

1-1-2016

## **Evaluación de la contaminación difusa en la parte baja de la microcuenca Quebrada el Cune mediante el modelo WEAP**

Jessica Paola Córdoba Castañeda  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Dyana Alejandra Hernández Flórez  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)

---

### **Citación recomendada**

Córdoba Castañeda, J. P., & Hernández Flórez, D. A. (2016). Evaluación de la contaminación difusa en la parte baja de la microcuenca Quebrada el Cune mediante el modelo WEAP. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/534](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/534)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA  
MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP.**

**JESSICA PAOLA CÓRDOBA CASTAÑEDA  
DYANA ALEJANDRA HERNÁNDEZ FLOREZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTA D.C.  
2016**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA  
MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP.**

**JESSICA PAOLA CÓRDOBA CASTAÑEDA  
DYANA ALEJANDRA HERNÁNDEZ FLOREZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria**

**Director y Coautor**

**RUBÉN DARÍO LONDOÑO PÉREZ**

**Ingeniero Geógrafo MSc Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2016**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**DIRECTOR**

Rubén Darío Londoño Pérez  
Ingeniero Geógrafo  
Especialista en Levantamientos Rurales  
Magister en Ingeniería Ambiental

---

**JURADO**

Luis Reinaldo Barreto Pedraza  
Ingeniero Químico  
Especialización en Proyectos de Desarrollo  
Magister en Ciencias Meteorología

---

**JURADO**

Víctor Fernando Marulanda Cardona  
Ingeniero Químico  
Doctor en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Química

---

## **AGRADECIMIENTOS**

Le doy gracias a Dios guiarme cada día y darme la oportunidad de cumplir con esta gran meta en mi vida.

Dedico este logro a mi papa, por brindarme la oportunidad de iniciar y finalizar mi carrera profesional, porque siempre me brindó su apoyo, por ser mi ejemplo de superación, a mi mama Yolanda Florez por acompañarme en este largo camino, por su amor y comprensión aun en los momentos más difíciles, por dedicar su vida a cuidarme a mí y a mi hermana.

De igual forma agradecerle a mi director de tesis el Ing. Rubén Darío Londoño por brindarnos su conocimiento y tiempo para este apoyo para este proyecto; por ser ese guía y sobre todo estar en esta etapa de culminación de nuestra carrera

Alejandra Hernández Florez

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar mi carrera profesional y lograr una de mis mayores metas, quiero agradecer de manera especial a todas aquellas personas que con su ayuda contribuyeron a este triunfo:

A DIOS A DIOS TODO PODEROSO, por sus bendiciones e iluminar mi camino, darme la inteligencia y brindarme la fuerza necesaria, para poder lograr uno de mis grandes propósitos en mi vida profesional.

A mis padres, gracias por su apoyo, guía y cariño, este presente simboliza mi gratitud por toda la responsabilidad e invaluable ayuda que siempre me han proporcionado a lo largo de mi vida. Sin ustedes no hubiera sido posible este triunfo.

A mis compañera de tesis y gran amiga Alejandra Hernández por todo el sacrificio, esmero y voluntad que tuvimos siempre, en donde nunca se perdió el objetivo principal de alcanzar y terminar con éxito nuestro trabajo de graduación.

Al Ingeniero Rubén Darío Londoño Pérez director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma.

Jessica Córdoba Castañeda

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. OBJETIVOS.....	13
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
2. MARCO DE REFERENCIA .....	14
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	14
2.2. MARCO TEÓRICO .....	22
3. IMPLEMENTACION DEL MODELO .....	31
3.1. DEFINICIÓN DEL MARCO ESPACIAL Y TEMPORAL .....	34
3.1.1 Marco temporal .....	46
3.2. COMPONENTES DEL SISTEMA.....	46
3.2.1 Entradas y Salidas .....	46
3.3. ESTIMACIONES ADICIONALES .....	49
3.3.1 Cálculo de esorrentía.....	49
3.3.2 Contaminación .....	49
3.3.3 Establecimiento de supuestos alternativos.....	50
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	50
5. CONCLUSIONES .....	64
6. RECOMENDACIONES .....	65
7. BIBLIOGRAFIA.....	67
8. ANEXOS.....	70

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación según Caldas-Lang .....	38
Tabla 2. Características edafológicas de las unidades de subpaisaje.....	41
Tabla 3. Característica de las unidades de subpaisaje.....	42
Tabla 4.Cálculo de número de encuestas.....	44
Tabla 5.Entradas y salidas del modelo WEAP .....	47
Tabla 6. Clases texturales. ....	74
Tabla 7.Condiciones precedentes de humedad.....	75
Tabla 8. Caudales medios mensuales del año seco por cada subcuenca por unidad de tierra. .....	78
Tabla 9. Caudales medios mensuales del año medio por cada subcuenca por unidad de tierra .....	78
Tabla 10. Caudales medios mensuales del año húmedo por cada subcuenca por unidad de tierra.....	79
Tabla 11. Aporte de carga contaminante por habitante- eq .....	80
Tabla 12. Concentración de contaminantes por actividad doméstica.....	82
Tabla 13. Equivalencia con animales de cria.....	83
Tabla 14. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año húmedo .....	85
Tabla 15. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año seco.....	85
Tabla 16. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año medio.....	87
Tabla 17. Dosis de fertilización con Nutrimon 15-15-15 para cultivos de la Microcuenca Quebrada El Cune.....	88
Tabla 18. Tabla de dosis de aplicación y pérdidas de lixiviación de fertilizantes por escorrentía.....	88
Tabla 19. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año húmedo .....	91
Tabla 20. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año seco.....	91
Tabla 21. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año medio.....	92



## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sistema productivo Cítricos .....	27
Ilustración 2. Sistema productivo Pastos .....	28
Ilustración 3. Sistema productivo caña panelera .....	29
Ilustración 4. Sistema productivo Café .....	30
Ilustración 5. Implementación del modelo .....	32
Ilustración 6. Subcuencas de la microcuenca Quebrada el Cune. ....	38
Ilustración 7. Subcuencas de la parte baja de la Quebrada El Cune.....	35
Ilustración 8. Perfil topográfico Tabla.....	37
Ilustración 9. Unidades de uso y cobertura en la quebrada El Cune.....	39
Ilustración 10. Unidades de subpaisaje de la quebrada El Cune.....	40
Ilustración 11. Unidades de tierra de la quebrada El Cune.....	43
Ilustración 12. Puntos teóricos de encuestas.....	45
Ilustración 13. Cargas contaminantes Año Humedo .....	51
Ilustración 14. Cargas contaminantes Año Medio .....	52
Ilustración 15. Cargas contaminantes Año Seco .....	52
Ilustración 16. Cargas contaminantes DBO por unidades de tierra, Año seco.....	54
Ilustración 17. Cargas contaminantes DQO por unidades de tierra, Año seco. ....	54
Ilustración 18. Cargas contaminantes SST por unidades de tierra, Año seco. ....	55
Ilustración 19. Cargas contaminantes P por unidades de tierra, Año seco. ....	55
Ilustración 20. Cargas contaminantes N por unidades de tierra, Año seco. ....	56
Ilustración 21. Cargas contaminantes K por unidades de tierra, Año seco. ....	56
Ilustración 22. Cargas contaminantes DBO por unidades de tierra, Año Humedo. ....	57
Ilustración 23. Cargas contaminantes DQO por unidades de tierra, Año Humedo.....	57
Ilustración 24. Cargas contaminantes SST por unidades de tierra, Año Humedo. ....	58
Ilustración 25. Cargas contaminantes P por unidades de tierra, Año Humedo. ....	58
Ilustración 26. Cargas contaminantes N por unidades de tierra, Año Humedo.....	59
Ilustración 27. Cargas contaminantes K por unidades de tierra, Año Humedo.....	59
Ilustración 28. Cargas contaminantes DBO por unidades de tierra, Año Medio. ....	60
Ilustración 29. Cargas contaminantes DQO por unidades de tierra, Año Medio. ....	60

Ilustración 30. Cargas contaminantes SST por unidades de tierra, Año Medio.....	61
Ilustración 31. Cargas contaminantes P por unidades de tierra, Año Medio.....	61
Ilustración 32. Cargas contaminantes N por unidades de tierra, Año Medio.....	62
Ilustración 33. Cargas contaminantes K por unidades de tierra, Año Medio.....	62
Ilustración 34. Representacion de P,Q,F en función del Tiempo.....	72

## **RESUMEN**

Este proyecto tuvo por objetivo la evaluación de la contaminación difusa en la parte baja de la microcuenca Quebrada el Cune, aplicando el modelo de Water Evaluation And Panning system (WEAP) bajo condiciones climatológicas de la quebrada, con el fin de analizar la disponibilidad actual y futura del recurso hídrico en términos de su calidad. En el desarrollo de la evaluación se tomó como unidad mínima de estudio las unidades de tierra, para cada una de ellas, se calcularon cargas contaminantes, para el cálculo, se tuvo en cuenta estudios que fueron realizados con base a los efectos de cargas contaminantes con el fin de conocer los vertimientos de las actividades domésticas, agrícolas y pecuarias que son generados en la parte baja de la microcuenca quebrada el Cune, se determinaron parámetros fisicoquímicos por medio de datos típicos que afectan la calidad del recurso hídrico, todo esto, teniendo en cuenta los aspectos ambientales, económicos y sociales característicos de la zona, resaltando que en la zona de estudio priman las actividades agrícolas, pecuarias, agropecuarias y agroforestales, de igual forma a cada unidad de tierra se le estimó la esorrentía por medio del método curva numero considerándolos para tal fin como caudales de referencia; con el propósito de que sea aplicado en la planificación de las mejores prácticas de manejo en la microcuenca, la cual es fuente de abastecimiento de agua potable, estos cálculos anteriormente mencionados fueron tomados para la implementación del modelo WEAP el cual, nos permitió por medio de tres escenarios ( año medio, seco y húmedo) simular la contaminación de las aguas de la parte baja y determinar cuáles son las actividades socioeconómicas que ponen en riesgo la calidad del recurso.

### **ABSTRACT**

His project was aimed at the evaluation of diffuse pollution in the lower part of the watershed Quebrada Cune, applying the model of Water Panning and Evaluation system (WEAP) under weather conditions of the creek in order to analyze the current and future availability of water resources in terms of quality.

In the development of evaluation it was taken as the minimum unit of study ground units for each unit of land pollution loads and physicochemical parameters were calculated using typical data affecting the quality of water resources, for calculating pollution loads took into account studies were performed based on the effects of pollution loads in order to meet the discharges that are generated at the bottom of the creek watershed the Cune, considering the characteristic environmental, economic and social aspects of area, noting that in the study area agroforestry predominate agricultural, livestock, agricultural and equally to each unit of land is estimated by the runoff curve number method considering for this purpose as reference flows; the purpose of which is applied in planning the best management practices in the watershed which is the source of drinking water, these calculations above were taken to implement the model WEAP which allowed us to generate three scenarios (year medium dry and wet) with that simulate the pollution of the waters of the lower part and identify the socio-economic activities that threaten the quality of the resource are.

## INTRODUCCIÓN

La perturbación de la calidad del agua por la introducción de contaminantes superficiales o por medio del sistema de agua subterránea, a través de vías indirectas, es denominada contaminación difusa, este es uno de los problemas más críticos frente a la calidad del recurso, debido a que es difícil llevar un control y establecer con exactitud el lugar o sitio específico de la descarga, sin embargo, actualmente en el país no se cuenta con legislación que vigile los aportes de escurrimientos pluviales de contaminación no puntual hacia los cuerpos de agua, por lo que se implementan modelos de simulación ambiental para predecir situaciones futuras y su posible impacto.

Los modelos de simulación ambiental son herramientas que permiten simular el comportamiento de sistemas complejos a partir de los datos de tipo físico, químico e hidrológico que caracterizan al sistema y de las complejas interrelaciones existentes entre los mismos, formuladas en forma de algoritmos matemáticos, (Gavela) entre los modelos de simulación de contaminación difusa más reconocidos por su importancia en la aplicación de procesos hidrológicos, demanda, oferta, escorrentía, infiltración, requisitos para las cosechas, flujos y almacenamiento del agua, generación, tratamiento, descarga de contaminantes y de calidad de agua en ríos para diversos escenarios hidrológicos, se encuentra WEAP, (Sistema de Evaluación y Planificación del Agua) con el que se simuló la contaminación presente en la parte baja, con el fin de determinar cuáles son las actividades socioeconómicas que ponen en riesgo la calidad del recurso.

En el presente estudio se realizó la evaluación de las cargas contaminantes aportadas por las diferentes actividades socioeconómicas en la parte baja de la microcuenca quebrada El Cune ubicada en el municipio de Villeta, Cundinamarca, lo cual, beneficiará a los habitantes que utilizan sus aguas en sus actividades diarias, ya que se podrá establecer la calidad del recurso para garantizar su uso actual y futuro, ya que teniendo en cuenta los resultados obtenidos se podrán generar alternativas para la ordenación y manejo del recurso.

Este estudio hace parte del proyecto investigativo desarrollado por el Grupo de Investigaciones en Cuencas Hidrográficas (ITACH) de la Universidad de La Salle, dirigido por del Ingeniero Rubén Darío Londoño Pérez.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la contaminación difusa en la parte baja de la microcuenca Quebrada El Cune, mediante la simulación de escenarios con el modelo WEAP, para determinar la disponibilidad del recurso hídrico en términos de su calidad.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los sistemas productivos (agrícolas y pecuarios) y la distribución espacial de la población con el fin de estimar los usos del agua.
- Estimar las cargas contaminantes generadas por los vertimientos de las actividades domésticas, agrícolas y pecuarias mediante valores típicos de concentración en parámetros físico -químicos que afecten la calidad del recurso hídrico.
- Realizar la simulación de la calidad del recurso hídrico mediante la creación de diferentes escenarios hidro-climatológicos, con el fin de obtener el comportamiento de los vertimientos en la quebrada, bajo estas condiciones.
- Analizar los resultados obtenidos de los escenarios simulados con el fin de determinar la disponibilidad del recurso en términos de calidad, como base para la ordenación del recurso hídrico y garantizar su uso actual y futuro.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. MARCO CONCEPTUAL

**Agua Residual Domestica:** Son desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones, principalmente por el metabolismo humano, llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas, por lo tanto, las aguas residuales contienen diversas sustancias de origen natural o artificial que pueden ser más o menos dañinas para el hombre, los animales y el ambiente. Es así, que emergen como un líquido turbio, de color gris o amarillento color séptico, en el cual van suspendidas partículas de sedimentos, heces, Residuos vegetales, tiras de papel y materiales sintéticos. Cuando más largo sea el colector que los conduce y más turbulento el flujo en la alcantarilla, más pequeñas serán las partículas presentes en el agua residual. (Mackenzie, 2005)

**Aguas residuales domésticas:** Desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones. Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. (RAS, 2000)

**Aguas servidas.** Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales. Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2000)

**Agua superficial:** Las aguas superficiales son las aguas continentales que se encuentran en la superficie de la Tierra. Pueden ser corrientes que se mueven en una misma dirección y circulan continuamente, como los ríos y arroyos; o bien estancadas como los lagos, lagunas, charcas y pantanos. (Consejería de medio ambiente y ordenación del territorio)

**Ahorro y uso eficiente del agua:** Conjunto de procesos orientados a racionalizar el uso del agua con el fin de garantizar el normal equilibrio entre oferta y demanda, considerando tanto la cantidad como la calidad del recurso.

**Área de captación ó Catchment:** Término de origen inglés que en el contexto de la hidrología designa una porción de la superficie terrestre que encierra una red de drenaje superficial de diferente magnitud y, por ello, diferenciable a diferentes escalas espaciales: cuenca hidrográfica, micro cuenca hidrográfica o unidad de respuesta hidrológica

**Asignación de recursos:** Parte de la gestión de los recursos naturales encargada de satisfacer las demandas en función de la oferta, como estrategia para afianzar la sostenibilidad del desarrollo de los territorios.

**Cambio climático:** Es la variación exagerada de las variables climáticas importantes para la vida y las actividades productivas, como son la temperatura, la precipitación, los vientos y la humedad (Barros, 2005)

**Caudal ambiental:** Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas. (Ministerio de Ambiente, Decreto 3930 de 2010, 2010)

**Caudal ecológico:** Es un instrumento de gestión que establece la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad. (Naturaleza., 2010)

**Clasificación fisiográfica del terreno:** Es un sistema de subdivisión y clasificación de la superficie terrestre basado en las formas del relieve (fisiografía), propuesto por Villota, H (1997). Su estructura es jerárquica y se describe en forma piramidal. En la cúspide de la pirámide aparece la Geo estructura y, en sentido descendente, aparecen la Provincia



Fisiográfica, la Unidad Climática, el Gran Paisaje, el Paisaje y, finalmente, el Subpaisaje (Villota, 1997)

**Consecuencia Nociva:** Es el resultado de incorporar el recurso hídrico uno o varios elementos, sustancias o parámetros contaminantes, cuya concentración y caudal sean potencialmente capaces de degradar el recurso o que alteran las condiciones de calidad del mismo. (Decreto 2667 de 2012)

**Contaminación difusa:** La contaminación difusa es aquel proceso de cambio de la composición natural de un cuerpo de agua, con consecuencias negativas sobre su calidad, que se origina en la recepción de una multiplicidad de pequeñas descargas de aguas residuales, dentro de un escenario ambiental como: Las acciones causales ocurren en predios rurales y están asociadas a actividades de producción (cultivos, ganadería, silvicultura) o de deforestación; No se generan puntos fijos de descargas de aguas residuales, sino que tienden a derramar desde sitios diversos, actuando de manera no necesariamente periódica, entre otras. (Villavicencio, 2007)

La contaminación difusa se establece por la sumatoria de pequeños aportes individuales imperceptibles, desde sitios diversos, que se repiten con cierta periodicidad por períodos temporales prolongados, generándose con ello efectos acumulativos. Una característica básica de la contaminación difusa es que sus efectos no son locales, sino que tienden a afectar toda una cuenca hidrográfica. (Villavicencio, 2007)

**Cuenca hidrográfica:** Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (Ministerio de Ambiente, Decreto 1640, 2012)

**Demanda consuntiva:** Fracción de la demanda de agua que no se devuelve al medio hídrico después de su uso, siendo consumida por las actividades, descargada al mar o evaporada. Incluye parte de demanda urbana, irrigación, y las demandas de agua industriales. (Confederación hidrográfica Guadalquivir- España)

**Demanda hídrica:** Volumen potencial de agua, que se requiere para atender las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinado. Incluye la cantidad de agua abastecida y contabilizada, agua usada no contabilizada y el agua requerida para desarrollar actividades socioeconómicas deprimidas y/o no abastecidas de manera efectiva. (IDEAM, (1998))

**Demanda no consuntiva:** Fracción de la demanda de agua que se devuelve al medio hídrico sin alteración significativa de su calidad. La demanda de agua no consuntiva condiciona fuertemente y limita el suministro de los usos consuntivos, pues precisa estar disponible en el tiempo y en el espacio con la calidad apropiada. (Consejería del medio ambiente y ordenación del territorio)

**Dotación Neta:** Cantidad de agua mínima asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes (RAS, 2000)

**Escasez de agua:** Es el desequilibrio prolongado entre la disponibilidad de los recursos hídricos y la demanda de agua. El aumento de situaciones de escasez de agua, ya sean naturales o provocada por el hombre, hace que se desencadenen y exacerben los efectos de la desertificación a través de los impactos directos y a largo plazo en la calidad del suelo y de la tierra, en su estructura, en el contenido de su materia orgánica y en sus niveles de humedad. (Desertificación, 2003)

**Escorrentía:** Es la cantidad de agua proveniente de la precipitación o del deshielo que fluye de manera superficial, su superficial o subterránea, hasta llegar a la red hidrográfica de la cuenca, dando lugar a los caudales. La escorrentía superficial es rápida y discurre por la superficie del terreno llegando a los cauces en poco tiempo, mientras que las escorrentías subsuperficiales y subterráneas llegan a los cauces lentamente, discurriendo por la red entre aguaceros.

**Escorrentía superficial:** Es el volumen de agua disponible en la superficie del terreno después de descontar las pérdidas por evapotranspiración de las pantas, infiltración de agua

en el suelo y almacenamiento de agua en depresiones superficiales causadas por las irregularidades de la superficie terrestre (FAO, 1997)

**Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH):** Es el proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. (MADS, 2011)

**Gran paisaje:** unidad similar en geogénesis, clima, litología y topografía general. Las formas generales del mesorrelieve se originaron por procesos endógenos o exógenos tales como vulcanismo, erosión, disolución, depositación fluvial marina o lacustre (Villota, 1997)

**Modelo:** Es una representación simbólica de la realidad que mantiene cierto grado de precisión y se realiza lo más completo posible, sin aspirar a tener una réplica de lo que existe en la realidad. Los modelos son útiles para describir, explicar o comprender la realidad de la mejor forma posible, cuando es imposible trabajar directamente en sus escenarios (FAO, 1997)

**Módulo de consumo doméstico o dotación:** Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en un tiempo determinado, expresado como litros por habitante por día o dimensiones equivalentes (RAS, 2000)

**Norma de vertimiento:** Conjunto de parámetros y valores que debe cumplir el vertimiento en el momento de la descarga. (Ministerio de Ambiente, Decreto 3930 de 2010, 2010)

**Objetivo de calidad:** Conjunto de parámetros que se utilizan para definir la idoneidad del recurso hídrico para un determinado uso. (Ministerio de Ambiente, Decreto 3930 de 2010, 2010)

**Paisaje:** unidad con geogénesis específica y características mesoclimáticas, morfológicas, litológicas y/o edad similares, dentro del cual, se espera alta homogeneidad pedológica y cobertura/uso de la tierra similares, como por ejemplo: espinazo, estratovolcán, montaña ramificada, abanico, terraza, plano de marea, etc. (Villota, 1997)

**Planeación:** Es un proceso sistemático y sistémico que pretende anticiparse al futuro organizando las actividades en un periodo de tiempo dado, con el fin de priorizar y definir un marco gradual de desarrollo de una organización o de un territorio.

**Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCH):** El decreto 1640 del 2012 lo define como el instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico. (Ministerio de Ambiente, Decreto 1640, 2012)

**Precipitación efectiva:** Desde el punto de vista eminentemente hidrológico la precipitación efectiva (Pe) es aquella fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial y que se estima en el 30% de la precipitación (Chow, 1994)

Por su parte y, desde el punto de vista agronómico, la Pe es aquella fracción de la precipitación que se infiltra y que, por lo tanto, está disponible para las plantas. Su valor se estima en el 70% de la precipitación total (FAO, 1978).

**Recurso Hídrico:** Para los efectos de este decreto, se entiende como recurso hídrico todas las aguas superficiales continentales y aguas marinas costeras. (Ministerio de Ambiente, Decreto 3930 de 2010, 2010)

**Recurso natural:** Es un elemento de la naturaleza que el ser humano utiliza de manera directa o a través de un proceso de transformación para satisfacer necesidades básicas. (Londoño, 2014)

**Requerimientos netos de agua para animales:** Cantidad de agua necesaria para mantener el balance corporal. Las mismas equivalen a la suma de las pérdidas de agua en heces y orina, pérdidas evaporativas para disipación del calor, más el agua retenida en el cuerpo en tejidos para crecimiento. Estas cantidades no son fijas, sino que varían en función de numerosos

factores tales como la raza, edad, estado fisiológico, temperatura y humedad ambiente, velocidad del viento, entre otros.

**Recurso Hídrico:** Para los efectos de este decreto, se entiende como recurso hídrico todas las aguas superficiales continentales y aguas marinas costeras. (Ministerio de Ambiente, Decreto 3930 de 2010, 2010)

**Simulación:** Es una técnica por medio de la cual se lleva a cabo el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso para conducir experimentos que comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas que describen y permiten entender o evaluar el comportamiento y la estructura de sistemas complejos reales a través de largos periodos de tiempo (Coss, 2003).

**Sistema Productivo:** Es un agro ecosistema manipulado o con algún grado de intervención humana que cambia, maneja y administra el hombre con el fin de producir bienes y servicios. Para modificar estos ecosistemas, el hombre utiliza los factores de producción. (FAO, 1997)

**Sistema de Producción Agropecuaria:** se define como el conglomerado de sistemas de fincas individuales, que en su conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia y limitaciones familiares similares; y para los cuales serían apropiadas estrategias de desarrollo e intervenciones también similares. Estos tienen un comportamiento complejo y dinámico y su evolución obedece a variantes agroclimáticas, ecológicas y socioeconómicas. (FAO, 2001)

**Sistema de Producción Agropecuaria:** se define como el conglomerado de sistemas de fincas individuales, que en su conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia y limitaciones familiares similares; y para los cuales serían apropiadas estrategias de desarrollo e intervenciones también similares. Estos tienen un comportamiento complejo y dinámico y su evolución obedece a variantes agroclimáticas, ecológicas y socioeconómicas (FAO, 2001).

**Sostenibilidad:** Es un conjunto de principios basados en la racionalidad en los procesos productivos y de consumo que dan lugar a un proceso abierto que permite que los recursos

utilizados se reproduzcan y perduren, manteniendo constante su disponibilidad, y al mismo tiempo previene la generación de elementos que deterioren la naturaleza (Garay, Carrizosa, & Brigard, 1998).

**Subpaisaje o unidad de terreno:** subdivisión del paisaje establecida según posición dentro del mismo (cima, ladera, falda; dique natural, orillares, basín) y caracterizada por uno o más atributos morfométricos como p.ej. forma y grado de la pendiente, tipo y grado de erosión, grado de disección y clase de condición de drenaje (Villota, 1997).

**Unidad climática:** unidad homogénea en cuanto a temperatura promedio anual y humedad disponible, que determinan una pedogénesis específica y unos usos y coberturas de la tierra dados (Villota, 1997).

**Unidad de tierra:** Es una porción de la superficie terrestre que incluye el suelo, el subsuelo, los organismos y la atmósfera cercana, así como los procesos naturales e inducidos y los resultados de las actividades humanas pasadas y presentes que tienen influencia sobre el potencial de uso de las tierras. (FAO, 1997).

**Vertimiento Líquido:** cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado. (Decreto 1594 de 1984)

## 2.2. MARCO TEÓRICO

El agua subterránea y superficial es una fuente importante de abastecimiento, es necesaria para múltiples usos, como procesos industriales, ganadería, riego de cultivos y como fuente de agua de consumo para la población.

Con el paso de los años se ha duplicado la población, por lo que proporcionalmente se genera un incremento en la demanda del recurso, es indispensable velar por la protección de la calidad del agua, es allí donde surge la necesidad de establecer un control de los distintos tipos de fuentes de contaminación, de tipo puntual o difuso.

La contaminación del recurso hídrico de tipo puntual es aquella donde los vertimientos de aguas residuales proceden de fuentes fijas y generalmente son continuos, mientras que la contaminación difusa son aquellos generados por fuentes no puntuales, este implica la sumatoria de pequeños aportes que llegan al cuerpo de agua a través de escorrentía, y habitualmente se atribuyen por las actividades productivas y de deforestación realizadas en predios agrícolas, pecuarios o de silvicultura, por lo que pueden llegar a generar un impacto ambiental equivalente a las puntuales e inclusive más perjudicial a la calidad del recurso, como consecuencia a que son mucho más difíciles de controlar porque las zonas afectadas son mucho más extensas y con pequeñas concentraciones, lo que las hace difícil de identificar y cuantificar. (López, 2010)

La contaminación de los cuerpos de agua es una problemática generada por ausencia de un plan de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCH) óptimo, al crecimiento poblacional no planificado, a la variabilidad climática, entre otros, lo que genera problemas de disponibilidad y desabastecimiento del recurso hídrico, causando efectos perjudiciales a la calidad de vida poblacional y sus actividades económicas. Por ende, es indispensable la ordenación del recurso hídrico óptima para generar una adecuada interrelación entre la oferta, la calidad y disponibilidad del recurso.

La agricultura tiene gran influencia en la calidad del agua subterránea, está es causa y al mismo tiempo víctima de la contaminación de los recursos hídricos, genera descargas de contaminantes y sedimentos en las aguas superficiales y subterráneas, por la pérdida neta de suelo como resultado de las malas prácticas agrícolas, y el aumento de salinización de las

tierras de regadío; por otra parte, es víctima de la contaminación debido a que, si, las aguas residuales, aguas superficiales y subterráneas se encuentran contaminadas, contaminarían los cultivos y como resultado genera otra problemática donde se ve afectada la salud pública tanto a consumidores como a trabajadores agrícolas.

Específicamente este problema se ve reflejado en la microcuenca Quebrada el Cune, por la presencia de monocultivos intensivos, ocasionando problemas más serios de contaminación, dentro de la cuenca se encuentran plantaciones de gran extensión, de una sola especie vegetal, la caña panelera que no se asocia con otros cultivos. (López, 2010)

Para el crecimiento y desarrollo de un cultivo son indispensables los nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio principalmente, estos elementos son del medio ambiente tanto en el aire como suelo y lo sintetizan para su propio consumo, sin embargo los cultivos muestran bajos rendimientos, esto se debe que los suelos presentan baja productividad y deterioro por uso intensivo del suelo, mal manejo del suelo, erosión, influencia climática, por lo que se aplican fertilizantes con el objetivo de completar los nutrientes, mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, incrementar los rendimientos, sin embargo a pesar de la aplicación de fertilizantes, se presentan pérdidas de los nutrientes por el arrastre del agua de lluvia o de riego los cuales son transportados al agua y esto conlleva al deterioro del recurso hídrico.

Teniendo en cuenta el concepto de contaminación difusa y el arrastre de nutrientes, en el presente estudio se estimaron las cargas contaminantes que llegan a la quebrada el Cune por medio de la escorrentía superficial o directa, de la agricultura, ganadería y consumo humano de los contaminantes vertidos al agua. Dicha escorrentía fue calculada por el método de curva número (desarrollado por el Soil Conservation Service, del departamento de Agricultura de los Estados Unidos), el cual tiene en cuenta porciones de tierra pequeñas denominadas Unidades de Tierra, las que a su vez, poseen características de los usos de la tierra y unidades de subpaisaje existentes en el área de investigación.



De acuerdo con lo anterior se establece una hipótesis en cuanto a las sustancias contenidas en los fertilizantes utilizados, una parte se incorporan en la escorrentía superficial y otra parte se infiltra. Aquellos que se encuentran en la escorrentía superficial contaminan los cuerpos de agua, y los nutrientes que alcanzan a infiltrarse quedan disponible para el consumo de las plantas.

Las aguas superficiales se ven afectadas por el incremento de la concentración de nutrientes en el agua presentando un exceso de fosforo y nitrógeno acelerando el proceso de eutrofización, por ende la turbidez de las aguas donde se presenta la reducción del oxígeno disuelto generando condiciones anaerobias, el principal problema de las concentraciones elevadas de nitratos y de fósforo en aguas, es que pueden provocar eutrofización. Además, el exceso de nitratos en el agua de consumo puede provocar enfermedades en los humanos como Metahemoglobinemia y diversos tipos de cánceres gástricos. El exceso de fósforo puede provocar problemas en la asimilación del calcio. (López, 2010)

Por otra parte, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. No obstante, cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua y menor la población que goza de un recurso de calidad. Esto se evidencia cuando “los ríos reciben y transportan cargas de agua utilizadas en los diferentes procesos socioeconómicos sin tratamiento previo. Además, son los receptores de altos volúmenes de sedimentos originados por procesos de erosión, bien sea de origen natural o antrópicos, estas acciones se incrementan diariamente, debido al crecimiento de la población y de las actividades económicas” (IDEAM, 2010).

El país cuenta con documentos normativos donde garantiza a la población y a los diferentes sectores económicos el acceso al recurso hídrico, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial en el año 2012, expide el decreto 1640 donde establece los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y los acuíferos, a través del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica, donde sobresale la importancia de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y manejo

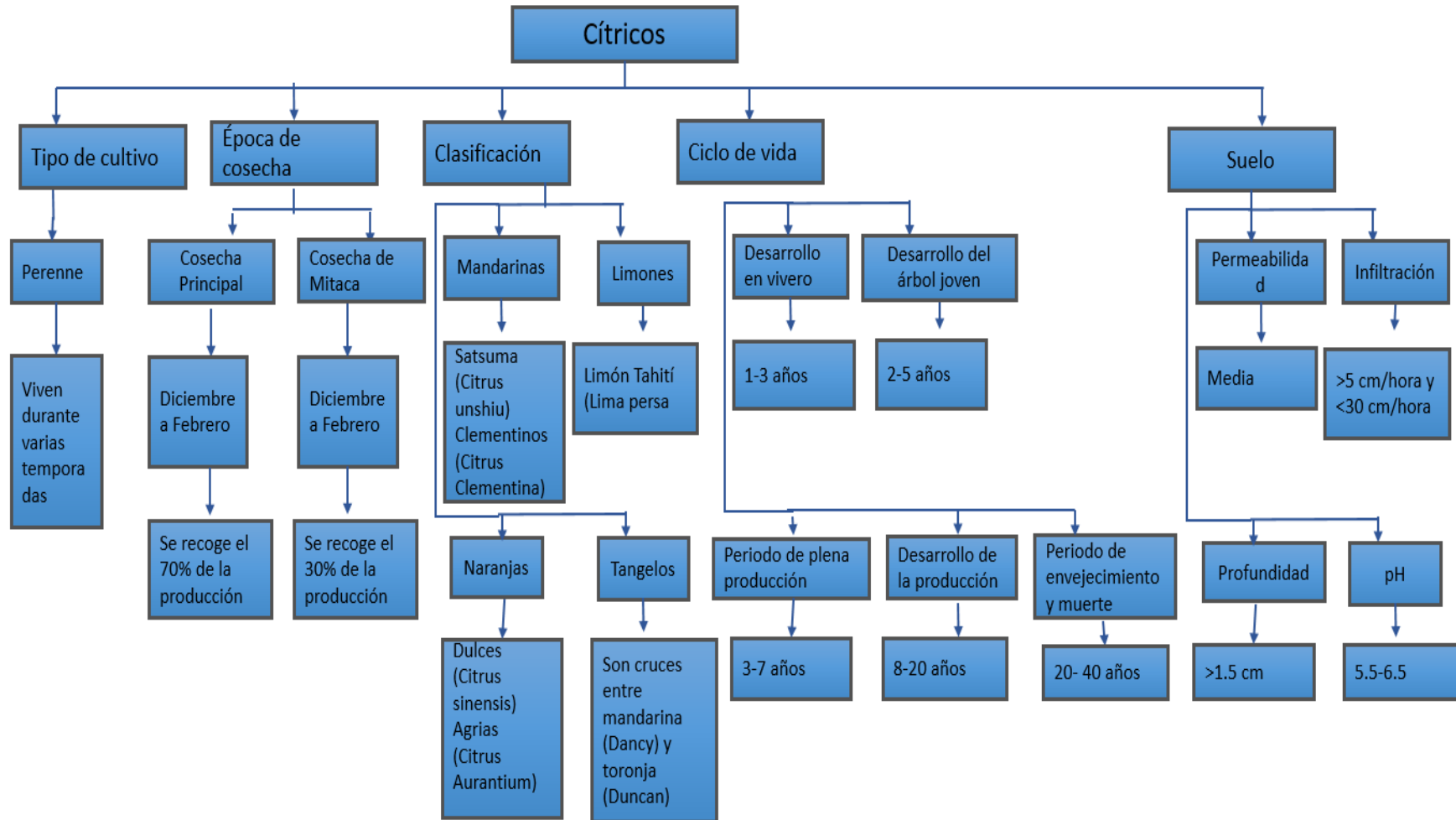
de la cuenca debe tener en cuenta sus estado en aspectos culturales, económicos, conflictos derivados de la oferta y demanda, biofísicos y sociales.

De acuerdo a lo anterior, este estudio se enfocará en los peligros de la contaminación difusa en la microcuenca el Cune, se pretende precisar cuáles son las actividades socioeconómicas que ponen en riesgo la calidad del recurso.

Es indispensable conocer los sistemas productivos existentes en la parte baja de la microcuenca el Cune, ya que, los cultivos hacen parte del componente productivo de la pequeña economía campesina, las actividades predominantes son, cultivos de caña panelera, café, cítricos y pastos, debido a las características de suelo y a las condiciones climáticas que presenta el municipio, seguida de la agricultura, la actividad pecuaria, bovino y cría de aves de corral.

A continuación se presentan descripciones y requerimientos de cada uno de los cultivos.

✓ Cultivo de Cítricos:



✓ Cultivo de Cítricos:

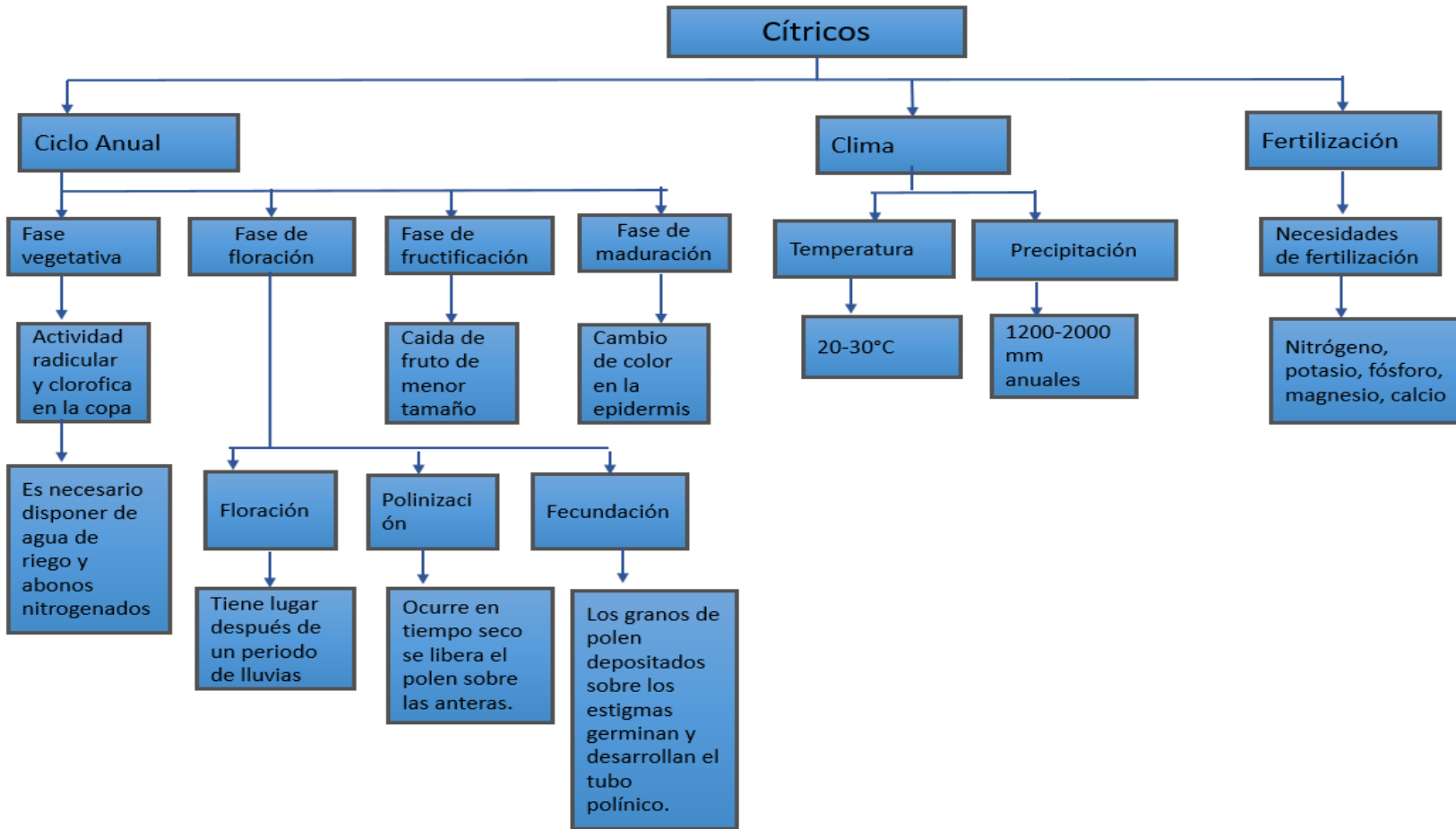


Ilustración 1. Sistema productivo Cítrico

Fuente: Autores, 2016

✓ Cultivo de Pastos:

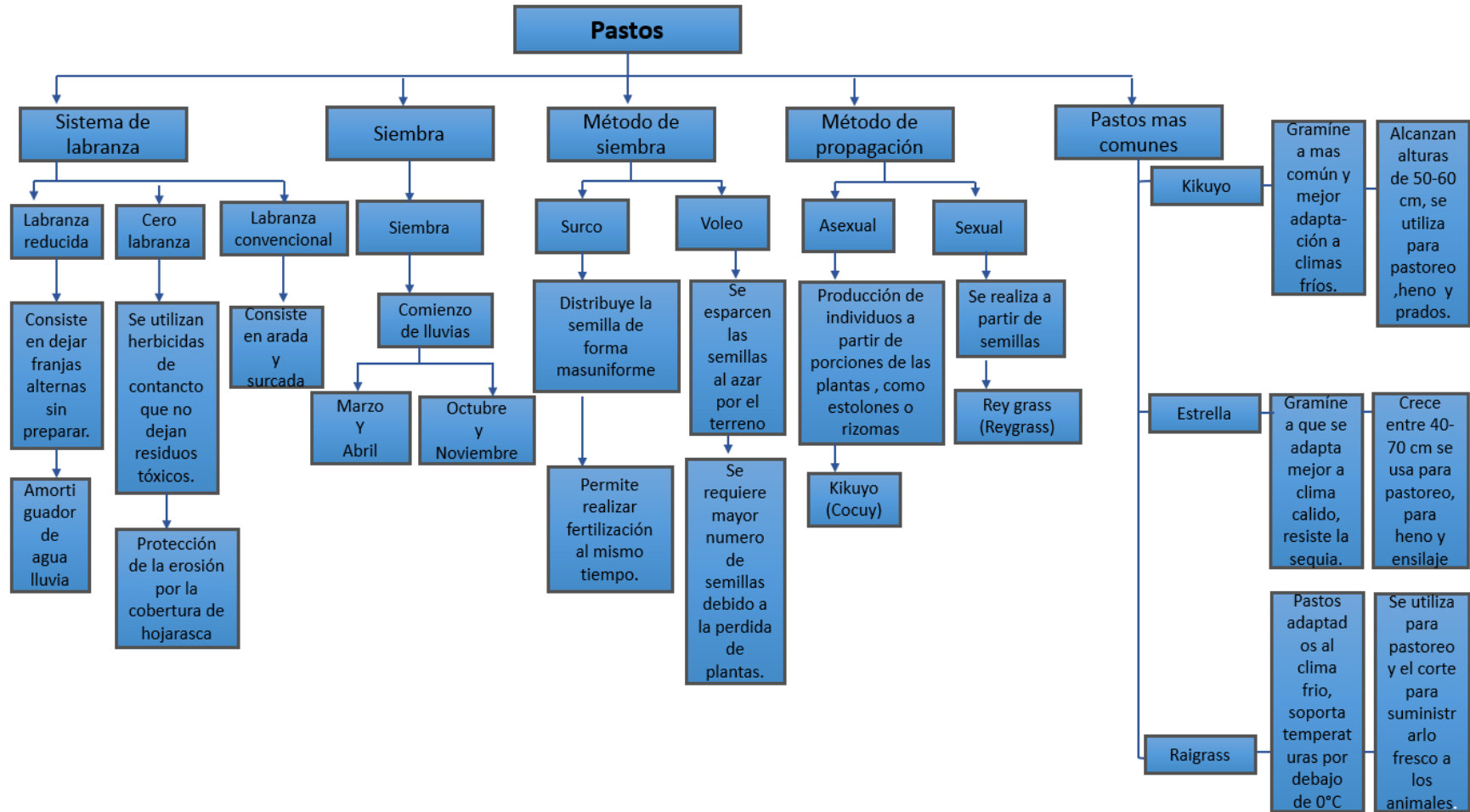


Ilustración 2. Sistema productivo Pastos

Fuente: Autores, 2016

✓ Cultivo de caña panelera:

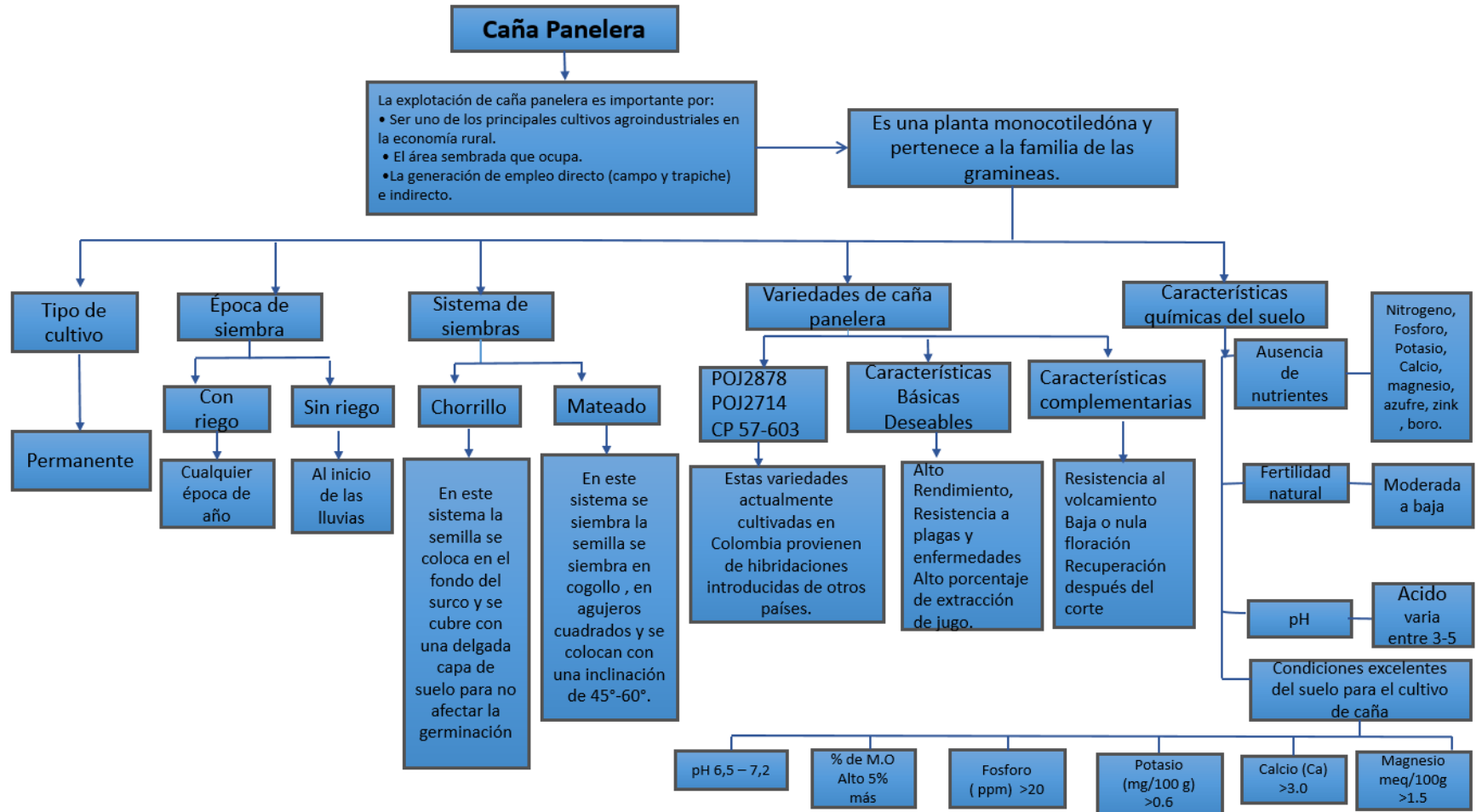
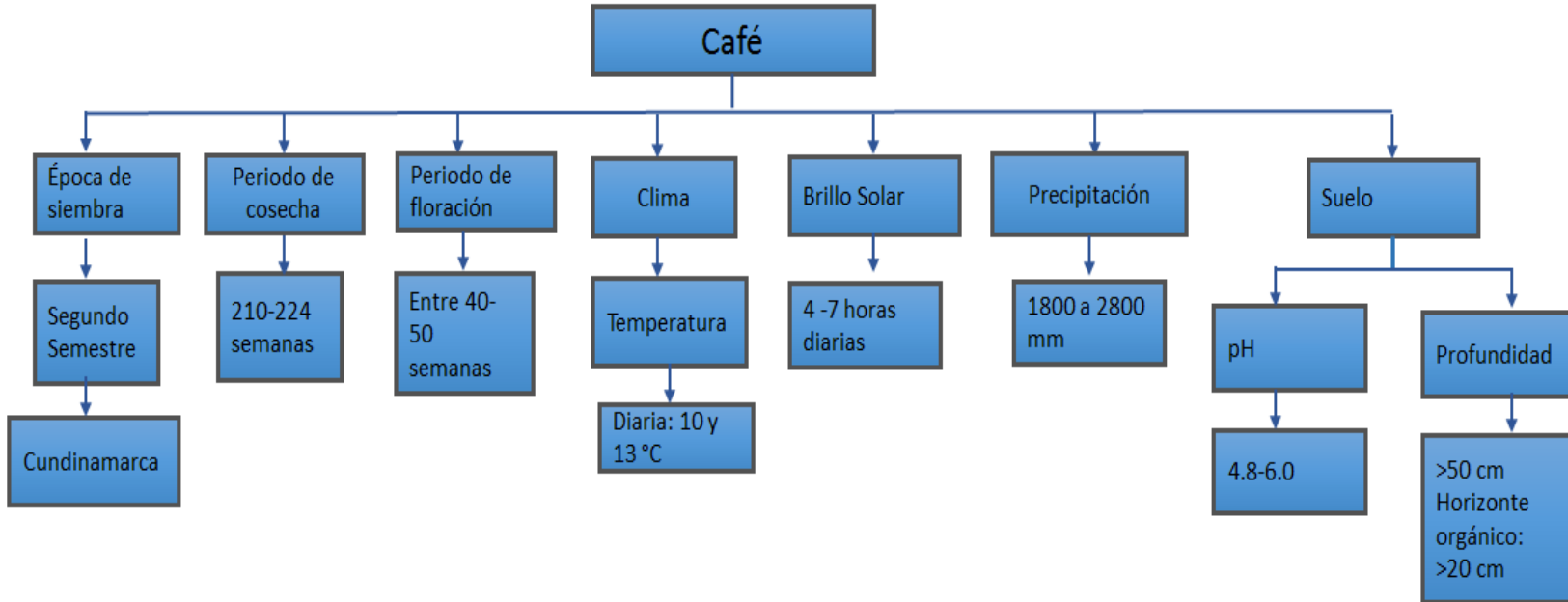


Ilustración 3.Sistema productivo caña panelera

Fuente: Autores, 2016

✓ **Cultivo de Café:**



**Ilustración 4.Sistema productivo Café**

Fuente: Autores, 2016

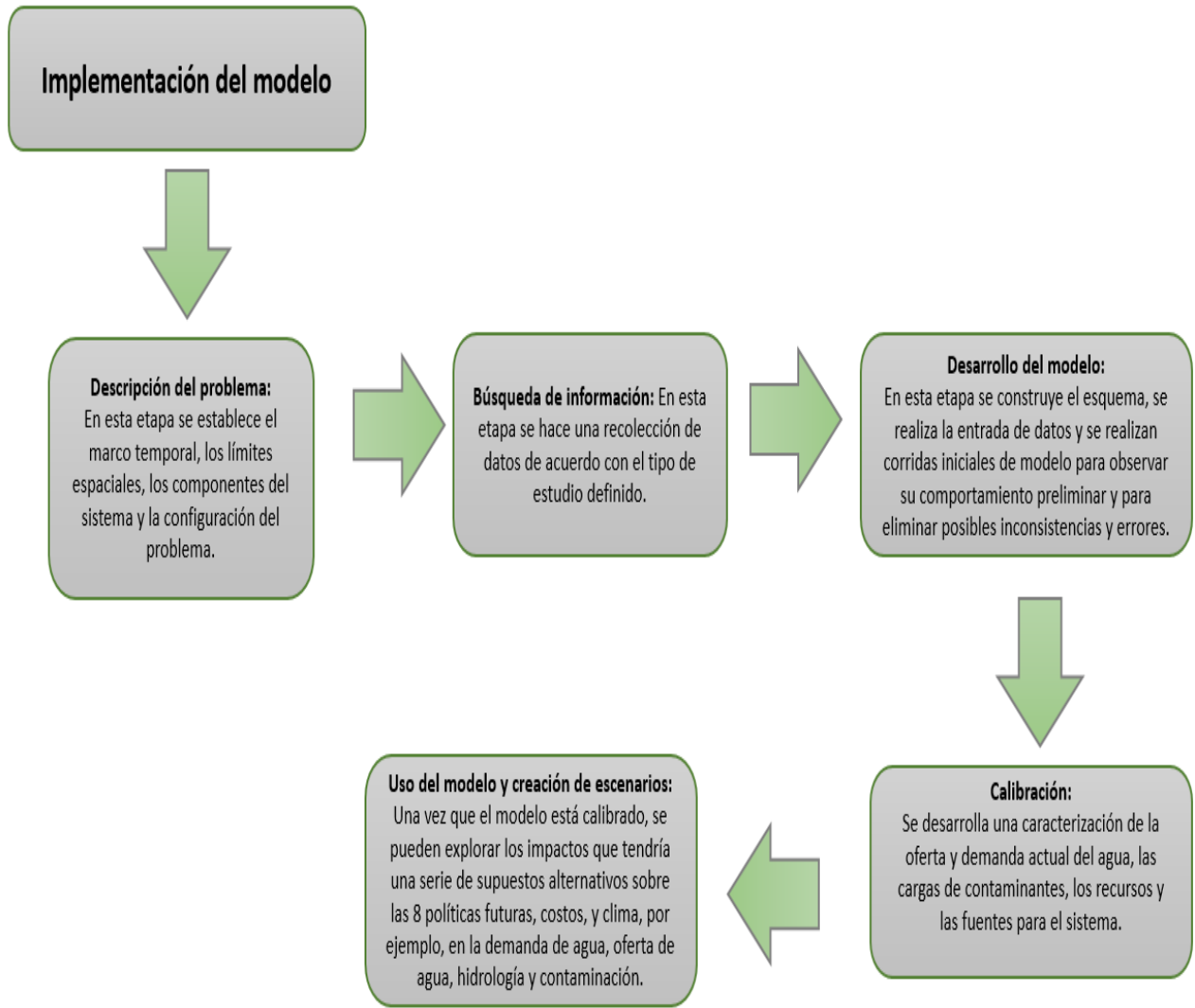
Se evaluó las cargas contaminantes donde se determinó la disponibilidad actual y futura del recurso hídrico en términos de su calidad, para esto se requirió la utilización de modelos, el cual es un esquema o abstracción de la realidad elaborado para presentar un objeto, sistema o idea de forma simplificada y lo más completo. Un modelo nos permite explicar, las causas y efectos de los procesos en el medio ambiente, diferenciar las fuentes antrópicas de las fuentes naturales de contaminantes, determinar un tiempo o una distancia de recuperación de un cuerpo de agua con el objetivo de implementar un programa de reducción de contaminantes.

Para realizar la evaluación de la contaminación difusa en la microcuenca quebrada el Cune, se utilizó el modelo WEAP (Water Evaluation And Planning System), debido a que este modelo nos brinda una herramienta de computación para la planificación integrada de los recursos hídricos limitados para uso agrícola, WEAP brinda un marco conceptual amplio, flexible y fácil de usar para la planificación y análisis de políticas además WEAP puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenido de estos sistemas incluyendo la escorrentía por precipitación, flujos base y recarga de aguas subterráneas por precipitación y seguimiento de la contaminación y calidad del agua.

### **3. IMPLEMENTACION DEL MODELO**

La modelación de la disponibilidad actual y futura del recurso hídrico en términos de su calidad se hizo con base en el modelo de simulación WEAP mediante el desarrollo de las cinco fases las cuales son propuestas por la guía metodológica de WEAP, tal como se muestra en la ilustración(5)





**Ilustración 5. Implementación del modelo**

Fuente: Autores, 2016

WEAP se destaca por su método para simular sistemas de recursos hídricos y por su capacidad para analizar políticas de manejo del recurso. WEAP balancea la ecuación entre la demanda y la oferta de agua con una capacidad para tratar un amplio rango de temas, incluyendo análisis de demanda sectorial, conservación de agua, derechos de agua y transferencia de prioridades, modelación de precipitación-escorrentía y

flujos mínimos, operaciones de embalses, generación de hidroelectricidad, calidad del agua, requerimientos de ecosistemas, y análisis de costo-beneficio de proyectos entre otros. (Eduardo Bustos, 2014)

El modelo WEAP (Water Evaluation And Planning), desarrollado por el Stockholm Environment Institute (SEI) en 1988, ha sido aplicado en diferentes cuencas hidrográficas alrededor del mundo, incluyendo las de países como los Estados Unidos, México, Brasil, Alemania, Ghana, Burkina Faso, Kenia, Sudáfrica, Mozambique, Egipto, Israel, Omán, Asia Central, India, Sri Lanka, Nepal, China, Corea del Sur, y Tailandia (WEAP, 2013).

Para la ejecución de este estudio fue necesario escoger tres escenarios (año medio, seco y húmedo) con el fin de simular la contaminación de las aguas de la parte baja y determinar cuáles son las actividades socioeconómicas que ponen en riesgo la calidad del recurso.; para la estimación de los periodos se tiene en cuenta series históricas de precipitación las cuales son series temporales, y por lo general requieren de un análisis estadístico para conocer su comportamiento; Una serie temporal se define como una sucesión de observaciones correspondientes a una variable en distintos momentos de tiempo y puede tener una periodicidad anual, semestral, mensual, semanal, etc.

Según los periodos de registro de los datos en las estaciones de medición. Los datos registrados pueden disgregarse en una serie de oscilaciones o movimientos recurrentes que se repiten cada cierto número de años y a los que denominamos ciclos. Un tipo de ciclo en una serie de precipitaciones sería un periodo húmedo o seco. (Perez, 2012)

Para la estimación del año medio la cual es la precipitación total es la más próxima al medio anual.

Al realizar la estimación de nuestros periodos los años tomados fueron año húmedo corresponde al año 2011, año medio 2009 y año seco 2001.

### 3.1. DEFINICIÓN DEL MARCO ESPACIAL Y TEMPORAL

#### Marco espacial

El área del estudio se centra en la parte baja de la microcuenca quebrada El Cune ubicada en la parte noroccidental del municipio de Villeta en el departamento de Cundinamarca, la cual abarca las veredas Cune Medio, Quebrada Salitre Blanco y Cune Bajo, ocupando un área de 3842.538m<sup>2</sup>, la microcuenca quebrada el Cune en su totalidad refleja una forma ovalada determinados en los estudios morfométricos, lo que representa que recibe grandes volúmenes de agua de escurrimiento. Esta hace parte de la cuenca hidrográfica del Río Villeta y del Río Tobia, los cuales a su vez pertenecen a la cuenca hidrográfica del Río Negro, tributario del Río Magdalena.

La micro cuenca de la quebrada Cune se encuentra localizada dentro de las siguientes coordenadas extremas: 05°00'54'',905 N, 74°28'02'',548 W; 05°04'14'',45 N, 74°30'33'',48 W; 05°03'51'',124 N, 74°32'54'',47 W; 5°00'43'',597 N, 74°28'39'',551W. Con el fin de incrementar el nivel de detalle y facilitar la implementación del modelo WEAP, se realizó una subdivisión microcuenca, tomando

Como referencia las seis subcuencas que conforman la misma: Cune Alto, Quebrada San Fernando, Quebrada Honda, Cune Medio y Quebrada Salitre Blanco, como se muestra en la ilustración 6.

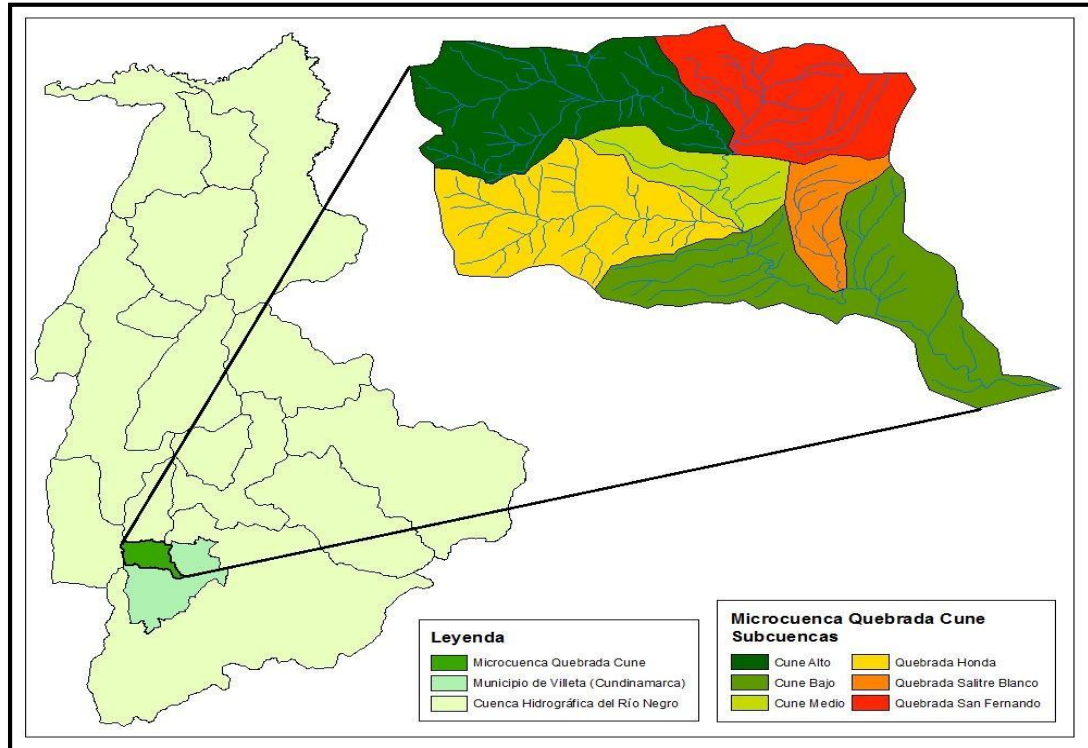


Ilustración 6. Subcuencas de la microcuenca Quebrada el Cune.

Fuente: Londoño & Vega

Este estudio se centró en la parte baja de la microcuenca El Cune la cual se ilustra a continuación

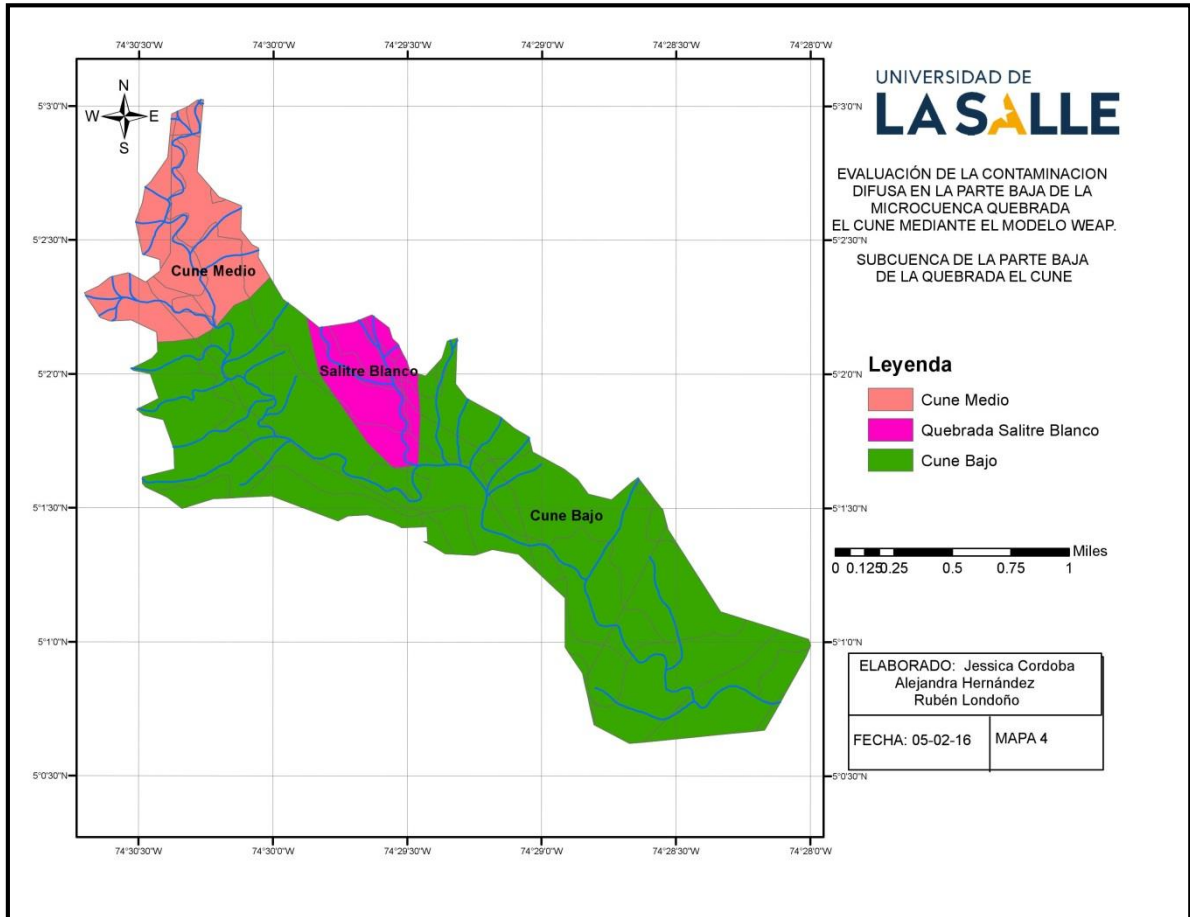
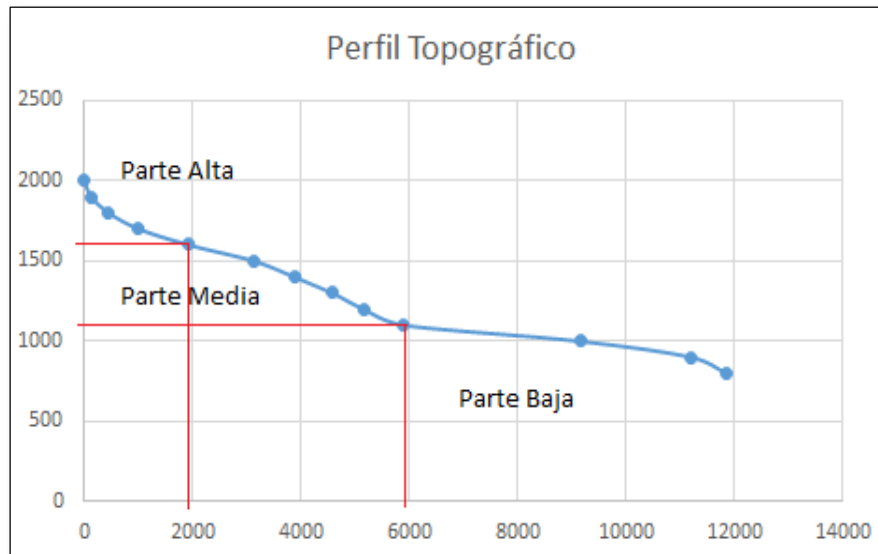


Ilustración 7. Subcuencas de la parte baja de la Quebrada El Cune.

Fuente: Autores, 2016.

La parte baja de la microcuenca Quebrada El Cune la cual se evaluara en este estudio, se encuentra en un rango altitudinal comprendido entre 1100 y 6000 m.s.n.m, como se puede evidenciar en el perfil topográfico (ilustración 8), por lo cual presenta un clima templado semihúmedo según la clasificación de Caldas-Lang (Tabla 1), con temperaturas que oscilan entre los 18 a 24 °C.



**Ilustración 8. Perfil topográfico Tabla**

Fuente: Autores, 2016.

El régimen pluviométrico que se presenta en la microcuenca es bimodal, ya que los periodos de lluvia máxima se manifiestan durante los meses de abril-mayo y octubre – noviembre.

Teniendo en cuenta los registros mensuales multianuales de las estaciones hidrométricas, el patrón de lluvias anual oscila entre 1100 y 2550 mm. Asimismo se presentan caudales mínimos, medios y altos con grandes variaciones que están entre 1-7 m<sup>3</sup>/s, 1-13 m<sup>3</sup>/s y 3-28 m<sup>3</sup>/s correspondientemente (PBOT. Villeta, 1999).

**Tabla 1 Clasificación según Caldas-Lang**

Clasificación climática de Caldas				Clasificación climática de Lang			Clasificación de Caldas-Lang	
Piso Térmico	Símbolo	Rango de altura (m)	Temperatura (°C)	Factor de Lang P/T	Clase de clima	Símbolo	Tipo climático	Símbolo
Templado	T	1001 a 2000	$24 > T > 17,5$	60,1 - 100	Semi-húmedo	sh	Templado semi-humedo	Tsh

Fuente: Autores, 2016

Con base en la información obtenida en los mapas de uso y cobertura de la tierra del POMCH del río Negro, se pudo conocer que los usos y coberturas que predominan en el área de estudio son: Tierras desnudas (Ae), Galpones (Gp), Mosaico de pastos y cultivos de clima medio (Mcm), Pastos naturales y rastrojos (Pr), Bosque secundario (Bs), Pastos naturales (Pn), Rastrojos altos (Ra) como se evidencia en la ilustración 9.

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

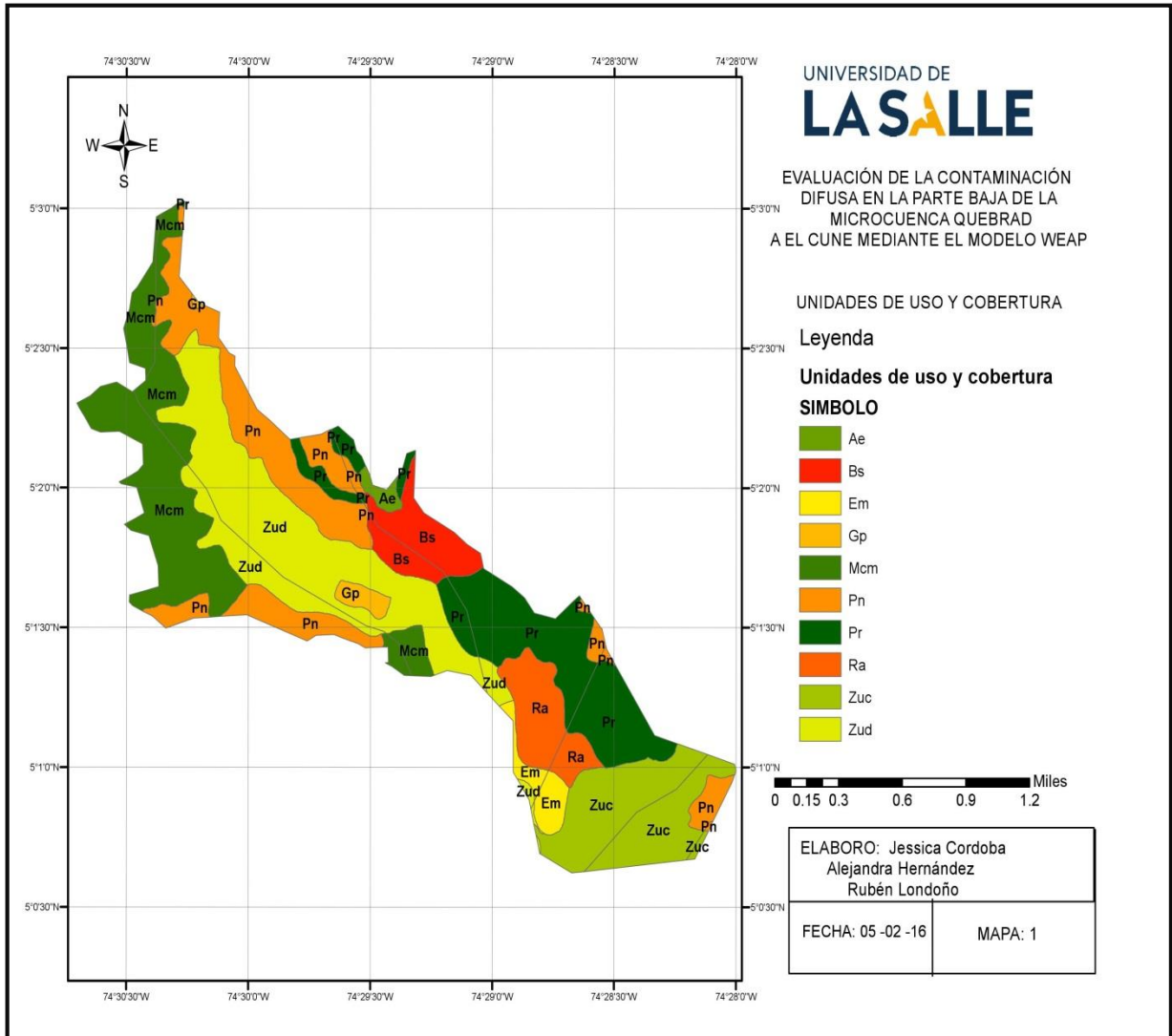


Ilustración 9. Unidades de uso y cobertura en la quebrada El Cune

Fuente: Autores, 2016



De igual forma, también se tomó como base la información del plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Villeta (PBOT), plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Rio Negro, Mapas de unidades de subpaisaje (Ilustración 10) Esta información fue una gran herramienta para realizar la caracterización de las unidades de subpaisaje en la parte baja de la quebrada El Cune (Tabla 3)

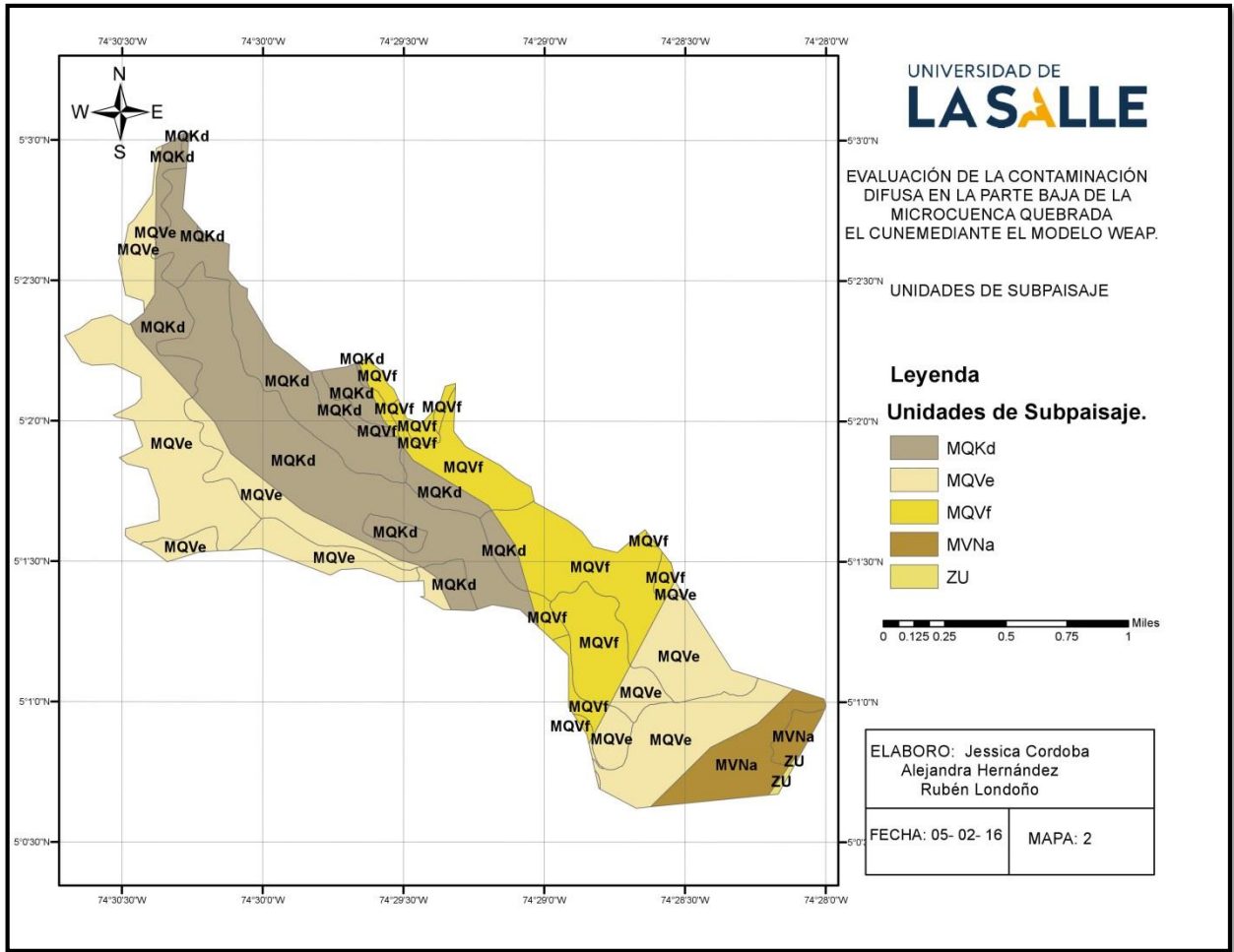


Ilustración 10. Unidades de subpaisaje de la quebrada El Cune

Fuente: Autores, 2016

**Tabla 2. Características edafológicas de las unidades de subpaisaje**

Clase	Sub-clase	Unidad de Sub-paisaje	Profundidad	Drenaje Natural	Suelo	Estructura	Textura	Permeabilidad	Clase Textural	Fertilidad
III	III S-1	MVNa	Moderadamente profundos	Bien a moderadamente bien drenados	Franco Arcillosa Limosa	Sin desarrollo estructural	Moderadamente fina a moderadamente grueso	Rapida	C	Moderada alta
IV	IV P-2	MQKd	Profundos	Bien drenados	Franco Arcillo Arenosa	Bloques Sub angulares	Moderadamente Fina	Moderadamente lenta	C	Baja a moderada
VI	VI P-2	MQVe	Superficiales a moderadamente profundos	Bueno a moderado	Arcillosa	Bloques Sub angulares	Fina - Media	Lenta	D	Baja a moderada
		MQBe	Superficiales a moderadamente profundos	Bueno a moderado	Arcillosa, Arcillo limosa	Bloques Sub angulares	Fina - Media	Lenta	D	Baja a moderada
	VII P-2	MQVf	Superficiales a moderadamente profundos	Bueno a moderado	Arcillosa,	Bloques Sub angulares	Fina-Media	Lenta	D	Baja a moderada
VIII	VIII PS- 2	MQSg	Superficiales	Bien Drenados	Franca , Franca limosa, Franco Arenosa	Bloques Sub angulares	Moderadamente fina a moderadamente grueso	Rapida	B	Baja

Fuente: Londoño & Vega

Tabla 3. Característica de las unidades de subpaisaje

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje (Unidad de Terreno)			
				Asociación	Pendiente	Símbolo	
Cordillera Oriental	Medio húmedo (Q)	Relieve Montañoso Estructural Denudativo (M)	Espinazos, crestones, lomas y filas-vigas	Complejo Dystric Eutrudepts - Humic Eutrudepts (B)	25 - 50 (%)	Topografía fuertemente quebrada (e)	MQBe
			Lomas, cuestras y glacés coluviales	Complejo Humic Eutrodepts - Typic Eutrodepts - Typic Udipsamments (K)	12 - 25 (%)	Topografía fuertemente ondulada, fuertemente inclinada (d)	MQKd
			Crestas homoclinales y filas-vigas	Typic Udorthents - Typic Eutrudepts (S)	> 75 (%)	Topografía muy escarpada (g)	MQSg
			Espinazos, crestones, lomas y filas-vigas	Typic Udorthents-Lithic Hapludolls-Humic Eutrudepts (V)	25 - 50 (%)	Topografía fuertemente quebrada (e)	MQVe
			Espinazos, crestones, lomas y filas-vigas	Typic Udorthents-Lithic Hapludolls-Humic Eutrudepts (V)	50 - 75 (%)	Topografía escarpada (f)	MQVf
	Cálido húmedo (V)		Terrazas, planos de inundación y vallecitos	Asociación Typic Udifluents - Typic Udorthents (N)	0 - 3 (%)	Topografía plana, plano cóncava y ligeramente plana (a)	MVNa

Fuente: Londoño & Vega.

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

Con el fin de obtener mayor de nivel de detalle en cuestión del cálculo, se realizó una subdivisión de la quebrada en Unidades de Tierra como unidad mínima de análisis, las cuales se obtuvieron median la superposición de Unidades de Subpaisaje y Unidades de Uso Y Cobertura de tierra mediante la aplicación del software ArcGIS, esta superposición nos permitió obtener las 4 unidades de tierra y 33 polígonos. (Ilustración 11)

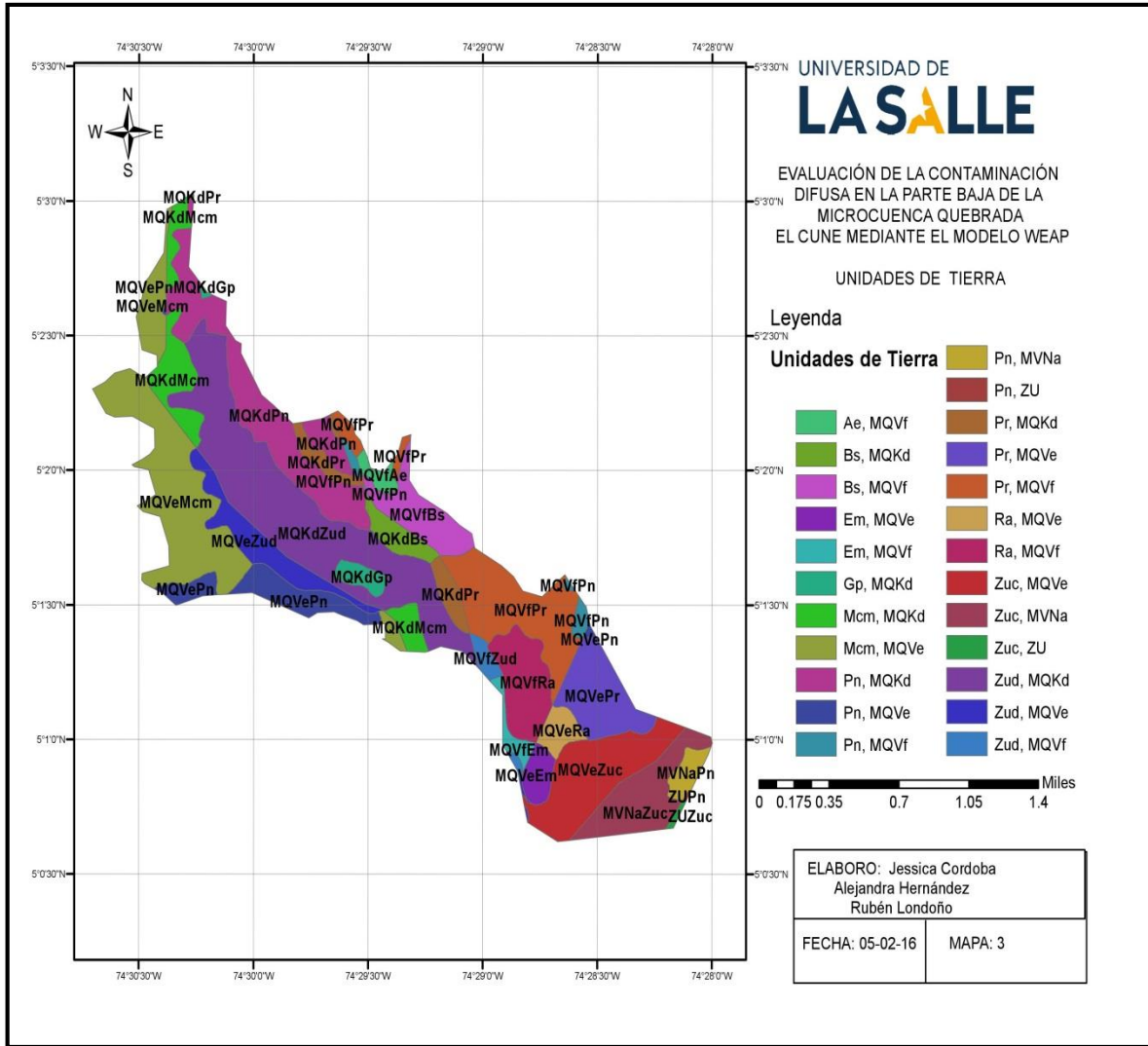


Ilustración 11. Unidades de tierra de la quebrada El Cune

Fuente: Autores, 2016

Para la actualización de información socio- económica y ambiental del área de estudio, se realizó una encuesta a la población la cual fue de manera selectiva teniendo en cuenta abarcar la totalidad de las unidades de tierra; en la encuesta se indago sobre las practicas pecuarias y agrícolas que son realizadas en el área de igual forma se hizo un reconocimiento de la zona, donde se determinó los respectivos usos de la tierra y las actividades pecuarias ( engorde y producción avícola y ganado vacuno), agrícolas (cultivos de caña panelera, café, cítricos y pastos)

El tamaño de la muestra se determinó por medio del siguiente método estadístico- probabilístico (Collazos & Duque, 1998):

$$n: \frac{N \sigma^2 Z^2}{(N * E^2) + Z^2 \sigma^2}$$

Tabla 4.Cálculo de número de encuestas.

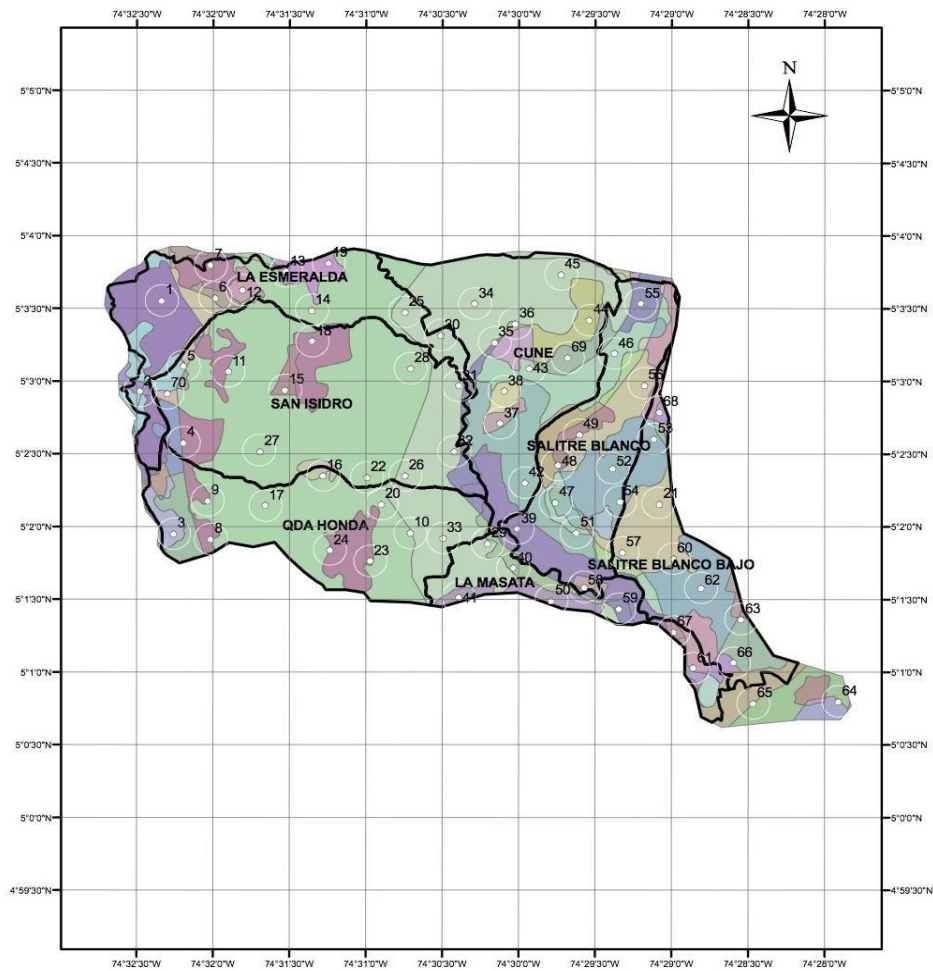
Variab	Significa	Valor
<i>n</i>	Tamaño de la muestra	70
<i>N</i>	Número total de polígonos en los cuales se distribuyen las cuarenta y una unidades de tierra.	94
$\sigma^2$	Varianza de la población $\sigma^2= p(1-p)$	0,17 5
<i>Z</i>	Valor crítico para la distribución normal estandarizada	1,96
<i>E</i>	Error permisible	0,05

Fuente: Autores, 2016

Para establecer la varianza ( $\sigma^2$ ) se tomó la unidad de tierra MQVf, Mcm, debido a que ocupa la mayor proporción de terreno, con un área superficial de 825,29 Ha, lo que equivale al

22,76% de la totalidad de la quebrada. Por último, utilizando un error permisible (E) del 5% se pudo determinar que el valor crítico (Z) es del 95%, lo que equivale a 1,96.

Finalmente, el número de encuestas a realizar fue de 67, las cuales se distribuyeron en el área de estudio, partiendo del supuesto que por cada predio hay un nodo de consumo y una actividad productiva. Por esta razón se realizó una intersección entre el mapa de unidades de tierra y el mapa predial de Villeta. Dicha distribución se puede evidenciar en la ilustración.



**Ilustración 12. Puntos teóricos de encuestas**

Fuente: Betancourt, 2015.

Aunque se distribuyó previamente los puntos a encuestar con el fin de recopilar información por cada unidad de tierra, al llegar a la zona de estudio se realizaron algunas modificaciones en cuanto a cantidad y localización, dado que se dificultaba el acceso a algunos predios y en otros no se encontraban las personas que habitaban dichos predios, debido a los inconvenientes presentados se lograron realizar 60 encuestas.

46

### **3.1.1 Marco temporal**

Para definir el marco temporal del proyecto se tuvo en cuenta la información disponible de datos hidrometeorológicos de la estación la Mesa, localizada en el municipio de la Mesa - Cundinamarca a una elevación de 1300 m.s.n.m. ya que presenta características climáticas similares al área de estudio. Esta estación, además de brindar los datos necesarios para el modelamiento, maneja una serie de tiempo de más de 25 años.

## **3.2. COMPONENTES DEL SISTEMA**

### **3.2.1 Entradas y Salidas**

Tabla 5. Entradas y salidas del modelo WEAP

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
<b>MARCO ESPACIAL</b>	Denominado como <i>Área de estudio</i> por WEAP, corresponde a una capa GIS en formato vector o raster en la cual se definen claramente los límites espaciales del área de estudio.
<b>MARCO TEMPORAL</b>	Denominado <i>Incremento de Tiempo</i> por WEAP, es el periodo de tiempo en años, en el que se manejan los datos requeridos por el modelo.
<b>RED DE DRENAJE</b>	Denominado por WEAP <i>Río</i> , es la línea que representa una corriente de agua continua y que representa la red de drenaje desde el nacimiento hasta la desembocadura del curso principal.
<b>ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</b>	Denominado por WEAP como <i>Flujo al inicio</i> , es la escorrentía mensual promedio de agua que teóricamente ingresa a una corriente de agua. Para el presente estudio fue calculada por medio del método del número de curva
<b>SITIO DE DEMANDA</b>	Punto o nodo a partir del cual se georreferencian las diferentes demandas del recurso hídrico dentro de la cuenca hidrográfica bajo estudio.
<b>POBLACIÓN HUMANA, ANIMAL O ÁREA CULTIVADA (POB)</b>	Es la población humana, animal o área cultivada que demanda agua, calculadas para diferentes horizontes de tiempo, según dinámica poblacional interanual
<b>RITMO DE USO DE AGUA POR AÑO (RUAA)</b>	Tasa anual de uso de agua por tipo de demanda expresada en metros cúbicos por persona (ó persona equivalente).
<b>VARIACIÓN MENSUAL</b>	Variación mensual de la demanda anual en porcentaje. Para el caso de la demanda agrícola se considera el uso consuntivo del agua relacionado con los periodos de crecimiento de los cultivos.



<b>CONSUMO (C)</b>	Cantidad real de agua consumida por los diferentes tipos de uso incluidos en el estudio y que no retorna a la naturaleza (20% para consumo humano y animal).
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>	WEAP puede modelar contaminantes conservativos, por medio de balances simples de masas, y no conservativos por degradación de primer orden. En este estudio se modelaron contaminantes conservativos ( <b>Stockholm Environment, 2009</b> )
<b>SET DE CONTAMINANTES</b>	Se creó el set de contaminantes a modelar para cada actividad productiva. En la actividad humana y pecuaria se tuvieron en cuenta los parámetros DBO, DQO, SST, N y P, mientras que para la actividad agrícola N, K y P
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA</b>	WEAP requiere de estos datos principalmente para calcular la velocidad/ tiempo de residencia del agua en cada tramo.
<b>MARCADOR DE</b>	Longitud, ancho, profundidad y caudal de cada tramo, con esta información el programa calcula la velocidad de cada subcuenca.
<b>DATOS CLIMATOLÓGICOS</b>	Estos datos climatológicos sirven para calcular la temperatura del agua de la quebrada
<b>TEMPERATURA</b>	Temperatura ambiente en grados Celsius. Se usaron los datos de temperatura mensual de la estación La Mesa para cada escenario.
<b>HUMEDAD RELATIVA MEDIA</b>	Se usaron los datos mensuales de la estación La Mesa para cada año a modelar
<b>LATITUD</b>	Ubicación latitudinal de la estación climatológica de referencia.
<b>ACTIVIDADES GENERADORAS DE CONTAMINACIÓN</b>	Se ingresan las concentraciones de los contaminantes de cada parámetro a evaluar por cada actividad socioeconómica. En el caso pecuario y domésticos se tuvieron en cuenta los parámetros DBO, DQO, SST, N, P y P y en el agrícola los macronutrientes N, P y K

Fuente: Autores, 2016

### 3.3. ESTIMACIONES ADICIONALES

49

#### 3.3.1 Cálculo de escorrentía

El cálculo de escorrentía se realizó mediante el método de curva número (Anexo 1), para cada escenario climático año húmedo, año seco y año medio, teniendo en cuenta cada unidad de tierra de la parte baja de la microcuenca, este método es propuesto por El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS); estos valores se tuvieron en cuenta para la implementación del modelo WEAP, considerándolos para tal fin como caudales de referencia.

#### 3.3.2 Contaminación

Para estimar la carga contaminante de los vertimientos domésticos y pecuarios generados en cada unidad de tierra, de la parte baja de la microcuenca, se realizó el análisis de los parámetros físico-químicos DBO5, DQO, SST, N y P, ya que estos se reconocen por ser los de mayor aplicación y eficiencia a nivel mundial para los fines mencionados.

Considerando que las aguas residuales producto de actividades industriales pueden cambiar su composición debido a factores ambientales, sociales y económicos, no es posible encontrar datos estándar que caractericen de dichas aguas. Por consiguiente, se manejó el termino de habitante equivalente (h-eq), el cual nos permitió hacer una ponderación de la carga contaminante generada por las actividades pecuarias (ganaderas y avícolas) tomando como referencia el aporte del mismo contaminante a nivel doméstico.

Por otra parte, para la estimación de los aportes agrícolas se tuvieron en cuenta estudios nacionales e internacionales, de donde se obtuvo una dosis y área de aplicación de un fertilizante y la pérdida del mismo por lixiviación de los compuestos nutritivos (N, P, K). A

partir de estos datos, se hicieron las correcciones pertinentes -área de aplicación y concentración del macronutriente en el fertilizante- con el fin de llevar dicha información a nuestra área de estudio.



### 3.3.3 Establecimiento de supuestos alternativos

Para la modelación de los escenarios hidro-climatológicos y establecer el comportamiento de la generación de cargas a través de la microcuenca quebrada El Cune se emplearon 3 supuestos: año húmedo, año medio y año seco, con el fin de evaluar el impacto sobre la calidad del recurso hídrico.

- Escenario año Húmedo: Es el año en el cual se registran mayor cantidad de precipitación total anual.
- Escenario año medio: Es el año medio en donde los registros no predominan valores de precipitación máximos ni mínimos, si no que según datos históricos, tiene un comportamiento habitual dependiendo de su ubicación.
- Escenario Año seco: Caracterizado por ser el año en el cual se registraron los menores valores de precipitación total anual.

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las cargas contaminantes de las actividades pecuarias, agrícolas y domésticas de la parte baja de la microcuenca Quebrada el Cune, determinadas en el estudio para escenarios climáticos históricos (húmedo, medio y seco), se muestran en las ilustraciones 13,14 y 15; en ellas, se puede observar que, tanto la DQO como la DBO5 presentan las cargas más altas dentro del conjunto de parámetros incluidos en el presente estudio. La DQO es superior a la DBO5, guardando correspondencia con lo documentado por la literatura especializada.

La materia orgánica es uno de los componentes del suelo, producida por restos vegetales y animales, convertidos en una materia de reserva de nutrientes para las plantas, para asegurar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, los microorganismos transforman los compuestos

complejos de origen orgánico en nutrientes en forma mineral que son solubles para las plantas, sin embargo este proceso es lento, por lo tanto la materia orgánica representa una mayor proporción en la zona de estudio, frente a los demás parámetros evaluados. Los resultados de DBO5 y DQO presentan un comportamiento ideal puesto que los niveles de DQO representan un 45,63% y DBO representa 20,07% de las cargas contaminantes aportadas a la microcuenca Quebrada el Cune en la parte baja en los tres escenarios simulados.

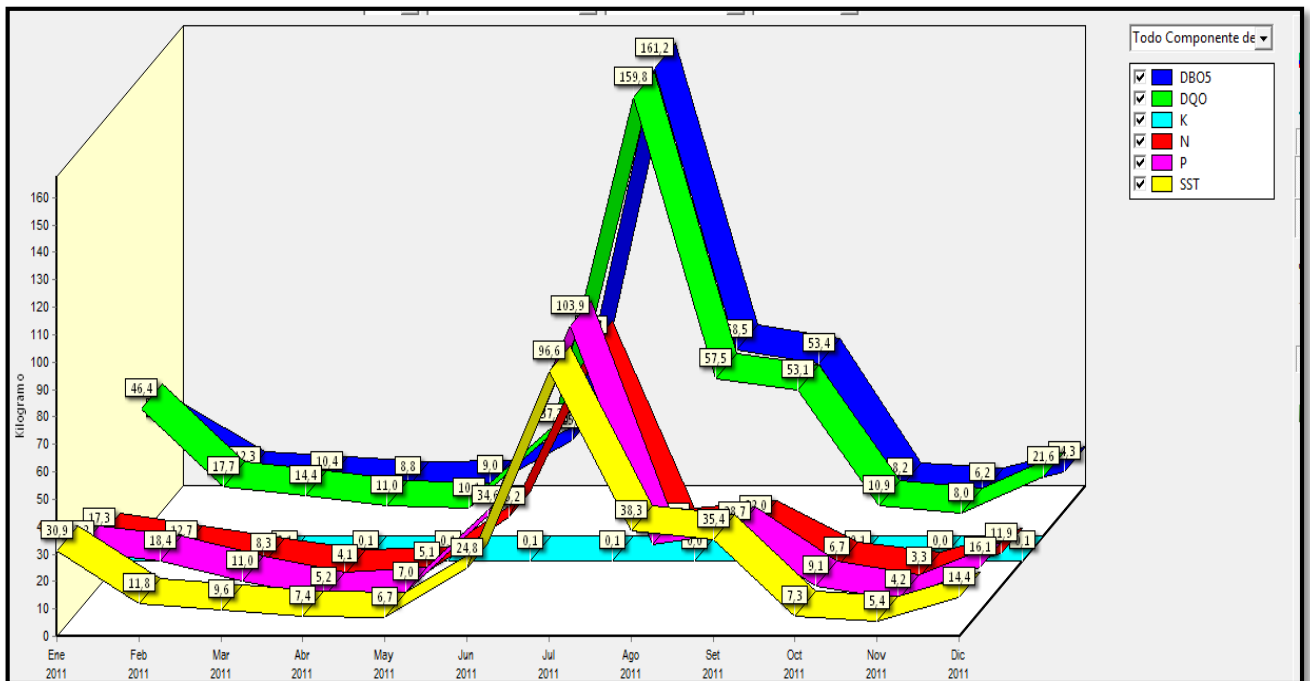


Ilustración 13. Cargas contaminantes Año Húmedo

Fuente: Autores, 2016

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

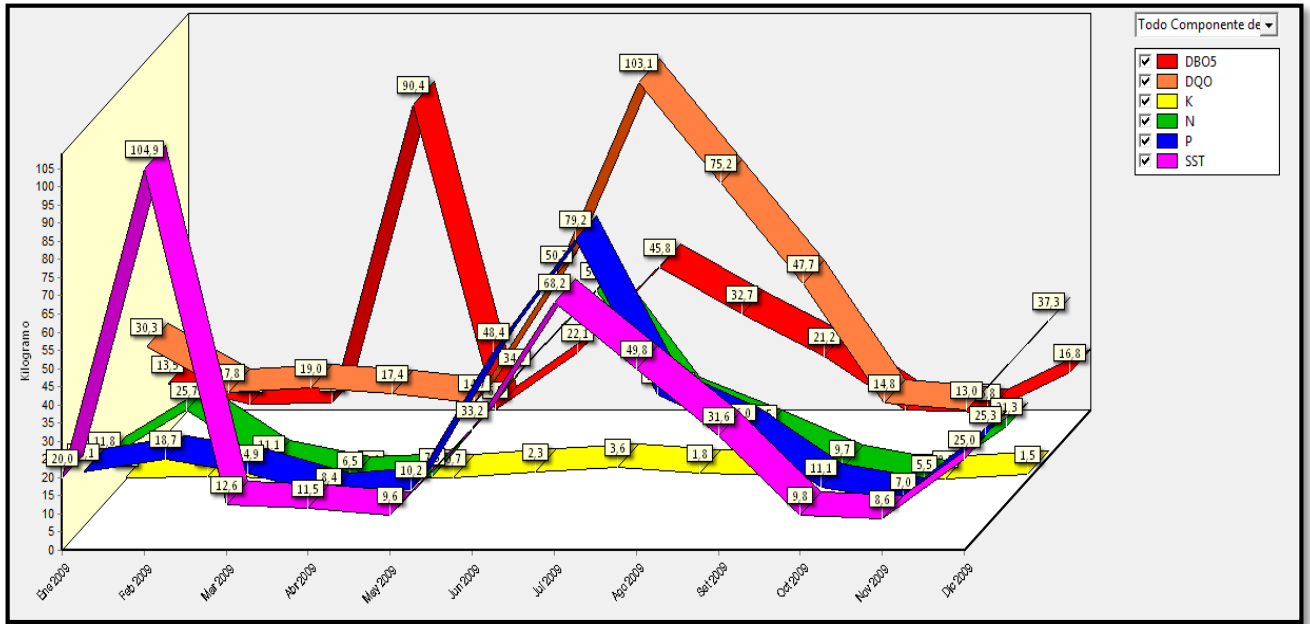


Ilustración 14. Cargas contaminantes Año Medio

Fuente: Autores, 2016

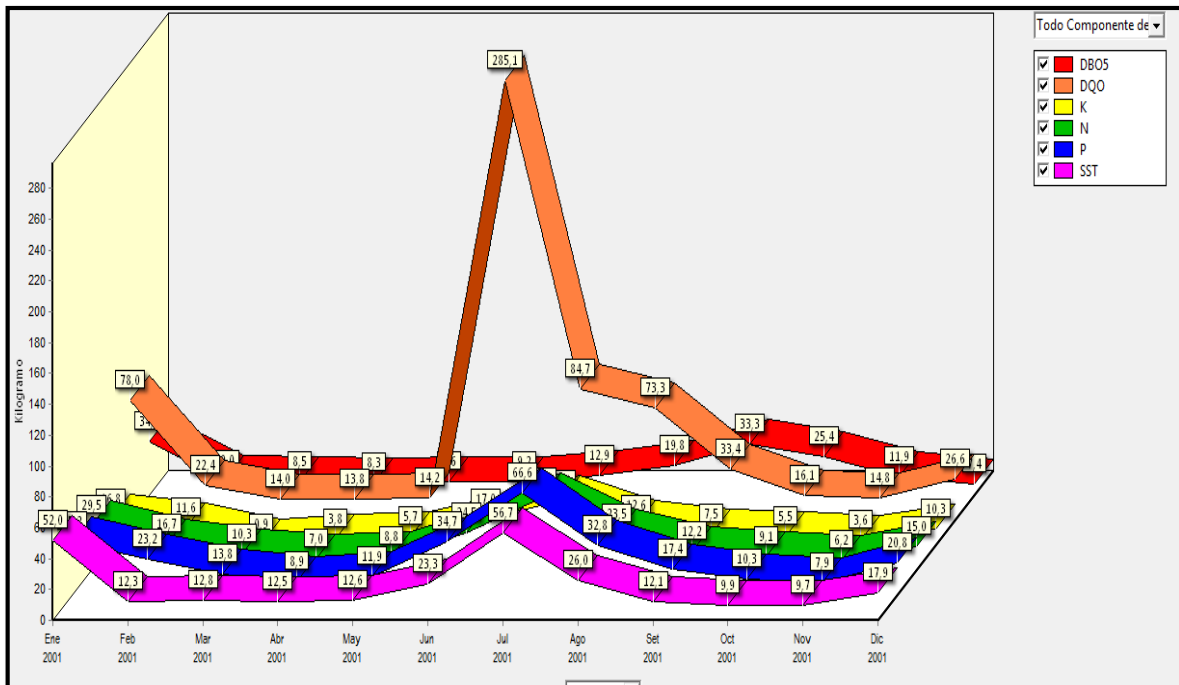


Ilustración 15. Cargas contaminantes Año Seco

Fuente: Autores, 2016

Como se evidencia en las anteriores ilustraciones, los resultados del parámetro fosforo son valores particularmente altos que denotan una carga contaminante considerable, contribuyendo a que los cuerpos de agua reciban nutrientes en exceso, esto puede generar condiciones indeseables al cuerpo de agua como la aceleración del proceso eutrofización; estos altos valores como resultado de la simulación de los escenarios, generalmente se deben al uso excesivo de fertilizantes en la agricultura y a desechos sanitarios de comunidades cercanas que carecen de alcantarillado sanitarios y utilizan pozos sépticos que pueden estar operando inadecuadamente, además la actividad pecuaria es una de las mayores fuentes de contaminación por fosforo.

Por otro lado se evidencia que los sólidos suspendidos totales no aportan mayor carga contaminante en comparación con los parámetro de DBO5 y DQO, lo cual es un comportamiento atípico a los resultados esperados, sin embargo esto podría deberse, a la baja densidad poblacional, las cuales representan un pequeño aporte de SST, otro factor que incide son las pequeñas superficies de unidades de tierra presentes en la parte baja de la microcuenca.

En cuanto a la presencia de nitrógeno no presenta altos valores de concentración sin embargo evidencia un mínimo aporte que puede llegar a los cuerpos de agua por medio de la escorrentía superficial, por la adsorción de partículas arcillosas del suelo, que se desplazan como consecuencia de la erosión de los suelos y la utilización de fertilizantes en las actividades agrícolas y ganaderas de la región.

A continuación se ilustran mapas para cada escenario en donde se puede observar las cargas contaminantes anuales para cada parámetro fisicoquímico, donde las unidades de color amarillo presentan menor carga contaminante y las de rojo mayor.

Todas ellas representadas con unidades de kg/año.

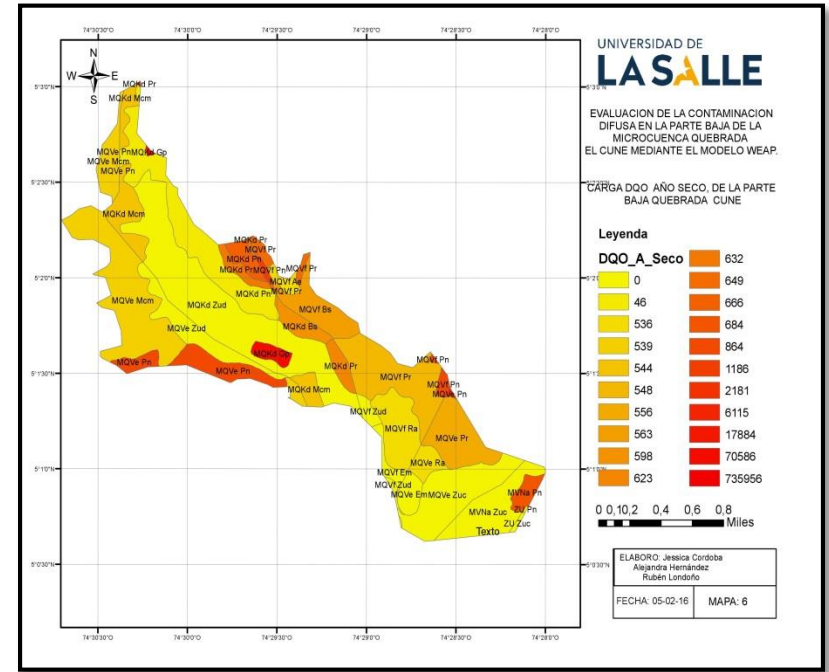
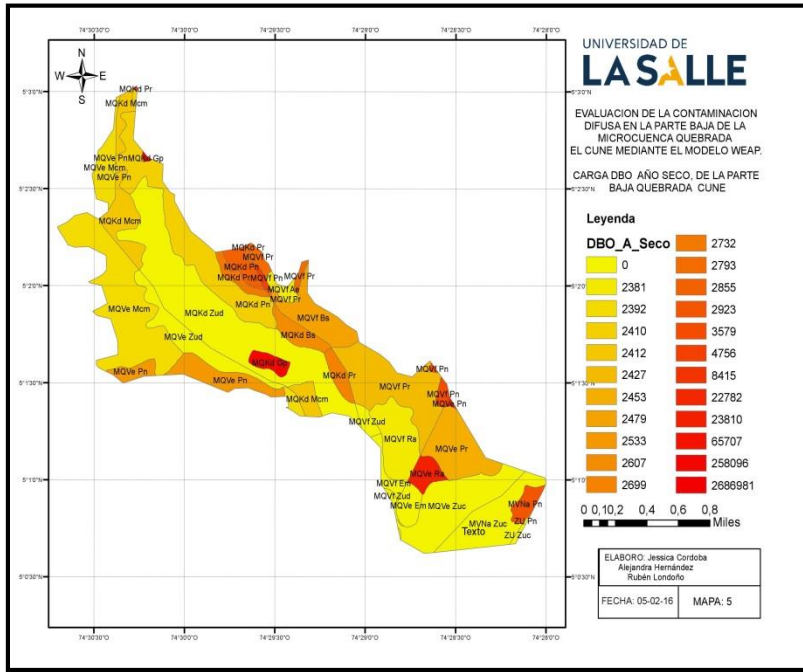


Ilustración 16. Cargas contaminantes DBO por unidades de tierra, Año seco.

Fuente: Autores, 2016

Ilustración 17. Cargas contaminantes DQO por unidades de tierra, Año seco.

Fuente: Autores, 2016

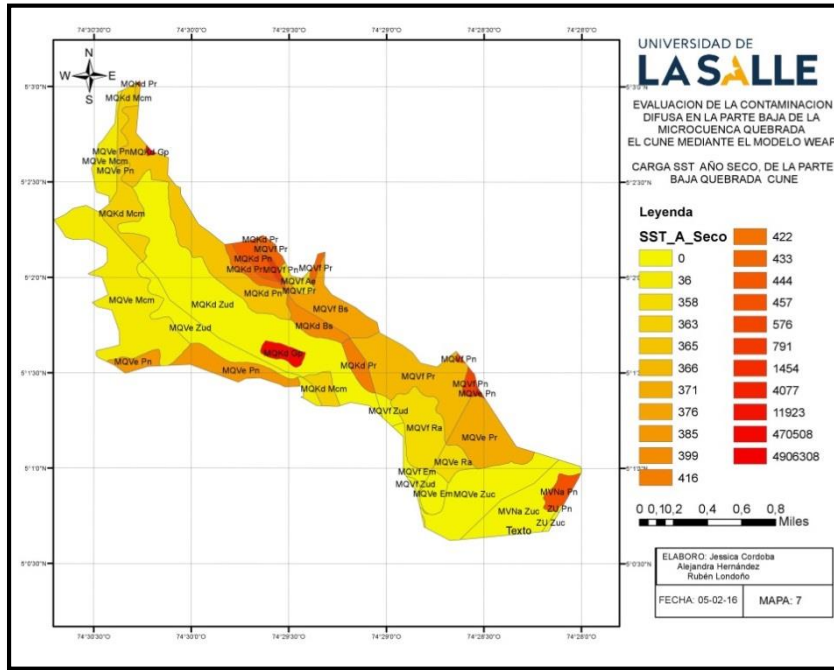


Ilustración 18. Cargas contaminantes SST por unidades de tierra, Año seco.

Fuente: Autores, 2016

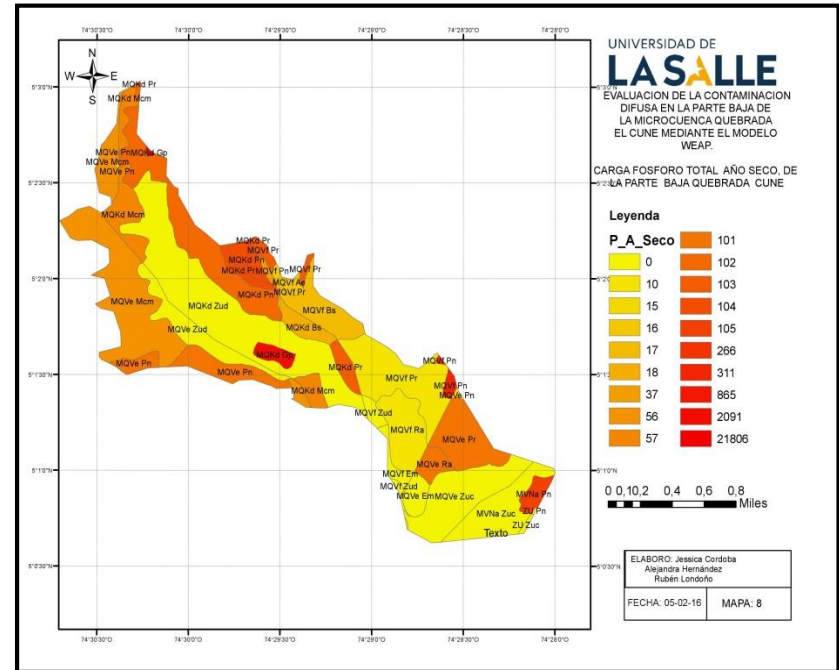


Ilustración 19. Cargas contaminantes P por unidades de tierra, Año seco.

Fuente: Autores, 2016



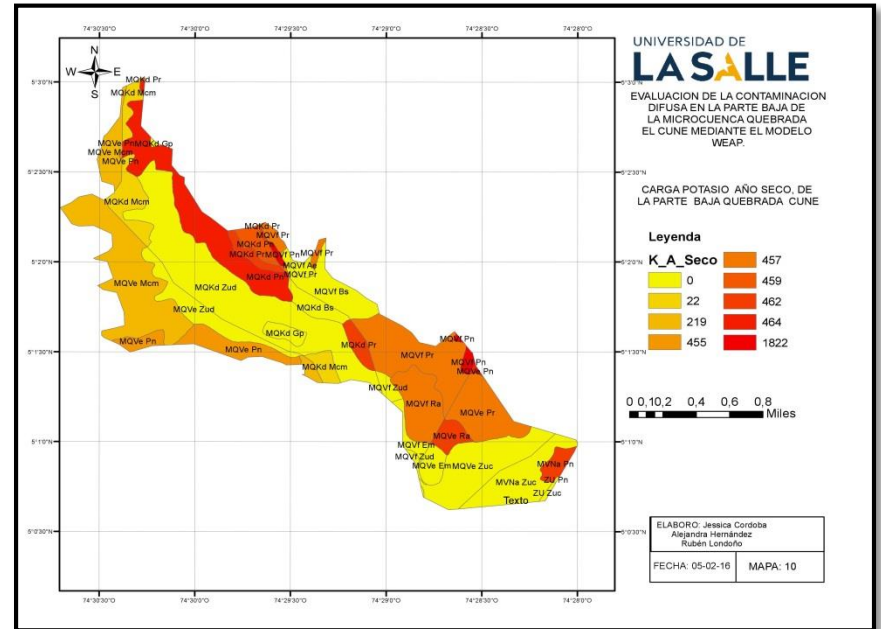
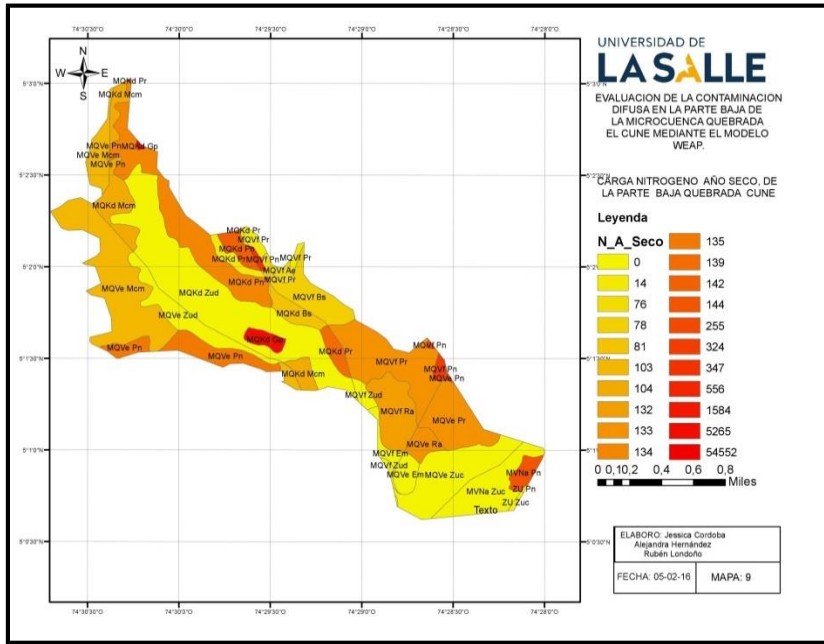
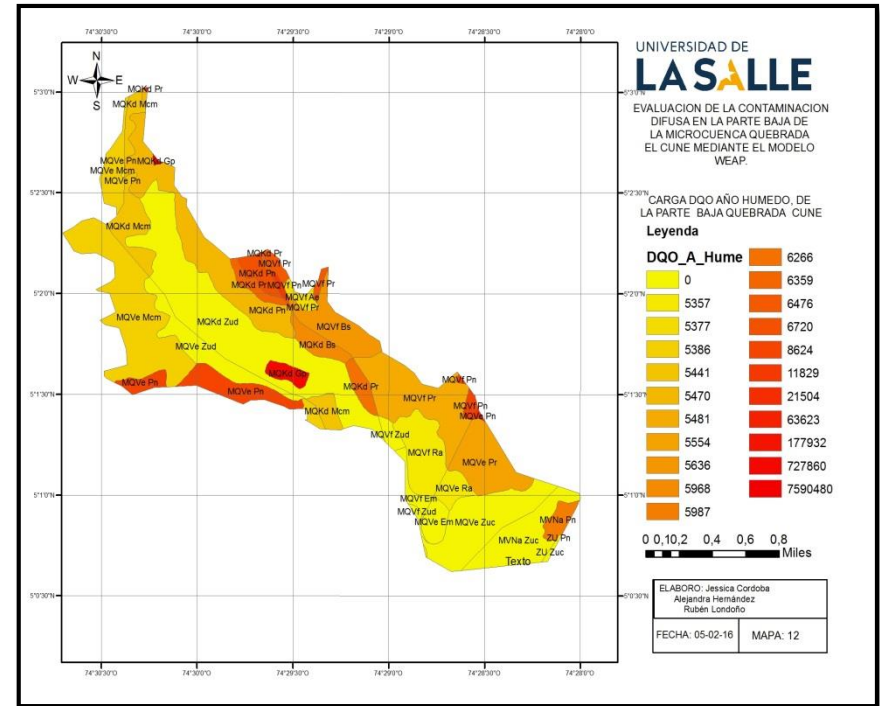
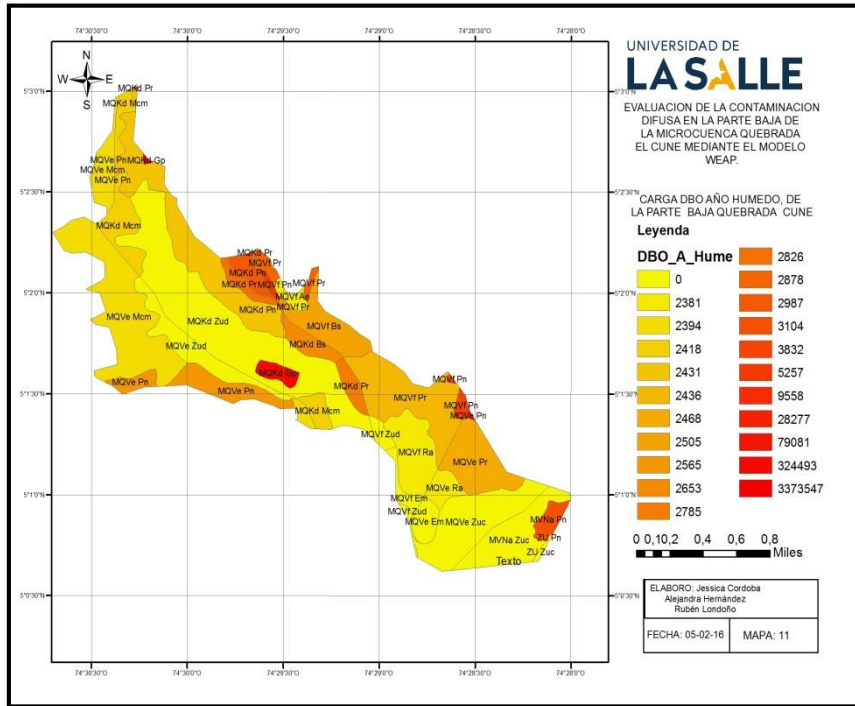


Ilustración 20. Cargas contaminantes N por unidades de tierra, Año seco.

Fuente: Autores, 2016

Ilustración 21. Cargas contaminantes K por unidades de tierra, Año seco.

Fuente: Autores, 2016



**Ilustración 22. Cargas contaminantes DBO por unidades de tierra, Año Húmedo.**

Fuente: Autores, 2016

**Ilustración 23. Cargas contaminantes DQO por unidades de tierra, Año Húmedo.**

Fuente: Autores, 2016

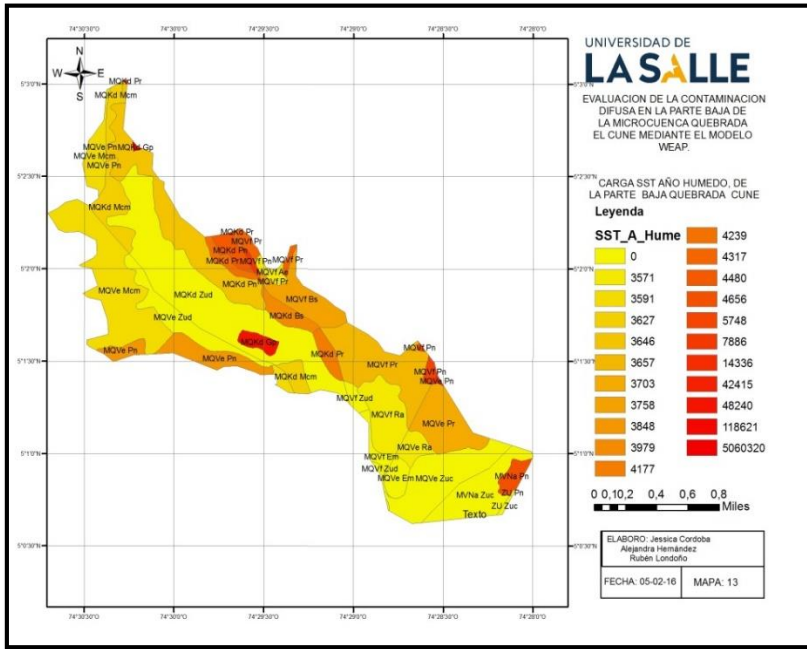


Ilustración 24. Cargas contaminantes SST por unidades de tierra, Año Húmedo.

Fuente: Autores, 2016

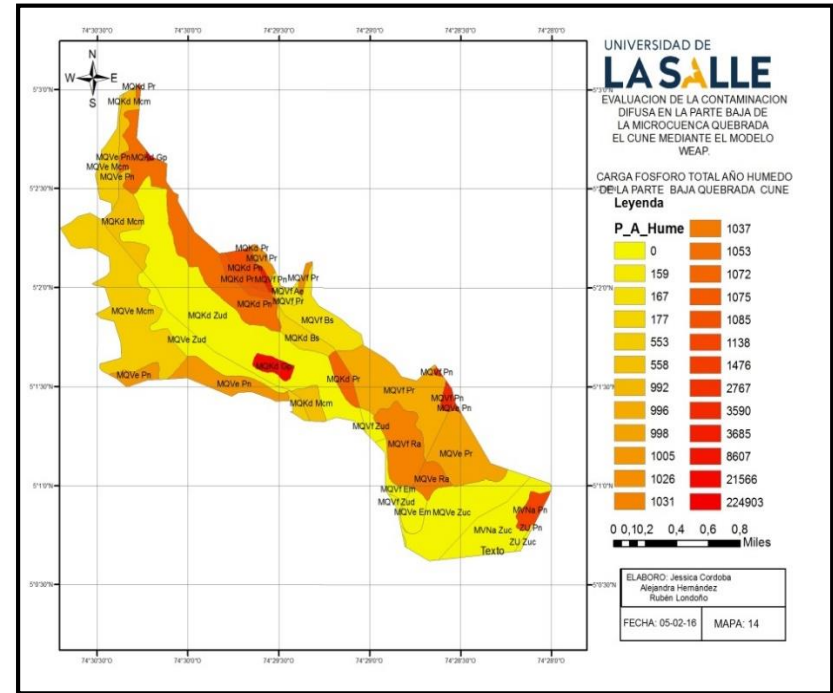


Ilustración 25. Cargas contaminantes P por unidades de tierra, Año Húmedo.

Fuente: Autores, 2016

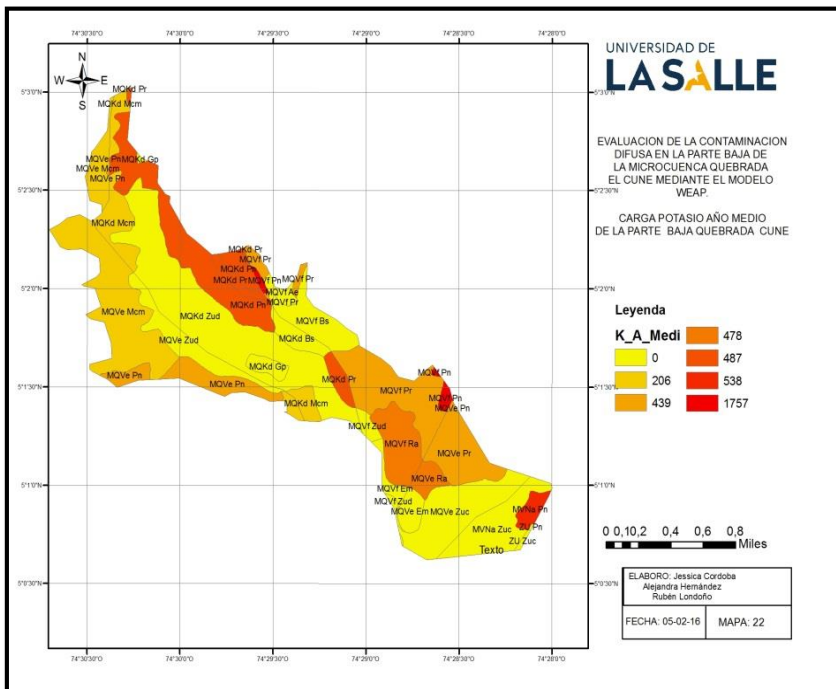


Ilustración 26. Cargas contaminantes N por unidades de tierra, Año Húmedo.

Fuente: Autores, 2016

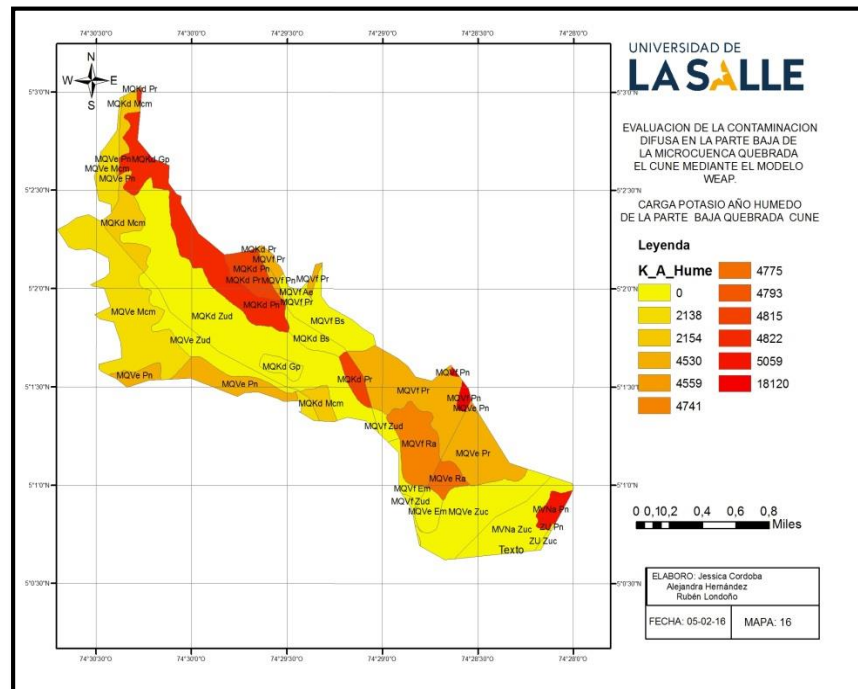


Ilustración 27. Cargas contaminantes K por unidades de tierra, Año Húmedo.

Fuente: Autores, 2016

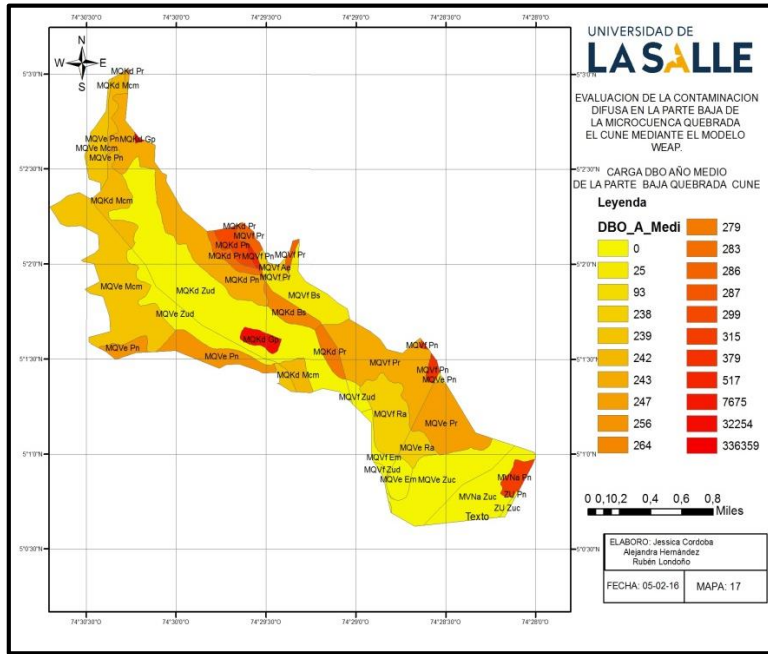


Ilustración 28. Cargas contaminantes DBO por unidades de tierra, Año Medio.

Fuente: Autores, 2016

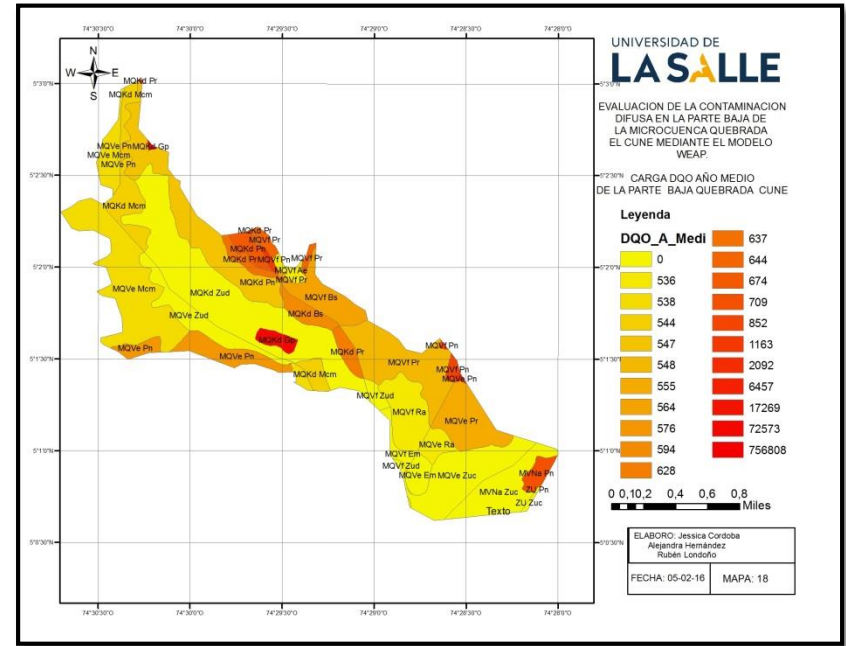


Ilustración 29. Cargas contaminantes DQO por unidades de tierra, Año Medio.

Fuente: Autores, 2016

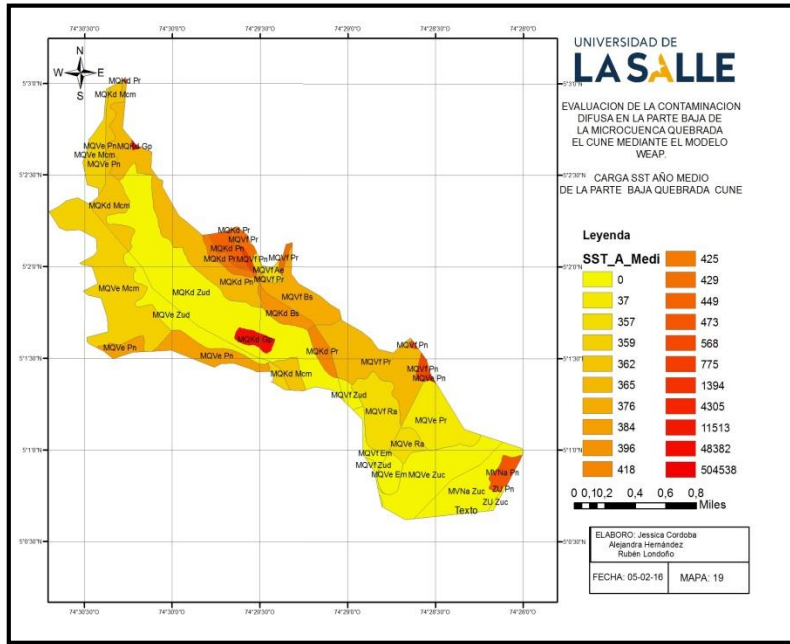


Ilustración 30. Cargas contaminantes SST por unidades de tierra, Año Medio.

Fuente: Autores, 2016

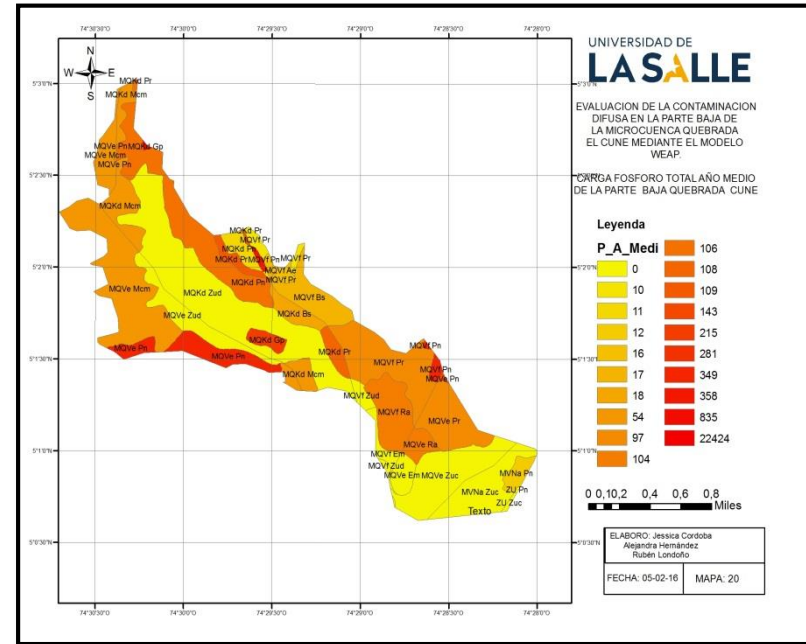
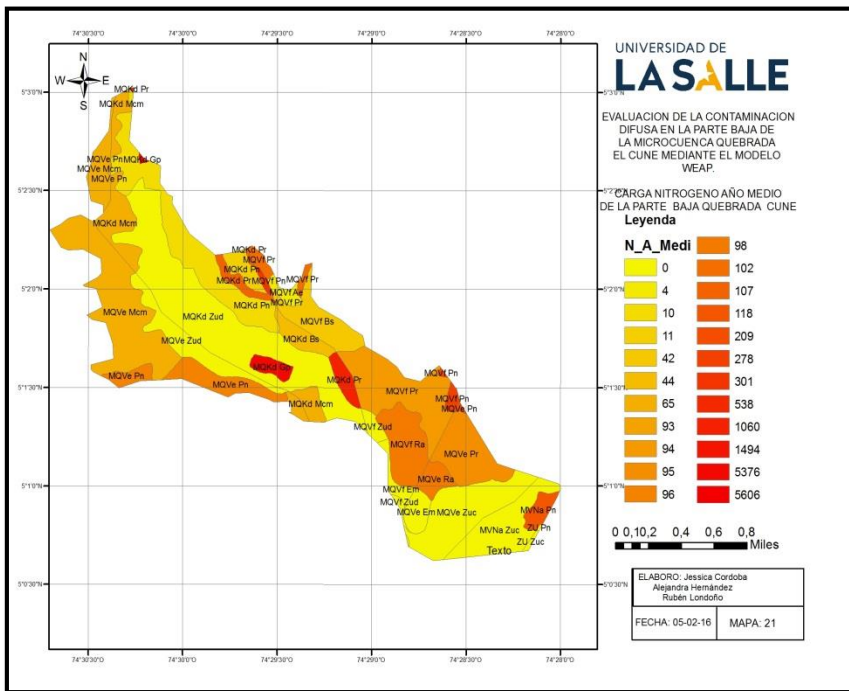


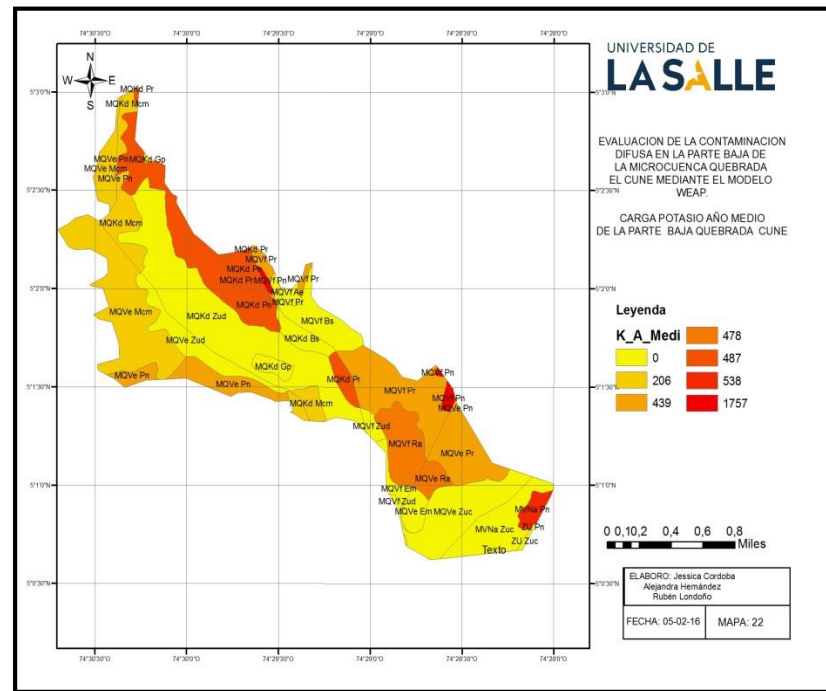
Ilustración 31. Cargas contaminantes P por unidades de tierra, Año Medio.

Fuente: Autores, 2016



**Ilustración 32. Cargas contaminantes N por unidades de tierra, Año Medio.**

Fuente: Autores, 2016



**Ilustración 33. Cargas contaminantes K por unidades de tierra, Año Medio.**

Fuente: Autores, 2016

La subcuenca que genera mayor aporte de carga contaminante al recurso hídrico, es Cune bajo, en ella prima la actividad pecuaria ya que, en la parte baja se encuentran dos empresas de producción y engorde de pollos, alrededor de 10000 y 8000 en cada unidad de tierra, se presentan mayores contribuciones en los meses de junio a septiembre con aportes entre 1, 03 millones de kg/año, para los escenarios de año húmedo.

La subcuenca Salitre Blanco, a pesar de su pequeña extensión de tierra, refleja altos contenidos de DQO, DBO5, SST, fosforo, nitrógeno y potasio, generando los niveles más altos de carga contaminante, ya que en ella se asientan la mayor proporción de la población vulnerable, no cuentan con servicio de alcantarillado, por lo que utilizan pozos sépticos, y mantienen el uso del suelo para la actividad agrícola.

La subcuenca Cune medio genera una menor proporción de cargas contaminantes, sin embargo en esta evidencia la actividad agrícola como mayor generador de contaminantes, debido a que en esta zona se albergan el 70% de los cultivos de café, caña panelera y cítricos.

La superficie ocupada por la agricultura sobre la microcuenca es de 50.537ha, en las que la aplicación de fertilizantes supone un aporte algo superior a las 10.000 T/año de nitrógeno, 9.200 T/año de P2 O5 y 2.400 T/año de K2 O, lo que determina las elevadas concentraciones de estos componentes en las aguas subterráneas de la quebrada como se muestra en la anterior ilustración número 27.

Entre las principales actividades realizadas en la microcuenca, la actividad pecuaria es la causante del mayor impacto en la calidad de la quebrada debido al alto aporte de carga contaminante en cuanto a DQO, DBO, SST, Nitrógeno y Fosforo, estos contaminantes incluyen sedimentos originados de la erosión de las tierras, en parte, proceden de los residuos animales avícolas, representando el 35% del aporte de carga contaminante frente a los demás usos de cobertura del suelo de la microcuenca.



## 5. CONCLUSIONES

- La contaminación difusa en la parte baja de la microcuenca quebrada el Cune, se debe principalmente a las actividades socioeconómicas de la zona (pecuaria, doméstica y agrícola) ya que, no hay practicas optimas de gestión para prevenir la contaminación del agua, lo cual ayudaría a detener la erosión de tierra y a prevenir que los nutrientes entren en el agua.
- Las actividades agrícolas que priman en la parte baja de la microcuenca quebrada el Cune, son sistemas de producción extensivos como el cultivo de caña panelera, cítricos, café y pastos; sin embargo se ha presentado una disminución de la actividad agrícola de esta zona, debido que gran parte de la zona ha cambiado su uso del suelo, la mayoría de estas ahora son zonas recreativas.
- La carga contaminante generada por los galpones presentan valores altos de aporte contaminante al recurso hídrico, comparándolo con la estimación de las otras actividades, se debe a que en Cune bajo se encuentran empresas dedicadas a la producción y engorde de 8.000 y 10.000 pollos lo que genera el mayor aporte a la quebrada, por su gran extensión.
- Teniendo en cuenta la información obtenida por el modelo WEAP la contaminación difusa en la parte baja de la microcuenca el Cune, se evidencio que Cune Bajo es la que genera los valores más altos de contaminación, ya que en ella podemos encontrar mayor número de población, y las dos empresas avícolas como se mencionó anteriormente.
- La distribución del uso y cobertura dentro de la parte baja de la microcuenca el Cune se identifican 4 unidades de tierra (MQVe, MQKd, MQVf y MVNa) con diversos usos del suelo, en donde predominan, pastos naturales y cultivos de clima medio en los cuales prevalecen los cultivos de café.

- El estudio proporciona una idea general del estado actual de la problemática de contaminación, resulta de extrema importancia, ya que permite disponer de una valiosa herramienta de trabajo, a través de la cual es posible identificar y establecer prioridades de gestión, en el marco del proceso de elaboración de los programas de manejo ambiental para la microcuenca y la calidad del recurso, como resultado generar soluciones dirigidas a mitigar los efectos causados por la contaminación difusa.
- El método de la curva número permite estimar la escorrentía superficial generada en parcelas de tierra con mayor precisión, siempre y cuando el área de estudio posea datos hidrológicos, climáticos y estudios del suelo que evidencie el comportamiento real de una zona determinada.
- Las unidades de tierra que predominan por su alta carga contaminante en los tres escenarios (húmedo, medio y seco) son MQKd.Pn, MQKd.Gp y MQKd.Pr, representan la misma unidad de tierra pero con diferente uso del suelo, esta tiene como característica tipo de suelo franco-arcilloso, es característico de este un buen drenaje, lo que se evidencia en los resultados de escorrentía superficial.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda calibrar el modelo WEAP con datos obtenidos en campo, para lo cual es necesario una mayor dedicación de tiempo.
- Implementar estrategias con el fin de implementar programas que generen la utilización de adecuados indicadores de producción y consumo y gestión para un adecuado Plan de Ordenación y Manejo de la Subcuenca Hidrográfica el Cune, el cual conduciría a una reducción significativa en las cargas contaminantes.
- Realizar estudios más específicos de las actividades agrícolas pecuarias y domésticas que se realicen en la microcuenca el Cune, así se tendrá información actualizada, con el fin de controlar impactos que generan la contaminación difusa.

- Es necesario que se realice una actualización de la información hidro-meteorológica existente, debió a que no se contó con la totalidad de los datos en las series para la zona de estudio.
- En la zona de estudio se presentan problemas por la falta de asistencia técnica en la producción agropecuaria, para lo cual se hace necesario capacitar al agricultor acerca de la implementación de buenas prácticas de manejo de cultivos.

## 7. BIBLIOGRAFIA

67  
Centro de Cambio Global Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute. (2009). Guía metodológica modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. Desarrollada con contribuciones del PACC (Proyecto de Adaptación al Cambio Climático).

Centro de Estudios de Administración Pública. (1998). Metodología para la evaluación de cargas contaminantes. Obtenido el 12 de Noviembre de 2015 en:

[http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021117/Carga\\_Organica.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021117/Carga_Organica.pdf).

Collazos, H. & Duque, M. (1998). Residuos Sólidos. 5ed. Bogotá. Asociación Colombia de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS. (2000). Reglamento Técnico del Sector de agua potable y saneamiento básico. Título B.

Ghiberto, P. Libardi, P. Trivelin, P.C.O. (2014). Nutrient leaching in an Ultisol cultivated with sugarcane. Agricultural. Water Management vol. 148. Pg. 141-149 Obtenido el 3 de Diciembre de 2015 en: [www.elsevier.com/locate/agwat](http://www.elsevier.com/locate/agwat)

Harriman, R. (2012). Nutrient leaching from fertilized forest watersheds in Scotland's. Journal of Applied Ecology. Vol. 15. No.3. Pg. 933-942. Obtenido el 3 de Diciembre de 2015 en: <http://www.jstor.org/stable/2402788>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (2010). Estudio Nacional del agua. Obtenido el 3 de Diciembre de 2015 en:

[https://www.siac.gov.co/documentos/DOC\\_Portal/DOC\\_Agua/20120928\\_Cali\\_agua\\_sup\\_ENA\\_2010.pdf](https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/20120928_Cali_agua_sup_ENA_2010.pdf)

Jaramillo, A. 2003. La lluvia y el transporte de nutrientes dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. Cenicafe, 54(2). Pg. 134-144. Obtenido el 8 de Diciembre de 2015 en: [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc054\(02\)134-144.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc054(02)134-144.pdf).

López, a. M. (2010). Contaminación difusa en acuíferos estudio de caso en la comuna de colina, región metropolitana. Obtenido el 13 de Diciembre en:

[http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-morlans\\_al/pdfAmont/cf-morlans\\_al.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-morlans_al/pdfAmont/cf-morlans_al.pdf)

Mackenzie, D. (2005). Ingeniería y Ciencias Ambientales. 2ed. México: Mac Graw-Hill. Pg.

75 Sampieri, R., & Fernandez, C. (2010). Metodología de la investigación. 5ta ed. Mexico: Mac Graw Hill.

68

Ministerio de Ambiente Y Desarrollo sostenible (2014). Guía Técnica para la Formulación de Planes de Ordenación Del Recurso Hídrico. Obtenido el 28 de junio 2015

en: [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/guia\\_tecnica\\_para\\_la\\_formulacion/GU%C3%8DA\\_T%C3%89CNICA\\_PORH.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/guia_tecnica_para_la_formulacion/GU%C3%8DA_T%C3%89CNICA_PORH.pdf)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. (2010) Decreto 3930 de 2010. Obtenida el 13 noviembre de 2015 en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2004) Resolución 865 de 2004. Obtenida el 05 de enero de 2016 en: [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_23\\_julio\\_2004.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_23_julio_2004.pdf)

Monomeros Colombo Venezolanos. (2012). *Guía general de de fertilización de cultivos con nutriron 15-15-15*. Obtenido el 3 de Enero de 2015. En <http://www.monomeros.com>

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (1997). *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos*. GEMS/Water Collaborating Centre Canada. Centre for Inland Waters, Burlington, Canadá. Obtenido el 15 de Diciembre de 2015 en: <http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s00.HTM>

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, FAO. (2001). *Sistema de producción agropecuaria y pobreza*. Obtenido el 13 de Diciembre de 2015 en: <http://ftp.fao.org/docrep/fao/003/y1860s/y1860s.pdf>

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, FAO. (2002). *Los fertilizantes y sus usos. World Fertilizer use Manual*, IFA, París, 632p. Obtenido el 14 de Diciembre de 20015 en: <http://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>.

PBOT, Villeta. (1999). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Villeta*.

Tapia y Villavicencio (2007). *Uso de biofiltros para mejorar la calidad del agua de riego*.  
Gobierno de Chile- Ministerio de Agricultura. Obtenido el 15 de Diciembre de 2015  
en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR35511.pdf>

69

Vega, G & Londoño, R.(2014).Modelo de asignación del recurso hídrico para la  
microcuenca de la Quebrada Cune con base en el modelo de simulación Water  
Evaluation and Planning System (WEAP).(Tesis de pregrado). Universidad De La  
Salle, Bogotá, Colombia.

Villota, H. (1997). *Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno*. (C.  
d.Instituto Geografico Agustin Codazzi, Ed.) *Centro de Investigación en Percepción  
Remota*

## 8. ANEXOS

### **Anexo 1. Estimación de la escorrentía**

Para la estimación de la escorrentía media en la parte baja de la quebrada El Cune, se empleó el método propuesto por El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS), el cual se basa en el método de la Curva número (CN).

En un principio, éste último método fue concebido para determinar caudales de diseño, por medio de la estimación de la escorrentía máxima a partir de valores máximos de precipitación. No obstante, el SCS aportó la metodología para la estimación de escorrentía media basada en precipitaciones virtuales mínimas, medias y máximas, las cuales, al final del procedimiento de cálculo, son utilizadas para determinar la escorrentía media a través de un promedio ponderado.

Originalmente el método fue propuesto para la estimación de la escorrentía (directa) media mensual, es decir, aplicable al área de influencia de la estación climatológica de la cual se toman los datos de precipitación. Sin embargo, con el fin de establecer la oferta hídrica de una cuenca hidrográfica, se definió una unidad espacial de referencia, que no necesariamente, debe coincidir con el área de influencia de la estación climatológica de referencia, ya que esta última resulta poco efectiva para confrontar la oferta hídrica con las diferentes demandas que se ejercen sobre el recurso.

Así pues, para estimar la escorrentía superficial mediante el método de la Curva Número, la microcuenca fue subdividida en Unidades de Tierra, las cuales son obtenidas a través

de la integración funcional de las unidades de subpaisaje con las unidades de uso y cobertura (ilustración 11). Este proceso tuvo como finalidad, brindar un mayor nivel de detalle para el análisis de la contaminación difusa en la quebrada, ya que cada valor obtenido de escorrentía pertenece a una unidad de tierra y a su vez se usó como caudales de referencia en el modelo WEAP.

En el método de la Curva Número, la escorrentía media mensual multianual corresponde al promedio ponderado de las escorrentías mensuales de los años húmedo, medio y seco, calculado mediante la siguiente expresión:

$$Q_{ficticia} = \frac{Q_{em\acute{a}x} + 2Q_{emed} + Q_{emin}}{4}$$

Dónde:

*Q<sub>e ficticia</sub>*: Escorrentía media mensual.

*Q<sub>e max</sub>*: Escorrentía mensual del año húmedo.

*Q<sub>e med</sub>*: Escorrentía mensual del año media.

*Q<sub>e min</sub>*: Escorrentía mensual del año Seco.

1. La escorrentía mensual del año húmedo (**Q<sub>e máx</sub>**) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{emax} = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Dónde:

*Q<sub>e max</sub>*: Escorrentía mensual del año húmedo

*P*: Precipitación máxima diaria histórica o lluvia total acumulada

*S*: Sumatoria de la infiltración (F) más las abstracciones iniciales (I<sub>o</sub>)



Cuando no hay abstracciones iniciales, entonces  $S$  se hace igual a la infiltración, tal y como se muestra Ilustración 34 y está dada por la siguiente ecuación:

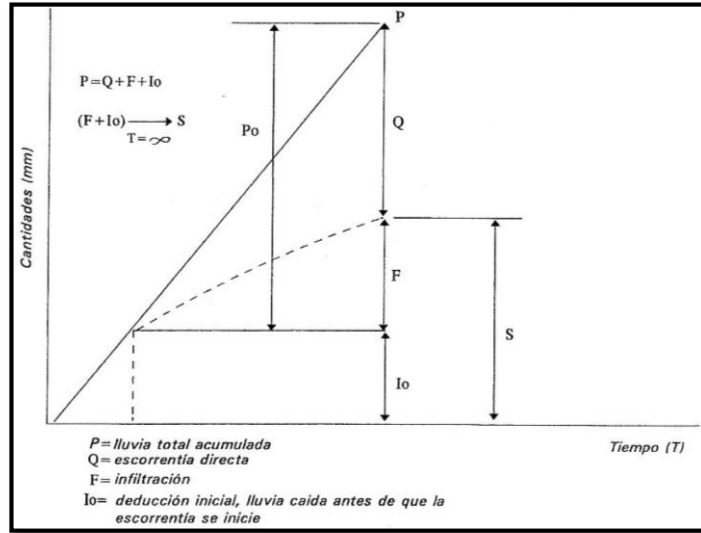


Ilustración 34. Representación de P, Q, F en función del T

Fuente: Tragsa, 1988.

$$S = 254 \left( \frac{100}{N} - 1 \right)$$

Dónde:

$S$ : Sumatoria de la infiltración (F) más las abstracciones iniciales ( $I_o$ ), en mm

$N$ : Número de curva

El número de curva es un valor adimensional (CN) que varía entre 0 y 100, estandarizado para las condiciones hidrológicas de un determinado complejo suelo-vegetación. Para superficies impermeables y cuerpos de agua,  $CN = 100$ ; para

superficies naturales,  $CN < 100$  y, para superficie sin escurrimiento,  $CN = 0$ . Los números de curva se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales (Condición II); para condiciones secas (Condición I) o condiciones húmedas (Condición III) y, con base en ellas, se asignan los números de curva para cada complejo suelo-vegetación.

73

Los datos e información requeridos para el cálculo de la escorrentía, son:

- a) Precipitación de referencia
- b) Uso, cobertura y manejo del suelo
- c) Capacidad de infiltración del suelo (Grupo Hidrológico)
- d) Condición de humedad antecedente (Cinco días)
- e)

*Precipitación de referencia.* Para cada año del periodo de tiempo trabajado se toman los valores registrados de número de días mensuales con lluvia, cantidad total mensual de precipitación y valores máximos en 24 horas de precipitación.

*Uso, cobertura y manejo del suelo.* Debido a la capacidad de la planta para absorber agua en los periodos húmedos, se estandarizaron curvas que dan razón de la relación que existe entre diferentes tipos de cobertura vegetal y las condiciones hidrológicas del terreno.

*Capacidad de infiltración del suelo (Grupo Hidrológico).* Se refiere a las condiciones de infiltración del suelo de acuerdo con su condición textural. El método de Curva Numero plantea cuatro grupos de suelos hidrológicos así:

- **Suelo A:** Alta capacidad de infiltración, con un potencial de escurrimiento mínimo; suelos con mayor permeabilidad, predominan arena o grava.
- **Suelo B:** Capacidad de permeabilidad moderada cuando están saturados; predominan los suelos franco-arenosos de profundidad media y los francos profundos.

- **Suelo C:** Poca permeabilidad cuando están saturados. Presentan un estrato impermeable que dificulta la infiltración; predominan las texturas franco-arcillosa o arcillosa.
- **Suelo D:** Presentan gran impermeabilidad, ofrece mayor escorrentía; predominan suelos arcillosos profundos.

Cada uno de los grupos hidrológicos de suelos, se encuentra relacionado con un grupo de clases texturales como se muestra en la tabla 6

**Tabla 6. Clases texturales.**

Clases			
A	Arenosa	B	Franco-Limosa
	Arenoso-Franca		Franca
	Franco-Arenosa		Limosa
C	Franco-Arcillo-Arenosa	D	Arcillo-Arenosa
	Franco-Arcillo-Limosa		Arcillo-Limosa
	Franco-Arcillosa		Arcillosa

Fuente: (Tragsa, 1998).

A cada tipo de complejo suelo-vegetación se asigna un número de curva hidrológico (N), el cual es un valor que define las condiciones hidrológicas, para esto se utilizan diversas tablas que indican los valores respectivos.

- Condición de humedad antecedente (Cinco días). Es la humedad acumulada en el suelo durante los cinco días previos a un evento lluvioso.

Con el fin de determinar la humedad antecedente para un régimen pluviométrico bimodal, deben considerarse los dos periodos de lluvias altas y los dos periodos de

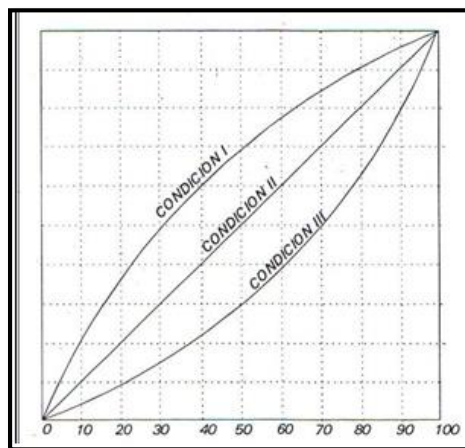
lluvias bajas. Para tales efectos, en el presente estudio se tuvieron en cuenta los valores que aparecen en la Resolución 865 (MAVDT, 2004), como en la Tabla 7.

**Tabla 7. Condiciones precedentes de humedad.**

Lluvia total caída durante los cinco días anteriores		
Condición	Período Seco	Período Humedo
I	< 5mm	< 14 mm
II	5 -11 mm	De 14 a 21 mm
III	> 11 mm	Más de 21 mm

Fuente: Modificado de Resolución 865 de 2004. (MAVDT, 2004)

Si en el momento de producirse la precipitación los suelos se encuentran parcialmente secos, se toma como referencia la condición antecedente I; si los suelos presentan un contenido de humedad medio se toma la condición antecedente II y, si los suelos se encuentran saturados, se toma la condición antecedente III.



**Ilustración 33. Condiciones antecedentes de humedad.**

Fuente: Tragsa, 1988.

2. La escorrentía mensual del año húmedo ( $Q_{e\ med}$ ) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{e\ med} = n1 * pV1$$

Dónde:

**$Q_{e\ med}$** : Escorrentía mensual del año medio en mm

**$n1$** : Número virtual de días con lluvia

**$pV1$** : Precipitación diaria virtual en mm

$$n1 = \frac{1}{2} \left( Dm - 1 - \frac{Pm - Mm}{Mm} \right)$$

Dónde:

**$Dm$** : Número total de días de lluvia del mes considerado

**$Pm$** : Lluvia total del mes en estudio (mm)

**$Mm$** : Lluvia máxima caída en un solo día de dicho mes (mm)

$$pV1 = \frac{Pm - Mm}{Dm - 1}$$

$pV1$  corresponde a un caso en el cual todos los días excepto el de máxima lluvia, presentan la misma precipitación, considerado como caso desfavorable para la escorrentía superficial.

3. La escorrentía mensual del año húmedo ( $Q_{e\ mín}$ ) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{e\ mín} = n2 * pV2$$

Dónde:

77

**Qemín:** Escorrentía mensual del año seco en mm

**n2:** Número virtual de días con lluvia

**pV2:** Precipitación diaria virtual en mm

**n2:** Corresponde al supuesto en el cual apenas hubiera precipitación en algunos días y, en los restantes, lloviera casi igual que el día de lluvia máxima, lo que en el límite nos daría un número de días. Se considera el caso más favorable para efectos de la escorrentía superficial

$$n2 = \frac{Pm - Mm}{Mm}$$

$$pV2 = \frac{1}{2} \left( Mm + \frac{Pm - Mm}{Dm - 1} \right)$$

$n1$  y  $pV2$  tienen considerarse como un caso intermedio entre el desfavorable y el más favorable con respecto a la escorrentía superficial.

Posteriormente, para clasificar el nivel de la condición antecedente de humedad, según valores de referencia mostrados en Tabla anterior, se tiene:

$$\text{Para } Dm > 5, \quad P5 = \frac{Pm}{12} + \frac{Mm}{4} + pV1 \quad \text{Para } Dm < 5, \quad P5 = \frac{Pm}{3}$$

Los valores dados para los números de curva están definidos para la condición antecedente

II. Para modificar el número de curva según las condiciones antecedentes I y III, se tiene:

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

$$CN(I) = \frac{4,2 CN(II)}{10 - 0,058 C_m(II)}$$

$$CN(I) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,138 C_m(II)}$$

Finalmente, se convierte el caudal obtenido para cada unidad de tierra de mm a m<sup>3</sup>/s. Para esto se utiliza el valor correspondiente a la superficie de cada unidad de tierra y el número de días con lluvia del mes respectivo. Teniendo en cuenta la metodología anteriormente descrita, se tienen como resultado las tablas 8,9 y 10, en donde se presenta la escorrentía generada en los tres escenarios de estudio (año seco, medio y húmedo).

Tabla 8. Caudales medios mensuales del año seco por cada subcuenca por unidad de tierra.

Quebradas	Subcuenca	Uso y cobertura	Manejo agrícola	Estado hidrológico	G.hidro del suelo	N (II)	Escorrentía mensual (L/s)												Esc. Prom.Total (L/s)
							Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Cune Medio	MQKd.Gp	Galpones	NA	Malo	C	85	0.007	0.021	0.027	0.027	0.027	0.014	0.006	0.008	0.017	0.035	0.034	0.019	0.020
	MQKd.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos de clima me	Cultivo	Malo	C	91	0.424	1.400	1.811	1.699	1.826	0.903	0.382	0.492	1.064	2.312	2.183	1.244	1.312
	MQKd.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	C	85	0.811	2.658	3.143	3.234	3.203	1.750	0.744	0.953	2.036	4.268	4.190	2.357	2.446
	MQVe.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.002	0.007	0.009	0.008	0.009	0.005	0.002	0.002	0.005	0.012	0.011	0.006	0.007
	MQKd.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	C	85	0.002	0.005	0.007	0.006	0.007	0.003	0.001	0.002	0.004	0.009	0.008	0.005	0.005
Salitre Blanco	MQVf.Ae	Tierras desnudas	NA	NA	D	87	0.065	0.197	0.284	0.254	0.286	0.135	0.057	0.074	0.160	0.355	0.327	0.187	0.198
	MQKd.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	C	85	0.091	0.281	0.390	0.366	0.393	0.194	0.082	0.106	0.228	0.498	0.468	0.263	0.280
	MQVf.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	D	90	0.078	0.250	0.340	0.308	0.342	0.164	0.069	0.089	0.193	0.427	0.396	0.226	0.240
	MQVf.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.001	0.003	0.004	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.005	0.004	0.002	0.003
	MQKd.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	C	85	0.112	0.364	0.477	0.443	0.481	0.239	0.102	0.130	0.279	0.609	0.574	0.323	0.344
MQVf.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.022	0.072	0.098	0.088	0.099	0.047	0.020	0.026	0.056	0.123	0.114	0.065	0.069	
Cune Bajo	MQKd.Gp	Galpones	NA	Malo	C	85	0.087	0.272	0.351	0.351	0.356	0.186	0.079	0.102	0.218	0.464	0.449	0.252	0.264
	MQVe.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos de clima me	Cultivo	Malo	D	92	1.241	4.049	5.425	4.914	5.461	2.610	1.104	1.423	3.110	6.816	6.345	3.660	3.846
	MQKd.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	C	85	0.101	0.310	0.429	0.403	0.433	0.214	0.091	0.117	0.251	0.548	0.516	0.290	0.308
	MQVe.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	D	90	0.442	1.421	1.931	1.749	1.944	0.929	0.393	0.507	1.098	2.426	2.250	1.286	1.365
	MQVf.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	D	90	0.700	2.252	3.060	2.772	3.081	1.473	0.623	0.803	1.739	3.845	3.565	2.037	2.163
	MQKd.Bs	Bosque secundario	NA	Malo	C	87	0.142	0.441	0.605	0.568	0.610	0.302	0.128	0.164	0.355	0.772	0.727	0.404	0.435
	MQVf.Bs	Bosque secundario	NA	Malo	D	85	0.323	1.005	1.321	1.291	1.338	0.698	0.297	0.380	0.812	1.735	1.672	0.939	0.984
	MQVe.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.009	0.029	0.032	0.035	0.033	0.019	0.008	0.010	0.022	0.046	0.046	0.026	0.026
	MQVf.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.044	0.143	0.194	0.174	0.195	0.094	0.040	0.051	0.110	0.244	0.226	0.129	0.137
	MQVe.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.350	1.126	1.530	1.370	1.540	0.741	0.315	0.404	0.870	1.923	1.783	1.019	1.081
	MVNa.Pn	Pastos naturales	NA	Regular	B	78	0.098	0.290	0.420	0.390	0.423	0.211	0.090	0.115	0.246	0.536	0.505	0.281	0.300
	MQVe.Ra	Rastrojos altos	NA	Malo	D	85	0.117	0.364	0.499	0.468	0.503	0.249	0.105	0.136	0.291	0.637	0.600	0.337	0.359
	MQVf.Ra	Rastrojos altos	NA	Malo	D	85	0.392	1.161	1.725	1.525	1.736	0.825	0.351	0.450	0.960	2.157	1.976	1.109	1.197

Fuente: Autores, 2016

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

Tabla 9. Caudales medios mensuales del año medio por cada subcuenca por unidad de tierra

Quebradas	Subcuenca	Uso y cobertura	Manejo agrícola	Estado hidrológico	G.hidro del suelo	N(II)	Escorrentia mensual (L/s)												Esc. Prom.Total
							Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Cune Medio	MQKd.Gp	Galpones	NA	Malo	C	85	0.017	0.026	0.027	0.029	0.035	0.010	0.005	0.007	0.010	0.035	0.038	0.014	0.021
	MQKd.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos de clima m	Cultivo	Malo	C	91	1.170	1.780	1.801	1.880	2.380	0.623	0.380	0.537	0.745	2.331	2.480	0.926	1.420
	MQKd.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	C	85	2.056	3.172	3.340	3.502	4.284	1.218	0.590	0.799	1.248	4.221	4.714	1.649	2.566
	MQVe.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.006	0.009	0.009	0.009	0.012	0.003	0.002	0.003	0.004	0.011	0.012	0.005	0.007
	MQKd.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	C	85	0.004	0.006	0.006	0.007	0.008	0.002	0.001	0.002	0.002	0.008	0.009	0.003	0.005
Salitre Blanco	MQVf.Ae	Tierras desnudas	NA	NA	D	87	0.162	0.249	0.272	0.273	0.336	0.093	0.047	0.064	0.099	0.331	0.372	0.130	0.202
	MQKd.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	C	85	0.230	0.354	0.373	0.391	0.479	0.136	0.066	0.089	0.139	0.472	0.527	0.184	0.287
	MQVf.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	D	90	0.208	0.318	0.329	0.338	0.426	0.113	0.066	0.093	0.132	0.417	0.451	0.165	0.255
	MQVf.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.002	0.003	0.004	0.004	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.005	0.002	0.003
	MQKd.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	C	85	0.281	0.434	0.457	0.479	0.586	0.167	0.081	0.109	0.171	0.578	0.645	0.226	0.351
	MQVf.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.060	0.092	0.095	0.097	0.123	0.032	0.019	0.027	0.038	0.120	0.130	0.048	0.073
Cune Bajo	MQKd.Gp	Galpones	NA	Malo	C	85	0.223	0.344	0.355	0.376	0.463	0.131	0.065	0.089	0.137	0.456	0.504	0.179	0.277
	MQVe.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos de clima m	Cultivo	Malo	D	92	3.383	5.149	5.390	5.436	6.883	1.789	1.099	1.552	2.154	6.741	7.269	2.679	4.127
	MQKd.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	C	85	0.253	0.390	0.411	0.431	0.527	0.150	0.073	0.098	0.154	0.520	0.580	0.203	0.316
	MQVe.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	D	90	1.182	1.805	1.869	1.919	2.418	0.640	0.374	0.527	0.747	2.371	2.561	0.939	1.446
	MQVf.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	D	90	1.872	2.860	2.962	3.041	3.832	1.015	0.593	0.835	1.184	3.757	4.059	1.488	2.291
	MQKd.Bs	Bosque secundario	NA	Malo	C	87	0.383	0.586	0.553	0.623	0.785	0.219	0.121	0.171	0.242	0.769	0.807	0.305	0.464
	MQVf.Bs	Bosque secundario	NA	Malo	D	85	0.830	1.280	1.324	1.402	1.726	0.488	0.242	0.331	0.508	1.699	1.877	0.665	1.031
	MQVe.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.024	0.037	0.038	0.039	0.049	0.013	0.008	0.011	0.015	0.048	0.052	0.019	0.030
	MQVf.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.119	0.181	0.188	0.193	0.243	0.064	0.038	0.053	0.075	0.238	0.257	0.094	0.145
	MQVe.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	90	0.936	1.430	1.481	1.520	1.916	0.507	0.296	0.417	0.592	1.879	2.029	0.744	1.146
	MVNa.Pn	Pastos naturales	NA	Regular	B	78	0.234	0.361	0.388	0.417	0.490	0.150	0.062	0.077	0.134	0.485	0.562	0.188	0.296
	MQVe.Ra	Rastrojos altos	NA	Malo	D	85	0.298	0.459	0.475	0.503	0.619	0.175	0.087	0.119	0.182	0.609	0.673	0.239	0.370
	MQVf.Ra	Rastrojos altos	NA	Malo	D	85	0.981	1.512	1.565	1.657	2.040	0.577	0.286	0.391	0.601	2.008	2.219	0.786	1.219

Fuente: Autores, 2016

Tabla 10. Caudales medios mensuales del año húmedo por cada subcuenca por unidad de tierra

Quebradas	Subcuenca	Uso y cobertura	Manejo agrícola	Estado hidrológico	G.hidro del suelo	N(II)	Escorrentia mensual (L/s)												Esc. Prom.Tot al (L/s)
							Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Cune Medio	MQKd.Gp	Galpones	NA	Malo	C	78	0.011	0.027	0.036	0.046	0.051	0.014	0.003	0.009	0.009	0.047	0.063	0.024	0.028
	MQKd.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos de clima m	Cultivo	Malo	C	84	0.711	1.728	2.321	2.966	3.492	0.865	0.230	0.590	0.709	3.149	4.159	1.560	1.873
	MQKd.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	C	77	1.376	3.263	4.429	5.614	6.225	1.668	0.392	1.099	1.112	5.656	7.628	2.961	3.452
	MQVe.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	85	0.004	0.009	0.012	0.015	0.017	0.004	0.001	0.003	0.003	0.016	0.020	0.008	0.009
	MQKd.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	C	81	0.003	0.006	0.008	0.011	0.012	0.003	0.001	0.002	0.002	0.012	0.015	0.006	0.007
Salitre Blanco	MQVf.Ae	Tierras desnudas	NA	NA	D	84	0.106	0.260	0.348	0.446	0.489	0.131	0.031	0.092	0.089	0.489	0.597	0.234	0.276
	MQKd.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	C	80	0.154	0.365	0.495	0.627	0.696	0.186	0.044	0.127	0.124	0.678	0.852	0.331	0.390
	MQVf.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	D	85	0.129	0.315	0.422	0.540	0.624	0.158	0.040	0.110	0.124	0.586	0.746	0.284	0.340
	MQVf.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	85	0.001	0.003	0.005	0.006	0.007	0.002	0.000	0.001	0.001	0.006	0.008	0.003	0.004
	MQKd.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	C	80	0.188	0.447	0.606	0.768	0.852	0.228	0.054	0.155	0.152	0.830	1.044	0.405	0.477
	MQVf.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	85	0.037	0.091	0.121	0.155	0.180	0.046	0.012	0.032	0.036	0.169	0.215	0.082	0.098
Cune Bajo	MQKd.Gp	Galpones	NA	Malo	C	78	0.148	0.349	0.474	0.600	0.675	0.178	0.043	0.118	0.123	0.623	0.823	0.317	0.372
	MQVe.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos de clima m	Cultivo	Malo	D	86	2.054	5.104	6.783	8.734	10.097	2.524	0.664	1.754	2.051	9.353	12.028	4.586	5.478
	MQKd.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	C	80	0.169	0.402	0.545	0.691	0.766	0.205	0.048	0.140	0.137	0.747	0.939	0.364	0.429
	MQVe.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	D	85	0.731	1.788	2.395	3.066	3.543	0.898	0.229	0.624	0.705	3.330	4.241	1.612	1.930
	MQVf.Pr	Pastos naturales y rastrojos	NA	Malo	D	85	1.159	2.833	3.795	4.859	5.615	1.424	0.363	0.989	1.118	5.277	6.721	2.555	3.059
	MQKd.Bs	Bosque secundario	NA	Malo	C	78	0.243	0.556	0.764	0.958	1.150	0.289	0.074	0.197	0.229	1.052	1.376	0.508	0.616
	MQVf.Bs	Bosque secundario	NA	Malo	D	79	0.550	1.298	1.765	2.234	2.513	0.662	0.158	0.442	0.459	2.334	3.065	1.179	1.388
	MQVe.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	79	0.015	0.037	0.049	0.063	0.072	0.019	0.005	0.012	0.014	0.059	0.087	0.033	0.039
	MQVf.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	85	0.074	0.180	0.241	0.308	0.356	0.090	0.023	0.063	0.071	0.335	0.426	0.162	0.194
	MQVe.Pn	Pastos naturales	NA	Malo	D	85	0.580	1.417	1.898	2.430	2.807	0.712	0.182	0.495	0.559	2.638	3.361	1.277	1.530
	MVNa.Pn	Pastos naturales	NA	Regular	B	75	0.168	0.387	0.531	0.667	0.702	0.201	0.045	0.137	0.106	0.731	0.885	0.353	0.409
	MQVe.Ra	Rastrojos altos	NA	Malo	D	80	0.197	0.466	0.633	0.801	0.901	0.238	0.057	0.163	0.165	0.868	1.099	0.423	0.501
	MQVf.Ra	Rastrojos altos	NA	Malo	D	81	0.650	1.534	2.086	2.640	2.969	0.797	0.187	0.558	0.542	2.966	3.622	1.393	1.662

Fuente: Autores, 2016



**Anexo 2.** Estimación de la concentración de contaminantes en los vertimientos domésticos

Para cuantificar la carga contaminante producto de los vertimientos de las actividades domésticas que llegan a la microcuenca quebrada el Cune, se estableció la población total por cada unidad de tierra teniendo en cuenta el mapa predial de la zona. Adicional a esto se estableció que por cada predio hay una vivienda en donde habitan cuatro personas. Teniendo la población total se pudo estimar el caudal de agua residual producido por dichas actividades, por medio de la ecuación proporcionada por el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000) como se muestra a continuación:

$$QD = \frac{P * C * R}{86400}$$

Donde

**QD** = Caudal de aguas Residuales domésticas-L/s

**C** = Consumo medio por habitante 120 L/hab- d

**P** = Población servida – hab

**R** = Coeficiente de retorno 0.70- 0,80

Los aportes típicos de carga contaminante se obtuvieron de valores promedio fundamentados en la Directiva 91/271/CEE (21 de mayo de 1991) de la Comunidad Europea y ajustados en estimaciones para Colombia y España

**Tabla 11. Aporte de carga contaminante por habitante- eq**

Parámetro	Aporte de 1 habitante equivalente (g/d)
DBO5	60
DQO	13
SST	90
N	10
P	4

Fuente: Autores, 2016

De esta manera, la carga contaminante para cada parámetro se estimó a partir de la siguiente ecuación:

$$Cc = \frac{p * Ct}{1000}$$

81

Dónde:

$Cc$  = Carga contaminante – Kg/d

$P$  = Población – hab

$Ct$  = Carga típica aportada por habitante (Tomado tabla 17)

$1/1000$  = factor de conversión g/d a kg/d

Para finalizar, la concentración se determinó mediante la división entre la carga contaminante y el caudal de agua residual doméstico, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$C = \frac{cc * 1000000}{QD * 86400Seg}$$

Dónde:

$C$  = Concentración – mg/L

$Cc$  = Carga contaminante – Kg/d.

$QD$  = Caudal de agua residual doméstico – L/s.

86400 = Factor de conversión de segundo a día.

1000000 = Factor de conversión de Kg a mg.

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones de cada parámetro de estudio para cada escenario.

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

Tabla 12. Concentración de contaminantes por actividad doméstica

Subcuenca	Unid. Tierra	Hectarea	Habitante por unidad de tierra	Dotacion neta (L/hab* dia)	R (coef de retorno)	QD( Caudal de agua residual domestica)(g/d)	DBO5 (g/d)	DQO (g/d)	SST (g/d)	Nt (g/d)	Pt (g/d)	Carga DBO5 (Kg/d)	Carga DQO (Kg/d)	Carga SST (Kg/d)	Carga Nt (Kg/d)	Carga Pt (Kg/d)	Concentr acción DBO5 (kg/l)	Concentr acción DQO (kg/l)	Concentr acción SST (kg/l)	Concentr acción Nt (kg/l)	Concentr acción Pt (kg/l)
Cune Medio	MQKd.Gp	0.455	16	120	0.7	0.016	60	135	90	10	4	0.96	2.16	1.44	0.16	0.06	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQKd.Mcm	28.960	25	120	0.7	0.024	60	135	90	10	4	1.50	3.38	2.25	0.25	0.10	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQKd.Pn	55.767	4	120	0.7	0.004	60	135	90	10	4	0.24	0.54	0.36	0.04	0.02	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVe.Pn	0.144	4	120	0.7	0.004	60	135	90	10	4	0.24	0.54	0.36	0.04	0.02	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQKd.Pr	0.107	8	120	0.7	0.008	60	135	90	10	4	0.48	1.08	0.72	0.08	0.03	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
Salitre Blanco	MQVf.Ae	4.333	25	120	0.7	0.024	60	135	90	10	4	1.50	3.38	2.25	0.25	0.10	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQKd.Pr	6.231	10	120	0.7	0.010	60	135	90	10	4	0.60	1.35	0.90	0.10	0.04	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVf.Pr	5.248	4	120	0.7	0.004	60	135	90	10	4	0.24	0.54	0.36	0.04	0.02	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVf.Pn	0.057	81	120	0.7	0.079	60	135	90	10	4	4.86	10.94	7.29	0.81	0.32	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQKd.Pn	7.632	6	120	0.7	0.006	60	135	90	10	4	0.36	0.81	0.54	0.06	0.02	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVf.Pn	1.512	25	120	0.7	0.024	60	135	90	10	4	1.50	3.38	2.25	0.25	0.10	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
Cune Bajo	MQKd.Gp	5.975	16	120	0.7	0.016	60	135	90	10	4	0.96	2.16	1.44	0.16	0.06	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVe.Mcm	83.747	25	120	0.7	0.024	60	135	90	10	4	1.50	3.38	2.25	0.25	0.10	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQKd.Pr	6.865	15	120	0.7	0.015	60	135	90	10	4	0.90	2.03	1.35	0.15	0.06	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVe.Pr	29.814	6	120	0.7	0.006	60	135	90	10	4	0.36	0.81	0.54	0.06	0.02	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVf.Pr	47.247	8	120	0.7	0.008	60	135	90	10	4	0.48	1.08	0.72	0.08	0.03	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQKd.Bs	9.674	8	120	0.7	0.008	60	135	90	10	4	0.48	1.08	0.72	0.08	0.03	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVf.Bs	22.256	8	120	0.7	0.008	60	135	90	10	4	0.48	1.08	0.72	0.08	0.03	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVe.Pn	0.610	9	120	0.7	0.009	60	135	90	10	4	0.54	1.22	0.81	0.09	0.04	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVf.Pn	2.997	9	120	0.7	0.009	60	135	90	10	4	0.54	1.22	0.81	0.09	0.04	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVe.Pn	23.624	12	120	0.7	0.012	60	135	90	10	4	0.72	1.62	1.08	0.12	0.05	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MVNa.Pn	6.718	6	120	0.7	0.006	60	135	90	10	4	0.36	0.81	0.54	0.06	0.02	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
	MQVe.Ra	7.982	10	120	0.7	0.010	60	135	90	10	4	0.60	1.35	0.90	0.10	0.04	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048
MQVf.Ra	26.301	4	120	0.7	0.004	60	135	90	10	4	0.24	0.54	0.36	0.04	0.02	0.000714	0.001607	0.001071	0.000119	0.000048	

Fuente: Autores, 2016

**Anexo 3.** Estimación de la concentración de contaminantes en los vertimientos de actividades pecuarias

La carga contaminante de origen pecuario se obtuvo a partir de equivalencias de las descargas generadas de la cría de algunos animales de granjas en habitantes equivalentes, como se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 13. Equivalencia con animales de cría**

Animal	Habitantes equivalentes (h- eq)
Ganado	4
Cerdo	3
Ganado	3
Gallinas	2.5

Fuente: Diseño de plantas de tratamiento de agua residual Universidad nacional a distancia.

La estimación de las cabezas de ganado por hectárea se obtuvo de la información proporcionada por funcionarios de la UMATA del municipio de VILLETA, en donde para sistemas de producción pastos hay una densidad de 1cab/ha y para zonas de cultivos de caña, cítricos y café se encuentra entre 1 y 2 cabezas para el área total de la unidad de tierra. Así mismo, para establecer la cantidad total de gallinas de engorde se encontró que en la parte baja de quebrada El Cune se encuentran dos fincas de producción de las empresas pollos olímpicos y Andino con una producción de 200000 y 300000 crías de pollo respectivamente. A partir de esta información, se puede estimar la carga contaminante como se muestra a continuación:

$$Cc = \frac{\#cat \times (h - eq) \times Ct}{1000}$$

Dónde:

$Cc$  = Carga contaminante – Kg/d

$\#cat$  = Número de cabezas totales por unidad de tierra

$h-eq$  = Equivalencia de la cría de animal en h-eq (Tomado de la tabla 13)

$Ct$  = Carga típica aportada por habitante

Finalmente, la concentración se determinó por la división entre la carga contaminante y la escorrentía, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$C = \frac{CC * 1000000mg}{E * 86400s}$$

Dónde:

$C$  = Concentración – mg/L.

$Cc$  = Carga contaminante – Kg/d.

$E$  = Escorrentía – L/s obtenida por el método de Curva Numero.

$86400$  = Factor de conversión de segundo a día.

$1000000$  = Factor de conversión de kg a mg.

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

Tabla 14. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año húmedo

Subcuencas	Unidad de Tierra	Tipo de suelo	Animales en unidad de tierra	Area (Ha)	# Cabezas de animales en unidad de tierra	Caudal (l/d)	Concentración DBO5 (Kg/l)	Concentración DQO (Kg/l)	Concentración SST (Kg/l)	Concentración Nt (Kg/l)	Concentración Pt (Kg/l)
Cune Medio	MQKd.Gp	Galpones	Gallinas y pavos	0.4553	8000	23846.4744	0	0	0	0	0
	MQKd.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos	Ganado Bovino	28.9598	5	32172.6766	0.046623413	0.10490268	0.06993512	0.007770569	0.003108228
	MQKd.Pn	Bosque secundario	Ganado Bovino	55.7668	12	2451.62591	0.489471087	1.101309946	0.73420663	0.081578514	0.032631406
	MQVe.Pn	Bosque secundario	Ganado Bovino	0.1439	0	161856.204	5.56049E-06	1.25111E-05	8.34074E-06	9.26749E-07	3.70699E-07
	MQKd.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	0.1066	12	473278.011	1.90163E-06	4.27867E-06	2.85245E-06	3.16938E-07	1.26775E-07
Salitre Blanco	MQVf.Ae	Tierras desnudas		4.3329	0	33681.8354	6.41295E-05	0.000144291	9.61943E-05	1.06883E-05	4.2753E-06
	MQKd.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	6	12	29355.0403	7.35819E-05	0.000165559	0.000110373	1.22637E-05	4.90546E-06
	MQVf.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	5.2476	12	37107.2076	5.82097E-05	0.000130972	8.73146E-05	9.70162E-06	3.88065E-06
	MQVf.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	0.0567	20	166778.763	1.29513E-05	2.91404E-05	1.94269E-05	2.15855E-06	8.63419E-07
	MQKd.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	7.6323	20	264298.851	8.17257E-06	1.83883E-05	1.22589E-05	1.36209E-06	5.44838E-07
	MQVf.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	1.512	20	53255.6666	4.05591E-05	9.12579E-05	6.08386E-05	6.75984E-06	2.70394E-06
Cune Bajo	MQKd.Gp	Galpones	Gallinas y pavos	5.9749	10000	119951.546	1.80073E-05	4.05164E-05	2.70109E-05	3.00121E-06	1.20048E-06
	MQVe.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos	Ganado Bovino	83.747	5	298254.349	7.24214E-06	1.62948E-05	1.08632E-05	1.20702E-06	4.82809E-07
	MQKd.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	6.8649	12	804.975664	0	0	0	0	0
	MQVe.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	29.8139	12	317.179431	0.011350042	0.025537595	0.017025064	0.001891674	0.000756669
	MQVf.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	47.2469	12	41255.2755	8.72616E-05	0.000196339	0.000130892	1.45436E-05	5.81744E-06
	MQKd.Bs	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	9.6742	12	8458.11817	0.000425627	0.00095766	0.00063844	7.09378E-05	2.83751E-05
	MQVf.Bs	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	22.2558	12	3348.95595	0.001074962	0.002418664	0.001612443	0.00017916	7.16641E-05
	MQVe.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	0.6098	20	16763.5203	0.000214752	0.000483192	0.000322128	3.5792E-05	1.43168E-05
	MQVf.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	2.9967	20	132152.502	2.72413E-05	6.12928E-05	4.08619E-05	4.54021E-06	1.81608E-06
	MQVe.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	23.624	20	35374.9202	0.000101767	0.000228976	0.000152651	1.69612E-05	6.78447E-06
	MVNa.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	6.7177	20	579.116814	0.003729817	0.008392089	0.005594726	0.000621636	0.000248654
	MQVe.Ra	Rastrojos altos		8	0	43277.8275	0	0	0	0	0
	MQVf.Ra	Rastrojos altos		26	0	143613.563	0	0	0	0	0

Fuente: Autores, 2016

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

Tabla 15. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año seco

Subcuencas	Unid. Tierra	Area (ha)	# Cabezas de animales	Caudal (l/d)	Concentración DBO5	Concentración DQO	Concentración SST	Concentración Nt (kg/l)	Concentración Pt
Cune Medio	MQKd.Gp	0.4553	8000	17142.2	0	0	0	0	0
	MQKd.Mcm	28.9598	5	22799.7	0.0657902	0.14802795	0.0986853	0.01096503	0.00583357
	MQKd.Pn	55.7668	12	1737.4	0.69069162	1.55405614	1.03603743	0.11511527	0.00350881
	MQVe.Pn	0.1439		113322.7	7.9419E-06	1.7869E-05	1.1913E-05	1.3237E-06	3.4535E-05
	MQKd.Pr	0.1066	12	332331.6	2.7081E-06	6.0933E-06	4.0622E-06	4.5136E-07	5.2946E-07
Salitre Blanco	MQVf.Ae	4.3329		24189.3	8.9296E-05	0.00020092	0.00013394	1.4883E-05	4.333E-07
	MQKd.Pr	6.2312	12	20752.7	0.00010408	0.00023419	0.00015612	1.7347E-05	5.9531E-06
	MQVf.Pr	5.2476	12	26649.3	8.1053E-05	0.00018237	0.00012158	1.3509E-05	6.9388E-06
	MQVf.Pn	0.0567	20	117905.3	1.832E-05	4.122E-05	2.748E-05	3.0533E-06	5.4035E-06
	MQKd.Pn	7.6323	20	186847.8	1.156E-05	2.601E-05	1.734E-05	1.9267E-06	1.2213E-06
Cune Bajo	MQVf.Pn	1.512	20	37564.1	5.7502E-05	0.00012938	8.6253E-05	9.5836E-06	7.7068E-07
	MQKd.Gp	5.9749	10000	85042.8	2.5399E-05	5.7148E-05	3.8098E-05	4.2332E-06	3.8335E-06
	MQVe.Mcm	83.747	5	211301.5	1.0222E-05	2.3E-05	1.5334E-05	1.7037E-06	1.6933E-06
	MQKd.Pr	6.8649	12	568.8	0	0	0	0	0
	MQVe.Pr	29.8139	12	224.1	0.01606143	0.03613821	0.02409214	0.0026769	0.00042191
	MQVf.Pr	47.2469	12	29753.3	0.000121	0.00027224	0.00018149	2.0166E-05	0.00107076
	MQKd.Bs	9.6742	12	5977.1	0.0006023	0.00135518	0.00090346	0.00010038	8.0663E-06
	MQVf.Bs	22.2558	12	2282.5	0.00157723	0.00354877	0.00236585	0.00026287	4.0154E-05
	MQVe.Pn	0.6098	20	11846.2	0.0003039	0.00068376	0.00045584	5.0649E-05	0.00010515
	MQVf.Pn	2.9967	20	93387.5	3.8549E-05	8.6735E-05	5.7824E-05	6.4248E-06	2.026E-05
	MQVe.Pn	23.624	20	25953.2	0.00013871	0.0003121	0.00020807	2.3119E-05	2.5699E-06
	MVNa.Pn	6.7177	20	418.8	0.00515716	0.0116036	0.00773573	0.00085953	5.5484E-06
	MQVe.Ra	7.9816	0	30999.7	0	0	0	0	0
	MQVf.Ra	26.3013	0	103442.4	0	0	0	0	0

Fuente: Autores, 2016

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

Tabla 16. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año medio

Fuente: Autores, 2016

Subcuencas	Unid. Tierra	Area_m2	# Cabezas de animales en unidad de tierra	Caudal (l/d)	Concentración DBO5 (Kg/L)	Concentración K (Kg/L)	Concentración SST (Kg/l)	Concentración Nt (Kg/l)	Concentración Pt (Kg/l)
Cune Medio	MQKd.Gp	4553	8000	1822.60076	0.65839981	1.48139958	0.98759972	0.1097333	0.00334476
	MQKd.Mcm	289598	5	122645.968	7.3382E-06	1.6511E-05	1.1007E-05	1.223E-06	3.292E-05
	MQKd.Pn	557668	12	221721.069	9.742E-06	2.1919E-05	1.4613E-05	1.6237E-06	1.6163E-06
	MQVe.Pn	1439		603.001729	0	0	0	0	0
	MQKd.Pr	1066	12	423.826828	0.00509642	0.01146695	0.00764463	0.0008494	5.6392E-06
Salitre Blanco	MQVf.Ae	43329		17479.4112					
	MQKd.Pr	62312	12	24774.3877	8.7187E-05	0.00019617	0.00013078	1.4531E-05	4.0383E-07
	MQVf.Pr	52476	12	21989.6586	9.8228E-05	0.00022101	0.00014734	1.6371E-05	5.8125E-06
	MQVf.Pn	567	20	237.596929	0.01515171	0.03409135	0.02272757	0.00252529	0.00039801
	MQKd.Pn	76323	20	30344.9672	0.00011864	0.00026693	0.00017795	1.9773E-05	0.00101011
Cune Bajo	MQVf.Pn	15120	20	6335.9181	0.00056819	0.00127843	0.00085228	9.4698E-05	7.9091E-06
	MQKd.Gp	59749	10000	23917.9822	0.06271432	0.14110722	0.09407148	0.01045239	0.00572102
	MQVe.Mcm	837470	5	356585.54	2.5239E-06	5.6789E-06	3.7859E-06	4.2066E-07	4.8921E-07
	MQKd.Pr	68649	12	27293.8911	7.9139E-05	0.00017806	0.00011871	1.319E-05	6.5485E-06
	MQVe.Pr	298139	12	124932.823	1.7289E-05	3.8901E-05	2.5934E-05	2.8815E-06	5.2759E-06
	MQVf.Pr	472469	12	197984.45	1.091E-05	2.4547E-05	1.6365E-05	1.8183E-06	1.1526E-06
	MQKd.Bs	96742	12	40060.91	5.3918E-05	0.00012132	8.0877E-05	8.9863E-06	7.2733E-07
	MQVf.Bs	222558	12	89091.6716	2.4245E-05	5.4551E-05	3.6367E-05	4.0408E-06	3.5945E-06
	MQVe.Pn	6098	20	2555.31935	0.00140883	0.00316986	0.00211324	0.0002348	3.7879E-05
	MQVf.Pn	29967	20	12557.4377	0.00028668	0.00064504	0.00043002	4.778E-05	9.3922E-05
	MQVe.Pn	236240	20	98994.5298	3.6366E-05	8.1823E-05	5.4548E-05	6.0609E-06	1.9112E-05
	MVNa.Pn	67177	20	25535.4531	0.00014098	0.00031721	0.00021147	2.3497E-05	2.4244E-06
	MQVe.Ra	79816	0	31950.956	0	0	0	0	0
	MQVf.Ra	263013	0	105286.118	0	0	0	0	0

**Anexo 6.** Estimación de la concentración de contaminantes en los vertimientos de actividades agrícolas.

Para estimar la concentración de los contaminantes de origen agrícola que llegan a la quebrada el Cune, se tuvieron en cuenta artículos nacionales e internacionales en donde se estudian dosis de aplicación de fertilizante y el porcentaje que se puede por la lixiviación, con el fin de tomarlos como base y realizar un balance de masas, el cual permitió estimar las pérdidas de nutrientes por lixiviación generadas en las actividades agrícolas de nuestra área de estudio.



Para determinar las dosis aplicadas y los fertilizantes usados en los diferentes cultivos, se indagó sobre los tipos de fertilizantes aplicados y su composición, encontrado que el fertilizante más usado es el triple 15 cuya composición es 15% N, 15% P, 15% para K en bolsas de 50 kg de la marca Nutrimon, para cultivos de pastos, caña panelera y cítricos y para el cultivo de café el fertilizante más usado es 25-4-24 con una composición de 25% N, 4% P y 24% K. A continuación se muestra la información consolidada.

**Tabla 17. Dosis de fertilización con Nutrimon 15-15-15 para cultivos de la Microcuenca Quebrada El Cune**

Nombre de fertilizante	Cultivo	Dosis de aplicación (Kg/ha)
Triple 15	Caña	500
	Pastos	160-500
	Cítricos	30
25/4/24	Café	1500

Fuente: Guía Nutrimon para la fertilización de cultivos.

**Tabla 18. Tabla de dosis de aplicación y pérdidas de lixiviación de fertilizantes por escorrentía.**

Cultivo	Dosis de aplicación (Kg/ha)			Perdida por lixiviación (Kg/ha-a)			Nombre de fertilizante	Composición
	N	P	K					
Café	120	47	104	2.93	1.73	20.8	Urea	46-0-0
Caña Panelera							Kcl	0-0-60
Cítricos							Fosfato mineral	0-40-0
Pasto								

Fuente: Artículo nutrient leaching from fertilized forest watershed in scotlands

### Dosis aplicada por nutriente de Nutrimon 15-15-15

El cálculo de la dosis de aplicación se realiza por cada uno de los nutrientes en Kg/ha

del fertilizante Nutrimon 15-15-15, para nuestra área de estudio como se muestra a continuación:

89

$D_{(N, P, K)}$  = Dosis de aplicación de nutriente kg/ha

$DA$  = Dosis de aplicación en kg/ha tomado de la tabla 3

$CF$  = Concentración de fertilizante (15%N, 15%P, 15%K)

### **Perdida por lixiviación**

Para determinar la pérdida lixiviación de cada uno de los nutrientes en nuestra área de estudio, se realiza un balance con la información relacionada de las tablas 3 y 4. Para ello se procede de la siguiente manera:

$$PLC = \left( \frac{DAC}{DE} \right) * PLE$$

$PLC$  = Pérdida de nutrientes por lixiviación en la microcuenca quebrada El Cune kg/ha-año

$DE$  = Dosis aplicada en el estudio en kg/ha por nutriente tabla 4.

$DAC$  = Dosis de aplicación en la microcuenca quebrada El Cune en kg/ha por nutriente para nutrimon 15-15-15.

$PLE$  = Pérdida de nutrientes por lixiviación en Kg/ha-año tabla 4.

### **Carga Contaminante**

Para determinar la carga contaminante neta producida por la lixiviación de nutrientes en nuestra área de estudio es necesario realizar la corrección por área y dosis del estudio, cabe

aclarar que al utilizar nuestra dosis en el cálculo de pérdida por lixiviación ya no se requiere agregar la dosis por nutriente de nuestra área en esta estimación.

$$CC = PLC * ACE$$

90

*CC* = Carga Contaminante para cada nutriente -Kg/Año.

*PLC* = Pérdida de nutriente por lixiviación en la microcuenca quebrada El Cune -Kg/ha-año

*ACE* = Área Cultivo Estudio -ha

Finalmente, para estimar la concentración se divide la carga contaminante sobre la escorrentía como se muestra a continuación.

$$C = \frac{CC * \left( \frac{1000000 \text{ mg}}{31104000 \text{ S}} \right)}{E}$$

Dónde:

*C* = Concentración – mg/L.

*CC* = Carga contaminante – Kg/año.

*E* = Escorrentía – L/s obtenida por el método de Curva Numero.

*86400* = Factor de conversión de segundo a día.

*1000000* = Factor de conversión de kg a mg.

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

Tabla 19. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año húmedo

Subcuencas	Unidad de Tierra	Tipo de suelo	Animales en unidad de tierra	Area (Ha)	# Cabezas de animales en unidad de tierra	Caudal (l/d)	Concentración DBO5 (Kg/l)	Concentración DQO (Kg/l)	Concentración SST (Kg/l)	Concentración Nt (Kg/l)	Concentración Pt (Kg/l)
91 Cune Medio	MQKd.Gp	Galpones	Gallinas y pavos	0.4553	8000	23846.4744	0	0	0	0	0
	MQKd.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos	Ganado Bovino	28.9598	5	32172.6766	0.046623413	0.10490268	0.06993512	0.007770569	0.003108228
	MQKd.Pn	Bosque secundario	Ganado Bovino	55.7668	12	2451.62591	0.489471087	1.101309946	0.73420663	0.081578514	0.032631406
	MQVe.Pn	Bosque secundario	Ganado Bovino	0.1439	0	161856.204	5.56049E-06	1.25111E-05	8.34074E-06	9.26749E-07	3.70699E-07
	MQKd.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	0.1066	12	473278.011	1.90163E-06	4.27867E-06	2.85245E-06	3.16938E-07	1.26775E-07
Salitre Blanco	MQVf.Ae	Tierras desnudas		4.3329	0	33681.8354	6.41295E-05	0.000144291	9.61943E-05	1.06883E-05	4.2753E-06
	MQKd.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	6	12	29355.0403	7.35819E-05	0.000165559	0.000110373	1.22637E-05	4.90546E-06
	MQVf.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	5.2476	12	37107.2076	5.82097E-05	0.000130972	8.73146E-05	9.70162E-06	3.88065E-06
	MQVf.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	0.0567	20	166778.763	1.29513E-05	2.91404E-05	1.94269E-05	2.15855E-06	8.63419E-07
	MQKd.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	7.6323	20	264298.851	8.12757E-06	1.83883E-05	1.22589E-05	1.36209E-06	5.44838E-07
	MQVf.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	1.512	20	53255.6666	4.05591E-05	9.12579E-05	6.08386E-05	6.75984E-06	2.70394E-06
Cune Bajo	MQKd.Gp	Galpones	Gallinas y pavos	5.9749	10000	119951.546	1.80073E-05	4.05164E-05	2.70109E-05	3.00121E-06	1.20048E-06
	MQVe.Mcm	Mosaico de pastos y cultivos	Ganado Bovino	83.747	5	298254.349	7.24214E-06	1.62948E-05	1.08632E-05	1.20702E-06	4.82809E-07
	MQKd.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	6.8649	12	804.975664	0	0	0	0	0
	MQVe.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	29.8139	12	317.179431	0.011350042	0.025537595	0.017025064	0.001891674	0.000756669
	MQVf.Pr	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	47.2469	12	41255.2755	8.72616E-05	0.000196339	0.000130892	1.45436E-05	5.81744E-06
	MQKd.Bs	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	9.6742	12	8458.11817	0.000425627	0.00095766	0.00063844	7.09378E-05	2.83751E-05
	MQVf.Bs	pastos naturales y rastrojos	Ganado Bovino	22.2558	12	3348.95595	0.001074962	0.002418664	0.001612443	0.00017916	7.16641E-05
	MQVe.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	0.6098	20	16763.5203	0.000214752	0.000483192	0.000322128	3.5792E-05	1.43168E-05
	MQVf.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	2.9967	20	132152.502	2.72413E-05	6.12928E-05	4.08619E-05	4.54021E-06	1.81608E-06
	MQVe.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	23.624	20	35374.9202	0.000101767	0.000228976	0.000152651	1.69612E-05	6.78447E-06
	MVNa.Pn	Pastos Naturales	Ganado Bovino	6.7177	20	579.116814	0.003729817	0.008392089	0.005594726	0.000621636	0.000248654
	MQVe.Ra	Rastrojos altos		8	0	43277.8275	0	0	0	0	0
	MQVf.Ra	Rastrojos altos		26	0	143613.563	0	0	0	0	0

Fuente: Autores, 2016

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

Tabla 20. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año seco

Subcuencas	Unid. Tierra	Area (ha)	# Cabezas de animales	Caudal (l/d)	Concentración DBO5	Concentración DQO	Concentración SST	Concentración Nt (kg/l)	Concentración Pt
Cune Medio	MQKd.Gp	0.4553	8000	17142.2	0	0	0	0	0
	MQKd.Mcm	28.9598	5	22799.7	0.0657902	0.14802795	0.0986853	0.01096503	0.00583357
	MQKd.Pn	55.7668	12	1737.4	0.69069162	1.55405614	1.03603743	0.11511527	0.00350881
	MQVe.Pn	0.1439		113322.7	7.9419E-06	1.7869E-05	1.1913E-05	1.3237E-06	3.4535E-05
	MQKd.Pr	0.1066	12	332331.6	2.7081E-06	6.0933E-06	4.0622E-06	4.5136E-07	5.2946E-07
Salitre Blanco	MQVf.Ae	4.3329		24189.3	8.9296E-05	0.00020092	0.00013394	1.4883E-05	4.333E-07
	MQKd.Pr	6.2312	12	20752.7	0.00010408	0.00023419	0.00015612	1.7347E-05	5.9531E-06
	MQVf.Pr	5.2476	12	26649.3	8.1053E-05	0.00018237	0.00012158	1.3509E-05	6.9388E-06
	MQVf.Pn	0.0567	20	117905.3	1.832E-05	4.122E-05	2.748E-05	3.0533E-06	5.4035E-06
	MQKd.Pn	7.6323	20	186847.8	1.156E-05	2.601E-05	1.734E-05	1.9267E-06	1.2213E-06
Cune Bajo	MQVf.Pn	1.512	20	37564.1	5.7502E-05	0.00012938	8.6253E-05	9.5836E-06	7.7068E-07
	MQKd.Gp	5.9749	10000	85042.8	2.5399E-05	5.7148E-05	3.8098E-05	4.2332E-06	3.8335E-06
	MQVe.Mcm	83.747	5	211301.5	1.0222E-05	2.3E-05	1.5334E-05	1.7037E-06	1.6933E-06
	MQKd.Pr	6.8649	12	568.8	0	0	0	0	0
	MQVe.Pr	29.8139	12	224.1	0.01606143	0.03613821	0.02409214	0.0026769	0.00042191
	MQVf.Pr	47.2469	12	29753.3	0.000121	0.00027224	0.00018149	2.0166E-05	0.00107076
	MQKd.Bs	9.6742	12	5977.1	0.0006023	0.00135518	0.00090346	0.00010038	8.0663E-06
	MQVf.Bs	22.2558	12	2282.5	0.00157723	0.00354877	0.00236585	0.00026287	4.0154E-05
	MQVe.Pn	0.6098	20	11846.2	0.0003039	0.00068376	0.00045584	5.0649E-05	0.00010515
	MQVf.Pn	2.9967	20	93387.5	3.8549E-05	8.6735E-05	5.7824E-05	6.4248E-06	2.026E-05
	MQVe.Pn	23.624	20	25953.2	0.00013871	0.0003121	0.00020807	2.3119E-05	2.5699E-06
	MVNa.Pn	6.7177	20	418.8	0.00515716	0.0116036	0.00773573	0.00085953	5.5484E-06
	MQVe.Ra	7.9816	0	30999.7	0	0	0	0	0
	MQVf.Ra	26.3013	0	103442.4	0	0	0	0	0

Fuente: Autores, 2016

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA PARTE BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL CUNE MEDIANTE EL MODELO WEAP. 2016

Tabla 21. Concentración de contaminantes en las actividades pecuarias año medio

Subcuencas	Unid. Tierra	Area_m2	# Cabezas de animales en unidad de tierra	Caudal (l/d)	Concentración DBO5 (Kg/L)	Concentración K (Kg/L)	Concentración SST (Kg/l)	Concentración Nt (Kg/l)	Concentración Pt (Kg/l)
Cune Medio	MQKd.Gp	4553	8000	1822.60076	0.65839981	1.48139958	0.98759972	0.1097333	0.00334476
	MQKd.Mcm	289598	5	122645.968	7.3382E-06	1.6511E-05	1.1007E-05	1.223E-06	3.292E-05
	MQKd.Pn	557668	12	221721.069	9.742E-06	2.1919E-05	1.4613E-05	1.6237E-06	1.6163E-06
	MQVe.Pn	1439		603.001729	0	0	0	0	0
	MQKd.Pr	1066	12	423.826828	0.00509642	0.01146695	0.00764463	0.0008494	5.6392E-06
Salitre Blanco	MQVf.Ae	43329		17479.4112					
	MQKd.Pr	62312	12	24774.3877	8.7187E-05	0.00019617	0.00013078	1.4531E-05	4.0383E-07
	MQVf.Pr	52476	12	21989.6586	9.8228E-05	0.00022101	0.00014734	1.6371E-05	5.8125E-06
	MQVf.Pn	567	20	237.596929	0.01515171	0.03409135	0.02272757	0.00252529	0.00039801
	MQKd.Pn	76323	20	30344.9672	0.00011864	0.00026693	0.00017795	1.9773E-05	0.00101011
Cune Bajo	MQVf.Pn	15120	20	6335.9181	0.00056819	0.00127843	0.00085228	9.4698E-05	7.9091E-06
	MQKd.Gp	59749	10000	23917.9822	0.06271432	0.14110722	0.09407148	0.01045239	0.00572102
	MQVe.Mcm	837470	5	356585.54	2.5239E-06	5.6789E-06	3.7859E-06	4.2066E-07	4.8921E-07
	MQKd.Pr	68649	12	27293.8911	7.9139E-05	0.00017806	0.00011871	1.319E-05	6.5485E-06
	MQVe.Pr	298139	12	124932.823	1.7289E-05	3.8901E-05	2.5934E-05	2.8815E-06	5.2759E-06
	MQVf.Pr	472469	12	197984.45	1.091E-05	2.4547E-05	1.6365E-05	1.8183E-06	1.1526E-06
	MQKd.Bs	96742	12	40060.91	5.3918E-05	0.00012132	8.0877E-05	8.9863E-06	7.2733E-07
	MQVf.Bs	222558	12	89091.6716	2.4245E-05	5.4551E-05	3.6367E-05	4.0408E-06	3.5945E-06
	MQVe.Pn	6098	20	2555.31935	0.00140883	0.00316986	0.00211324	0.0002348	3.7879E-05
	MQVf.Pn	29967	20	12557.4377	0.00028668	0.00064504	0.00043002	4.778E-05	9.3922E-05
	MQVe.Pn	236240	20	98994.5298	3.6366E-05	8.1823E-05	5.4548E-05	6.0609E-06	1.9112E-05
	MVNa.Pn	67177	20	25535.4531	0.00014098	0.00031721	0.00021147	2.3497E-05	2.4244E-06
	MQVe.Ra	79816	0	31950.956	0	0	0	0	0
	MQVf.Ra	263013	0	105286.118	0	0	0	0	0

Fuente: Autores, 2016

