sí mismo el efecto conjunto de las dos contaminaciones anteriores, sin que resulte posible, en la mayoría de ocasiones, separarlas e identificarlas plenamente. .

Para la determinación de la calidad de las aguas superficiales del área se realizó dos campañas de muestreo un en temporada seca y la siguiente en período lluvioso; los criterios para la selección de estos puntos, fueron la incidencia de las actividades agrícolas y ganaderas. (Ver Mapa 2: Puntos de muestreo, pág. 36).

4.3.1 Indicadores físicos del agua

4.3.1.1 pH

El Potencial de Hidrogeno en los cuatros puntos muestreados en periodo seco se encuentran en rangos de 7.92 unidades a 8.69 como máximo. El valor más bajo se encontró en el punto control (Labranza 2) 7.92 unidades de pH. En cuanto al período de invierno se ve claramente una disminución en los valores de pH con un mínimo de 7.13 y un máximo de 7.83. El pH de las aguas naturales se debe a la composición

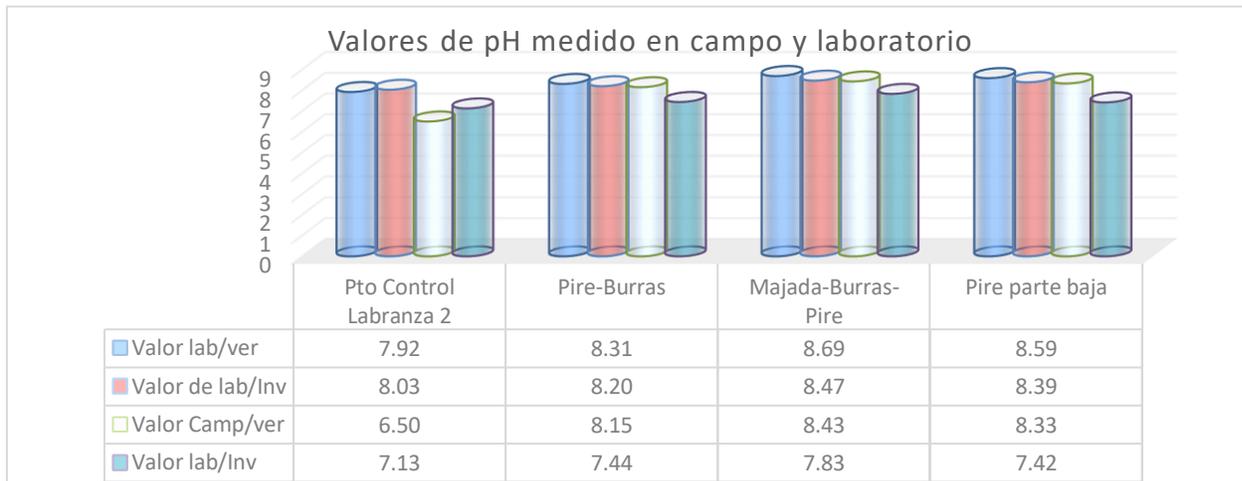


Gráfico 13: Valores de pH en las aguas superficiales

de los terrenos por los que atraviesa; el pH alcalino indica que éstos son calizos, y un pH ácido que son silíceos. (Miralles , Costa, Muñoz, & Guijarro, 2005).

En período lluvioso todos los puntos muestreados se encuentran en el límite permisible (6.5 a 8.5 unidades de pH) establecido por la norma CAPRE y EQGs. Durante la época seca los puntos Majada-Burras-Pire y Pire, los valores se encuentran por encima de lo establecido. Para hacer uso de estas aguas (consumo humano) se deben estabilizar de manera que no produzcan efectos corrosivos ni incrustantes en los acueductos.

En ambos periodos de muestreo las aguas de río Pire, se consideran aptas para la protección del ambiente y recreación (EQGs 5.0 a 9.0).

9.3.1.2 Conductividad y solidos disueltos

La conductividad en la mayoría de las aguas dulces fluctúa en rango de 10 a 10,000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, lo cual varía de acuerdo al grado de contaminación de la misma. El punto control (Labranza 2) presenta la menor conductividad en periodo seco (169 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) a medida que descendemos en altura en la microcuenca las conductividades tienen a aumentar a 274.5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Pire-Burras); a partir de este punto inicia la intervención antrópica destacándose la presencia de agricultura y ganadería extensiva, lo cual está incidiendo directamente en los aumentos de sales en las aguas superficiales.

Los dos últimos puntos (Majada-Burras-Pire y Pire parte baja), presentan las conductividades más altas e incluso el último punto se encuentra por encima de lo establecido en la norma CAPRE (400 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

En cuanto a los resultados de conductividad para la época de invierno tienen a disminuir, el mínimo valor de conductividad se presenta en el punto labranza 2, en el resto de los puntos aumentan las conductividades hasta alcanzar un máximo de 199.6 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Pire parte baja). El parámetro conductividad presenta variaciones en función de la época del año. En invierno las conductividades disminuyen, favorecidos por el aumento del caudal del río y las precipitaciones que generan una dilución.

Los sólidos totales disueltos es la cantidad de sales minerales en mg/L que existe en el agua. Existe una relación estrecha entre la cantidad de STD y la conductividad eléctrica (la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica). Mientras mayor sea el valor de conductividad eléctrica, mayor será la cantidad de sales disueltas en el agua (Chapman y kimstach, 1992).

En el gráfico 14, pág.82 se aprecian que las concentraciones de solidos totales disueltos varían a lo largo del río, los máximos valores de solidos totales disueltos

se encuentran en la cuenca media; con valores de 142 a 221.1 mg.l⁻¹; estos valores están asociados a la actividad agrícola y ganadera que aumenta la producción de sedimentos y escorrentía en la microcuenca.

Al comparar los resultados de sólidos totales disueltos obtenidos en la fecha de muestreo en laboratorio y los estimados por SWAT. El punto control labranza 2 alcanza concentraciones de 150.1 mg.l⁻¹ con una diferencia de 8.1 unidades de la medida de laboratorio (142 mg.l⁻¹). En invierno presenta el mismo comportamiento SWAT sobrestimo en 10 unidades los sólidos totales con respecto al dato de laboratorio que corresponde a 120.5 mg.l⁻¹, lo cual está asociado a los métodos de estimación de la variable en estudio.

La estimación más próxima que realizó el modelo con respecto a los resultados de laboratorio se obtuvo en el punto control y Majada-Burras-Pire; en este ultimo los sólidos totales se estimaron en 211 mg.l⁻¹ con respecto al del laboratorio 212.6 mg.l⁻¹ con una diferencia de 1.6 unidades. Con respecto al último punto pire parte baja SWAT estimo 209.2 y laboratorio 221.1 mg.l⁻¹ de SDT.

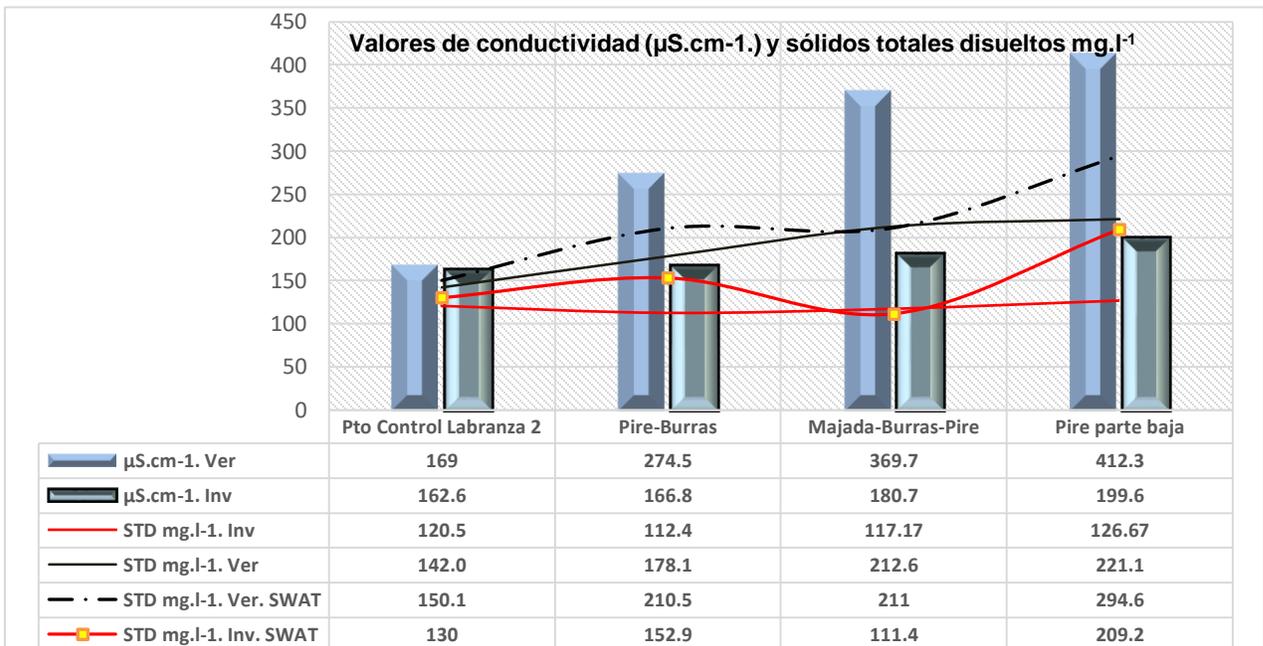
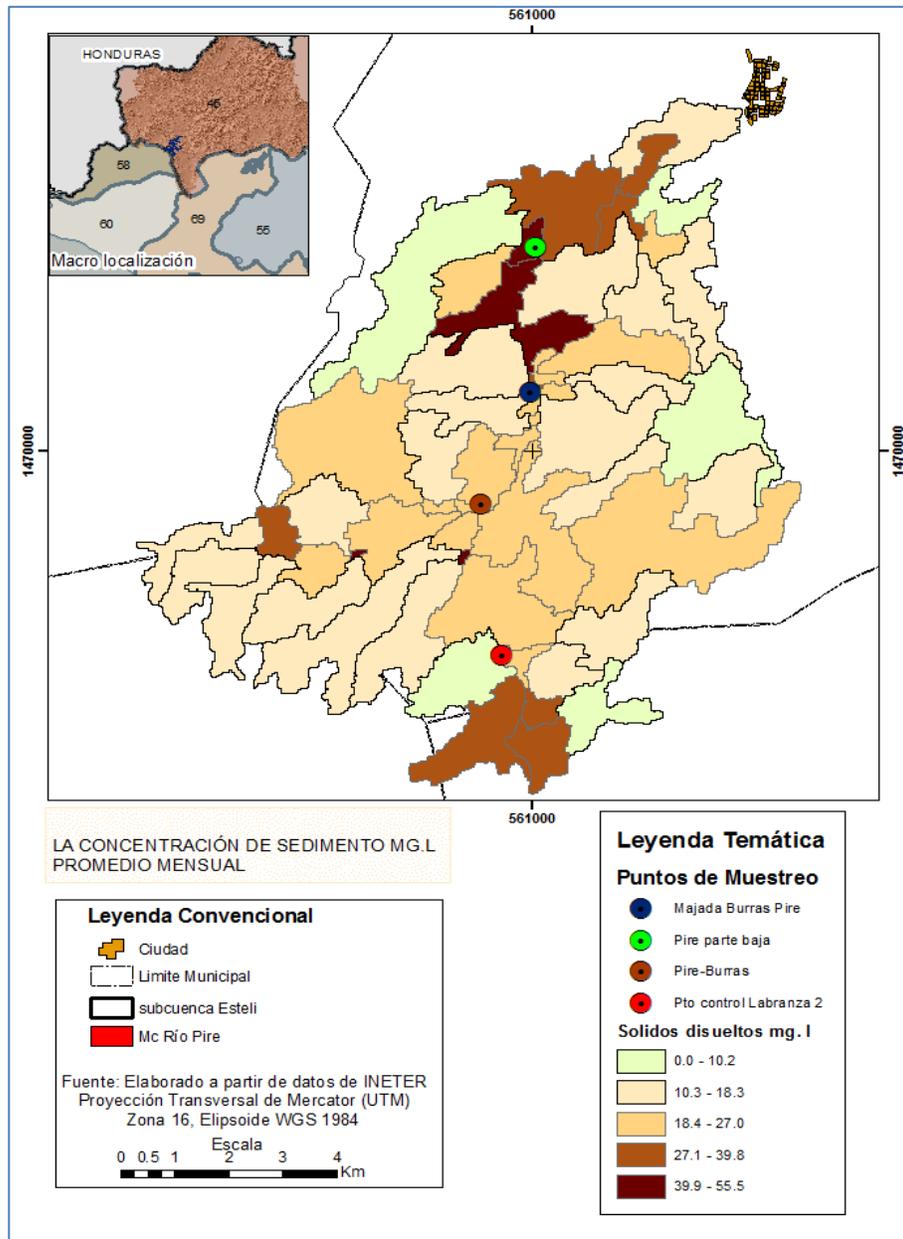


Gráfico 14: Valores de conductividad y solidos totales disueltos

Los puntos (Pire parte baja-Majada-Burras-pire) que se presentan los mayores valores de conductividad y solidos disueltos, se ubican en las áreas de mayor producción de sedimentos (3.1 - 4.4ton/mes), lo cual favorece el transporte de sales a través de la escorrentía. (Ver Mapa de producción de sedimentos pág. 75). Es precisamente la dinámica de deforestación, cambios de uso de suelo; por lo cual las

conductividades con frecuencia se presentan razonablemente altas en la parte media y baja, y también lo son las cargas de sedimentos que se muestran en mapas anteriores.

En el mapa 14, se muestran para el año 2016, por unidad de respuesta hidrológica el promedio en la concentración de solidos totales disuelto en mg.l^{-1} . Las HURs con las mayores concentraciones de solidos totales disueltos se ubican en la parte baja de la Microcuenca asociado a las áreas con mayores tasas de sedimentación.



Mapa 14: Valores de STD mg.l^{-1} en las 55 HURs

9.3.1.3 Temperatura

La temperatura en los sitios muestreados varió entre 22,6°C y 30.8°C. Es importante destacar que este es uno de los parámetros que presentan grandes variaciones con respecto a la hora de toma de muestra.

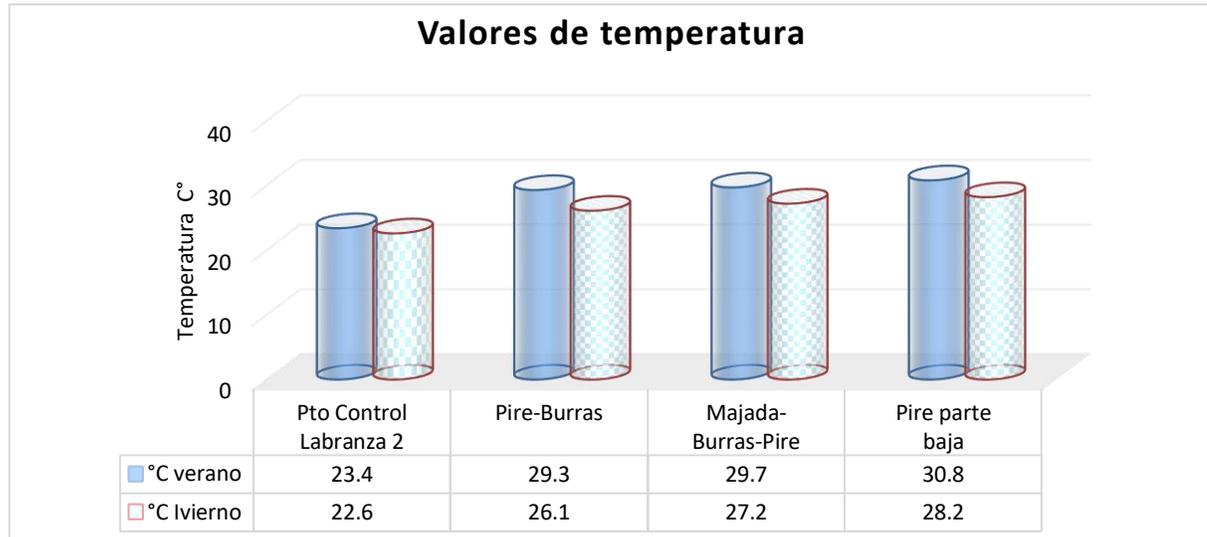


Gráfico 15: Valores de Temperatura en la Microcuenca Río Pire

En cuanto a los parámetros de calidad de agua las normas CAPRE establecen temperaturas entre 18°C y 30° C. Con ello se concluye que tres de los sitios (Pto control, Pire-Burras y Majada-Burras-Pire) se encuentran dentro de lo permisible por la norma a excepción del Pto Pire parte baja que en verano alcanzó temperaturas de 30.8°C por encima de los establecido en la norma.

9.3.1.4 Turbidez

El grafico N°16, muestra los valores de turbidez en ambas épocas de muestreo; en verano se presentan los menores valores de turbidez, el punto control (Labranza 2) presenta un valor de 2.7 UNT, el resto de los sitios aumentan sus valores a medida que se descende en altura en la microcuenca, es así como el punto Pire parte baja presenta el máximo valor de turbidez (3 UNT).

En invierno los valores de turbidez aumentan significativamente; partiendo del punto labranza 2 que tiene el menor valor de turbidez (23.75 UNT) hasta el punto Pire parte baja que alcanza valores de 151.0 UNT. Los factores asociados a la variación espacial y temporal de la turbidez en el área se asocian al cambio en la vocación del uso del suelo (ganadería y agricultura en alturas mayores a los 800 m) que

propicia el arrastre de partículas del suelo que se depositan en HURs de la parte baja de la microcuenca.

De los parámetros analizados, sólidos totales disueltos y turbidez; los últimos tres puntos (Pire-Burras, Majada-Burras-Pire, Pire parte baja) pertenecen a las unidades de respuesta hidrológica que presentan mayores aportes de sedimentos y escorrentía, lo cual está estrechamente asociado a los altos valores de turbidez y sólidos totales presentes.

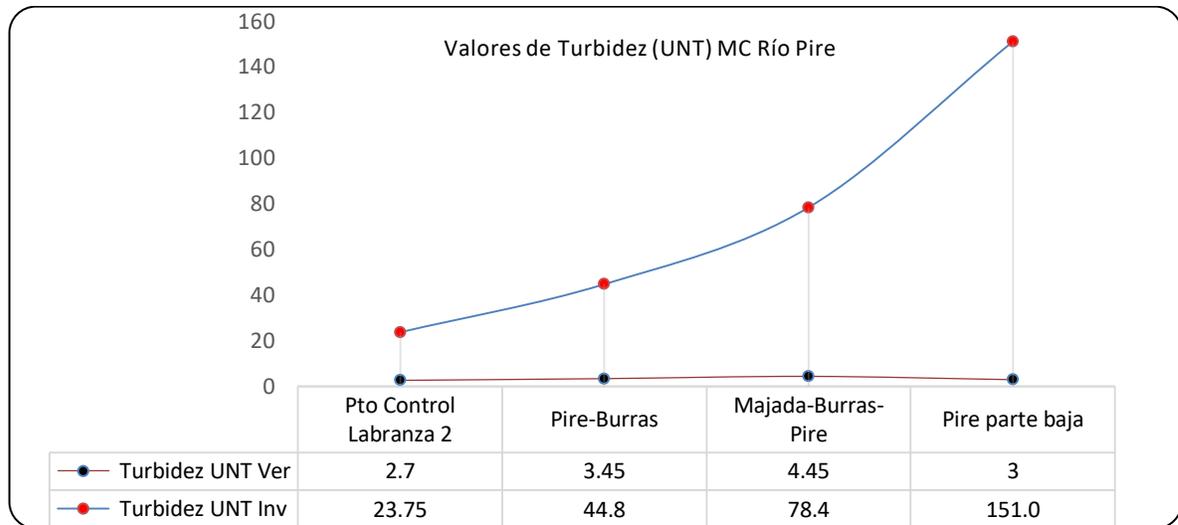


Gráfico 16: Valores de Turbidez en la Mc Río Pire

Los valores restrictivos para potabilización del agua establecido en las norma CAPRE (1993) y Guidelines for Canadian Drinking Water Quality es de 5 UNT. En verano los puntos (control Labranza 2, Pire-Burras y Pire parte baja) las aguas presentan condiciones favorables con respecto al punto Majada-Burras-Pire, que se encuentra muy cerca del límite permisible (4.45 UNT). Uno de los factores es la confluencia de los tres afluentes que provoca cambios en el flujo del río, sumado a ello los constante procesos erosivos que sufre la microcuenca.

En cuanto al periodo de invierno, todos los sitios muestreados los valores de turbidez exceden lo permisible en ambas nomas.

4.3.2 Composición hidroquímica del agua

4.3.2.1 Aniones y Cationes

Durante la época seca las concentraciones de Sodio, Calcio, Potasio, Magnesio y Cloruros se mantienen relativamente constantes. El calcio es incorporado a las aguas por solubilidad de las rocas especialmente cuando han sufrido meteorización. En el caso del río Pire, los suelos sin cubierta vegetal son vulnerables a la

meteorización, esto causa que los iones se incorporen al agua subterránea y la concentración aumente a medida que se avanza aguas abajo en el río.

El gráfico N°17, muestra que el ion sodio (Na^+) después del calcio (Ca^+) es el catión que en mayores concentraciones se presentan en las aguas superficiales de la Microcuenca del Río Pire, esto se debe a la solubilidad de los minerales que contienen estos iones. De acuerdo con lo establecido en las normas CAPRE ambos se encuentran muy por debajo de los límites permisibles para agua potable.

El potasio (K^+) es el ion de menor concentración en todos los puntos muestreados, este ion tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico. El potasio (K^+) es el ion de menor concentración en todos los puntos muestreados, este ion tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico. La concentración de (K^+) a lo largo del río de la microcuenca río Pire disminuye a la vez que el Na^+ se incrementa, debido a la tendencia del potasio a sustituir al sodio contenido en arcillas.

La similitud entre el comportamiento de los cationes calcio y magnesio se debe a que estos iones tienen una geoquímica muy parecida; sin embargo las diferencias cuantitativas son resultado del mayor grado de solubilidad del carbonato de calcio respecto al carbonato de magnesio.

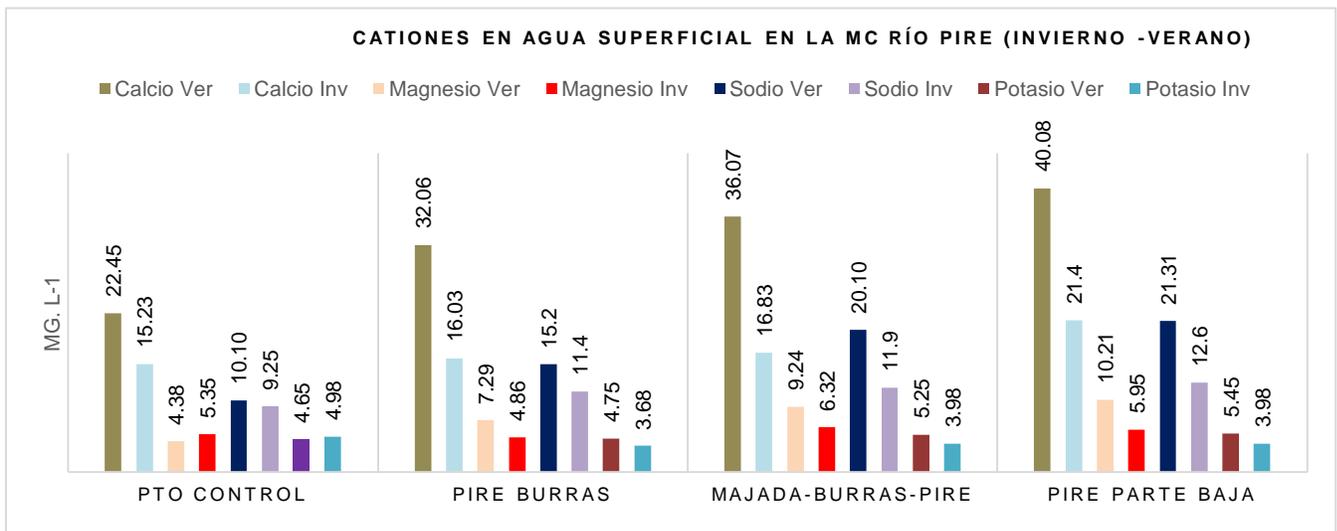


Gráfico 17. Cationes en agua superficial Mc Río Pire (Verano-Invierno)

De acuerdo con los resultados obtenidos, el sodio presentó una dilución ocasionada por el período de lluvia, en todos los puntos. Las mayores concentraciones se obtuvieron en los dos últimos puntos (de 20.1 a 21.31 mg/l^{-1}), por acumulación a lo

largo del río. Las concentraciones de potasio (de 3.98 a 4.98 mg/l⁻¹) se encuentran inferiores a la concentración del sodio, debido a la baja movilidad del potasio. Los resultados indicaron que este ion alcanzó sus mayores concentraciones durante el periodo de estiaje y en el período de lluvia, se observó una dilución.

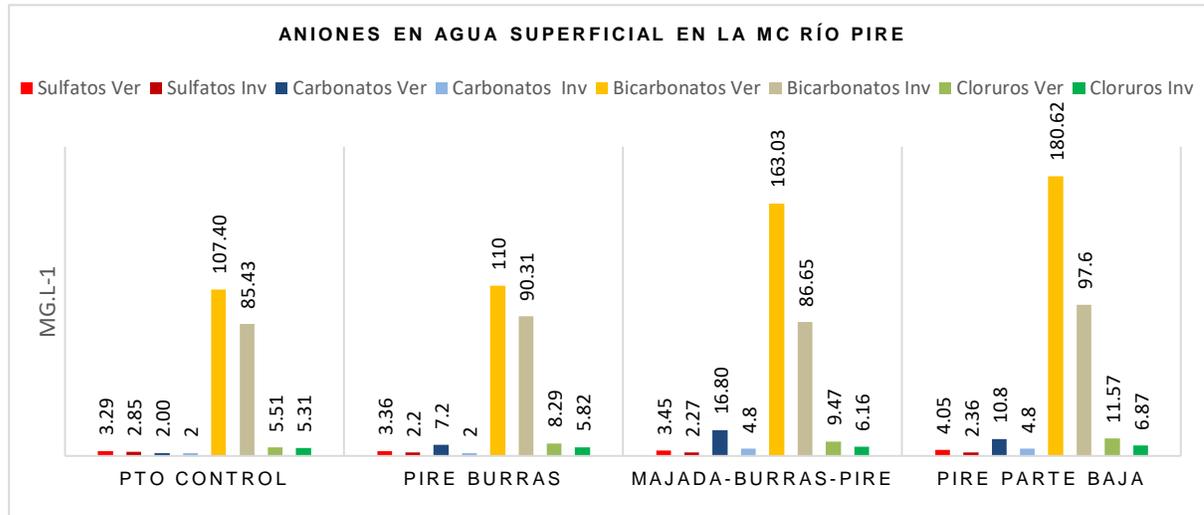


Gráfico 18: Aniones en el agua superficial de la microcuenca Río Pire (Verano-Invierno)

En los Aniones; los sulfatos se presentan en promedio de 3.53 mg.l.⁻¹, el mínimo 3.29 mg.l.⁻¹ y el máximo de 4.05 mg.l.⁻¹. La máxima concentración se estima en el punto Pire parte baja justo en la desembocadura del río. En cuanto a los valores de carbonatos en la época seca e invierno las concentraciones mínimas van desde 2 a 16.80 mg.l.⁻¹ con un promedio de 9.2 mg l.¹. La ausencia del ion carbonato (CO₃), en el primer punto del río se encuentra asociado al pH de 7.9 unidades; establece que por debajo de pH 8.2 no existen prácticamente iones de carbonato y por este motivo las aguas naturales contienen en su mayoría bicarbonatos.

4.3.3 Tipo Hidroquímico del agua

Una de las razones fundamentales para la caracterización hidroquímica del agua, es el aporte de información sobre la composición, lo que permite realizar una gestión adecuada del mismo y definir el aprovechamiento.

En la microcuenca Río Pire se caracterizaron las aguas tomando los datos de la primera y segunda campaña de muestreo. De acuerdo con el diagrama de Piper se determinó que el agua es de tipo Bicarbonatada Cálcida. Los iones predominantes son bicarbonato (HCO₃) y calcio (Ca).

En el grafico N°19, se observa que no hubo variación en el comportamiento del agua.

La composición Bicarbonatada –cálcica de las aguas de la microcuenca Río Pire, se caracterizan por ser aguas jóvenes, de poca permanencia en el subsuelo y se considerarían como aguas de buena calidad natural, no tomando en cuenta las variables microbiológicas y plaguicidas.

Los resultados mostrados tienen relación directa con la dureza total; en los cuales los valores oscilaron entre 60.00 mg.l⁻¹ en el Pto control (Labranza 2) hasta 166.02 mg.l⁻¹ en el último punto (Pire parte baja); estos valores se encuentran dentro lo de establecido en la norma CAPRE.

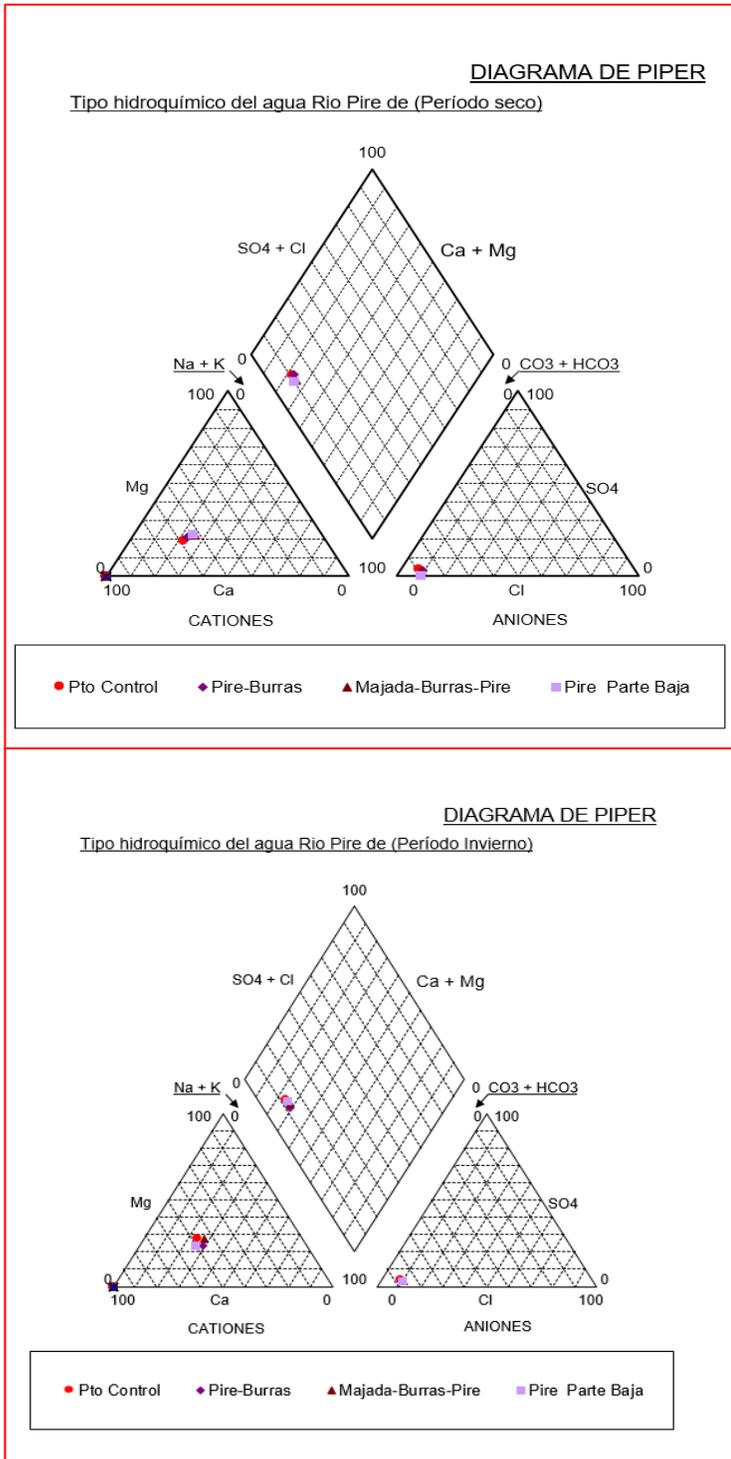


Gráfico 19: Gráfico 8: Diagrama de Piper. Tipo Hidroquímico del agua del Río Pire

4.3.4. Clasificación de aguas para riego

Al considerar la calidad de las aguas para utilizarlas en los regadíos hay que tener en cuenta las características físicas y químicas que presentan. La calidad del agua de riego depende del contenido salino (sodio) y de los posibles elementos disueltos particularmente tóxicos para las plantas, como los cloruros, boratos y otros.

Las Normas Riverside (1954), tienen en cuenta la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de Sodio (S.A.R). Según estos dos índices, se establecen categorías o clases de aguas de acuerdo al peligro de Salinidad (C) y el peligro de alcalinización del suelo (S).

En ambas épocas muestreadas, los puntos presentan la misma clasificación **C1-S1**, las cuales se caracterizan como aguas de buena calidad para riego. (Ver gráfico N° 20. Diagrama de clasificación de las aguas para riego. Pág.90).

- **C1:** Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
- **S1:** Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

En la siguiente tabla se resumen los valores de índice SAR y su clasificación

Tabla 17.

Valores de índice SAR y clasificación de las aguas superficiales de la Mc Rio Pire

Sitio muestreado	RAS mg l^{-1}		Conductividad $\mu\text{S.cm}^{-1}$		Clasificación
	<i>Ver</i>	<i>Inv</i>	<i>ver</i>	<i>Inv</i>	
Pto Control Labranza 2	0.51	0.5	169	162.60	C1-S1
Pire-Burras	0.63	0.6	274.5	166.80	C1-S1
Majada-Burras-Pire	0.70	0.6	369.7	180.7	C1-S1
Pire parte Baja	0.78	0.6	412.3	199.60	C1-S1

Diagrama de clasificación para aguas de riego.

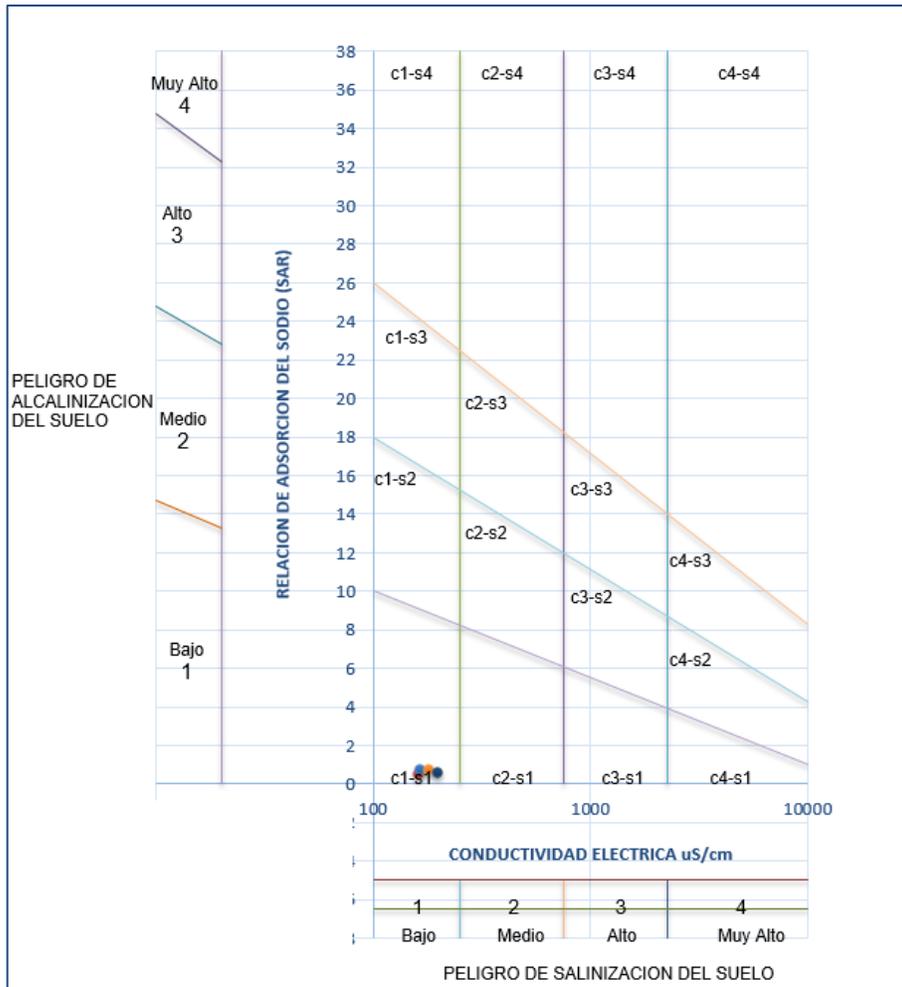


Gráfico 20: Diagrama de clasificación de las aguas, para riego. Normas Riverside para evaluar la calidad del agua de riego.

4.3.5 Caracterización química

4.3.5.1 Dureza total y alcalinidad

En verano los valores de dureza total (CaCO_3), presentan variaciones desde el nacimiento del río hasta la desembocadura. En el punto control (Labranza 2) alcanza un valor de 74.00 mg.l^{-1} y en la parte más baja que corresponde al punto Pire parte baja la dureza total es 166.02 mg.l^{-1} . En cuanto al período lluvioso los valores dureza se muestran uniformes en todos los puntos muestreados con un mínimo de 60 y máximo de 78 mg.l^{-1} .

La dureza de las aguas se expresa como mg/l de CaCO₃. Según su dureza las aguas naturales se pueden clasificar en tres tipos (Contreras López & Molero Meneses, 2011).

- Blanda < 50 Mg/l. como CaCO₃
- Moderadamente duras de 50-150 mg/l. como CaCO₃
- Duras 150-360 mg/l. como CaCO₃
- Muy duras >300 mg/l. como CaCO₃

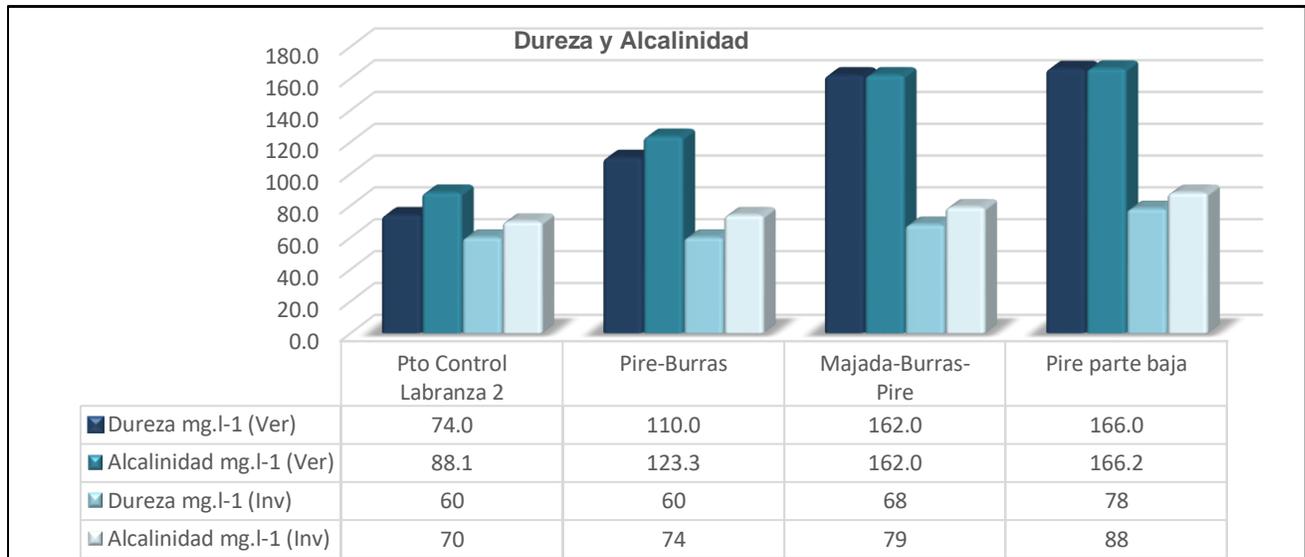


Gráfico 21. Dureza y alcalinidad de las aguas superficiales de la Mc Río Pire

En el período lluvioso, las aguas del río se clasifican como moderadamente duras. Con respecto a la época de verano dos de los primeros puntos (Pto control Labranza 2 y Pire-Burras) se ubican en esta misma categoría; el resto de los sitios presenta aguas duras. Las aguas duras esta cargadas de sales que producen incrustaciones en los sistemas públicos o industriales de distribución de agua, aumentando la resistencia a la circulación y disminuyendo la capacidad de transporte.

Las aguas del río Pire presentan propiedades que le conceden características de agua modernamente dura a dura; entre ella se destacan la presencia de cationes preponderante como Ca⁺, Mg⁺, aniones como HCO₃⁻. El pH oscila entre 7 y 9 unidades. Esto está relacionado con la alcalinidad de estas aguas, en los cuales se observa que la alcalinidad está muy por debajo de los valores de dureza.

La alcalinidad en ambos periodos muestreados se presenta en rangos de 70 mg.l⁻¹ (Pto control Labranza 2) a 166.2 mg.l⁻¹ (Pire parte baja), lo cual se considera de media a alta. Una elevada alcalinidad no representa riesgo directo en la salud, en ocasiones los efectos son secundarios, entre ellos obstrucción de las tuberías y

calentadores de agua. En ciertos casos el uso de ablandadores de agua es uno de los tratamientos común en los hogares para resolver este problema.

4.3.5.2 Sílice disuelta

Los resultados de sílice medido en período seco en los cuatros puntos muestreados presentaron valores entre 69.3 y 80.21 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, con un promedio de 69.83 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. En lo que respecta a invierno se estimó un mínimo de 43.10 a 71.23 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y un promedio de 52.6 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ con una diferencia de 17.23 unidades con respecto al periodo de verano.

La concentración más alta en ambas épocas se midió en el punto control Labranza 2 (80.21 y 71.23 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$), lo cual está asociado directamente al tipo de suelo Ultisol que pertenece a la familia sílicea y el 90% de su peso es sílice (Suarez, 1981); además la disolución de las rocas ricas en silicato de aluminio en forma de partículas y como ácidos silícicos o iones silicatos.

El resto de los puntos presentaron valores de 69.33, 68.13 y 61.67 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, a diferencia del punto control, estos últimos puntos se ubican en otro tipo de suelo con menor sílice en su composición. En invierno las concentraciones de sílice varían entre 49.56, 46.63 y 43.10 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

4.3.5.3 Hierro Total

Los valores de hierro en la estación seca se muestran relativamente bajos, se presentan en concentraciones de 0.27 a 0.22 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, con un promedio de 0.16 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$.



Gráfico 22: Concentraciones de Hierro total en la microcuenca río Pire

Durante esta época seca en todos los puntos las concentraciones de hierro total, se encuentran muy por debajo de lo establecido en la norma CAPRE 3 mg.l⁻¹. Los resultados en invierno muestra un aumento de la presencia de hierro en las aguas; específicamente en los puntos Majada-Burras y Pire parte baja (3.68 y 6.96 mg.l¹). La presencia de hierro en las aguas es producto de la lixiviación de minerales de hierro de rocas ígneas presentes en el área.

4.3.6 Indicadores químicos

4.3.6.1 Nitrógeno

De las especies nitrogenadas, nitratos, amonio y nitritos, se determinaron concentraciones muy bajas en cada uno de los puntos monitoreados en el período seco. (Ver gráfico N°23).

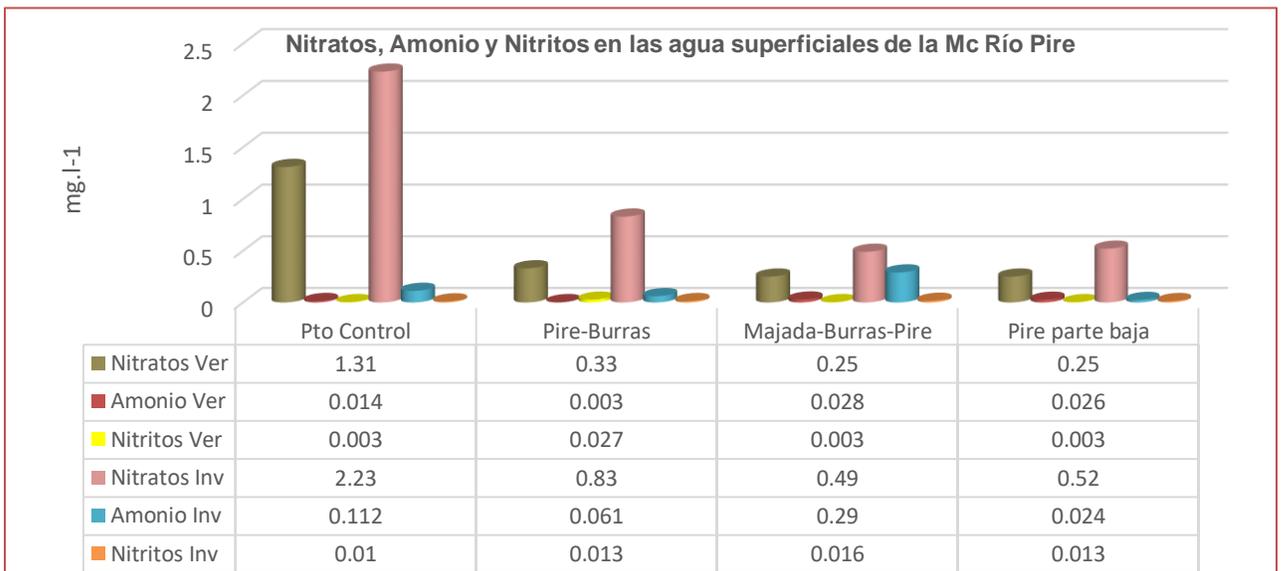


Gráfico 23: Concentraciones de Nitratos, Amonio y Nitritos en las aguas superficiales del Mc Río Pire

Las concentraciones de Nitratos (NO₃) aumentan en invierno con respecto verano. Las mayores concentraciones, se encontraron el punto control 1.31 mg.l⁻¹ y el mínimo se presentan en orden de 0.25 mg.l⁻¹ en los dos últimos puntos (Majada-Burras-Pire y Pire parte baja). Las concentraciones de nitratos en las aguas superficiales, se asocia a la fertilización de los campos de cultivo, excretas del ganado y aguas residuales domésticas incorporadas directamente al cauce del río sin tratamiento previo. En ambas épocas de muestreo, las concentraciones se encuentran por debajo de los 45 mg.l⁻¹, valor admisible por la Norma Canadienses (EQGs).

Desde el punto de vista de los componentes mayoritarios y oligoelementos presentes, el agua de la zona es de buena calidad para la buena protección de la vida acuática, y riego

4.3.7 Indicadores biológicos

4.3.7.1 Indicadores Bacteriológicos

En la evaluación de la calidad bacteriológica de las aguas se estimaron tres variables: Coliformes totales (CT), Coliformes termotolerantes (CTT) y *Escherichia coli* (*E. coli*). De acuerdo con las norma CAPRE en las aguas destinadas para consumo humano no debe haber presencia de Coliformes totales y fecales. El grafico 24 muestra, que todos los puntos tienen concentraciones de Coliformes y E. Coli

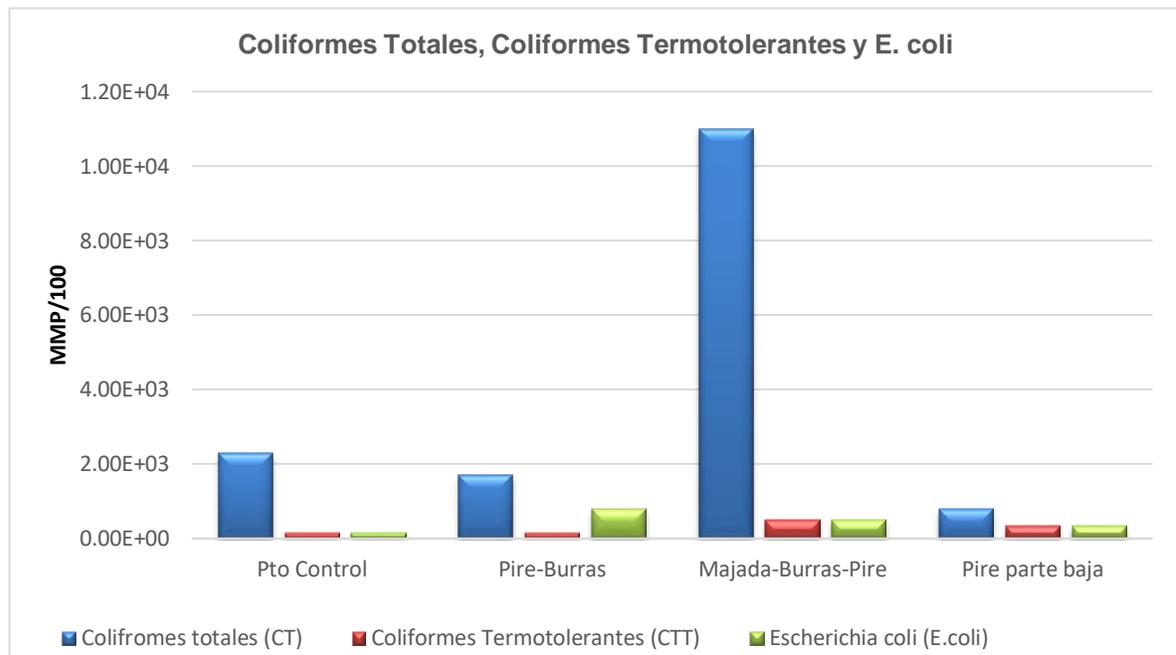


Gráfico 24: Coliformes totales, Coliformes termotolerantes y E.coli.

La Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA), por la Comunidad Económica Europea (CEE) y las Normas Canadienses (EQGs), establecen que las aguas para baño no deben de exceder los 1000 Coliformes Totales /100 ml. En los puntos monitoreados la media alcanzó un valor de 3.95E+03/100, el máximo de 1.10E+04/100 (Pto 3: Majada–Burras –Pire) y el mínimo 7.90E+02 en el sitio Pire parte baja. Todos los puntos monitoreados no cumplen con la establecido en la normas EQGs.

En cuanto a las Coliformes Termotolerantes el máximo número probable en 100ml es de 4.90E +02 (Majada-Burras-Pire) y el mínimo 1.30E+02, la presencia de la

misma está asociado la ganadería y la ausencia de alcantarillado sanitario en el área. La última variable analizada es la E.coli el mínimo número más probable se presenta en el punto control ($1.40E+02$) y el máximo $7.90E+02$ en el punto Pire Burras.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos establece que las aguas utilizadas para baño, no deben exceder los $2,00E+02$ de Coliformes termotolerantes en 100 ml y la Organización Mundial de la salud (OMS) establece que aguas utilizadas para irrigación no deben contener más de $1,00E+03$ Coliformes termotolerantes.

Se debe de tomar en cuenta que las Coliformes totales incluyen varios géneros, todos los cuales pueden ser de origen fecal. En condiciones adecuadas, pueden multiplicarse en presencia de material orgánico. Algunas especies de Coliformes son asociadas frecuentemente a desechos vegetales o pueden ser habitantes comunes del suelo o de las aguas superficiales. Por lo tanto el grupo de las Coliformes no debe de ser considera en general como un indicador de organismos de origen exclusivamente fecal, especialmente en países de temperaturas muy altas, done pueden abundar bacterias Coliformes de origen no fecal (OPS, 1988).

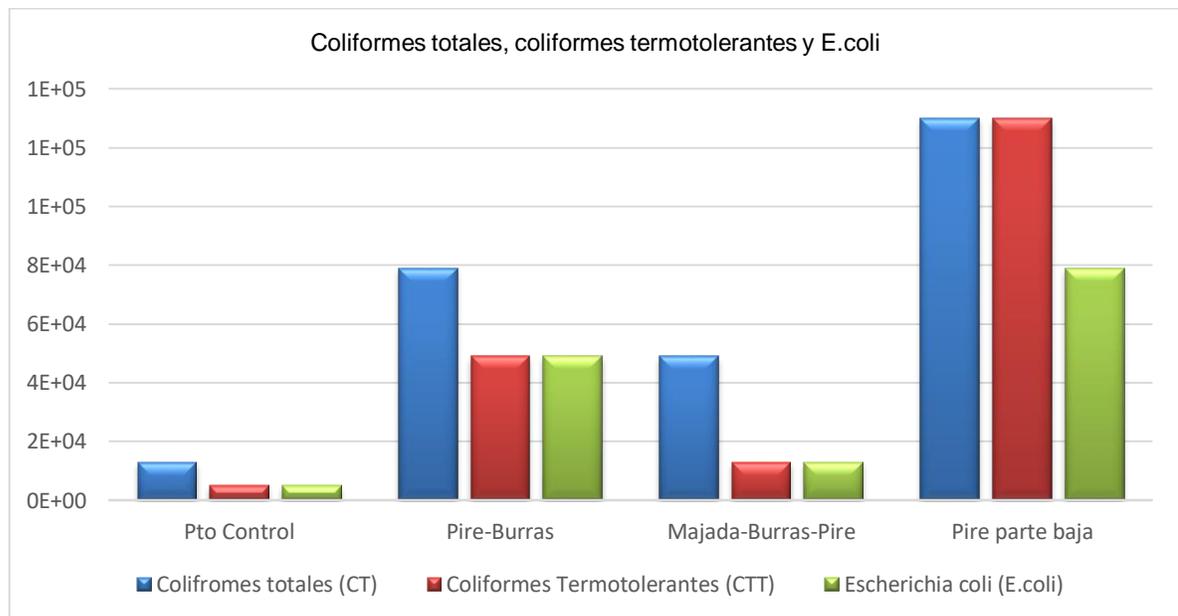


Gráfico 25. Coliformes totales, Coliformes termotolerantes y E.coli

En invierno el número más probable de Coliformes totales, tiende a aumentar significativamente a partir del punto Pire –Burras. Los máximos valores se alcanzan en el punto Pire parte baja; las Coliformes totales ($1E+05$), Coliformes

termotolerantes ($1E+05$) y E.coli ($8E+04$). Se observa un aumento con respecto a verano en los puntos Majada-Burras-Pire y Pire –Burras.

4.3.8 Plaguicidas

4.3.8.1 Organoclorados

De los plaguicidas Organoclorados (Alfa-HCH, Beta-HCH, Delta-HCH, Lindano, pp-DDE, pp-DDD, ppt-DDT, Heptacloro, Heptacloro-epóxido, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Endosulfan I, Endosulfan II y Toxafeno analizados en la matriz agua, ninguno fue detectado en ambas épocas de muestreo, debido a su composición, poca solubilidad en el agua y de ser posible estén adsorbido en la matriz arcillosa.

4.3.8.2 Organofosforado

De los 12 plaguicidas organofosforados (CO-RAL, Coumafos, DEF-Triburfos, Diazinon, Etil paration, Etion, Forate, Gution, Malation, Metil paration, Mocap, Terbufos y zolone) ninguno fue detectado en las muestras de agua colectadas en ambos periodos de muestreo. Una de las razones es el carácter lipofilicos y la composición

4.3.9 Principales hallazgos: calidad del agua superficial en la microcuenca Río Pire

Tomando en cuenta los resultados obtenidos con SWAT, que muestran que el uso actual del suelo tiene impactos significativos en la generación de escurrimiento (superficial y subsuperficial), sedimentos, percolación, infiltración y recarga, se procedió a realizar dos campañas de muestreo, seleccionándose cuatro puntos sobre el cauce principal de la microcuenca a ello se le realizó análisis físico-químico, plaguicidas (Organoclorados-organofosforado) y microbiológicos, encontrándose que:

- Desde el punto de vista físico, los parámetros conductividad, turbidez, se encuentran por encima de la norma; turbidez es una mediad importante en la potabilización de la aguas para consumo humano, pues las pequeñas partículas pueden portar gérmenes patógenos importantes. Es importante que en la microcuenca se tome en cuenta este aspecto al momento de considerar las aguas del Río pire como suministro de agua para consumo de los habitantes.
- En ambas épocas muestreadas, los puntos presentan la misma clasificación C1-S1, las cuales se caracterizan como aguas de buena calidad para riego,

con ello se puede aprovechar las HURs que más generan caudal y escurrimiento en el área.

- Las aguas del Río pire presentan propiedades que le conceden características de agua modernamente dura a dura; al estar cargadas de esas sales las aguas producen incrustaciones en los sistemas públicos o industriales de distribución de agua, aumentando la resistencia a la circulación y disminuyendo la capacidad de transporte.
- En lo que respecta a los Indicadores bacteriológicos, las aguas no son aptas para consumo humano, labores domésticas (aseo personal) y usos agrícolas.

4.4. Alternativas de conservación del recurso agua y suelo

Se estima que las prácticas de uso de la tierra tienen impactos importantes, tanto en la disponibilidad como en la calidad de los recursos hídricos. Estos impactos pueden ser tanto positivos como negativos. Es lógico pensar que los beneficios de una mejora en el manejo de la tierra, o los costes asociados a los impactos negativos por un uso inadecuado de los recursos hídricos, podrían repercutir no sólo en los usuarios del agua que los causan, sino también en la población que vive en la cuenca baja o, en el caso de las aguas subterráneas, que hace un uso de los recursos contaminados. Para evaluar estos costes y beneficios, es importante tener una idea clara, desde la perspectiva del medio físico, de hasta qué punto las diferentes prácticas de uso de la tierra afectan al régimen hidrológico y la calidad del agua y en qué tamaño de cuenca son relevantes estos impactos. (FAO, 2000).

4.4.1 Alternativas para áreas críticas a la escorrentía

Los resultados de la simulación con SWAT muestran que de las 55 HURs 9 son las que generan los mayores volúmenes de escorrentía, (Ver Tabla 15: HURs que generan los mayores volúmenes de escorrentía mensual. Pág. 71) considerándose las mismas como áreas críticas.

La parte alta de la microcuenca es considerada la zona de recarga incluyendo las HURs: 55,54 y 53; pero de acuerdo a los datos mostrados por el modelo presentan los mayores escurrimientos lo cual se ve favorecido por el cambio de uso de suelo y pendientes abruptas

Parte Alta: áreas que se encuentran por encima de los 700 m: (HURs: 54, 55, 52, 53, 29,34).

- La parte alta se debe de reforestar, (bosque de conservación y protección) esta acción mitiga los efectos de la erosión, escorrentía y propicia la infiltración, lo cual tendrá impactos positivos en el balance hídrico del área.
- De no reforestar estas áreas, se puede establecer un sistema de producción bosque de producción (café, conífera).

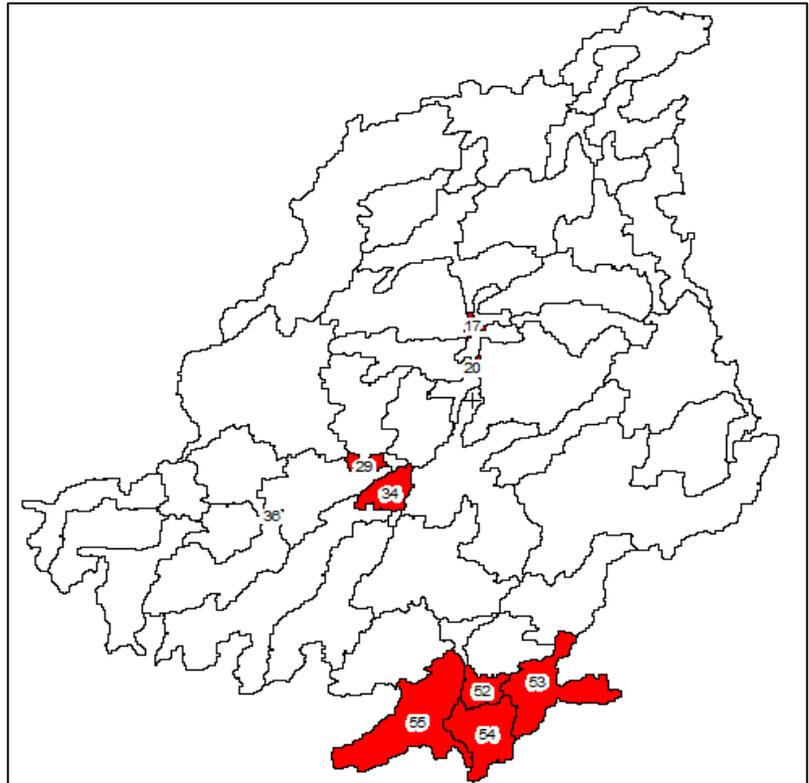


Ilustración 5: HURs y establecimiento de alternativas de conservación

Parte Media: áreas que se encuentran por debajo de los 700 (HURs 20 y 17)

- Una de las principales problemáticas en el área de estudio es el déficit de agua disponible en los meses secos, se propone aprovechar los volúmenes de escorrentía generados en las unidades hidrológicas 20,17 y en el resto de las HURs 21,27,19 creando estructuras físicas (Cosecha de agua). Se debe profundizar en los estudios desde el punto de físico, edafológico.
- Las HURs (no críticas) se debe mejorar la cobertura vegetal de los suelos, lo cual debe de incluir residuos de rastrojos para protegerlo de la erosión por impacto de las gotas de las lluvias intensas, además de incluir medidas como rotación de cultivos.
- Mejorar la estructura y el drenaje de los suelos, a fin de favorecer la infiltración del agua y la conservación de la humedad en el suelo. Un suelo

que contiene mucha materia orgánica absorbe con mayor facilidad el agua evitando que escurra sobre su superficie.

- Establecimiento de barreras vivas cuya finalidad es reducir la velocidad del agua que corre por la superficie. Al mismo tiempo se retienen el transporte de sedimentos por las corrientes.
- En el uso potencial del suelo aproximadamente el 70% del territorio debe ser de bosque latifoliado. En las áreas deforestadas es necesario tomar medidas tales como cultivos en fajas, que consiste en sembrar de forma alterada, fajas de diferentes cultivos en curvas a nivel. El largo de la fajas debe estimarse considerando la pendiente del terreno, el tipo de suelo y le cultivos específico.
- Curvas a nivel, las mismas se consideran una de las prácticas básicas en el manejo y conservación de los suelos y agua. Se debe construir terrazas, surcos en contorno, zanjias de infiltración, esto permite realizar las labores en forma perpendicular a la pendiente.
- Construir diques interceptores de baja pendiente en los alrededores de las HURs. Con ello se está contribuyendo a disminuir la escorrentía superficial la cual es responsable del traslado de las partículas del suelo

4.4.2 Alternativas para áreas críticas a la producción de sedimentos

El relieve del suelo conjuntamente con el ángulo, la longitud y forma de la pendiente inciden en el proceso erosivo. A medida que el ángulo de la pendiente aumenta, una mayor cantidad del suelo es transportado ladera abajo; existiendo un aumento considerable de la erosión en pendientes del 5 al 10% en comparación con la erosión en pendientes más suaves. La longitud de la pendiente incrementa la erosión debido a que la escorrentía aumenta con la distancia a partir de la cima de la pendiente. Uno de los factores que impide el impacto directo de las gotas de lluvia es la vegetación, dado que disipa le energía que llevan las mismas; parte del agua que cae es interceptada por la vegetación incrementando a si la tasa de infiltración. (Tayupanta, 1993).

El manejo del suelo puede afectar significativamente a la cantidad y calidad del agua disponible en una cuenca. El balance hidrológico es alterado producto de la deforestación, cambio de uso de suelo, sobre explotación de los acuíferos.

En la microcuenca las HURs más productivas son ocho de las cuales, una de ellas está muy cerca de la categoría erosión hídrica moderada. (Ver **Tabla 16: HURs que generan más sedimentos en la microcuenca. Pág. 77**).

La mayor proporción de los sedimentos generados en la microcuenca provienen de las Unidades de Respuesta Hidrológica con usos de suelo agropecuarios (pastizales, tacotales y pasto), las cuales son predominantes en toda el área.

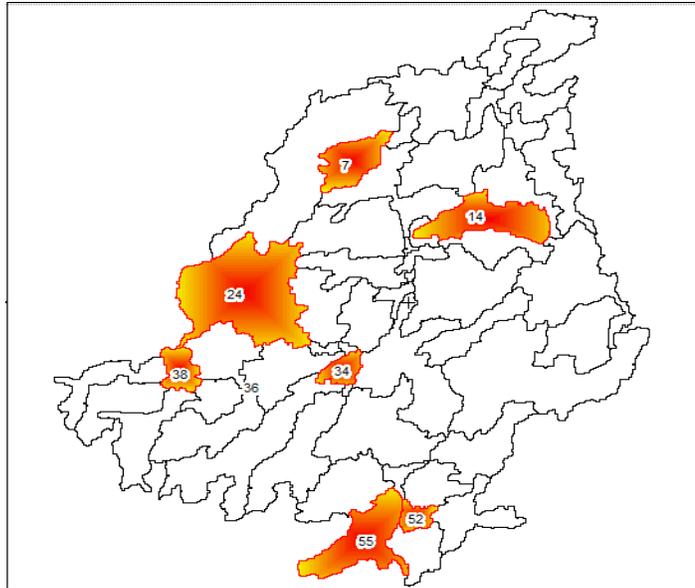


Ilustración 6: HURs de mayor producción de sedimentos y medidas de conservación.

A partir de la simulación del escenario 2 (Uso potencial) los resultados revelaron que un uso adecuado del suelo, reduce de manera significativa la producción de sedimentos en la microcuenca.

Parte alta: áreas que se encuentran por encima de los 700 (HURs 55, 38, 36, 34, 52, 14, 7 y 24)

- Cambiar las prácticas convencionales de ganadería y agricultura, sustituyendo estas áreas por bosque de protección y conservación; de no lograrse dicha medida se pueden establecer sistemas mixtos en los cuales se establezca un sistema de producción que combine áreas de bosque (conífera y café); ello generará un incremento de la infiltración.

Parte media y baja

- Establecimiento de barreras de retención de sedimentos las cuales serán útiles para controlar los sólidos en suspensión en el agua, proporcionando una zona de contención controlada.
- Instalación de diques de retención de sedimentos (Dique de piedra sobre piedra, mampostería en seco) y zanjas de infiltración.
- Establecimiento de zanjas de infiltración que permitan retener el escurrimiento y sedimentos, favorecer la infiltración; las mismas son idóneas en laderas con fuerte pendiente.

- Manejo de suelos, como labranza conservacionista, surcos en contorno, incorporación de materia orgánica, labranza de subsuelo y surcos tabicados.
- Practicas agroforestales, silvoagropecuarias, silvopastoriles.
- Mejorar la estructura y drenaje de los suelos, a fin de favorecer la infiltración del agua y la conservación de la humedad del suelo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- La generación de dos escenarios (actual y potencial) muestra como el uso actual de suelo tiene impactos negativos en los caudales, escorrentía, producción de sedimentos y balance hídrico en la microcuenca Río Pire.
- Las unidades de respuesta hidrológica que producen los mayores volúmenes de sedimentos y escorrentía corresponde a áreas cubiertas por pastizal/tacotal y ubicadas en la zona de recarga del acuífero, en pendientes mayores a los 700 metros de altura.
- Los caudales de estas HURs ubicadas en la parte baja y media de la microcuenca se pueden aprovechar a través de la construcción de obras de retención de agua. (Cosecha de agua).
- Los resultados del balance hídrico permitirán establecer una planificación de los recursos hídricos a futuro en el área.
- Desde el punto de vista físico-químico, las aguas de la microcuenca se consideran de buena calidad natural.
- Las variables turbidez, conductividad se encuentran por encima de lo establecido en las normas de calidad de agua, lo cual está asociado al uso actual de suelo que genera grandes volúmenes de sedimentos y escorrentía.
- Todos los puntos muestreados presentan contaminación de origen fecal producto de la principal actividad económica y la ausencia de alcantarillado sanitario.
- En las unidades de respuesta hidrológica críticas, se debe priorizar acciones dirigidas a mitigar los impactos de la escorrentía, sedimentos y calidad de las aguas superficiales.

CAPÍTULO.VI. RECOMENDACIONES

- Se debe de establecer un plan de manejo integrado en la microcuenca, que haga énfasis en la conservación del recurso agua y suelo, esto debe involucrar a la Alcaldía de Condega, Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), deben apoyar a los agricultores de la microcuenca con programas que incluyan educación ambiental, conservación de suelo y agroforestería con el fin de evitar que aumente la pérdida de cobertura boscosa.
- El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y la Alcaldía debe Instrumentar la estación existente en Condega o instalar una estación de aforo con el fin de monitorear las HURs de mayor caudal, para contar con datos continuos y precisos de estas áreas.
- Partiendo de los datos generados en esta investigación, la Alcaldía de Condega debe evaluar los efectos adversos de la producción de sedimentos y escorrentía en los aspectos económicos, sociales en la microcuenca y generar propuestas para hacerles frente.
- La alcaldía de Condega debe de establecer un monitoreo de la calidad y disponibilidad de las aguas del Río Pire, dadas las condiciones de climáticas y el cambio de uso de suelo tan acelerado que ha sufrido el área que ha impactado negativamente el recurso hídrico.

CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA

- (FUNICA), F. p. (Marzo de 2009). *Propuesta de Intervención de FUNICA para la zona norte de Nicaragua: Estelí, Madriz y Nueva segovia*. Obtenido de <http://www.renida.net.ni/renida/funica/REA01-Z-25p.pdf>
- Alarcón, M. C. (Enero de 2004). *Simulación de Escorrentía y producción de sedimentos aplicando SWAT en las Microcuencas 7 y 13, Subcuenca III, Cuenca sur del Lago de Managua, Nicaragua*. Obtenido de <http://repositorio.una.edu.ni/1030/1/tnp10g984s.pdf>
- AMUNSE, M. U. (Mayo de 2010). *Diagnostico Biofísico y Socioeconómico de la cuenca media alta del Río Coco*. Obtenido de MARENA
- Asensio, S., & Gisbert, J. M. (2000). *Ultisoles*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12868/Ultisoles.pdf?sequence=3>
- Áviles Gonzáles, Y., & Barahoana Molina, J. (2007). *Cuantificación de la erosión Hidrúca en diferentes sistemas productivos con parcelas de escorrentía en la Microcuenca Estanzuela, Esteli-Nicaragua*.
- Baéz , A. (1998). *Reconocimiento y caracterización de los recursos edáficos , Hídricos y forestales del Municipio de Condega, levantamiento de reconocimiento de alta intensidad, Escala 1:50.000*. Managua.
- Barrios , A., & Urribarri , L. (2009). *Aplicación de un modelo SWAT en los Andes venezolanos: Cuenca Alta del río Chama*.
- Benítez Girón . (5 de Enero de 1998). *Taller de Hidrología aplicada a la resolución de solicitudes de derechos de aprovechamiento de las aguas superficiales* . Obtenido de https://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjFlpOgmr7UAhXMTCYKHdXsAlcQFggTMAE&url=https://www.gob.ni/documentos.dga.cl/ADM841.pdf&usq=AFQjCNFQSXalpZhiHvKISuFYCepPDWYTvQ&sig2=CFxguo_geaZptk-PQhshBQ
- Benítez Girón, A. (5 de Enero de 1998). *TALLER DE HIDROLOGÍA APLICADA A LA RESOLUCIÓN DE SOLICITUDES DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES*.
- BID. (Julio de 2005). *Buenas Prácticas para la Creación, mejoramiento y operación sostenible de organismos y organizaciones de Cuenca*. Obtenido de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=964956>

- Bisolutions, W. y. (Junio de 2010). *Balance de Agua para el Municipio de Condega, Departamento de Estelí*. Obtenido de <http://subweb.diis.dk/graphics/Subweb/Water/hydro%20nicaragua.pdf>
- Caballero Arbizú, Y. (Marzo de 2007). *Potencial Hidrológico y calidad de las aguas superficiales en la Subcuenca Río Ochomogo*.
- Contreras López, A., & Molero Meneses, M. (2011). *Ciencia y tecnología del Medio Ambiente*. Madrid.
- E. Manahan, S. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. Obtenido de <https://books.google.com.ni/books?id=5NR8DIk1n68C&printsec=frontcover&dq=Introduccion+a+la+quimica+ambiental&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjKraml8fLKAhUI6CYKHANA-4Q6AEIGzAA#v=onepage&q=Introduccion%20a%20la%20quimica%20ambiental&f=false>
- FAO. (200). *Relaciones Tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales*. Obtenido de https://books.google.com.ni/books?id=uVekPRH-XqgC&pg=PA41&lpg=PA41&dq=erosion+en+cuencas+hidrograficas&source=bl&ots=yAO6TKbCUw&sig=TtU-bWJs5p-EnguZLG18CcRr2Dg&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwir6K3O74DRAhVniVQKHVw2DH84ChDoAQg_MAc#v=onepage&q=erosion%20en%20cuencas%20
- FAO. (2000). *Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw9s.pdf>
- FAO. (2002). *Agricultura Mundial hacia los años 2015 /2030. Informe Técnico*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y3557S/y3557s00.pdf>
- FAO. (2005). *Impacto de la practicas de cosecha Forestal*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/V9727S/v9727s0a.htm>
- FAO. (2005). *IMPACTOS DEL USO DE LA TIERRA SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA - Benjamin Kiersch*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/005/y3618s/y3618s06.htm>
- FAO. (2005). *Relaciones agua tierra en cuencas rurales*.
- Galvín, R. M. (2003). *Fisico química y Microbiología de los medio acuáticos, tratamieneto y control de la calidad de las aguas*. Obtenido de https://books.google.com.ni/books?id=k8bIixwJzYUC&pg=PA114&dq=contaminacion%20bacteriologica+de+la+aguas&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=contaminacion%20bacteriologica%20de%20la%20aguas&f=false

- García Obando, L. (2003). *Indicadores Técnicos y Evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, Subcuenca del río Tascalapa Yoro, Honduras*.
Obtenido de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0144e/A0144e.pdf>
- Girón, A. B. (5 de Enero de 1998). *Taller de Hidrología aplicada a la resolución de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales*.
- Guevara Ochoa, C., Cazenave, G., Vazquez Amabile, G., Collazos, G., & Vives, L. (2012). *Empleo del modelo hidrológico SWAT en regiones de llanuras. Aplicación*.
Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47531/Documento_completo.pdf?sequence=3
- Guillermo, B. (1996). *Impacto del Fenómeno El Niño sobre los recursos hídricos en el continente Americano y nuevas metodologías aplicadas al pronóstico hidrológico estacional e*. Obtenido de http://www.cridlac.org/cd/CD_El_Nino/pdf/spa/doc9292/doc9292.htm
- Hodgson, G. (2000). *GEOLOGÍA REGIONAL DE NICARAGUA*.
- Hudiel, S. N. (Mayo de 2012). *Tipos de suelo en Nicaragua, química y formación de los suelos*.
- INAFOR. (Abril de 2004). *Frontera Agrícola*. Obtenido de [file:///C:/Users/Blandon/Downloads/Frontera%20Agricola%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Blandon/Downloads/Frontera%20Agricola%20(1).pdf)
- INAFOR, M. F. (15 de Julio de 2009). *Resultados del Inventario Forestal, Nicaragua 2007-2008*. Obtenido de <http://www.inafor.gob.ni/inventario/Pdfs/Informe%20Final%20.pdf>
- INFOM. (2005). *Ficha Municipal de Condega*. Obtenido de <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/ESTELI/condega.pdf>
- INIFOM. (2000). *Ficha Municipal de Condega*. Obtenido de <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/ESTELI/condega.pdf>
- INTA-ARGENTINA. (2012). *Indicadores agroambientales (suelo y agua) para la evaluación de la sustentabilidad de sistemas productivos en áreas sujetas a cambios en el uso de la tierra*. Obtenido de <http://inta.gob.ar/proyectos/PNECO-093012>
- IPCC. (2008). Obtenido de El cambio Climático y los Recursos Hídricos por sectores: https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/chapter_4_sp.pdf
- Jiménez, J., Calvo, F., Pizarro, E., & Gonzáles, E. (2005). *Conceptualización del Caudal Ambiental en Costa Rica: Determinación Inicial para el Río Tempisque*. Obtenido

de

<https://books.google.es/books?id=Hz9e0ptAPakC&lpg=PT4&ots=Z1H8w3de6v&dq=caudales%20definicion&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=caudales%20definicion&f=false>

- Llano, J. J. (1975). *Mecanica de Suelos*. España. Recuperado el 7 de Enero de 2016
- Llerena Portillo, M. (2009). *Caracterización Hidroquímica de las aguas de la Sierra del Rosario y Alturas del Mariel*.
- López, S., Mónica, E., García, B., Reynoso, Y., González, P., & Larroudé, V. (2006). *Calidad del agua para usos recreativos desde las perspectivas de*. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2016/trabajos/A012_COINI2016.pdf
- MAGFOR. (2008). *Programa Forestal Nacional del poder Ciudadano PFN*. Obtenido de <http://www.magfor.gob.ni/prorural/programasnacionales/planforestal.pdf>
- MARENA . (31 de Agosto de 2001). *Programa Socioambiental y de Desarrollo Foresta*. Obtenido de http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/MARENA/MARENA0077/cap03.pdf
- MARENA. (Julio de 2000). *Plan Ambiental del Departamento de Estelí*. Obtenido de http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/MARENA/MARENA0026/ESTELI.pdf
- Marin Galvín, R. (2003). *FísicoQuímica y Microbiología de los medios acuaticos , Tratamiento y control de calidad de agua*. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=k8bIixwJzYUC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Martel, A. B. (s.f.). *Aspectos Físico-químicos de la calidad del Agua*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>
- Mendoza, M., Bocco, G., Bravo, M., Siebe, C., & Ortiz, M. (2002). *Modelamiento hidrológico espacialmente distribuido: una revisión de sus componentes, niveles de integración e implicaciones en la estimación de procesos hidrológicos en cuencas no instrumentadas*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112002000100004&script=sci_arttext
- Miralles , L., Costa, J., Muñoz, Á., & Guijarro, R. (20 de Octubre de 2005). *Agentes medioambientales de la Generaliat Valeciana*. Obtenido de <https://books.google.com.ni/books?id=-1MW1wEH3U0C&printsec=frontcover&hl=es>
- Morales Cáceres Mariela, S. R. (2003). *Uso actual vs. Uso apropiado de los suelos de 7 comunidades de la microcuenca El Apante, Telica, León*. Obtenido de

<http://www.geolatina.net/cuencasnicaragua/sites/default/files/file/Cap3/Usos%20actuales%20suelos%20vs%20uso%20apropiado%20Telica.pdf>

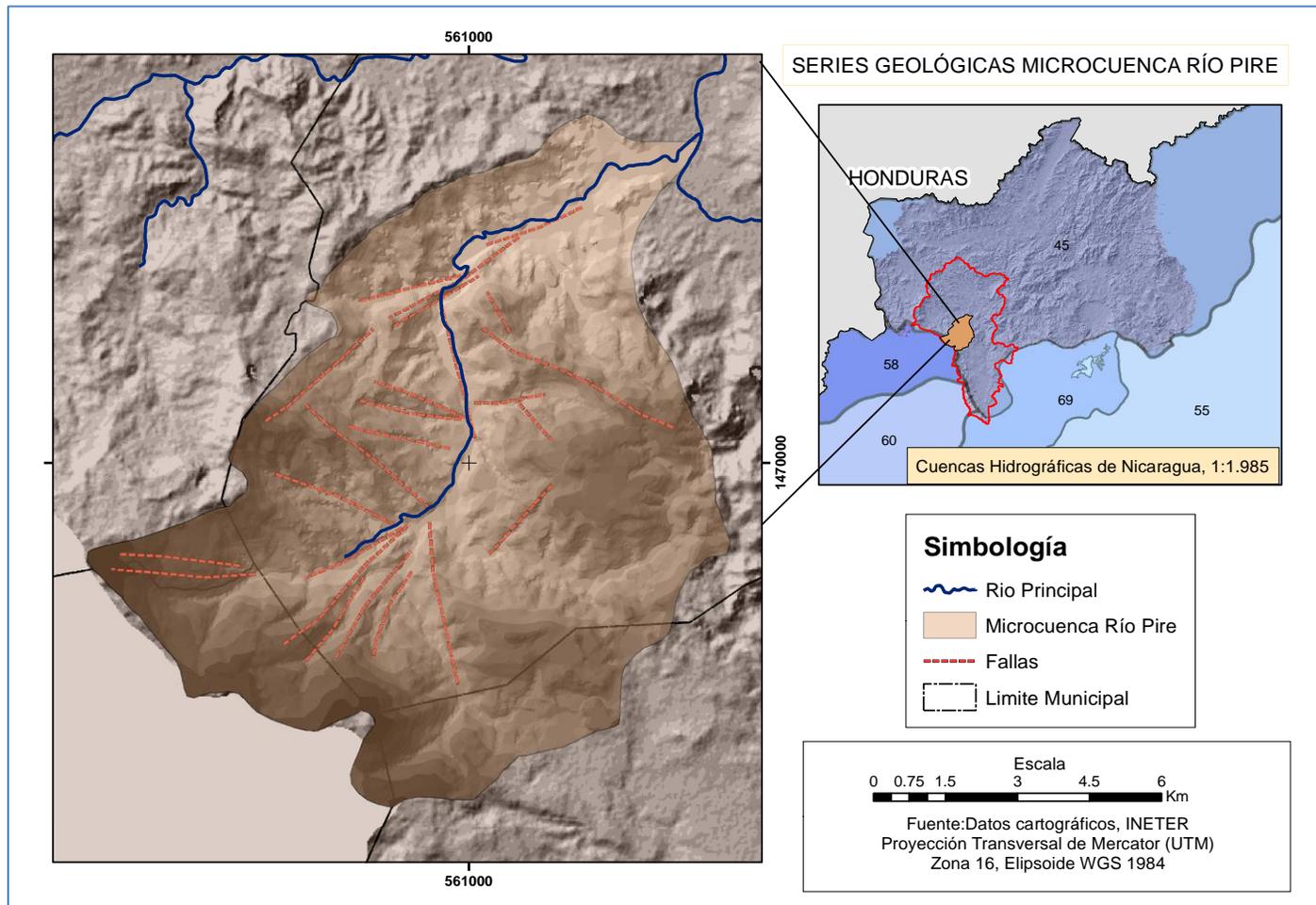
- Morell, I., & Candela, L. (1998). *Plaguicidas Aspectos Ambientales Analíticos y Toxicológicos*. Obtenido de <https://books.google.com.ni/books?id=Ti3ZZRNlIaaYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Navas, L. P. (2012). *Bases de datos de los suelos para la modelización de la erosión con el modelo*. Obtenido de http://digital.csic.es/bitstream/10261/72344/1/Palaz%C3%B3nL_CapLib_SWAT_2012.pdf
- OPS. (1988). *Guías para la calidad de agua*.
- Ortiz Rivera, A., Mendoza Cantú, M., & Bravo Espinosa, M. (2010). *Implementación de un Modelo Hidrológico SWAT: Modelación y simulación multitemporal de la variación de la escorrentía en la cuenca del lago Cuitzeo*. Obtenido de http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2011_cnch2_cc_aortiz.pdf
- Ortiz Rivera, A., Mendoza Cantú, M., & Bravo Espinosa, M. (2011). *Implementación del Modelo hidrológico SWAT: Modelación y simulación multitemporal de la variación de la escorrentía en la cuenca del lago CUITZEO*. Obtenido de http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2011_cnch2_cc_aortiz.pdf
- PAHO. (1976). Obtenido de Análisis de las Normas de control de calidad de las Aguas: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031275/031275.pdf>
- PAHO. (Septiembre de 2000). *Diagnóstico de la exposición y efectos de uso de los plaguicidas, Estelí*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/e/fulltext/nicaragua/esteli.pdf>
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering Hydrology*. Prentice Hall.
- Preciado, J. M. (Septiembre de 2010). *Análisis entre escurrimientos y sedimentos Históricas en la cuenca del río Apatlaco, Mor.* Obtenido de http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/phi/aqualac/Preciado_et_al.pdf
- Ramírez González, A., & Viña Vizcaino, G. (1998). *Limnología Colombiana*. Bogotá. Obtenido de [https://books.google.com.ni/books?id=puZFAAAAYAAJ&q=En+las+aguas+naturales+la+dureza+total+corresponde+a+la+suma+de+las+concentraciones+de+calcio+y+magnesio,+evaluada+como+carbonato+de+calcio+\(Ram%C3%ADrez+y+Vi%C3%B3n+1998&dq=En+las+aguas+naturales+la+du](https://books.google.com.ni/books?id=puZFAAAAYAAJ&q=En+las+aguas+naturales+la+dureza+total+corresponde+a+la+suma+de+las+concentraciones+de+calcio+y+magnesio,+evaluada+como+carbonato+de+calcio+(Ram%C3%ADrez+y+Vi%C3%B3n+1998&dq=En+las+aguas+naturales+la+du)

- Ramírez, J., & Lacasaña, M. (2001). *Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición*. Obtenido de <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Placlausotoxmedexpmx.pdf>
- Rogola Lapeña, M. (1990). *Tratamientos de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona.
- Sánchez, O. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos de México*. México.
- Suarez, P. (1981). *Suelos dle trópico: Caracteriticas y manejo*. Venezuela. Obtenido de <https://books.google.com.ni/books?id=20MMFDtmtGAC&pg=PA143&lpg=PA143&dq=caracteristicas+quimicas+de+los+suelo+molisol&source=bl&ots=OS3qYZuwMc&sig=TQLr0hHo8IU8C5d5q4Bsnk70WBA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj0m67vxofOAhXH2yYKHbB-BrwQ6AEIYTAO#v=onepage&q=caracterist>
- Tamayo García, , G. (2017, pag 4). *Evaluación de caudales líquidos y de producción de sedimentos estimados con el modelo Soil wate assesssment tool (Swat) y su relacion con los cuadales líquidos y solidos observados*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17067>
- Tayupanta, J. (1993). *La erosión Hídrica: Procesos, Factores y formas*. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=a7EzAQAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=erosion+hidrica+del+suelo+&ots=2u0QDA2peH&sig=QabbCwhy-XJuV53MsVKOzreiL30#v=onepage&q=erosion%20hidrica%20de%20suelo&f=false>
- Valle, A. M. (Septiembre de 2015). *Banco Mundial; CIAT. 2015. Agricultura climáticamente inteligente en Nicaragua. Serie de perfiles nacionales de agricultura*.
- Villaran San Juan, R. (2017, pag 24-25). *Utilización del programa SWAT para la estimacion de la emision de sedimentos en cuencas*. Obtenido de https://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjIpqzqcqILVAhVF5SYKHTTuC6kQFgglMAA&url=http%3A%2F%2Fwww5.uva.es%2Ftrim%2FTRIM%2FTRIM12_files%2FRFernandez.pdf&usg=AFQjCNFvHVd3y67P1V8ZJQVfW7LftoZSNA
- Zambrano Nájera , J. (Enero de 2015, pag 8). *Estimación de la producción y trasnporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base fisica basado en SIG*.

Zuleta Salmon, C. (2013). *Analisis del comportamiento del Recurso Hídrico antes cambios de uso de suelo y el cambio climático en la cuenca del Río Pijibaye, Costa Rica.*
Obtenido de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11471e/A11471e.pdf>

CAPÍTULO VIII. ANEXOS

Anexo 1: Fallas Geológicas en la Microcuenca río Pire



Anexo 2: Reconocimiento y caracterización de los recursos Edáficos, Hídricos y Forestales del Municipio de Condega

Anexo 2. Resultados de Análisis de Laboratorio.
Cuadro 7.1 Resultados de los análisis de laboratorio para cada perfil de suelo.

PERFIL N°	PROF. (cm)	Horizonte	Partículas %			Clase textural	PH H2O	MO %	N %	P Ppm	Meq / 100 g de suelo					mho/cm
			a	L	A						Ca	Mg	K	Na	CIC	
1 <i>Fluvente haplustols</i>	0-15	A1p	54	28	18	Fa	6.9	2.7	0.13	28.0	22.6	7.36	2.26	0.0	63.6	50.67
	15-29	A2	38	35	27	FA	6.5	3.0	0.15	7.0	22.4	8.32	0.72	0.0	77.0	40.72
	29-44	A3	43	33	24	F	7.5	2.2	0.25	6.0	21.4	9.92	0.72	0.0	68.7	46.62
	44-51	IIAb	44	32	24	F	7.5	4.0	0.11	8.0	25.8	9.28	0.61	0.0	91.3	39.10
	51-59	IIBw1	63	21	16	Fa	7.8	1.5	0.20	8.0	27.4	11.52	0.61	0.0	75.9	52.08
	59-69	IIBw2	63	22	15	Fa	7.1	0.8	0.07	9.0	29.2	12.48	0.72	0.0	63.6	66.68
	69-80	C	81	12	7	AF	6.7	2.9	0.04	11.0	28.0	8.96	0.82	0.0	46.1	81.86
2 <i>Mollic pelucleris</i>	0-21	A1p	18	34	47	A	6.2	2.6	0.14	11.0	26.4	12.80	1.33	0.0	83.1	48.78
	21-60/72	A2	10	26	64	A	6.0	0.8	0.13	7.0	27.6	16.64	0.51	0.0	70.8	63.23
	60/72-104	Bw	37	41	22	F	6.3	0.7	0.04	7.0	31.0	16.32	0.41	0.0	65.6	72.71
	104-137	C	71	18	10	Fa	7.1	4.2	0.03	8.0	26.8	13.12	0.31	0.0	83.0	48.47
3 <i>Mollic pelucleris</i>	0-20	A1p	21	31	28	FL	6.9	1.7	0.21	10.0	11.4	4.8	0.10	0.0	111.0	14.58
	20-68	A2	6	13	80	A	7.2	1.7	0.08	5.0	22.6	13.44	0.10	0.0	128.0	28.19
	68-94	A3	7	10	83	A	7.2	0.8	0.08	3.0	22.6	14.72	0.10	0.35	99.0	38.15
	94-125	Bw	6	14	80	A	7.0	9.0	0.04	3.0	20.8	13.44	0.10	0.35	96.4	35.98
4 <i>Vertic ustorthents</i>	0-15	A1	46	23	31	FAa	7.3	3.0	0.45	10.0	15.0	6.4	1.13	0.0	104.0	21.66
	15-42	A2	48	25	27	FAa	6.1	2.0	0.15	6.0	8.8	1.6	0.62	0.0	55.6	16.80
	42-58	C	49	22	29	FAa	7.0	7.5	0.10	4.0	9.6	1.92	0.82	0.0	85.1	14.50

Fuente: Reconocimiento y caracterización de los recursos hídricos, edáficos y forestales del municipio de Condega Departamento de Estelí, Nicaragua: levantamiento de reconocimiento de alta intensidad, Escala 1:50000. Báez Gómez, Angélica María (1998). , disponible en sitio web. <http://repositorio.una.edu.ni/914/1/tnp10b142.pdf>

Continuación del anexo 4

Resultados de los análisis de laboratorio para cada perfil de suelo.

PERFIL N°	PROF. (cm)	Horizonte	Partículas %			Clases textural	PH H ₂ O	MO %	N %	P Ppm	Meq/100 g de suelo					mhos/cm
			m	L	A						Ca	Mg	K	Na	CIC	
2 <i>Typic Udolstheult</i>	0-27	A1p	64	23	13	Fa	6.9	7.5	0.37	6.6	13.8	3.84	0.61	0.0	79.0	23.10
	27-65	Bw	68	21	11	Fa	6.8	1.1	0.05	5.0	10.4	4.48	0.51	0.0	62.6	24.58
	65-88	C	70	19	11	Fa	7.1	1.03	0.05	5.0	11.0	5.44	0.51	0.0	62.6	27.08
6 <i>Udic Argosol B</i>	0-28	Ap	33	41	25	F	6.6	5.9	0.29	20.0	15.8	4.8	1.64	0.0	76.0	29.26
	28-52	Bt	57	24	19	Fa	7.6	2.4	0.11	8.0	14.0	5.12	1.13	0.0	69.7	29.05
	52-80	Btss	38	39	23	F	7.3	2.6	0.18	5.0	14.6	4.48	0.61	0.0	80.0	23.86
	80-100	Btss	33	23	44	A	7.2	1.43	0.07	3.0	17.0	9.92	0.72	0.70	74.9	37.84
7 <i>Vertic Argosol B</i>	0-30	A1p	17	39	44	A	6.3	8.88	0.44	7.0	20.2	11.84	2.36	0.35	75.9	45.72
	30-62	Bt1	9	18	72	A	6.2	2.2	0.11	2.0	16.4	16.96	5.95	0.87	95.0	42.29
	62-95	Bt2	9	14	77	A	6.4	0.90	0.04	4.0	19.0	20.4	0.51	1.04	80.0	57.29
	95-128	Bt3	10	19	71	A	6.9	0.91	0.04	3.0	21.8	24.64	0.41	1.22	61.5	78.16
8 <i>Fluventic Argosol B</i>	0-12	A1p	52	25	24	FAa	7.3	1.8	0.07	92.0	15.6	8.64	2.46	0.70	85.1	32.80
	12-34	A2	49	26	25	FAa	6.7	2.1	0.15	68.0	16.6	8.0	2.46	0.70	72.8	38.13
	34-60	A3	45	30	25	FAa	6.6	1.9	0.09	32.0	19.8	9.28	1.33	0.70	79.0	39.38
	60-81	IIBw1	60	23	17	Fa	7.0	1.5	0.07	8.0	18.8	9.28	0.92	0.70	57.4	51.44

Leyenda:

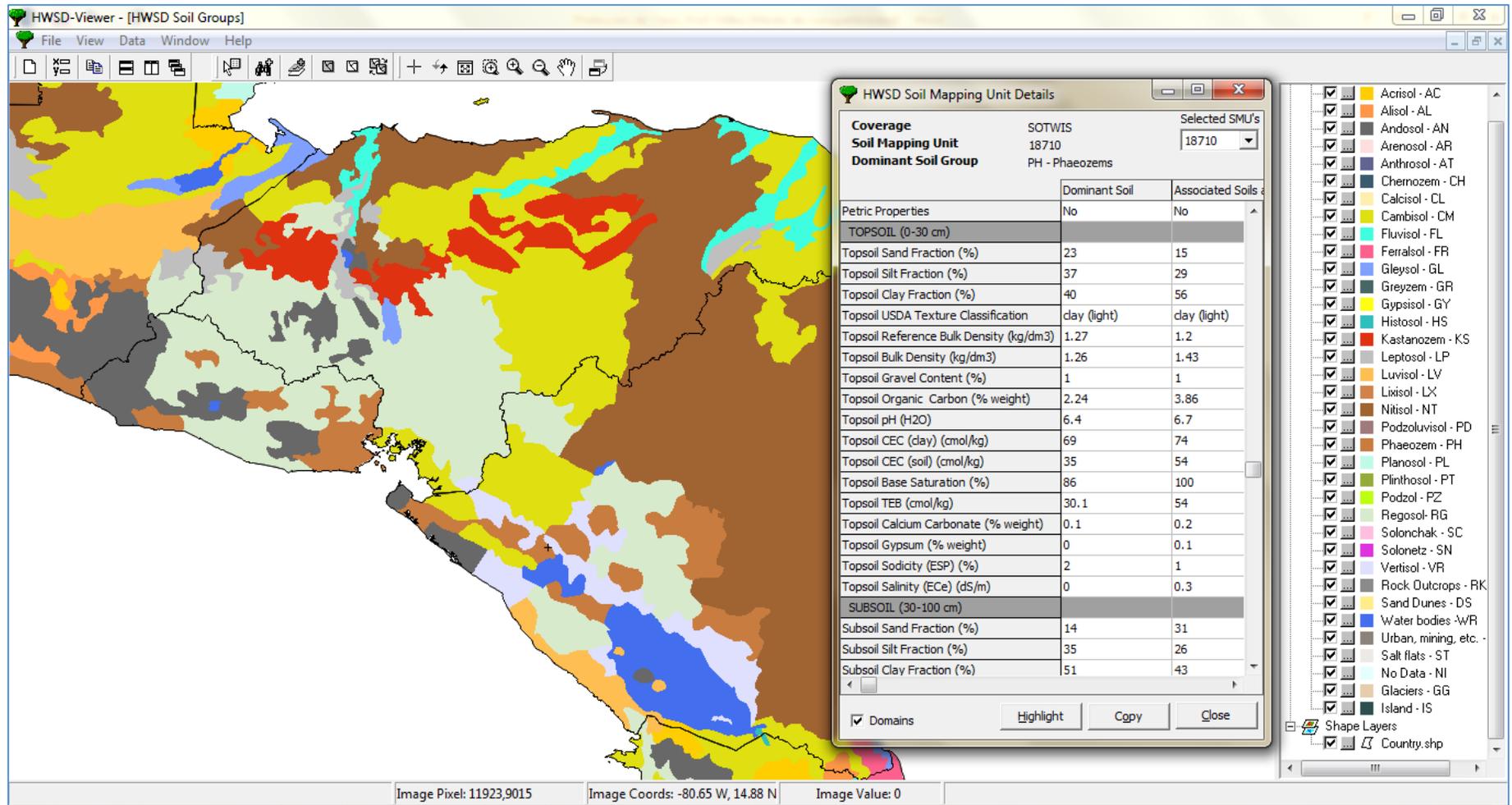
A = Arcilloso
F = Franco

FAa = Franco Arcillo arenoso
Fa = Franco arenoso

FA = Franco Arcilloso
AF = Arcillo Francoso

FL = Franco Limoso

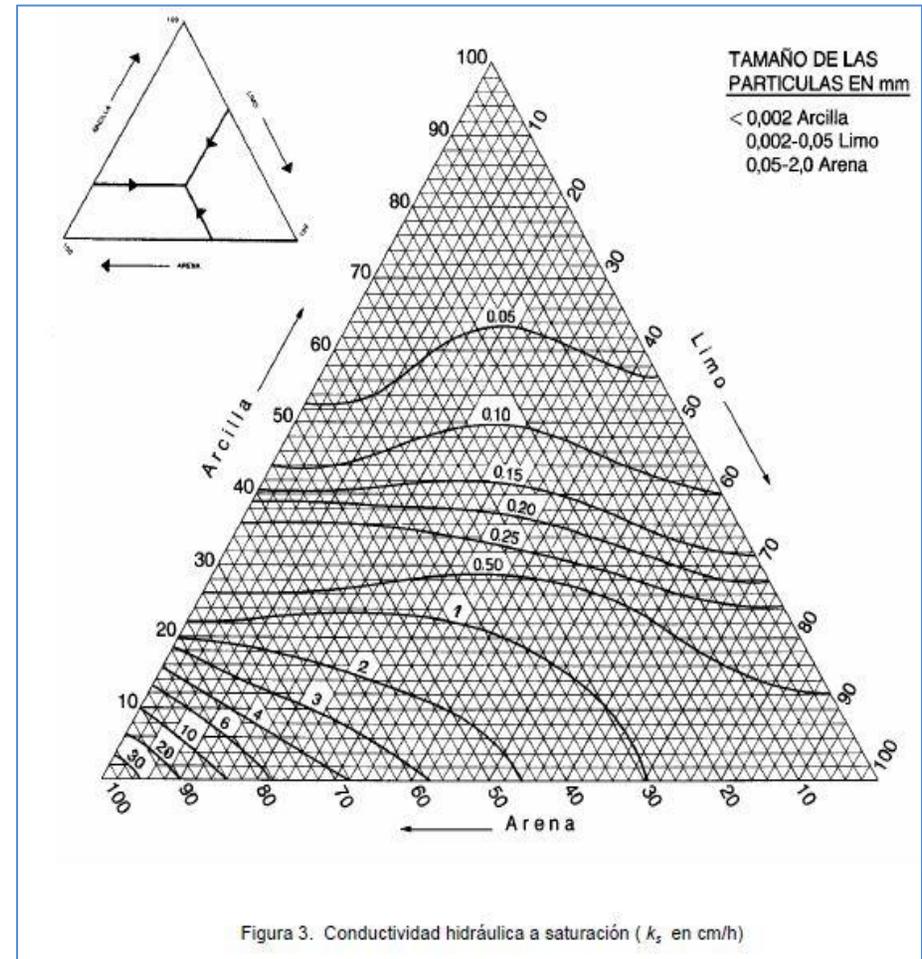
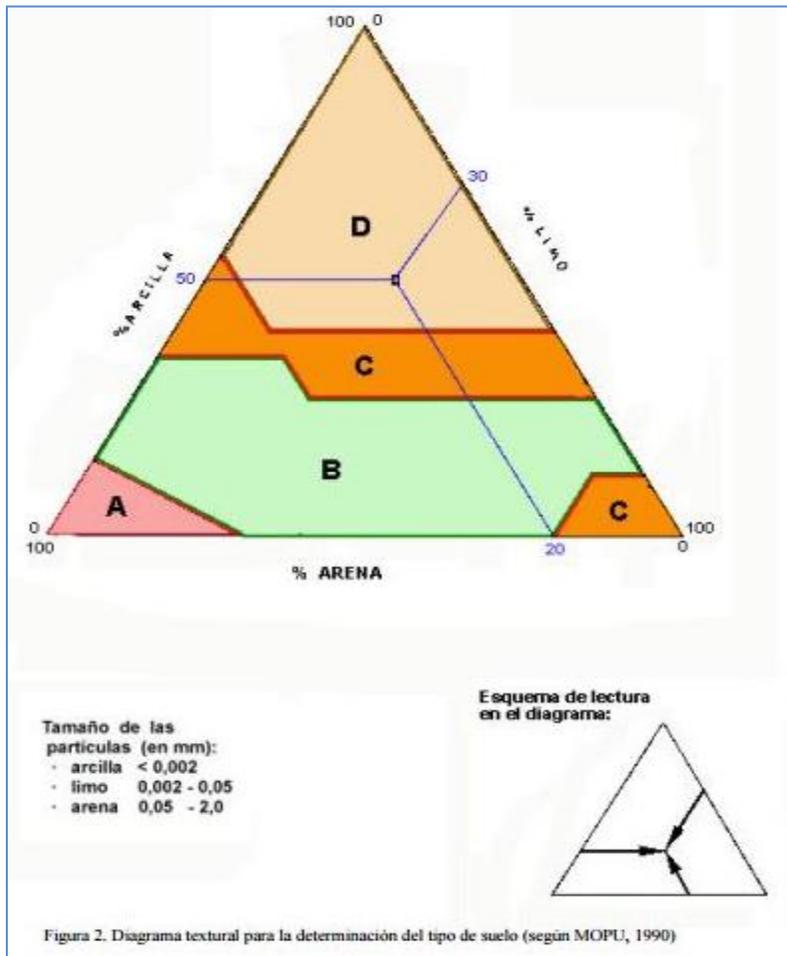
Anexo 3: HWSD



Fuente: La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

Anexo 4: Diagramas utilizados para la determinación del grupo Hidrológico y conductividad Hidráulica saturada de los perfiles de suelo

Fuente: Pequeña Guía del uso del Modelo MODIPÉ



Anexo 5 Valores del código y permeabilidad USDA para la estructura del suelo

Estructura			
Grado	Forma	Tamaño	Código
Sin estructura		Muy fina	4
Débil	Granular	Media	3
	Bloques angulares	Media	3
Moderada	Granular	Muy fina	1
		Fina	2
		Media	2
	Bloques subangulares	Muy fina	2
		Media	2
	Bloques angulares		2
Fuerte	Granular		2
	Bloques angulares		2

Permeabilidad		
Textura	Clase de permeabilidad	Código
Franco arenosa	Medianamente rápida	2
Franca	Moderada	3
Franco limosa		
Franco arcillosa limosa		
Franco arcillosa arenosa		
Franco arcillosa	Moderadamente lenta	4
Arcillosa	Lenta	5

Fuente: Simulación de Escorrentía y producción de sedimentos aplicando SWAT en las Microcuencas 7 y 13, Subcuenca III, Cuenca sur del lago de Managua, Nicaragua, (Gutiérrez Alarcón Mario Cesar).

Anexo 6: Censo poblacional de las comunidades de la Microcuenca Río Pire
 Microrregión 2

No	Comunidades	Población	Viviendas	0 a 5	6 a 11	12 a 16	17 a 21	22 a 35	36 a 49	50 a 65	65 a mas
1	Raúl González	190	48	23	24	19	19	58	16	19	11
2	Santa Lucía	243	61	29	31	24	24	74	21	25	15
3	El Guanacaste	291	73	35	37	29	29	89	25	30	17
4	Los Cerritos	182	46	22	23	18	18	56	16	19	11
5	San Pedro de Pire	182	46	22	23	18	18	56	16	19	11
6	Los Sueños / Campo Eliseo	66	20	7	8	7	7	20	6	7	4
7	El Barro / Cuje	88	23	11	11	9	9	27	8	9	5
	Total de MR Nº 2	1,242	317	148	156	124	124	379	107	127	75
	Mcpio.= 33,808 Habitantes – 7,955 Viviendas	3.67%	4%								

Mujeres = 646

Hombres = 596

Microrregión 3

No	Comunidades	Población	Viviendas	0 a 5	6 a 11	12 a 16	17 a 21	22 a 35	36 a 49	50 a 65	65 a mas
1	Potrerosillos	1169	197	140	147	117	117	357	101	120	70
2	Linda Vista	255	73	31	32	26	26	78	22	26	15
3	Jesús María	103	26	12	13	10	10	31	9	11	6
4	Santa Teresa	1097	182	132	138	110	110	335	95	112	66
5	Chagüite Grande	259	66	31	33	26	26	79	22	27	16
6	Laguna de los Hernández	374	96	45	47	37	37	114	32	38	22
7	El Algodonal	251	64	30	32	25	25	77	22	26	15

8	El Níspero	300	76	36	38	30	30	92	26	31	18
	Total de MR Nº 3	3,808	780	457	480	381	381	1161	329	390	228
	Mcpio.= 33,808 Habitantes – 7,955 Viviendas	11.26%	9.8%								

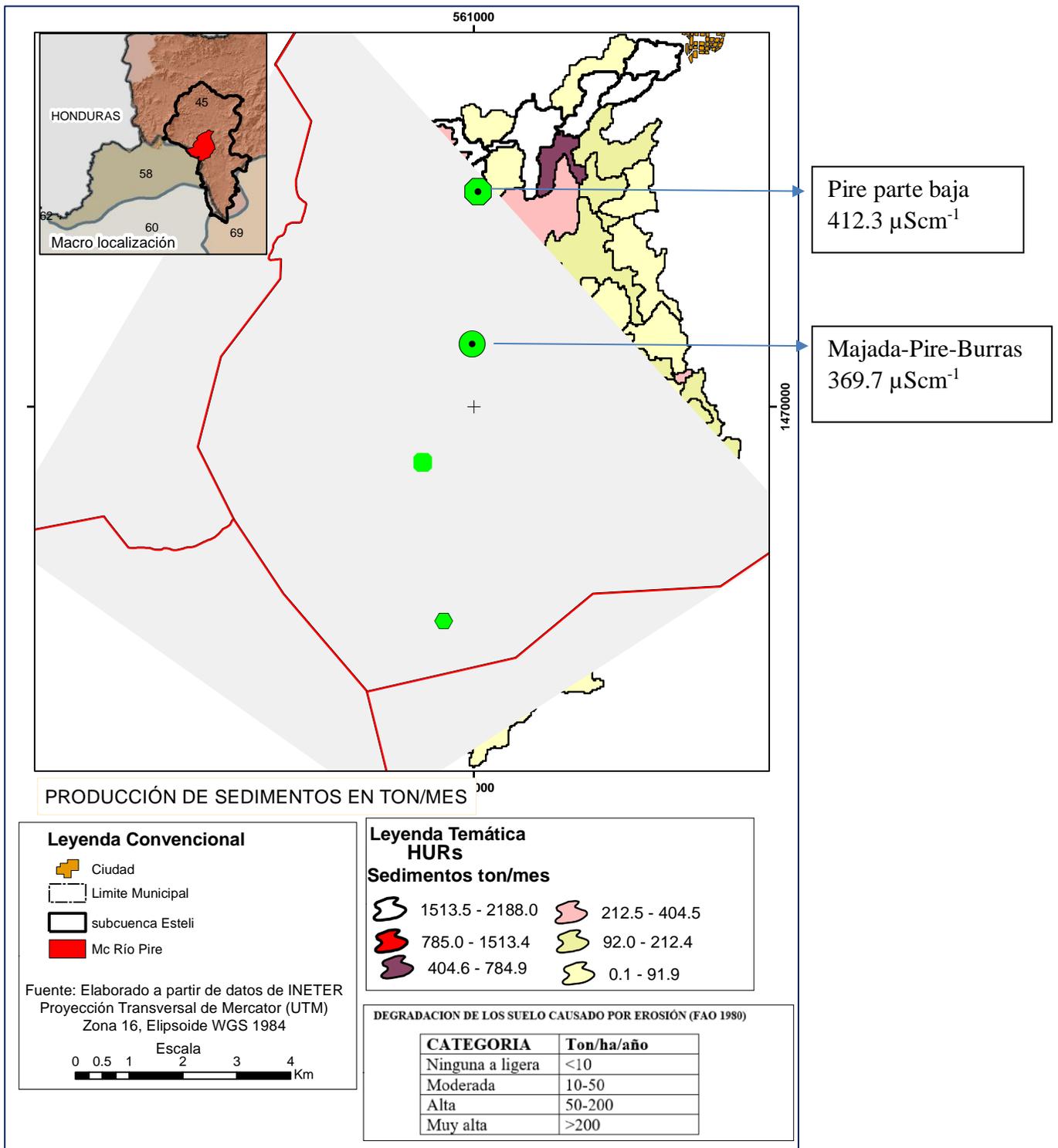
Microrregión 4

No	Comunidades	Población	Viviendas	0 a 5	6 a 11	12 a 16	17 a 21	22 a 35	36 a 49	50 a 65	65 a mas
1	Rodeo de Pire	247	60	30	31	25	25	75	21	25	15
2	San José de Pire	361	90	43	45	36	36	110	31	37	22
3	La Naranjita	460	116	55	58	46	46	140	40	47	28
4	El Peñasco	858	172	103	108	86	86	262	74	88	51
5	Labraza # 1	181	46	22	23	18	18	55	16	19	11
6	Labraza # 2	827	167	99	104	83	83	252	72	85	50
7	El Espino	205	43	25	26	21	21	63	18	21	12
8	Hondura Azul	245	46	29	31	25	25	75	21	25	15
9	Gualiqueme de Pire	128	34	15	16	13	13	39	11	13	8
10	La Libertad	443	106	53	56	44	44	135	38	45	27
	Total de MR Nº 4	3,955	870	474	498	396	396	1206	342	405	237
	Mcpio.= 33,808 Habitantes – 7,955 Viviendas	11.82%	10.94%								

Mujeres = 2,057

Hombres = 1,898

Anexo 8: Sedimentos y conductividad en las aguas superficiales



Anexo 9: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación con SWAT

