



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**AREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EVALUACION DE LA INFLUENCIA DEL USO DE LOS**  
**RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO YARACUY**  
**SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE**  
**CUMARIPA**

**Autor:**

Ing. María Gabriela Hernández

**Tutor:**

PhD. Adriana Márquez

Valencia, junio de 2019

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**AREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACION DE LA INFLUENCIA DEL USO DE LOS RECURSOS DE**  
**LA CUENCA DEL RIO YARACUY SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL**  
**EMBALSE CUMARIPA**

Trabajo Especial de Grado presentado ante el Programa Maestría en Ingeniería Ambiental de la Ilustre Universidad de Carabobo, para optar por el título de Magister en Ingeniería Ambiental

**Autor:**

Ing. María Gabriela Hernández

Valencia, mayo de 2019

## DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por estar siempre conmigo, por permitirme tener una familia hermosa, amigos maravillosos, una carrera universitaria y muchas personas a mí alrededor que no hacen más que regalarme su cariño. Te amo, y no sé qué sería mi vida sin Ti, nunca salgas de mí corazón. A la Santísima Virgen María, por ser la madre tierna que siempre me ha llevado de su mano, y me ha colmado de su infinito amor.

A mi hija, Camila Sofía, por ser mi inspiración, mis ganas de ser mejor, y por recordarme, a pesar de tu corta edad, que los ingenieros si somos capaces de saberlo casi todo o por lo menos hacer el intento, mamá siempre intentara responder todas tus preguntas. Te amo infinito.

A Jean Carlos, por tu amor incondicional, por ser mi compañero en esta travesía de la vida, por acompañarme en los buenos y malos momentos, por formar parte de mi vida, por ser un motivo para sonreír, este triunfo también es tuyo, sé que estas orgulloso de mí. Mi hija y tu son mi vida.

A mi Mamá, por estar siempre a mi lado, por creer en mí en todo momento, por el apoyo incondicional que me has brindado, por esforzarte para que yo fuese la mejor. Siempre vas a estar orgullosa de mí.

A mi Papá, por regalarme siempre cariño y apoyo, por tu paciencia, por esperarme, por ti todo fue más fácil. Eres parte importante de este equipo.

A mi hermano, por ser simplemente el mejor de todos, siempre estuviste cuando más te necesitaba. Te quiero mucho, cuenta conmigo siempre. A mis sobrinos Sebastián y Mathías, por alegrar mi vida con sus sonrisas.

A mi tía Dulce, por su apoyo incansable, no tengo con que pagarte tantos favores. A mi abuela Carmen por los miles de oraciones que me han acompañado siempre, gracias a Dios por tenerla conmigo. A mi abuela María Benita y a mi tía Yuray, aunque están juntas en el cielo, siempre están presente en mi vida, las extraño.

A Marlyn, por estar ahí para ayudar, para reír y para llorar, por ser amiga, hermana y compañera de tantas tertulias, por hacerme lo difícil más fácil, somos sobrevivientes, espero estar siempre cerca, y sin importar las distancias, seamos las mismas amigas de toda una vida. Te quiero mucho.

*María Gabriela*



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS  
SECCIÓN DE GRADO



## ACTA DE DISCUSIÓN DE TRABAJO DE GRADO

*En atención a lo dispuesto en los Artículos 137, 138 y 139 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, quienes suscribimos como Jurado designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 135 del citado Reglamento, para estudiar el Trabajo de Grado titulado:*

### **“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RÍO YARACUY SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE CUMARIPA”**

*Presentado para optar al grado de **MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL** por el (la) aspirante:*

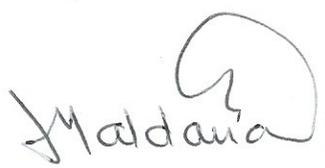
**MARÍA HERNÁNDEZ**  
**V.- 14.997.139**

*Habiendo examinado el Trabajo presentado, decidimos que el mismo está **APROBADO**.*

*En Valencia, a los cinco (05) día del mes de Junio del año dos mil diecinueve.*

  
Prof. Adriana Márquez  
C.I.: 12604007  
Fecha: 05/06/2019

  
Prof. Samuel Cárdenas  
C.I.: 11.753.640  
Fecha: 05/06/2019  
FE: 04/06/2019 /D6.-

  
Prof. Julio Maldonado  
C.I.: 5.670.777  
Fecha: 05/06/2019

# **Evaluar la influencia del uso de los recursos de la cuenca del río Yaracuy sobre la calidad de agua del Embalse Cumaripa**

Autor: Ing. María G. Hernández Barranco  
Tutora: Ph.D. Adriana Márquez Romance

## **RESUMEN**

La presente investigación tiene como propósito evaluar la influencia del uso de los recursos de la cuenca del río Yaracuy sobre la calidad de agua del Embalse Cumaripa, principal fuente de abastecimiento de agua potable en gran parte de los municipios que conforman el Estado Yaracuy, mediante la descripción de la red hídrica y el uso de la tierra en la cuenca en estudio y la caracterización de las fuentes de contaminación para determinar el impacto de estas sobre la calidad de agua del Embalse. La metodología empleada para alcanzar los objetivos está enmarcada dentro de las tendencias actuales con el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG), previa recolección de datos, que facilitan el manejo eficiente de la información gráfica, con las herramientas de análisis espacial que permiten incorporar al sistema todas las características que describen los diferentes elementos, examinarlas, compararlas y cruzarlas de múltiples formas. Sobre esta base, es posible superponer cada uno de los mapas temáticos para su posterior análisis, lo que permite, en el caso de los estudios a cuerpos de agua, realizar una gestión integrada del recurso hídrico. El orden de la Cuenca del Río Yaracuy es de media a alto. La relación de bifurcación es alta, tiende a permanecer constante de un orden al siguiente. La forma de la Cuenca es irregular y la densidad de la Cuenca en estudio es baja. La pendiente media de la cuenca es de media a alta, indicando terrenos fuertemente accidentados y de acuerdo con la curva hipsométrica se puede inferir que la cuenca está erosionada y geológicamente vieja. En cuanto al uso de la tierra con la clasificación utilizada para el uso de la tierra fue posible obtener porcentajes para las áreas coberturas: vegetación, zonas agrícolas, suelo degradado y zona urbana, a partir de una imagen satelital, en este estudio los porcentajes mayores son de la cobertura de vegetación siendo el más alto el del mes de septiembre de 2017. La producción de sedimentos (qs) está influenciado por las lluvias ocurridas en los años del estudio. La mayor producción de sedimentos ocurre en el mes septiembre de 2017. El oxígeno disuelto y la temperatura registran comportamientos inversos a medida que el OD disminuye aumenta la temperatura, desde la cuenca alta hacia la cuenca baja. Las variables STD, CE, Dureza total y Alcalinidad tienen comportamientos similares en la distribución espacial, mostrando valores más bajos en la cuenca media del río Yaracuy. Lo contrario ocurre con las variables Fosforo total, Nitrógeno total, Coliformes fecales y DQO que muestran valores máximos en la distribución espacial, en la cuenca media del río Yaracuy. En los municipios aguas arriba del embalse se realizan actividades residenciales, agropecuarias e industriales que impactan en la calidad de agua del embalse bien sea por descargas de efluentes directamente al río Yaracuy, o también arrastrados por la escorrentía, incidiendo directamente en la calidad del agua del embalse Cumaripa, prueba de ello es el parámetro coliforme totales que a la entrada del embalse presenta valores muy altos por encima del máximo permitido por la Norma.

**Palabras clave:** Embalse, características geomorfológicos, calidad de agua, transporte de sedimentos, distribución espacial.

# **Evaluar la influencia del uso de los recursos de la cuenca del río Yaracuy sobre la calidad de agua del Embalse Cumaripa**

Author: Ing. María G. Hernández Barranco

Tutor: Ph.D. Adriana Márquez Romance

## **ABSTRACT**

The purpose of this research is to evaluate the influence of the use of the resources of the Yaracuy river basin on the water quality of the Cumaripa Reservoir, the main source of drinking water supply in a large part of the municipalities that make up the Yaracuy State, through the description of the water network and the use of the land in the basin under study and the characterization of the sources of contamination to determine the impact of these on the water quality of the reservoir. The methodology used to achieve the objectives is framed within the current trends with the use of the Geographic Information System (GIS), prior data collection, which facilitates the efficient management of graphic information, with spatial analysis tools that allow incorporating to the system all the characteristics that describe the different elements, examine them, compare them and cross them in multiple ways. On this basis, it is possible to superimpose each of the thematic maps for later analysis, which allows, in the case of studies of bodies of water, to carry out an integrated management of the water resource. The order of the Yaracuy River Basin is medium to high. The relation of bifurcation is high, tends to remain constant from one order to the next. The shape of the basin is irregular and the density of the basin under study is low. The average slope of the basin is medium to high, indicating strongly rugged terrain and according to the hypsometric curve it can be inferred that the basin is eroded and geologically old. Regarding the use of land with the classification used for land use, it was possible to obtain percentages for the coverage areas: vegetation, agricultural areas, degraded land and urban area, based on a satellite image, in this study the highest percentages they are of the coverage of vegetation being the highest of the month of September of 2017. The sediment production ( $q_s$ ) is influenced by the rains that occurred during the years of the study. The highest sediment production occurs in the month of September 2017. The dissolved oxygen and the temperature register inverse behaviors as the DO decreases the temperature increases, from the upper basin to the lower basin. The STD, CE, Total Hardness and Alkalinity variables have similar behavior in the spatial distribution, showing lower values in the middle basin of the Yaracuy River. The opposite occurs with the variables Total Phosphorus, Total Nitrogen, Fecal Coliforms and COD that show maximum values in the spatial distribution, in the middle basin of the Yaracuy River. In the municipalities upstream of the reservoir there are residential, agricultural and industrial activities that impact on the water quality of the reservoir, either by discharges of effluents directly to the Yaracuy River, or also dragged by the runoff, directly affecting the water quality of the reservoir. Cumaripa reservoir, proof of this is the total coliform parameter that at the entrance of the reservoir presents very high values above the maximum allowed by the Standard.

**Keywords:** Reservoir, geomorphological characteristics, water quality, sediment transport, space distribution.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis más sinceros agradecimientos en primer lugar a Dios por darme vida y salud para lograr mis metas.

A mi tutora la Dra. Adriana Márquez, por permitirme realizar este proyecto de investigación con ella, por su continua guía, su gran paciencia y generosidad al compartir sus conocimientos conmigo, Dios te bendiga Profe y te de larga vida para seguir aportando a la investigación, eres un ser humano excepcional.

A la Universidad de Carabobo, mi Alma Mater, por su apoyo como institución para la realización de este gran sueño.

Al Ministerio del poder popular para el Ecosocialismo del estado Yaracuy, en especial a la Ing. Maria Romero, por su disposición a prestar el apoyo necesario para hacer este trabajo realidad.

A los compañeros Maestros y Doctorantes de Ingeniería Ambiental del grupo de la Profe Adriana, realmente fue un placer trabajar cerca de ustedes, ¡Felicidades lo logramos!

A la Familia Ostos, Dios los puso en mi camino, su casa siempre fue la mía todas las veces que lo necesité.

También agradezco inmensamente a los amigos que hicieron de esta vivencia algo memorable, siempre había un chiste, una sonrisa de apoyo y dispuestos a ayudar en cualquier momento.

Y finalmente, debo agradecer especialmente a mi familia que son el motor de mi vida. A mi mamá por su apoyo incondicional, a mi papá por su paciencia, por llevarme y traerme, siempre pendiente de mí; a mi hija, Camila Sofia por el tiempo que le he robado para el desarrollo de esta tesis, y por último a Jean Carlos por su apoyo y por estar siempre en los momentos claves, lejos pero nunca ausente.

## INDICE GENERAL

|  | Pág. |
|--|------|
| Introducción .....                         | 04   |
| Dedicatoria .....                          | 05   |
| Agradecimientos .....                      | 06   |
| Capítulo I. El Problema                    |      |
| 1.1 Planteamiento de problema .....        | 11   |
| 1.2 Formulación del problema .....         | 13   |
| 1.3 Objetivos .....                        | 13   |
| 1.4 Justificación .....                    | 09   |
| 1.5 Alcances y limitaciones .....          | 11   |
| Capítulo II. Marco Teórico                 |      |
| 2.1 Antecedentes .....                     | 12   |
| 2.2 Bases Teóricas .....                   | 16   |
| Capitulo III. Marco Metodológico           |      |
| 3.1Tipos de Investigación .....            | 39   |
| 3.2Diseño de Investigación .....           | 39   |
| 3.3 Técnicas de Recolección de Datos ..... | 40   |

|  |    |
|--|----|
| 3.4 Fases de la Investigación .....              | 40 |
| Capítulo IV. Resultados                          |    |
| 4.1 Discusión de Resultados .....                | 45 |
| Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones ..... | 65 |
| Referencias Bibliográficas .....                 | 67 |

## INDICE DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 4.1. Parámetros de la Relación de Bifurcación (Rb) .....                | 47   |
| Tabla 4.2. Sistema de ordenes en la Cuenca del río Yaracuy .....              | 47   |
| Tabla 4.3. Longitud de las corrientes .....                                   | 49   |
| Tabla 4.4. Coeficiente de compacidad .....                                    | 49   |
| Tabla 4.5. Densidad de Drenaje .....  | 49   |
| Tabla 4.6 Parámetros para calcular la Pendiente del cauce principal .....     | 50   |
| Tabla 4.7. Pendiente del terreno .....  | 50   |
| Tabla 4.8 Características Básicas de la Cuenca del Río Yaracuy .....          | 50   |
| Tabla 4.9 Clasificación de las cuencas según su Área (Km <sup>2</sup> ) ..... | 51   |

## INDICE DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 2.1. Mapa de la cuenca del río Yaracuy .....                                       | 20   |
| Figura 2.2. Perfil longitudinal de un río .....   | 20   |
| Figura 2.3. Esquema del espectro radiométrico .....                                       | 34   |
| Figura 2.4. Interacción de los objetos con la radiación<br>electromagnética.....          | 36   |
| Figura 4.5. Red Hidrica de la Cuenca Río Yaracuy, Venezuela .....                         | 47   |
| Figura 4.6 Grafica de los logaritmos del número de corrientes contra los<br>órdenes.....  | 48   |
| Figura 4.7 Perfil del Río Yaracuy .....   | 50   |
| Figura 4.9. Imágenes Landsat 8 .....  | 56   |
| Figura 4.10. Usos de la Tierra por mes en los años 2015, 2016 y 2017.....                 | 57   |
| Figura 4.11. Precipitación medida durante 30 minutos en la cuenca del<br>río Yaracuy..... | 61   |
| Figura 4.12. Numero de Curvas (CN) en la cuenca del río Yaracuy.....                      | 61   |
| Figura 4.13. Capacidad útil de almacenamiento (S) en la cuenca del río<br>Yaracuy .....   | 62   |
| Figura 4.14. Lluvia efectiva (Pe) en la cuenca del río Yaracuy.....                       | 63   |

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como propósito evaluar la influencia del uso de los recursos de la cuenca del río Yaracuy sobre la calidad de agua del Embalse Cumaripa, principal fuente de abastecimiento de agua potable en gran parte de los municipios que conforman el Estado Yaracuy, mediante la descripción de la red hídrica y el uso de la tierra en la cuenca en estudio y la caracterización de las fuentes de contaminación para determinar el impacto de estas sobre la calidad de agua del Embalse.

La metodología empleada para alcanzar los objetivos está enmarcada dentro de las tendencias actuales con el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG), previa recolección de datos, que facilitan el manejo eficiente de la información gráfica, con las herramientas de análisis espacial que permiten incorporar al sistema todas las características que describen los diferentes elementos, examinarlas, compararlas y cruzarlas de múltiples formas. Sobre esta base, es posible superponer cada uno de los mapas temáticos para su posterior análisis, lo que permite, en el caso de los estudios a cuerpos de agua, realizar una gestión integrada del recurso hídrico, abarcando varios elementos, tales como cartografía y los atributos relacionados.

El contenido de este trabajo se ha dividido en cinco capítulos, donde en el Capítulo I se tiene el planteamiento del problema, objetivo general, objetivos específicos, justificación y limitaciones de la investigación. El capítulo II, el cual aborda el

marco teórico, donde se encuentra la información necesaria para lograr una mejor comprensión del tema. Luego en el capítulo III, donde se describe el procedimiento metodológico a seguir para alcanzar los objetivos específicos, así como también la metodología utilizada para la realización de los análisis necesarios. El capítulo IV discusión de los resultados obtenidos y por ultimo el capítulo V conclusiones y recomendaciones.

La importancia del presente estudio, radica en que el embalse Cumaripa es la principal obra hidráulica con que cuenta el estado y abastece de agua potable a los municipios San Felipe, Sucre, Arístides Bastidas, Cocorote, Independencia y otras poblaciones vecinas, por tanto, existe la necesidad de evaluar la calidad del agua del embalse y sus posibles fuentes de contaminación, para fundamentar las recomendaciones de mitigación del impacto que estas producen sobre la salud de los residentes de estas poblaciones.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El uso del agua sin restricciones ha crecido a nivel mundial a un ritmo más de dos veces la tasa de aumento de la población en el siglo XX (FAO, 2008), hasta el punto en que los servicios confiables de agua ya no se puedan entregar en muchas regiones. Las presiones demográficas, la tasa de los derechos económicos el desarrollo, la urbanización y la contaminación están ejerciendo una presión sin precedentes sobre un recurso renovable pero finito.

De ella también depende el ser humano, como un recurso indispensable para el riego, la industria, la supervivencia y garantizar la seguridad agroalimentaria de la sociedad ya que suple las necesidades hídricas de los cultivos a través de varias alternativas: aprovechando la humedad disponible en los suelos; haciendo uso del agua superficial conducida por ríos, quebradas y caños o aprovechando los acuíferos, a través de la construcción de pozos profundos, para utilizar las aguas subterráneas con fines de riego.

En los últimos años, la mayor actividad agrícola y manufacturera no sólo incrementó la demanda de agua, sino que también contribuyó a la contaminación del agua de superficie y la subterránea, afectando la calidad de las fuentes de agua.

De todos los sectores económicos, la agricultura es el sector donde la escasez de agua tiene la mayor relevancia. En la actualidad, la agricultura representa el 70 por ciento del gasto mundial de agua dulce, y más del 90 por ciento de su uso se consume (Banco Mundial, 2014).

También constituye un agente determinante para el desarrollo económico y social del país en general y del estado Yaracuy en particular. En este estado este recurso es abundante, los numerosos cursos de agua existentes así lo confirman, pero su disponibilidad no es constante a lo largo del año ni está bien distribuida, es decir, varía temporalmente, como es el caso del Río Yaracuy y su cuenca hidrográfica, que es la mas importantes del estado.

La actividad agrícola e industrial más importante del estado Yaracuy se desarrolla a lo largo de la cuenca del río Yaracuy, por la riqueza de sus recursos agua y suelo y la vialidad que comunica el centro con el occidente del país. Además de contar con la reserva de agua dulce mas grande del estado, que abastece de agua potable a buena parte de la población yaracuyana y surte la demanda de la industria y la agricultura de la zona. Mediante esta investigación se evalúa la influencia del uso de los recursos de la cuenca del río Yaracuy, sobre el embalse Cumaripa para garantizar la sustentabilidad e impulsar el desarrollo del estado.

## **1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son las características de la red hídrica de la cuenca del río Yaracuy y el uso de la tierra?

¿Cuáles son los procesos físicos de transporte de sedimentos de la cuenca del río Yaracuy?

¿Cuál es la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Yaracuy?

¿Cómo se comportan las variables fisicoquímicas en la cuenca del río Yaracuy?

¿Cómo afectan las actividades que se realizan en la cuenca al embalse Cumaripa?

## **1.3 OBJETIVOS**

### ***1.3.1 OBJETIVO GENERAL***

Evaluar la influencia del uso de los recursos de la cuenca del río Yaracuy sobre la calidad del agua del embalse Cumaripa.

### ***1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS***

1. Describir la red hídrica y el uso de la tierra en la Cuenca alta del río Yaracuy.
2. Estimar los procesos físicos de producción de sedimentos en la cuenca del río Yaracuy.

3. Determinar la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Yaracuy.
4. Analizar la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Yaracuy.
5. Evaluar la influencia del uso de los recursos de la cuenca del río Yaracuy sobre la calidad del agua del Embalse Cumaripa.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El crecimiento demográfico y el aumento en la actividad agrícola e industrial traen consigo generación de efluentes que son vertidos y/o arrastrados a los cursos de agua, ocasionando la degradación de la calidad de agua de los mismos, y en un entorno con demanda creciente de agua para consumo humano, riego, usos industriales, y recreativos/deportivos, no se garantiza el adecuado reaprovechamiento sustentable del recurso agua.

La población yaracuyana está siendo abastecida de agua potable por diferentes fuentes, entre ellas la Planta Cumaripa, que se encuentra en el embalse que lleva el mismo nombre, para cubrir sectores de varias poblaciones. Este embalse ubicado en la cuenca media del río Yaracuy recibe efluentes, aguas arriba de los municipios Urachiche y Bruzual y la cuenca del Río Yaracuy constituye una cuenca prioritaria para su planificación y gestión, por su grado de intervención o afectación (Decreto N° 2181)

En estos municipios se desarrollan importantes actividades agrícolas e industriales que pueden contaminar el reservorio de agua por lo que se hace necesario recopilar datos estadísticos de la generación de efluentes urbanos e industriales, procesarlos y determinar los impactos sobre el embalse Cumaripa a partir de los mismos, con el fin de mejorar el proceso de selección y decisión de las tecnologías adecuadas para la gestión ambiental sustentable de estos cursos de agua permitiendo a los entes gubernamentales, empresas privadas o sociedades organizadas, ahorrar tiempo, recursos económicos, humanos y materiales, los cuales son factores valiosos en cualquier proceso de toma de decisiones, con el respectivo beneficio ambiental, de salud y de calidad de vida del ser humano que esto conlleva.

Además de ser un antecedente importante para futuras investigaciones referentes a gestión de recursos hídricos con el uso de los SIG, ya que en Venezuela son pocos los trabajos publicados que utilizan esta herramienta para tal fin.

#### **1.4 Alcances y Limitaciones**

Las limitaciones que se presentaron durante el desarrollo de la investigación fue la existencia o el acceso a los datos estadísticos, para realizar la investigación. El estudio incluyó la cuenca del río Yaracuy y el análisis temporal que se cubrió es desde el año 2015 hasta 2017, de acuerdo con la data suministrada por los diferentes entes consultados.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 Antecedentes

Para el desarrollo de la investigación, si hizo necesaria la recopilación de fuentes primarias y secundarias de información que tienen que ver directa e indirectamente con el problema planteado. De acuerdo a esto, pueden citarse algunos documentos consultados que sirvieron de sustento al desarrollo de este trabajo.

**Pérez y Colon** (1998); Diagnosticaron la calidad del agua en el embalse Cumaripa donde realizaron una serie de muestreos con el fin de recopilar información confiable sobre los parámetros físicos - químicos y bacteriológicos, y de esa manera se elaboró un diagnóstico del cuerpo de agua del país. Se realizaron ensayos "in situ" como pH y temperatura, y análisis de laboratorio como: Físicos - Químicos, DQO, DBO, Microbiología, Oxígeno disuelto, metales, grasas y aceites, Nitrógeno y Fósforo. Los resultados obtenidos demuestran que el agua del Embalse Cumaripa cumple con los requerimientos establecidos en la normativa legal vigente la cual garantiza su confiabilidad como fuente de abastecimiento.

**Mora et al** (1999). Evaluaron El Proceso de Conservación y Manejo de la Cuenca Alta del Río Yaracuy, Durante el período 1994-1999 ejecutaron en la cuenca alta del río Yaracuy un proyecto de conservación y manejo de cuenca con la finalidad de controlar los procesos acelerados de degradación ambiental. Finalizado el proyecto se evaluó el proceso de adopción utilizando la técnica de la encuesta aplicada a los productores. La información de las encuestas fue transformada en variables y se utilizó el análisis de regresión lineal múltiple para evaluar la relación entre ellas. El porcentaje de adopción de tecnología conservacionista se tomó como la variable dependiente, mientras que las acciones del proyecto fueron las variables independientes cuantitativas y cualitativas del tipo Dummy. Los productores adoptaron la tecnología en un 57% lo cual fue atribuido al componente de extensión del proyecto que organizó al 52% de los productores en comités conservacionistas. Se cambió el tipo de uso de las tierras en un 89%.

**Rodríguez et al** (2004) evaluaron la erosión hídrica de los suelos de un área de la Provincia de Badajoz España con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que permite calcular los distintos niveles de pérdidas en Mg/ha/año. Se definieron ocho unidades de suelo tomando en cuenta el paisaje, considerando la litología y las regiones fisiográficas. Los factores considerados fueron: la erosividad de la lluvia (factor R), la erosionabilidad del suelo (factor K), la longitud y grado de la pendiente (factor LS) y la cobertura y manejo del suelo (factor C). Se utilizaron los SIG`s *ARC/INFO 3,4* e *IDRISI 2,0*; como herramientas para el análisis y representación de la erosión en dichas unidades. Se evidenciaron pérdidas de suelos inferiores a 25 Mg/ha/año en 79,8% de la superficie. La

aplicación de la USLE muestra que 53% de la zona en estudio tiene una tasa de erosión de 10 Mg/ha/año por debajo del nivel de tolerancia, según lo establecido por el ICONA en el año 1991, el cual es de 12,5 Mg/ha/año. La superficie que corresponde a Sierras y Montes (27%), tiene una tasa de erosión entre 10 Y 25 Mg/ha/año; el 20% restantes corresponde a pérdidas por erosión mayores de 25 Mg/ha/año. El empleo de los SIG demostró la utilidad de esta tecnología en el análisis, evaluación y representación de la distribución espacial de la erosión hídrica de estos suelos. El empleo de los sistemas de información geográfica, demostró la utilidad de esta tecnología en el análisis, evaluación y representación de la distribución espacial de la erosión hídrica de estos suelos, permitiendo localizar geográficamente las áreas más afectadas.

**Guerra et al** (2014) Mapificaron y analizaron la distribución espacial de organismos indicadores de la calidad del agua en la quebrada la Ayurá (Envigado, Antioquia), evaluaron y analizaron la distribución espacial de las comunidades de perifiton y macroinvertebrados acuáticos utilizados en la determinación de la calidad del agua, considerando los trabajos realizados previamente por el grupo GAIA de la Universidad de Antioquia sobre la Quebrada Ayurá. Se emplearon las funciones de modelos hidrológicos, preestablecidos en la herramienta SIG, con las cuales se realizó el trazado de la red de corriente. A través de la superposición de capas temáticas, se obtuvo una herramienta cartográfica que permitió determinar la relación entre los usos del suelo dados a las zonas aledañas donde se ubicaron las estaciones de muestreo y la población de organismos colectados e identificados en cada punto. Los resultados obtenidos permiten decir que tanto las comunidades de

protistas y macroinvertebrados acuáticos, como los índices establecidos, BMWP Colombia, Dinius e INSF, señalan una buena calidad del recurso hídrico para la estación 1, en donde se presentan bosques de coníferas, rastrojos altos y bajos; en la estación 2 se tiene una calidad aceptable, y allí se observan algunas construcciones, pastos y monocultivos; finalmente en la estación 3, ubicada en la zona urbana, la calidad es inferior a las anteriores estaciones.

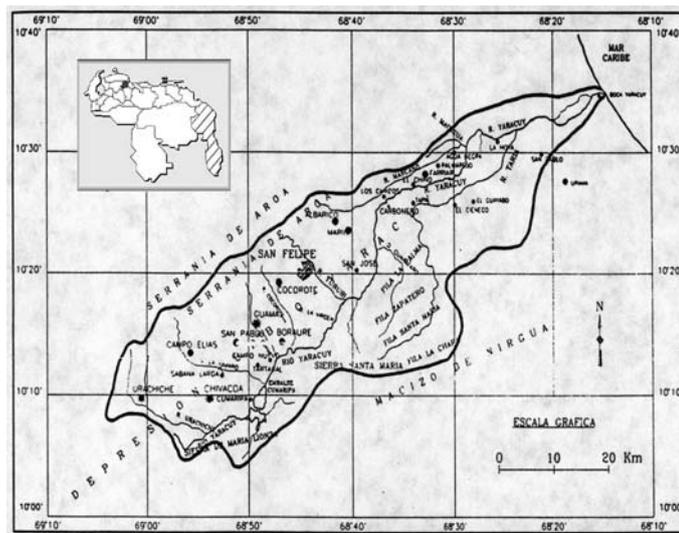
**García, Miguel Ángel** (2017) Aplico los SIG en la caracterización de las aguas de dos acuíferos de las Comarcas de la Marina Alta – Safor, En la actualidad los softwares de sistemas de información geográfica (SIG) están adquiriendo gran importancia en la realización de estudios relacionados con las ciencias ambientales dado el potencial que tienen a la hora de trabajar y la cantidad de información que se tiene. Dada la problemática de las aguas subterráneas del litoral valenciano de las últimas décadas, afectadas por la intrusión marina y la contaminación, principalmente por nitratos, aplicaron las herramientas disponibles en los SIG para la determinación de la calidad de las aguas. Obteniendo, mediante interpolación, la distribución de estos elementos en las aguas subterráneas, para la detección de las zonas más vulnerables y las más afectadas. Donde se puede visualizar la evolución de estos elementos a lo largo del tiempo y buscaron los causantes de estas y sus posibles soluciones.

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1 Cuenca Hidrográfica:

Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar (Fig.1.1). Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas.

En la cuenca hidrográfica se encuentran los recursos naturales, la infraestructura que el hombre ha creado, allí el hombre desarrolla sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano. No existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica.



Fuente: MARNR. Plan Maestro 1997.

Figura 2.1. Mapa de la cuenca del río Yaracuy.

### **2.2.1.1 La Cuenca Hidrográfica como Sistema:**

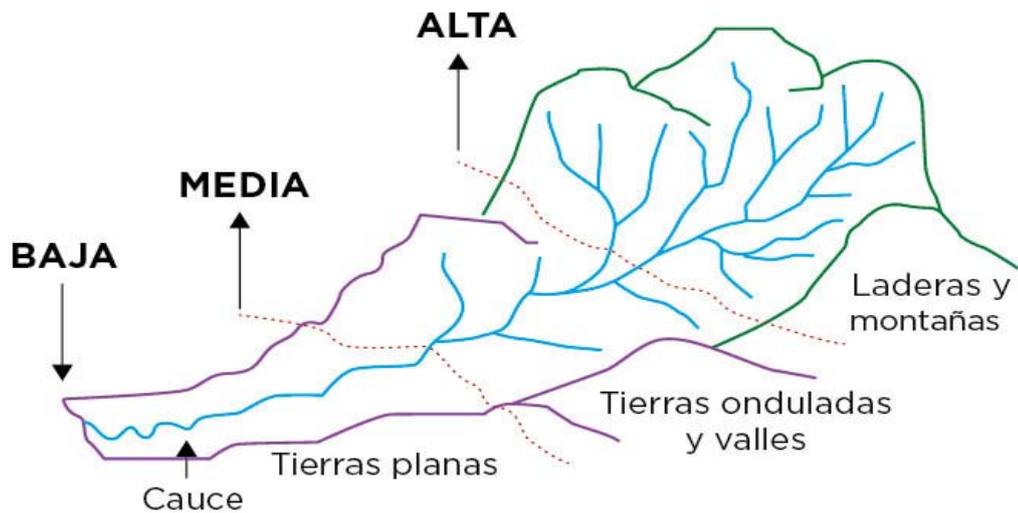
En la cuenca hidrográfica ***existen entradas y salidas***, por ejemplo, el ciclo hidrológico permite cuantificar que a la cuenca ingresa una cantidad de agua por medio de la precipitación y otras formas; y luego existe una cantidad que sale de la cuenca, por medio de su río principal en las desembocaduras o por el uso que adquiera el agua.

En la cuenca hidrográfica se producen ***interacciones entre sus elementos***, por ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas.

En la cuenca hidrográfica ***existen interrelaciones***, por ejemplo, la degradación de un recurso como el agua, está en relación con la falta de educación ambiental, con la falta de aplicación de leyes, con las tecnologías inapropiadas, etc.

### **2.2.1.2 Partes de una Cuenca**

Una cuenca hidrográfica se puede decir que está compuesta por determinadas partes, según el criterio que se utilice (Fig. 2.2), por ejemplo:



Fuente: Adaptado de World Vision-Manual de Manejo de Cuencas.

**Figura 2.2. Perfil longitudinal de un río**

### 2.2.1.3 El Sistema Hídrico

También a la cuenca hidrográfica se le reconoce como un área de terreno conformada por un sistema hídrico, el cual tiene un río principal, sus afluentes secundarios, terciarios, de cuarto orden o más. El sistema hídrico refleja un comportamiento de acuerdo a cómo se están manejando los recursos agua, suelo y bosque; y qué actividades o infraestructuras afectan su funcionamiento.

#### **2.2.1.4 Enfoques y Criterios de Cuencas Hidrográficas**

Las corrientes tradicionales consideran que el manejo de cuencas sólo se refiere al manejo del agua y a la interrelación de este recurso, con el medio en el cual se desarrolla el sistema. Muchas veces los proyectos y planes pueden definir el nivel de interacciones e interrelaciones para enfocar la problemática existente, dependiendo del interés de los beneficiarios, de la capacidad operativa, de la disponibilidad de recursos y de las decisiones políticas. En esta dinámica, los enfoques tienen relación, con un recurso, con todos los recursos, con el ambiente, con un sector, en forma integral o la combinación de algunos, casos muy específicos están dirigidos a cuencas urbanas y cuencas municipales.

En general, para desarrollar los procesos metodológicos, se pueden enfocar aspectos integrales, sectoriales, de recursos naturales o de desarrollo en general. La base de tomar a la cuenca como unidad de planificación y manejo, obedece a una decisión de ordenar y manejar los elementos de este sistema, aprovechando las ventajas y beneficios que le ofrece, comparando con otras alternativas de manejo, considerando las condiciones de cada lugar.

El enfoque sustancial del manejo de cuencas, es dirigir la atención en el hombre, las familias y sus comunidades, denominado "enfoque antropocéntrico", mediante el cual, para manejar los recursos naturales o el ambiente, se tiene que entender al hombre, porqué hace lo que hace, cuáles son sus necesidades, qué puede realizar para mejorar el ambiente o conservar los recursos. Por lo tanto, para lograr esto, hay que capacitar al hombre (organizaciones, comunidades, familias, hombres, mujeres, jóvenes, niñas y niños), fortalecerlo en su capacidad de gestión y sobre

todo para que sean capaces de crear alternativas que le brinden beneficios y pueda lograr su bienestar.

Considerando lo anterior, y dependiendo de las necesidades de atención, los principales enfoques de manejo de cuencas se pueden relacionar con:

- Cuando el agua es el centro de la planificación y manejo, allí adquiere predominancia el concepto de calidad y cantidad de agua, y dependen de cómo funciona y cómo se maneja el sistema hídrico. Se da origen al "Manejo de Cuencas".
- Cuando los recursos naturales constituyen el centro de la planificación y manejo, pero se mantiene al recurso hídrico como elemento integrador en la cuenca. Se da origen al "Manejo Sostenible de Cuencas".
- Cuando el enfoque es amplio y se define que el centro de la planificación y manejo es el ambiente, pero manteniendo el rol estratégico del recurso hídrico. Se da origen al "Manejo Integral de Cuencas".

#### **2.2.1.5 Criterios para trabajar con enfoques de cuencas**

Una cuenca totalmente en equilibrio y sin presión de uso de la tierra o de sus recursos naturales, no requeriría una aplicación de esta naturaleza, aunque hoy en día sería poco probable encontrar esta situación. Por el contrario, ante diferentes situaciones de contaminación de aguas, erosión de suelos, sedimentación, deforestación, inundaciones, desastres naturales, baja productividad de la tierra y falta de ordenamiento territorial; se hace muy necesario aplicar alguna alternativa

que logre resultados de impacto a favor del desarrollo sostenible y del bienestar humano.

#### **2.2.1.6 Beneficios y ventajas de trabajar con enfoque de cuencas hidrográficas**

Este es uno de los temas principales que deben desarrollarse con el propósito de tener la claridad, el respaldo y justificación del porqué se debe realizar el manejo de la cuenca. También permitirá promover la integración y participación de todos los actores, responsables e interesados en el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales de las cuencas. Para resaltar los beneficios y ventajas será necesario definir indicadores, sobre el mejoramiento ambiental, calidad de vida y la sostenibilidad de los recursos naturales logrados mediante manejo de cuencas.

#### **2.2.2 Medición de los parámetros geomorfológicos en una cuenca**

Todos los estudios hidrológicos se refieren a una unidad física denominada cuenca, cuya definición depende del propósito del estudio. Por lo tanto, la cuenca puede comprender superficies pequeñas de drenaje superficial (rural y urbano), así como grandes sistemas hidrográficos, países, continentes o el mundo entero.

Los proyectos hidráulicos normalmente se circunscriben a sistemas hidrográficos (pequeños, medianos o grandes), por lo que la cuenca viene a ser una unidad física bien definida, y comprende toda aquella parte de terreno donde el agua de lluvia

que escurre superficialmente, se concentra en un sistema de drenaje común que pasa por un punto (que define a la cuenca) del cauce principal que la drena. A partir de dicho punto, hacia agua arriba, la cuenca es rodeada por una divisoria o línea de separación que divide la precipitación que cae sobre dos cuencas vecinas y escurre hacia sus respectivos sistemas de drenaje.

El estudio de las características físicas de la unidad hidrológica es lo que se denomina Geomorfología. Dichas características se representan mediante los denominados **parámetros geomorfológicos**, los cuales se utilizan para correlacionados con los parámetros hidrológicos, con la finalidad de estimar indirectamente estos últimos en función de los primeros, especialmente en aquellas cuencas que carecen de una red hidrometeorológica de medición.

Los parámetros geomorfológicos se obtienen de los mapas cartográficos, geológicos, y de fotografías aéreas, por lo que su precisión depende de la disponibilidad de la información cartográfica confiable y la dificultad de su estimación está en relación con la variedad de escalas de dicha información; de manera que un mismo parámetro puede tener diferentes magnitudes de acuerdo con la escala del mapa del que se ha obtenido.

De las muchas características físicas que posee una cuenca, sólo unos pocos parámetros son de interés relevante en la ciencia hidrológica aplicada. A continuación, sólo se describen aquellos de uso más frecuente para la interpretación de los análisis hidrológicos.

### 2.2.2.1 Orden de las corrientes

Toda corriente mayor está constituida por tributarios menores cada uno de los cuales, a su vez posee los suyos y así sucesivamente hasta llegar a los últimos órdenes de la red de drenaje. Así surge la clasificación de los cauces de acuerdo con el número de orden de un río, como una medida de la ramificación del cauce principal en una cuenca hidrográfica. Un río de segundo orden es uno que posee únicamente ramificaciones de primer orden; un río de tercer orden es uno que posee ramificaciones de primero y segundo orden. El orden de una cuenca hidrográfica está dado por el número de orden del cauce principal.

El número de orden es directamente proporcional al tamaño de la cuenca contribuyente, a las dimensiones de los canales y al caudal de la corriente en ese lugar del sistema de cauces. **Horton** introdujo el concepto de **relación de bifurcación** para definir la relación entre el número de ríos de cualquier orden y el número de cauces en el siguiente orden:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (2.1)$$

donde,

$N_u$  = número de cauces de orden dado  $u$

$N_{u+1}$  = número de cauces de orden  $u + 1$

Las relaciones de bifurcación dentro de una cuenca tienden a ser de la misma magnitud; generalmente valores entre 3 y 5, y el valor teórico mínimo posible es 2, cuya ocurrencia es poco frecuente.

Horton postuló igualmente la denominada Ley del número de orden de los ríos, como

$$N_u = R_b^{k-u} \quad (2.2)$$

donde:

$N_u$  = número de cauces de orden  $u$

$R_b$  = razón de bifurcación

$K$  = número de orden del cauce principal

El número total de corrientes de todos los órdenes en una red de drenaje se puede computar si se conoce la razón de bifurcación, promedio y el orden del segmento principal  $k$ , de la manera siguiente:

$$\sum_{i=1}^k N_u = \frac{R_b^k - 1}{R_b - 1} \quad (2.3)$$

Cuando los logaritmos del número de corrientes se grafican contra los órdenes, la mayoría de las redes de drenaje muestran una relación lineal, con desviaciones pequeñas respecto a una línea recta:

$$\text{Log } U_n = a - bu$$

De esta expresión se puede calcular  $R_b$  como:

$$\text{Log } R_b = b$$

### 2.2.2.2 Longitud de las corrientes

Para obtener la longitud media  $\bar{L}_u$ , del cauce de orden  $u$ , se divide la longitud total por el número de segmentos  $N_u$  de ese orden, es decir:

$$\bar{L}_u = \frac{\sum_{u=1}^N L_u}{N_u} \quad (2.4)$$

La longitud promedio  $\bar{L}_u$  de un segmento de cauce de orden  $u$  es una propiedad dimensional reveladora del tamaño característico de los componentes de una red de drenaje y de las superficies de sus cuencas contribuyentes.

La razón de longitud  $R_L$ , o sea, la razón de la longitud media  $\bar{L}_u$ , de segmentos de orden  $u$ , a la longitud media de segmentos de orden  $\bar{L}_{u-1}$ , tiende a ser constante a través de los órdenes sucesivos de una cuenca, es decir:

$$R_L = \frac{\bar{L}_u}{\bar{L}_{u-1}} = \text{cte} \quad (2.5)$$

estableciéndose la ley de longitudes de corrientes como:

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 R_L^{u-1} \quad (2.6)$$

donde  $\bar{L}_1$  es la longitud media de los segmentos de orden 1.

La combinación de las leyes de los números de las corrientes y las longitudes de las corrientes, dá lugar a una ecuación para determinar la longitud total de los cauces de un cierto orden conociendo las razones de bifurcación y de longitud, la longitud promedio  $\bar{L}_u$  de los segmentos de primer orden, y el orden  $K$  del segmento principal, así:

$$\sum_{n=1}^N L_u = \bar{L}_1 R_b^{k-u} R_L^{u-1} \quad (2.7)$$

La longitud del cauce principal  $L$  es la distancia entre el punto más bajo y el más

alto de la cuenca, siguiendo el cauce. Este parámetro se suele utilizar en la estimación del tiempo de concentración.

La longitud al centroide  $L_C$ , es la distancia, siguiendo el cauce, desde el punto más bajo hasta el centro de gravedad de la cuenca, definido este último como un punto ubicado en el cauce principal, de tal modo que, al trazar una perpendicular al cauce en dicho punto, el área de la cuenca queda dividida en dos partes iguales.

### **2.2.2.3 Longitud del flujo superficial**

La longitud del flujo superficial  $L_o$  es la longitud del recorrido del flujo no canalizado desde un punto sobre la divisoria del drenaje hasta un punto del cauce adyacente, proyectado sobre la horizontal. Se obtiene mediante la siguiente relación:

$$L_o = \frac{1}{2D\sqrt{(1-S_c/S_g)}} \quad (2.8)$$

Donde:  $D$  es la densidad de drenaje,  $S_c$  y  $S_g$  son las pendientes promedio de los cauces y de las superficies del terreno, respectivamente. El radical que multiplica a 20 en el denominador da cuenta por el efecto de las pendientes sobre la longitud de los cauces.

### **2.2.2.4 Forma de la cuenca**

La forma de la cuenca hidrográfica afecta a los hidrogramas de escurrimiento y las tasas de flujo máximo. HORTON sugirió el siguiente factor adimensional de forma

Rf, como índice de la forma de una cuenca:

$$R_f = \frac{A}{L_b^2} \quad (2.9)$$

donde: A es el área de la cuenca y  $L_b$ , es su longitud, medida desde la salida hasta el punto más alto en la cabecera del cauce más largo, en línea. recta. Este índice o su recíproco han sido usados extensamente como indicadores de la forma del hidrograma unitario.

Otro índice de la forma de la cuenca, sugerido por GRAVELIUS, es la relación del perímetro de la hoya a la circunferencia de un círculo cuya área sea igual a la de la cuenca. Esta relación se denomina **coeficiente de compacidad**, y se define como:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{P}{\sqrt{A}} \times 0.28 \quad (2.10)$$

Donde P es la longitud del perímetro de la cuenca en Km.

A mayor valor de  $K_c$ , mayor es la irregularidad de la cuenca y su desviación de la forma circular.

### 2.2.2.5 Densidad de drenaje

Viene a ser la longitud total de los cauces dentro de una cuenca, dividida por el área total de drenaje; es decir, longitud de los canales por unidad de área:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^N L_{ij}}{A_u} = \frac{\bar{L}_1 R_b^{K-1} \frac{R_{Lb}^K - 1}{R_{Lb}}}{A_u} \quad (2.11)$$

Donde  $\bar{L}_1$  es la relación media de los segmentos de orden 1,  $R_b$  es la razón de bifurcación,  $R_{Lb}$  es la relación entre la longitud L de la cuenca y la razón de

bifurcación,  $K$  es el orden del segmento principal y  $A_u$  es el área total de drenaje.

Para la misma cuenca, una densidad alta refleja una cuenca bien drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación; una cuenca con baja densidad refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. Los valores altos de densidad reflejan, además, áreas generalmente con suelos fácilmente erosionables o relativamente impermeables, con pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal.

#### **2.2.2.6 Pendiente del cauce principal**

La pendiente de un canal influye sobre la velocidad de flujo, y juega un papel importante en la forma del hidrograma. Para calcular la pendiente media del cauce principal, se determina previamente el perfil del río desde sus cabeceras hasta el punto de concentración deseado, a partir de un mapa topográfico midiendo longitudes acumuladas hasta una cota dada. El perfil se dibuja luego sobre papel aritmético. Gráficamente se divide la longitud del cauce principal  $L$  en  $N$  partes iguales, cada uno con pendiente  $S_i$ , y se aplica la ecuación:

$$S = \left( \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{S_i}}{N} \right)^2 \quad (2.12)$$

donde  $S$  es la pendiente del cauce principal expresada en mm/rn o m/Km.

Otra forma de estimar la pendiente media del cauce, es obteniendo la pendiente de una recta, sobre el perfil del río, que parte justamente del punto más bajo de la línea que define el perfil del río, trazada en forma tal que el área por encima de la

línea y el perfil sea igual al área por debajo de la línea y el perfil.

### **2.2.2.7 Pendiente del terreno**

La pendiente media de una cuenca es uno de los principales parámetros que caracterizan el relieve de la misma permitiendo hacer comparaciones entre cuencas, en referencia a una pendiente que sustituya a las infinitas pendientes que existen dentro de una cuenca y que sea representativa de esas pendientes. La pendiente del terreno en una cuenca está estrechamente relacionada con los fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie de la cuenca, y guarda, además, una relación importante, aunque compleja, con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al caudal de las corrientes. Por otra parte, es uno de los factores principales que controla el tiempo de concentración de la lluvia en los cauces de los ríos, teniendo por ello, una importancia directa en las magnitudes de las crecientes.

La pendiente media de la cuenca, se define como la media ponderada de las pendientes correspondientes a superficies elementales en las cuales la pendiente se puede considerar constante, y se puede obtener sencillamente multiplicando la longitud total de las curvas de nivel  $L_o$ , por el intervalo entre ellas  $\Delta h$ , y dividiendo por el área de la cuenca:

$$\bar{S} = \frac{L_o \Delta h}{A} \quad (2.13)$$

En este proceso, la precisión del resultado depende de la calidad del mapa utilizado. También se puede usar una red de cuadrículas sobre el mapa de la

cuenca, luego, determinar la pendiente de cada intersección, y tomar el promedio.

#### **2.2.2.8 Análisis hipsométrico**

Cuando uno o más factores de interés en la hoya dependen de la elevación, es útil saber cómo está distribuida la hoya en función de la elevación. Una curva de área elevación (curva hipsométrica) se construye midiendo con un planímetro el área entre contornos de un mapa topográfico y representando en una gráfica el área acumulada por encima o por debajo de una cierta elevación, en función de dicha elevación. Es conveniente utilizar el porcentaje del área total en vez de su valor absoluto, particularmente cuando se desea una comparación entre varias cuencas.

La interpretación de las pendientes de la curva hipsométrica o de su forma, suministra información de interés para el hidrólogo. Así tendremos, por ejemplo, si en la zona de 100% la curva presenta una variación muy suave, ello significa que entre dos elevaciones que varían relativamente poco, hay mucha extensión de superficie, es decir, que la cuenca tendría una gran llanura en las cotas bajas. Sí por el contrario la curva variase bruscamente en esa zona del 100% indicarla que entre estas cotas hay poca superficie; es decir, que la cuenca baja del río sería poco extensa, con laderas abruptas, como sería el caso de un valle muy encajonado.

#### **2.2.3 Producción anual de sedimentos en una cuenca**

Desde el punto de vista hidrológico práctico, para determinar la capacidad muerta de los embalses o para estudiar las medidas de control de sedimentos, se suele estimar la producción total anual de sedimentos en la cuenca. Dicha producción

anual de sedimentos depende de muchos factores tales como el clima, el tipo de suelos, el uso de la tierra, la topografía y la existencia de embalses. A continuación, se presentan algunos métodos empíricos que permiten estimar la producción anual de sedimentos en una cuenca.

### **2.2.3.1 Método de Langbein-Schumm**

Este método también se usa en cuencas que sólo poseen información sobre la precipitación efectiva. Estima la producción de sedimentos por unidad de área de acuerdo con la siguiente expresión:

$$q_s = \frac{10P^{2.3}}{1 + 0.0007P^{3.333}} \quad (2.14)$$

donde:

$$q_s = \text{ton/milla}^2$$

P= precipitación efectiva anual en pulgadas, puede calcularse de acuerdo con el método de S.C.S. El parámetro  $10 P^{2.3}$  representa la acción erosiva de la precipitación, mientras que  $1/(1 + 0,0007 P^{3.33})$  indica la acción protectora de la vegetación. Es decir, que al inicio la producción de sedimentos se incrementa con el incremento de la precipitación, pero luego desciende hasta un valor más o menos constante. El incremento inicial de P trae consigo un aumento de la vegetación.

### **2.2.3.2 Método del US Soil Conservation Service (SCS)**

El método S.C.S. es un procedimiento empírico desarrollado por hidrólogos del Soil Conservation Service, (renombrado últimamente como el NRCS, es decir, el Natural Resources Conservation Service), con base a numerosos datos de cuencas experimentales en los Estados Unidos, con áreas de hasta 2.600 Km<sup>2</sup>, para estimar la escorrentía directa, basándose en la precipitación ocurrida y las condiciones de la cuenca.

Una de las informaciones básicas necesarias para el desarrollo del método, es la consideración de un índice de humedad del suelo anterior a la tormenta en estudio.

Formulación Matemática del método S.C.S.

La relación fundamental estimada por el Soil Conservation Service de USA, es la siguiente:

$$\frac{F}{S'} = \frac{Q}{P_e} \quad (2.15)$$

donde:

F = infiltración real (retención actual)

S' = infiltración potencial o parámetro de retención ( $S' \geq F$ )

P<sub>e</sub> = escorrentía potencial o exceso de precipitación ( $P_e \geq Q$ )

Q = escorrentía real

La relación presentada en la ecuación (2.15) se considera válida a partir del inicio de la escorrentía. Toda la precipitación ocurrida antes del inicio de dicha escorrentía es considerada como pérdida y no contribuye al flujo superficial. Estas pérdidas son denominadas las abstracciones iniciales ( $I_a$ ) y constan de varios componentes tales como: intercepción, almacenamiento en depresiones e infiltración inicial.

En cuencas grandes, parte del agua infiltrada retorna como flujo sub-superficial o subterráneo, pero no son consideradas en el análisis de tormentas puesto que tienen un tiempo de retardo suficientemente largo como para no influenciar el hidrograma de escorrentía directa. De acuerdo con lo anterior:

$$P_e = P - I_a \quad (2.16)$$

y,

$$F = P_e - Q \quad (2.17)$$

Combinando las ecuaciones (5.6) y (5.8) se obtiene:

$$Q = \frac{(P_e)^2}{P_e + S'} \quad (2.18)$$

En esta relación se ignora la abstracción inicial

Como  $S$  depende de  $I_a$ , el estudio de una gran cantidad de eventos permitió la obtención de una relación empírica entre dichas variables, definida por:

$$I_a = 0,2 S \quad (2.19)$$

donde:  $S = S' + I_a$

La Ecuación (2.19) que relaciona  $I_a$  con  $S$ , se basa en datos obtenidos experimentalmente en cuencas grandes y pequeñas.

No es necesario obtener dicha ecuación con mayor exactitud, puesto que para poder fragmentar  $I_a$  en sus componentes, se requiere disponer de datos que normalmente no están disponibles.

Por la misma razón se considera una buena aproximación el coeficiente 0,2 de la Ecuación (2.19).

Sustituyendo las ecuaciones (2.19) y (2.16) obtiene:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2.20)$$

La principal limitación de esta ecuación lo constituye la estimación de  $S$ , lo cual depende de factores edáficos, condiciones de la superficie y la humedad antecedente. La intensidad de la lluvia puede modificar la intensidad de infiltración de los suelos. Numéricamente el valor máximo de  $S$  es igual a la capacidad útil de almacenamiento del suelo. En la práctica  $S$  puede ser estimado mediante el análisis de hidrogramas con información detallada y utilizando la ecuación (2.20) modificada como sigue:

$$S = -12,5(0,64 Q^2 + 0,8 Q*P)^{1/2} - (0,8Q + 0.4 P) \quad (2.21)$$

Todas las variables a la derecha de la Ecuación (2.21) pueden ser obtenidas del análisis de hidrogramas y de hietogramas.

El SCS luego de analizar gran cantidad de hidrogramas de cuencas experimentales ha confeccionado un procedimiento para estimar S en base a un valor llamado CN (Número de Curva), que se relaciona con S por la ecuación:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2.22)$$

en la cual, S se expresa en mm.

**Tabla 2.1. Número de curvas de escorrentía para usos agrícola, suburbano y urbano**

| <b>Condición II de humedad<br/>antecedente</b> |  | <b>Grupo de suelos</b> |          |          |          |
|--|--|------------------------|----------|----------|----------|
| <b>Uso de la tierra</b>                        |  | <b>A</b>               | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>D</b> |
| Tierra Cultivada                               | Sin tratamiento conservacional           | 72                     | 81       | 88       | 91       |
|  | Con Tratamiento conservacional           | 62                     | 71       | 78       | 81       |
| Pradera o Pastizal                             | Condición Mala                           | 68                     | 79       | 86       | 89       |
|  | Condición Buena                          | 39                     | 61       | 74       | 80       |
| Sabana   | Condición Buena                          | 30                     | 58       | 71       | 78       |
| Bosque   | Ralo, cobertura pobre                    | 45                     | 66       | 77       | 83       |
|  | Condición Buena                          | 25                     | 55       | 70       | 77       |
| Áreas industriales y residencial               | 72% impermeables                         | 81                     | 82       | 91       | 93       |
| Calles y caminos                               | Pavimentados con cunetas y alcantarillas | 98                     | 98       | 98       | 98       |
|  | Granzón                                  | 76                     | 85       | 89       | 91       |
|  | Tierra                                   | 72                     | 82       | 87       | 89       |

Cartaya y Guevara, 2004

Cuando no existen datos de la cuenca o si los que existen son poco confiables, el valor de CN se obtiene utilizando la Tabla 2.1. En cuencas con mediciones, el valor de CN se puede obtener para cada tormenta, mediante la siguiente expresión:

$$CN = \frac{100}{1 + 0.02(P + 2Q - \sqrt{(4Q^2 + 5PQ)})} \quad (2.23)$$

#### **2.2.4 Sistemas de Información Geográfica**

Sistemas de Información Geográficos (SIG) son potentes herramientas informáticas capaces de capturar, almacenar, recuperar, analizar y representar gráficamente grandes volúmenes de datos espaciales relativos a la superficie terrestre, lo cual les confiere amplias virtualidades para resolver problemas de gestión y planificación territorial. No obstante, un Sistema de Información Geográfico no es sólo un programa informático, sino un complejo sistema organizado y abierto compuesto por hardware, software, datos y usuarios, que permite integrar y unificar información variada de imágenes de satélite, fotografías aéreas, mapas básicos y temáticos, GPS, y otros. Uno de los rasgos que diferencia a los Sistemas de Información Geográficos de otros Sistemas de Información radica en la naturaleza geográfica o espacial de los datos que los alimentan, lo cual los hace susceptibles de ser representados cartográficamente. Entre otras consideraciones, esto comporta que en ellos se almacenen, mediante coordenadas, la localización geográfica de los objetos que representan la realidad lo que es llamado la georreferenciación, pero también, y lo que es más importante, sus

relaciones espaciales o topología, además, evidentemente, de sus propiedades o atributos temáticos. Un Sistema de Información Geográfica proporciona una visión esquemática de la realidad y constituye una síntesis del territorio.

#### **2.2.4.1 Tipos de SIG**

La mayoría de los elementos que existen en la naturaleza pueden ser representados mediante formas geométricas (puntos, líneas o polígonos, esto es, **vectores**) o mediante celdillas con información (**raster**). Son formas de ilustrar el espacio intuitivas y versátiles, que ayudan a comprender mejor los elementos objeto de estudio según su naturaleza.

En función de la forma de representar el espacio de la que hacen uso podemos clasificar los SIGs en dos grandes modelos o formatos:

#### **2.2.4.2 Funcionamiento de los SIG**

Los SIG operan como una base de datos geográfica asociada a los objetos existentes en un mapa digital, y dan respuesta a las consultas interactivas de los usuarios analizando y relacionando diferentes tipos de información con una sola localización geográfica. Esto es, conectando mapas con bases de datos.

Básicamente, el funcionamiento de un SIG pasa por las siguientes fases:

- Entrada de la información en el sistema, ya sea digital o pendiente de digitalización.

- Almacenamiento y actualización de las bases de datos geográficamente, es decir, georreferenciar la información mediante coordenadas geográficas de latitud y longitud.
- Análisis e interpretación de los datos georreferenciados.
- Salida de la información en forma de productos diferentes, que dependerán de las necesidades del usuario.

Los SIG facilitan el trabajo del profesional, ya que separan la información en capas temáticas y las almacena de forma independiente, haciendo más rápida y sencilla la tarea final de relacionar la información existente para la obtención de resultados.

#### **2.2.4.3 Uso de los SIGs**

Los SIG nos permiten hacer un análisis exhaustivo del territorio en los ámbitos más diversos. Son herramientas versátiles, con un amplio campo de aplicación en cualquier actividad que conlleve un componente espacial.

Así, la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica puede ser utilizada para investigaciones científicas, para gestión de los recursos y activos, en arqueología, en evaluación del impacto ambiental, para la planificación urbana, en cartografía, sociología, geografía histórica, marketing o logística, por nombrar sólo algunos ámbitos de aplicación.

Los SIGs se están convirtiendo en herramientas indispensables en la toma de decisiones en las que la información espacial tiene una especial relevancia. De

alguna de estas decisiones depende en muchos casos el éxito o el fracaso de un negocio o bien la mejora considerable de la productividad de una empresa. Teniendo en cuenta esto resulta fácil comprender la relevancia que estas tecnologías están adquiriendo para el mundo empresarial.

### **2.2.5 Imágenes de Satélite**

Una imagen de satélite está compuesta por una matriz digital de puntos (píxel), igual a una fotografía digital, capturada por un sensor montado a bordo de un satélite que orbita alrededor de la Tierra. A medida que el satélite avanza en su órbita barre la superficie con un conjunto de detectores que registran la reflexión de energía electromagnética, emisiones, temperatura, o variables de elevación topográfica o geofísica. Cada píxel tiene asociado un número denominado Nivel Digital (ND), el cual representa la intensidad o brillo promedio de un área mínima relativa dentro de la escena, generalmente, el rango de niveles digitales va de 0 a 255 (Posada, 2009). Estas imágenes se diferencian por el número de bandas, la región del espectro electromagnético que registra cada banda, el tamaño de la escena, su resolución espacial (nivel de detalle) y su resolución temporal (tiempo que tarda en recapturar la información de una zona específica) (Martínez & Díaz, 2005).

Figura 7. Forma de captura y almacenamiento de la información obtenida de los satélites. Fuente: Chuvieco (2010).

### **2.2.5.1 Procesamiento Digital de Imágenes**

El procesamiento digital es el conjunto de métodos y técnicas orientado a la manipulación, análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes digitales, su corrección, mejoramiento, transformación y/o clasificación temática con el fin de generar información útil sobre objetos, áreas y fenómenos, sin estar en contacto con ellos. El propósito general de este procesamiento consiste en mejorar el conocimiento sobre los recursos naturales de la Tierra y del medio ambiente (Posada, 2009). Los procesamientos aplicados a las imágenes de este estudio son la georeferenciación, la corrección atmosférica y la corrección radiométrica.

### **2.2.5.2 Georreferenciación**

Se denomina así al proceso que permite asignar a cada píxel de una imagen unas determinadas coordenadas de acuerdo con el sistema de referencia que se desee. Una vez realizado el proceso de georreferenciación o corrección geométrica es posible considerar la imagen como un mapa, susceptible de ser superpuesto sobre cualquier otra cartografía que se encuentre en el mismo sistema de referencia (Calera, 2003).

### **2.2.5.3 Sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)**

Incluido dentro de una familia de satélites denominada Landsat, el sensor Enhanced Thematic Mapper Plus, permite una sensible detección de turbideces y contaminantes en el agua (con el uso de la banda azul), exploración minera

(infrarojo medio), contenidos de humedad en las plantas y en el suelo (infrarojo medio) (Martínez & Díaz, 2005).

El programa LANDSAT fue desarrollado por la NASA en 1972 con el propósito del estudio de los recursos de la Tierra y su exitosa aplicación está comprobada a nivel mundial. Desde la época del primer satélite se han lanzado ocho programas LANDSAT. Los programas LANDSAT 4 y 5, lanzados en 1982 y 1984 respectivamente, se encuentran todavía en funcionamiento, aunque su vida útil fue programada solamente para cinco años. El LANDSAT 6 fue lanzado en 1993 y contaba con significativas modificaciones en cuanto a mejoramiento de sistema de sensores, pero por problemas técnicos se perdió en el espacio después de su lanzamiento. En abril de 1999 fue lanzado LANDSAT 7, ubicándole en la misma trayectoria terrestre que los satélites anteriores. Para 2014 se puso en órbita LANDSAT 8, que actualmente ya tiene imágenes disponibles en su servidor (Calera, 2003). sistema LANDSAT cuenta con sensores óptico-electrónicos, denominados barredores mecánicos. Son sensores pasivos, que captan solo la energía reflejada de las superficies terrestres iluminadas por el Sol. Esta energía se registra en formato digital y se transmite directamente mediante un sistema de telemetría a las estaciones terrestres; se procesa, introduciendo correcciones geométricas y radiométricas; y se archiva en dispositivos digitales. El sistema LANDSAT, dependiendo de la serie, está dotado de diferentes sensores.

## **2.2.6 Sensores Remotos**

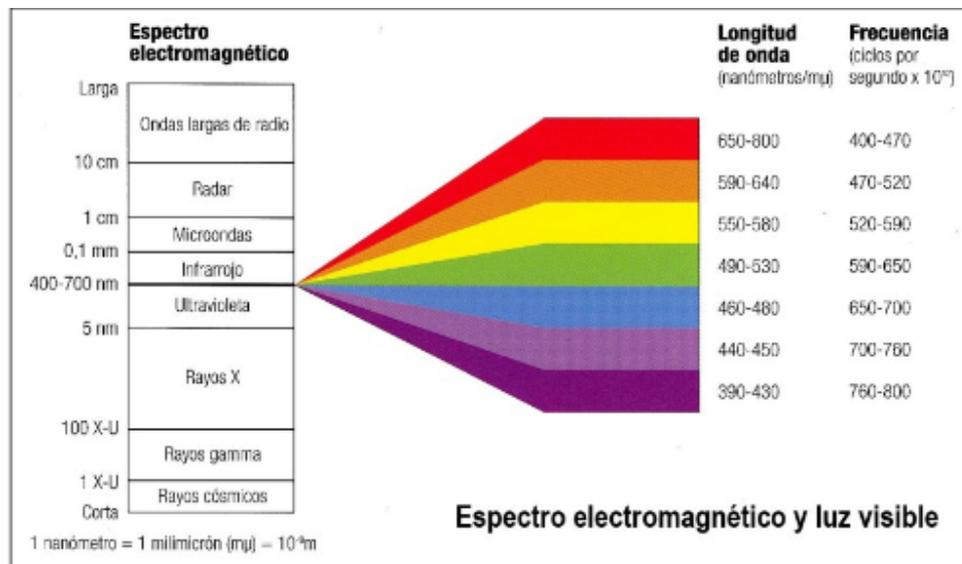
Los principios básicos de la radiación electromagnética, el espectro electromagnético y las curvas espectrales serán descritos a continuación.

Chuvieco (1990) definió a la percepción remota como la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial o por emisión propia. El sensor de un satélite explora secuencialmente la superficie terrestre adquiriendo a intervalos regulares la radiación que proviene de los objetos sobre ella situados. La cadencia con la que el sensor realiza el muestreo de la superficie terrestre define la resolución espacial, que es la unidad visual más pequeña que aparece en una imagen; toda la gama de reflectancia de esta unidad de superficie terrestre, el sensor lo promedia y traduce en un valor numérico, a partir del cual se hace un tratamiento digital de imágenes. En consecuencia, cada píxel está definido por un número, traducción de la radiancia recibida por el sensor para una determinada unidad de área de la superficie terrestre y en una banda específica del espectro según la longitud de onda que capta, que se llama Nivel Digital (Chuvieco, 1990).

### **2.2.6.1 Radiación Electromagnética**

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. Está compuesto por longitudes de onda y frecuencias, puede

manifestarse de diversas maneras como calor radiado, luz visible, rayos X o rayos gamma. La radiación dentro de un cuerpo de agua (Agrupación de láminas de agua de igual temperatura dentro de un cuerpo de agua) (Roldán, 1992). La transparencia se refiere a la profundidad máxima alcanzada por el haz de luz que penetra la columna de agua, se ve afectada por las sustancias que se encuentren disueltas y las partículas en suspensión presentes en el agua. También se usa para estimar el contenido de clorofila de la comunidad fitoplanctónica al considerar que la variación en la transparencia es producto de la presencia de fitoplancton. De igual forma permite definir el estado trófico por medio del Índice de Estado Trófico (IET) que utiliza como variables los valores medios anuales de la profundidad medida con el disco de Secchi y de las concentraciones superficiales de fósforo total y de clorofila a (Roldán, 1992).



Fuente: Chuvieco (2010).

**Figura 2. 3. Esquema del espectro radiométrico.**

### **2.2.6.2 Espectro Electromagnético**

Es el conjunto de todos los tipos de radiación electromagnética, organizado por bandas.

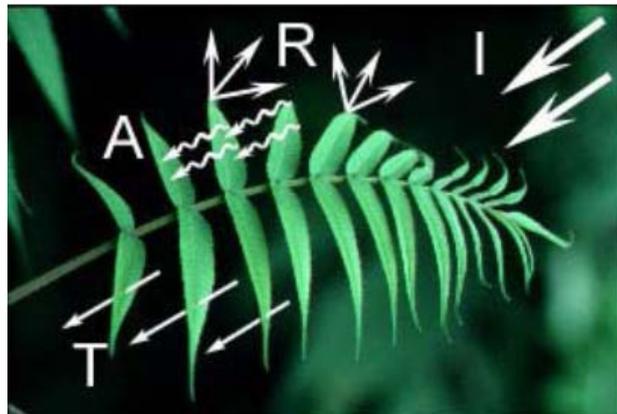
Cada tipo de radiación tiene una frecuencia y longitud de onda que la caracteriza. El espectro abarca los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja y las ondas de radio (Chuvieco, 2010).

La región de la radiación térmica (0.3 –100  $\mu\text{m}$ ) se origina como consecuencia de la vibración y movimiento de los átomos y moléculas debido a la agitación térmica. Dentro de esta región se distinguen dos grandes zonas. La zona de radiación de onda corta es la región que va desde los 0.4  $\mu\text{m}$  hasta los 3  $\mu\text{m}$ . La zona de radiación de onda larga es la región que va desde los 3 $\mu\text{m}$  hasta aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ . La región de la luz visible (0.4 –0.7  $\mu\text{m}$ ) es la zona que contiene las longitudes de onda a las cuales la retina es sensible. La luz es producida por átomos y moléculas como resultado del ajuste interno del movimiento de sus componentes, principalmente en la corteza electrónica del átomo. La región del infrarrojo cercano (o infrarrojo próximo) (0.7 –1.3  $\mu\text{m}$ ), también se denomina zona del infrarrojo reflejado o fotográfico. Parte de esta radiación puede detectarse mediante emulsiones especiales.

En la región del infrarrojo medio (1.3 –8  $\mu\text{m}$ ) se entremezcla parte de la radiación solar (incidente y reflejada), y la radiación emitida por la superficie terrestre (especialmente en focos de alta temperatura). El infrarrojo lejano o infrarrojo térmico (8 –14  $\mu\text{m}$ ) es la región en la que emite principalmente la superficie

terrestre. Las microondas ( $1000 \mu\text{m} - 1 \text{m}$ ) se usan en las comunicaciones por radar y otros sistemas de comunicaciones, así como en el análisis de detalles muy finos en la estructura atómica o molecular. Se generan con dispositivos electrónicos.

Son muy útiles en ciertas aplicaciones, ya que en esta región del espectro las nubes son transparentes, y las ondas pasan prácticamente sin distorsión. Las ondas de radiofrecuencia ( $0.1 \text{cm} - \text{varios km}$ ) se utilizan en los sistemas de radio, televisión y comunicaciones, y son generadas por medio de dispositivos electrónicos, principalmente circuitos oscilantes (Calera, 2003). Un flujo de radiación electromagnética al propagarse por el espacio puede interactuar con superficies u objetos, siendo reflejado, absorbido y transmitido por dichas superficies u objetos.



Fuente: Canada Centre for Remote Sensing (2008).

**Figura 2.4. Interacción de los objetos con la radiación electromagnética.**

La absorción produce una disminución de la radiación porque las moléculas gaseosas de la atmósfera como vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y ozono ( $\text{O}_3$ ) atrapan los rayos de luz. Este fenómeno de la absorción

es muy selectivo, limitándose a determinadas longitudes de onda dentro del espectro electromagnético (p.e.,  $<0.3 \mu\text{m}$  por el ozono). Las regiones del espectro donde estos procesos son insignificantes se denominan "ventanas atmosféricas", ya que permiten el paso de casi toda la energía (Canada Centre for Remote Sensing, 2008). La dispersión se presenta a causa de la difusión en todas las direcciones que las partículas en suspensión y las moléculas de los componentes de la atmósfera, producen sobre la radiación que interactúa con ellos. De forma general, este efecto decrece a medida que aumenta la longitud de onda.

### **2.2.6.3 Curvas Espectrales**

Los distintos tipos de coberturas terrestres (bosques, suelos, cultivos, cuerpos de agua, nieve, etc.) se distinguen por la cantidad de energía que reflejan en una región del espectro dado. La interacción de la radiación electromagnética con los objetos depende de sus características morfológicas, su composición físico-química y la configuración de la superficie donde estos están ubicados. Estos espectros que caracterizan el tipo de cubierta observada constituyen su firma espectral, la colección de estas firmas espectrales se conoce como curvas espectrales (Chuvieco, 2010).

### **2.2.7 Comportamiento del suelo, vegetación y agua en las regiones del espectro electromagnético**

Estos tres elementos forman el paisaje, es conveniente analizar por separado su comportamiento en las diferentes regiones del espectro electromagnético. El

comportamiento espectral del suelo presenta una tendencia hacia la uniformidad mostrando una curva bastante más plana y ascendente orientada hacia longitudes de onda superiores, como son las del infrarrojo cercano. La reflectividad presenta una gran variabilidad de unos suelos a otros debido a su composición química, la materia orgánica y el contenido en agua (humedad) son los principales factores que intervienen. La composición química define el color, los suelos de origen calcáreo tienden hacia el color blanco, indicando una alta reflectividad en todas las bandas visibles, suelos con un contenido alto en óxido de hierro presentan una reflectividad elevada en el rojo. Los altos contenidos de materia orgánica se reconocen por colores oscuros, y se traducen en reflectividades menores en todas las bandas del visible. El contenido de agua en el suelo se refiere al contenido de humedad en la capa superficial y disminuye la reflectividad en todo el espectro solar (Chuvienco, 2010).

#### **2.2.7.1 Suelo**

El comportamiento espectral del suelo presenta una tendencia hacia la uniformidad mostrando una curva bastante más plana y ascendente orientada hacia longitudes de onda superiores, como son las del infrarrojo cercano. La reflectividad presenta una gran variabilidad de unos suelos a otros debido a su composición química, la materia orgánica y el contenido en agua (humedad) son los principales factores que intervienen.

La composición química define el color, los suelos de origen calcáreo tienden hacia el color blanco, indicando una alta reflectividad en todas las bandas visibles, suelos con un contenido alto en óxido de hierro presentan una reflectividad elevada en el rojo. Los altos contenidos de materia orgánica se reconocen por colores oscuros, y se traducen en reflectividades menores en todas las bandas del visible. El contenido de agua en el suelo se refiere al contenido de humedad en la capa superficial y disminuye la reflectividad en todo el espectro solar (Chuvienco, 2010).

#### **2.2.7.2 Vegetación**

La curva espectral de la vegetación muestra un comportamiento típico, una baja reflectividad en el visible (del orden del 10%), con un máximo relativo en la zona verde del espectro (sobre  $0.55 \mu\text{m}$ ). Presenta una elevada reflectividad (40-50%) en el infrarrojo cercano, reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo medio

La elevada reflectividad en el infrarrojo cercano ( $0.75 - 1.35 \mu\text{m}$ ) se debe a la presencia en una hoja de diversos medios (agua, aire, materia orgánica, etc.) con índices de refracción distintos, que es consecuencia de la estructura interna de las hojas.

#### **2.2.8 Uso de la tierra**

Conocer el uso actual del suelo es una de las bases fundamentales para hacer una correcta planeación y manejo de los recursos naturales, También es importante comprender el impacto de estas actividades, pues con ello podemos cambiarlas o modificarlas para preservar el ambiente.

El sensor de los satélites Landsat tiene 7 bandas, cada una de las cuales capta una determinada longitud de onda y, su aplicación de cada banda es diferente, así por ejemplo, la banda 1 se usa para estudios hidrológicos y mapeo de costas, la banda 2 para estudios de vegetación sana y vigor, la banda 3 para clasificación de vegetación y estudios de clorofila, la banda 4 para el contenido de biomasa y cuerpos de agua, la banda 5 para contenidos de humedad, nieve y nubes, la banda 6 para estudios vulcanológicos y de contaminación, y la banda 7 para estudios de fisiografía del terreno (Lillesand y Kiefer, 1994). También se pueden utilizar combinaciones de bandas para diferentes propósitos.

Esta combinación son los índices de vegetación, los cuales son operaciones dirigidas para crear bandas artificiales a partir de combinaciones entre las bandas originales. Su empleo se ha justificado en dos situaciones: para mejorar la discriminación entre suelo y vegetación, y para disminuir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas (Soria et al., 1998).

### **2.2.9 Técnicas de Interpolación**

Las herramientas de interpolación de superficie crean una superficie continua (o predicción) a partir de valores de punto de muestra.

Visitar todas las ubicaciones de un área de estudio para medir la altura, la concentración o la magnitud de un fenómeno generalmente es difícil o costoso. En cambio, puede medir el fenómeno en ubicaciones de muestra dispersadas

estratégicamente y se pueden asignar valores previstos a todas las demás ubicaciones. Los puntos de entrada pueden ubicarse a espacios regulares o aleatorios o pueden basarse en un esquema de muestreo.

La representación de la superficie continua de un dataset ráster representa algunas medidas, como la altura, la concentración o la magnitud (por ej. elevación, acidez o nivel de ruido). Las herramientas de interpolación de superficie hacen predicciones a partir de mediciones de muestra para todas las ubicaciones en un dataset ráster de salida, ya sea que se haya tomado una medición en la ubicación o no.

Existen diferentes maneras de derivar una predicción para cada ubicación; cada método se denomina modelo. Con cada modelo, se realizan diferentes suposiciones acerca de los datos, y algunos modelos son más aplicables para determinados datos, por ejemplo, un modelo puede dar cuenta de la variación local mejor que otro. Cada modelo produce predicciones usando diferentes cálculos.

Las herramientas de interpolación, por lo general, se dividen en métodos determinísticos y de estadísticas geográficas.

Los métodos determinísticos de interpolación asignan valores a las ubicaciones basándose en los valores medidos circundantes y en fórmulas matemáticas específicas que determinan la suavidad de la superficie resultante.

Los métodos determinísticos incluyen UIDWU (ponderación de distancia inversa), Vecino natural, Tendencia y Spline entre otros.

Los métodos de estadísticas geográficas están basados en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación (la relación estadística entre los puntos medidos). Gracias a esto, las técnicas de estadística geográfica no sólo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que también proporcionan alguna medida de certeza o precisión de las predicciones.

Los métodos de interpolación utilizados es este estudio para determinar cuál de ellos es más adecuado es el siguiente:

#### **2.2.9.1 Kriging**

El método de *Kriging* es un método de interpolación de estadísticas geográficas.

Es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores  $z$ . Para su utilización, se debe realizar previamente un análisis del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores  $z$  antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida.

#### **2.2.10 Parámetros Físico-químicos del Agua**

##### **2.2.10.1 Alcalinidad**

La alcalinidad ( $\text{mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ ) se define como el poder de una solución para neutralizar los iones  $\text{H}^+$ . Es debida primordialmente a las sales de los ácidos débiles, tales como carbonatos, bicarbonatos, boratos, silicatos y fosfatos, y unos pocos ácidos orgánicos que son muy resistentes a la oxidación biológica (ácidos

húmicos) que llegan a formar sales que contribuyen a la alcalinidad total (Pérez, 2000). Ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa. La alcalinidad se determina titulando la muestra con HCl 0.1N, fenolftaleína (pH = 8.5) y naranja de metilo (pH = 4.3). (Romero Rojas, 2009).

#### **2.2.10.2 Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto hace referencia a la cantidad de oxígeno presente en el agua, principalmente al liberado por las plantas acuáticas en el proceso de fotosíntesis, así como el que proviene de la mezcla del agua con las corrientes de aire. La solubilidad del oxígeno en el agua está directamente relacionada con la presión atmosférica y de forma inversa con la temperatura y la concentración de sales. Su medición sirve para identificar las condiciones aeróbicas del ecosistema, identificación de cambios biológicos a partir de su concentración y es base para el cálculo de la demanda biológica de oxígeno (DBO). El oxígeno disuelto se determina de forma analítica mediante el método de Winkler o yodimétrico, también por electrodos específicos. (Romero Rojas, 2009).

#### **2.2.10.3 pH**

El pH es un parámetro que permite expresar la concentración de iones Hidrógeno [H+] o más exactamente la actividad de este ión. Las aguas donde la concentración de H<sup>+</sup> es superior a la de OH<sup>-</sup> se consideran ácidas y el valor de su pH está por debajo de 7.0. Por el contrario, aquellas cuya concentración de OH<sup>-</sup> es superior a la

de H<sup>+</sup> son aguas básicas o alcalinas y su pH es superior a 7.0. La importancia de su medición radica en que por medio de éste se identifica el grado de disociación de sustancias ajenas al cuerpo de agua, así como el estado de los procesos aeróbicos y anaeróbicos desarrollados en el ecosistema (Roldán, 1992).

#### **2.2.10.4 Conductividad Eléctrica:**

La conductividad es producida por los electrolitos que lleva disueltos un agua y es, lógicamente, muy baja en el agua pura (unas pocas centésimas de  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Además, se comprende que exista una relación entre ella y la cantidad de los electrolitos que contiene, es decir, su residuo seco. Concretamente, en un agua natural no muy contaminada, se cumple que el valor del residuo seco en mg/L oscila entre 0,5 y 1,0 veces el valor de conductividad, expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Conductividad del agua Agua pura: 0,055  $\mu\text{S}/\text{cm}$  Agua destilada: 0,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  Agua de montaña: 1,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  Agua para uso doméstico: 500 a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  Máx. para agua potable: 10055  $\mu\text{S}/\text{cm}$  Agua de mar: 52 mS/cm

La conductividad de un agua natural está afectada por el terreno que atraviesa y por la posibilidad de disolución de rocas y materiales, el tipo de sales presentes, el tiempo de disolución, temperatura, gases disueltos, pH y toda la serie de factores que pueden afectar la solubilidad de un soluto en agua. A título informativo, las conductividades de las aguas de la zona mediterránea de la Península Ibérica (terrenos fundamentalmente calizos) suelen ser estadísticamente superiores a las que presentan las aguas del resto granítico de aquélla ( $>1.000\mu\text{S}/\text{cm}$  frente a  $<500\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Respecto a embalses y lagos, la conductividad durante el período de mezcla de aguas suele ser inferior que, en período de estratificación térmica, y en este caso, las aguas anóxicas del fondo pueden presentar más altos valores de conductividad que las de superficie. Finalmente, un agua residual presenta, lógicamente, un valor de conductividad superior al del agua de consumo de la población, en general un orden de magnitud más alta si tiene un componente residual doméstico mayoritario frente al de los vertidos industriales. Caso contrario, será notablemente más alta: por ejemplo, aguas de industrias metalúrgicas y mataderos.

El método oficial se basa en el empleo de células de conductividad, equipadas, además, con una fuente externa de corriente y un puente de WHEATSTONE. Se trata de medir la razón de corriente alterna que atraviesa la celda de conductividad para un voltaje dado. Las células de conductividad pueden ir equipadas con electrodos de Pt o de otros metales. El sistema se suele calibrar con patrones de KCl con valor de conductividad conocida en función de su concentración.

#### **2.2.10.4 Cloruros**

Especialmente abundantes en los océanos, a donde acceden especialmente por disolución de depósitos minerales de sal gema (NaCl), representan hasta un 0,05% de la litosfera. La concentración de Cl<sup>-</sup> en aguas de superficie no contaminadas se sitúa alrededor de 20-40 mg/L e incluso menores. En ríos, es típico su incremento a lo largo del recorrido del cauce fluvial desde su nacimiento hasta su desembocadura. En aguas subterráneas, las concentraciones pueden variar

extraordinariamente en función de episodios de intrusión marina en determinados acuíferos.

Cloruros, fosfatos y nitritos son indicadores típicos de contaminación residual doméstica vertida a un cauce natural. Esto, además, puede servir de señal de alerta acerca de la probabilidad de que el agua presente contaminación también de carácter microbiológico patógeno e indeseable. El ion Cl<sup>-</sup> es altamente corrosivo y da lugar a deterioros y picaduras en tuberías y sistemas de distribución de aguas, así como en equipos industriales que operen con aguas ricas en cloruros. Así mismo, y en función de su contenido, pH del agua y otros iones presentes en ella, puede degradar los hormigones. Con relación al agua potable, la principal incidencia de los cloruros es la relativa al sabor que promueven: si bien depende del catión asociado, en general, cantidades de 200 a 300 mg/L son perceptibles en el agua de bebida por el consumidor medio. Se puede emplear un método volumétrico (argentometría) basado en la reacción de precipitación de los iones Cl<sup>-</sup> por adición de una disolución valorante de sales de AgNO<sub>3</sub> en medio neutro.

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

La presente investigación es de tipo Descriptivo porque se caracterizaron los efluentes y en el propio embalse para establecer su estado actual; desde el punto de vista científico, describir es medir (Hernández et al, 1991), identificando los factores que afectan la calidad de agua del embalse, que perjudica a la población aguas abajo que se benefician del mismo.

#### **3.2 Diseño de Investigación**

La investigación se sustenta en una documentación de fuentes bibliográficas y en la recolección de datos de la realidad, utilizando fundamentalmente información primaria, por lo cual está enmarcada según la estrategia metodológica, como una investigación No Experimental.

#### **3.3 Fases de la investigación**

A continuación, se listan las diferentes actividades que se desarrollaron con el fin de lograr el cumplimiento de cada objetivo específico, lo que conlleva al logro del objetivo general.

### **3.3.1 Recolección de Datos**

Se recopiló información estadística y documental que permitió determinar las características geográficas que inciden en el impacto estudiado sobre el embalse de Cumaripa. Los materiales referenciales e instituciones que podrían suministrar estos datos son:

Instituto nacional de Tierras (INTi) y MINEC, información cartográfica del estado y de la cuenca del río Yaracuy, publicaciones gubernamentales o privadas (Confiables) que reflejen datos cualitativos, trabajos de Investigación realizados en diferentes Universidades de reconocimiento Nacional e Internacional, referentes a caracterizaciones geográficas del estado Yaracuy.

Bibliografía actualizada, publicaciones actualizadas y reconocidas.

### **3.3.2 Procesamiento de Datos**

#### **3.3.2.1 Área de estudio**

El área de estudio es la cuenca del río Yaracuy, se encuentra ubicada en la región centro occidental de Venezuela, en jurisdicción del estado Yaracuy en los municipios San Felipe, Cocorote, Independencia, entre los 68° 12' y 69° 04' de longitud Oeste y entre los 10° 04' y 10° 36' de longitud Norte, abarcando por el noroeste las estribaciones septentrionales de la Sierra de Aroa y por el sureste los flancos de las Sierras Santa María y San Luis. (Parra, 1974).

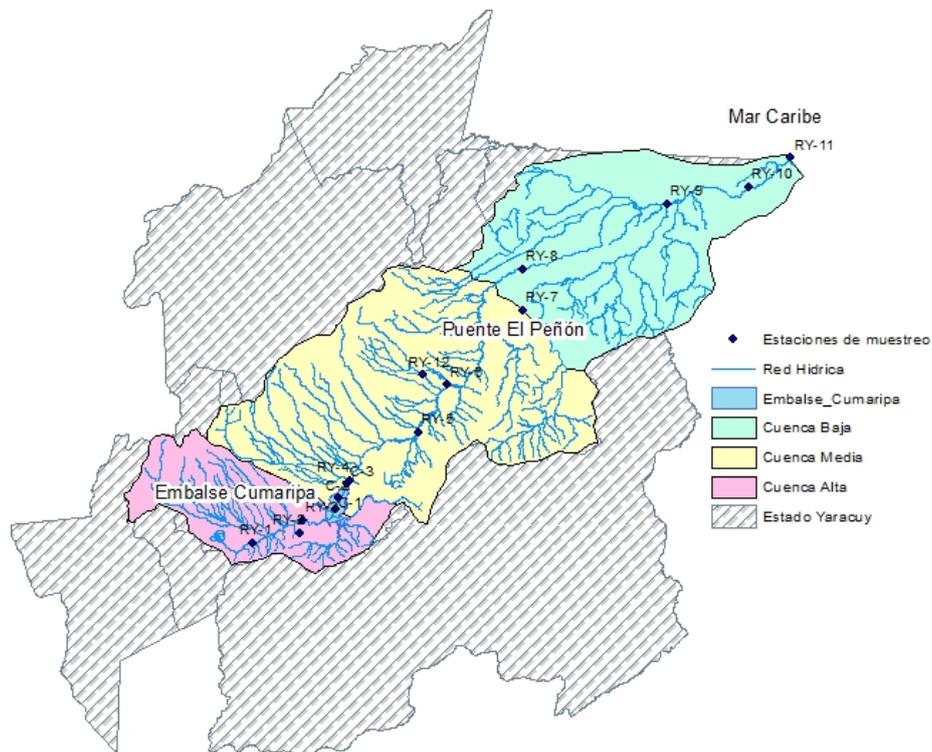
Entre ambas serranías, se extiende el valle del río Yaracuy con un ancho que varía de 15 a 22 Km, caracterizado por una zona montañosa delimitada por alturas superiores a los 500 metros sobre el nivel del mar y una zona baja cuyos rasgos morfológicos más representativos son conos aluviales y planicies fluviales, cortadas por los cauces de los tributarios del río. El río Yaracuy tiene una orientación Suroeste-Noreste, con sus nacientes en la Sierra de María Lionza y la Sierra de Aroa hasta la desembocadura en el Mar Caribe.

Las características fisiográficas establecen una cierta diferenciación entre la zona Alta, Media y Baja de la cuenca, (Figura 3.1). Se considera como Cuenca Alta el tramo comprendido entre la confluencia del cauce del río con la quebrada Quibayo hasta la presa El Voladero del Embalse Cumaripa. La Cuenca media está comprendido desde la presa El Voladero del Embalse Cumaripa hasta el Puente Peñón y la Cuenca Baja desde el Puente Peñón hasta la desembocadura del río.

El embalse de Cumaripa se encuentra en la cuenca Alta del río Yaracuy, y es la fuente de abastecimiento para los municipios adyacentes, con uso residencial y para fines agropecuarios, además de actividades deportivas.

El periodo que se escogió para este estudio fue la época de lluvia en los meses de mayo, junio, julio agosto y septiembre, para los años 2015, 2016 y 2017. Para cada año se escogieron dos periodos tomando en cuenta la nubosidad en cada imagen

satelital, por lo que finalmente este estudio se realizó en los meses de mayo y junio para el año 2015; junio y julio para 2016 y julio y septiembre para 2017.



**Figura 3.1 Cuenca del Río Yaracuy**

### **3.3.2.2 Descripción de la red hídrica y el uso de la tierra en la Cuenca alta del río Yaracuy.**

#### **3.3.2.2.1 Red hídrica**

Los parámetros geomorfológicos de la red hídrica se obtuvieron a partir de los mapas cartográficos por lo que su precisión dependió de la disponibilidad de la

información cartográfica confiable. La información de la red hídrica corresponde a las cartas 1:100.000, Datum Regven HUSO 19. Las características básicas de la cuenca, área y perímetro fueron determinadas con el software ARGIS 10.

El orden de la cuenca del río Yaracuy está dado por el número de orden del cauce principal, en este caso del río Yaracuy. Un río de segundo orden es uno que posee únicamente ramificaciones de primer orden; un río de tercer orden es uno que posee ramificaciones de primero y segundo orden y así sucesivamente hasta llegar al final del cauce principal.

Se calcularon los valores de la relación de bifurcación,  $R_b$ , utilizando la ecuación 2.1, luego se graficaron los logaritmos del número de las corrientes contra los órdenes, y como la mayoría de las redes de drenaje muestran una relación lineal, con desviaciones pequeñas respecto a una línea recta se obtiene que la pendiente de la ecuación de la recta es el  $\text{Log } R_b$ , este resultado se comparó con el obtenido con la ecuación 2.1.

Para calcular el índice de compacidad  $K_c$  se utilizó la ecuación 2.10, y se comparó con los valores teóricos.

Con el modelo de elevación digital de la cuenca se calculó la pendiente media de la cuenca, se utilizó el software ArcGis con el paquete de herramientas de Análisis Espacial, en el módulo de pendiente, generando un ráster de pendientes, que luego se interpolan con las herramientas Analyst 3D, superficie funcional, interpolar

forma, luego de obtener la imagen del mapa interpolado, se obtiene la tabla de estadísticas zonales donde arroja en valor de la variable.

Para obtener la curva hipsométrica se usó el software ArcGis 10, se realizó una máscara de la cuenca al modelo de elevación digital, con la herramienta Extract by Mask del módulo arctoolbox, luego con las herramientas de Análisis Espacial se hizo una reclasificación con 15 clases. Luego con la herramienta Zonal se obtuvieron las estadísticas zonales como tabla, con los datos necesarios para graficar la curva hipsométrica con elevación y área acumulada.

Y por último se graficó el perfil longitudinal del cauce principal utilizando el modelo de elevación digital, este ráster es convertido a un modelo TIN. Luego se traza una polilínea del cauce principal, luego se interpola con las herramientas de superficie funcional y con las herramientas de análisis 3D se genera la gráfica del perfil.

#### **3.3.2.2.2 Uso de la Tierra**

En este objetivo se obtuvo una clasificación digital. Para ello, se clasificó la imagen satelital, con el propósito de determinar, cuantificar y visualizar, las coberturas y usos de la tierra para mapear el cambio ocurrido en un lapso de 3 años, en la cuenca del río Yaracuy. Para generar esta información del uso de la tierra se emplearon herramientas SIGs, se utilizaron escenas de imágenes de Landsat 8 (Figura 4.9), de dos fechas diferentes para los años 2015, 2016 y 2017. Se seleccionaron las imágenes que tenían la menor cobertura con nubes. A las

imágenes se les realizara una corrección con la herramienta de ERDAS IMAGINE para luego clasificarla con ENVI Classic.

El sensor de los satélites Landsat tiene 7 bandas, cada una de las cuales capta una determinada longitud de onda y, su aplicación de cada banda es diferente, así por ejemplo, la banda 1 se usa para estudios hidrológicos y mapeo de costas, la banda 2 para estudios de vegetación sana y vigor, la banda 3 para clasificación de vegetación y estudios de clorofila, la banda 4 para el contenido de biomasa y cuerpos de agua, la banda 5 para contenidos de humedad, nieve y nubes, la banda 6 para estudios vulcanológicos y de contaminación, y la banda 7 para estudios de fisiografía del terreno (Lillesand y Kiefer, 1994). También se pueden utilizar combinaciones de bandas para diferentes propósitos. En este caso se utilizó la combinación de las bandas 5,4 y 3 luego de que se apilaran las mismas con la herramienta STACK de ERDAS IMAGINE.

Luego se creó una subescena con la poligonal de la cuenca, siendo el área de interés para este estudio, este proceso de corte consiste en la selección de la imagen, con todas las bandas que contienen los valores de reflectancia, las cuales son delimitadas con la capa vector de la cuenca. La herramienta realiza la selección de los píxeles incluidos en la capa vector, desecha la información del segmento de imagen no solicitada y de esta forma crea una nueva imagen que contiene el mismo número de bandas que la imagen original, los datos de reflectancia asociados solo a la cuenca y el mismo sistema de coordenadas.

Por último, se les realizaron correcciones topográficas y atmosféricas a las imágenes. Se empleó el software ERDAS IMAGE 2014, módulo ATCOR.

La combinación se utilizó para destacar los índices de vegetación, los cuales son operaciones dirigidas para crear bandas artificiales a partir de combinaciones entre las bandas originales. Su empleo se ha justificado en dos situaciones: para mejorar la discriminación entre suelo y vegetación, y para disminuir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas (Soria et al., 1998).

Después de tener la imagen corregida se procedió a clasificar los usos de la tierra con el software ENVI Classic, donde se escogen como áreas de interés los uso de la tierra, vegetación, agrícola, suelo degradado y zona urbana.

La clasificación de las imágenes en la interfaz ENVI Classic fue realizada mediante el criterio de Clasificación Supervisada, se trata de áreas de las que se conoce *a priori* la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases. Se denominan clases informacionales en contraposición a las clases espectrales que genera la clasificación no supervisada. Luego de tener las coberturas clasificadas se exporta la imagen al software ArcGis donde se reclasifican las coberturas para calcular los porcentajes de las mismas, con la herramienta estadísticas zonales como tabla. Obteniendo el porcentaje para cada cobertura por cada imagen.

### **3.3.2.3 Estimación los procesos físicos de transporte de sedimentos en la cuenca del río Yaracuy.**

Se evaluó la producción de sedimentos de los suelos de la cuenca del río Yaracuy, aplicando SIGs, lo que permitió estimar los distintos niveles de pérdidas de suelo.

Una vez definido el uso del suelo a partir de imágenes satelitales, en vegetación, el suelo degradado, suelo agrícola, zona urbana, se utilizó el método de Langbein-Schumm, que solo requiere los valores de lluvia efectiva ( $P_e$ ) y estima la producción de sedimentos por unidad de área,  $q_s$ , de acuerdo a la ecuación 2.14.

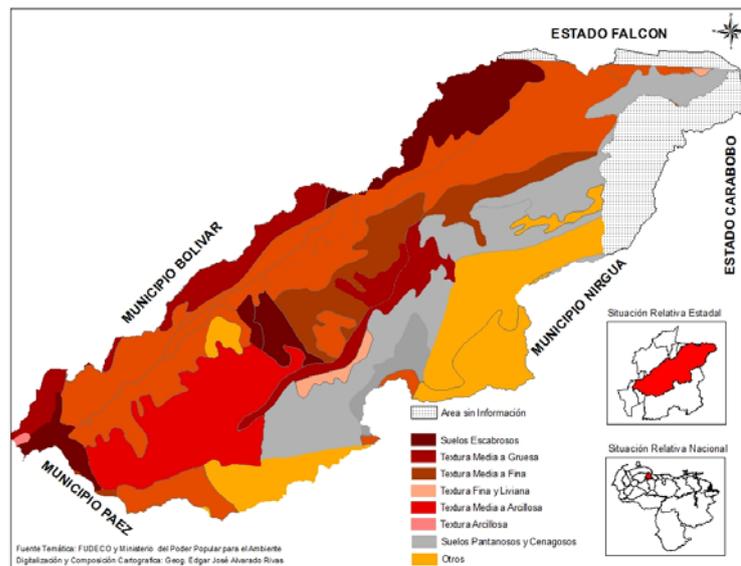
Para calcular los valores de lluvia efectiva se utilizó la calculadora ráster de ARCGIS 10, usando la ecuación 2.20, requiriendo mapas de precipitación por cada mes y de la capacidad útil de almacenamiento del suelo,  $S$ .

Se generaron mapas de precipitaciones para cada uno de los meses definidos en este estudio, realizando una interpolación de los registros pluviométricos de estaciones climatológicas en el estado Yaracuy y en estados vecinos. Utilizando el software ARCGIS 10 se georreferenciaron las estaciones seleccionadas a partir de las coordenadas UTM, Datum Regven Huso 19, utilizando el mapa base digital del estado Yaracuy. Luego de esto se utilizó la aplicación geoestadística del ARGIS 10, previa selección del método de interpolación Kriging lineal, para representar cada uno de los mapas de precipitación.

Para generar los mapas de la capacidad útil de almacenamiento,  $S$ , se utilizó la calculadora ráster de ARCGIS aplicando la ecuación 2.22.

Donde CN es el número de curva, esta variable se obtuvo de la tabla 2.1, para el tipo de suelo de la cuenca del río Yaracuy según el mapa de suelos de la cuenca (figura 3.2). Para este estudio se utilizó el renglón D por predominar suelos con texturas medias a finas.

Una vez definido los valores de CN de acuerdo a la tabla, se reclasificó el mapa de uso de la tierra generado en el objetivo anterior, utilizando el software ArcMap 10.0, en el análisis espacial de la caja de herramientas.



**Figura 3.2** Mapa de suelos de la cuenca del río Yaracuy

Con el mismo software y la aplicación de análisis geostadístico se procedió a calcular los valores de S con la calculadora de ráster, con la ecuación 2.22, generando un ráster para cada imagen con los valores calculados de S.

Con los mapas de precipitación y S, y las herramientas del software ARGIS finalmente se obtuvo la Pe, para poder calcular qs, que es la producción de sedimentos.

### **3.3.2.3 Determinación de la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Yaracuy.**

Con la finalidad de normalizar la información de calidad de agua en la cuenca del río Yaracuy, se procedió a realizar una distribución espacial de las siguientes variables fisicoquímicas con datos suministrados por el Ministerio para el Poder Popular de Ecosocialismo y Aguas del estado Yaracuy, del año 2015, se realizó solo con este año por la disponibilidad de los datos.

Se clasificaron las variables fisicoquímicas para su almacenamiento en una base de datos geográfica, los puntos de muestreo se ubicaron en el mapa, asignándole los atributos correspondientes a las variables analizadas: temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, dureza total, alcalinidad total, sólidos totales disueltos, coliformes totales, fosfatos, cloruro y DQO.

La georreferenciación de los puntos de muestreo, permitió la localización espacial en la cuenca de los parámetros fisicoquímicos determinados en el río Yaracuy con la información fisicoquímica de 12 estaciones de muestreo a partir de información aportada por en el MINEC, la tabla 3.1 muestra la ubicación geográfica de cada estación. Mediante las interpolaciones realizadas a los parámetros fisicoquímicos de este estudio, mediante la técnica de Kriging, se obtiene un ráster de

isoconcentraciones para cada variable fisicoquímica y luego se realizó un corte de la imagen para obtener el área correspondiente a la cuenca. El proceso se realizó con la herramienta Extract by Mask del módulo arctoolbox del software ARCGIS 10.

**Tabla 3.1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el Río Yaracuy.**

|                          | PUNTO | DESCRIPCIÓN                   | COORDENADAS UTM |         |
|--------------------------|-------|-------------------------------|-----------------|---------|
|                          |       |                               | Este            | Norte   |
| CUENCA ALTA RÍO YARACUY  | RY1   | Quibayo                       | 520399          | 1121606 |
|                          | RY2   | Sorte                         | 521138          | 1129977 |
|                          | RY3   | San Rafael                    | 521948          | 1112571 |
| CUENCA MEDIA RÍO YARACUY | RY5   | Puente Santa María            | 508964          | 1116883 |
|                          | RY6   | Arenera San José              | 515504          | 1118252 |
|                          | RY7   | Puente El Peñón               | 515782          | 1120025 |
| CUENCA BAJA RÍO YARACUY  | RY 8  | Puente El Chino               | 522321          | 1125588 |
|                          | RY 9  | La Hoya                       | 531863          | 1132244 |
|                          | RY11  | Desembocadura del Río Yaracuy | 535779          | 1138863 |
| RÍO YURUBY               | RY12  | Río Yurubí                    | 546159          | 1149152 |
| EMBALSE CUMARIPA         | C1    | Puente Cumaripa               | 546159          | 1154934 |
|                          | C2    | Centro del Embalse            | 566133          | 1163996 |
|                          | C3    | Tapón del Embalse             | 577375          | 1166354 |

### 3.3.3 Obtención de Resultados.

#### 3.3.3.1 Análisis de la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Yaracuy.

A partir de los mapas generados con la distribución espacial de cada variable de calidad ambiental, se compararon estos valores con los trabajos realizados y los datos obtenidos previamente por el MINEC, Gacetas Oficiales e Índices de Calidad. Los resultados obtenidos permitieron determinar la calidad del recurso hídrico,

analizando su evolución para identificar las principales causas de las variaciones de concentración.

Se realizó la clasificación de las aguas de acuerdo con las Normas para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos de efluentes líquidos, Decreto 883 Capítulo II, publicado en Gaceta Oficial N° 5.021 extraordinario de fecha 18/12/1995 y el Decreto de la Cuenca del río Yaracuy N° 2181.

### **3.3.3.2 Evaluación de la influencia del uso de los recursos de la cuenca del Río Yaracuy sobre la calidad del agua del Embalse Cumaripa.**

Se establecieron tres puntos de muestreo dentro del embalse con información de calidad de agua suministrada por el MINEC:

**Tabla 3.2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el embalse Cumaripa.**

| Estación de Muestreo | Descripción        | Este   | Norte   |
|----------------------|--------------------|--------|---------|
| C1                   | Puente Cumaripa    | 546159 | 1154934 |
| C2                   | Centro del Embalse | 566133 | 1163996 |
| C3                   | Tapón del Embalse  | 577375 | 1166354 |



Fuente: Google Earth.

**Figura 3.3. Ubicación espacial de los Puntos de Muestreo del Embalse Cumaripa del Estado Yaracuy.**

Se realizaron comparaciones de estos parámetros medidos en dos épocas del año 2015, con la normativa establecida, Decreto de la Cuenca del río Yaracuy N° 2181, de los valores de los parámetros fisicoquímicos estudiados para determinar la influencia del uso de los recursos de la cuenca del río Yaracuy sobre el embalse.

## CAPITULO IV

### DISCUSION DE RESULTADOS

#### 4.1 Describir la red hídrica y el uso de la tierra en la cuenca del río Yaracuy.

##### 4.1.1 Red hídrica.

Características básicas de la cuenca:

**Tabla 4.1 Características Básicas de la Cuenca del Río Yaracuy**

| Características Básicas de la Cuenca |         |
|--------------------------------------|---------|
| Área (Km <sup>2</sup> )              | 2306,76 |
| Perímetro (Km)                       | 276,99  |

Según el área de la Cuenca esta puede ser clasificada de la siguiente manera:

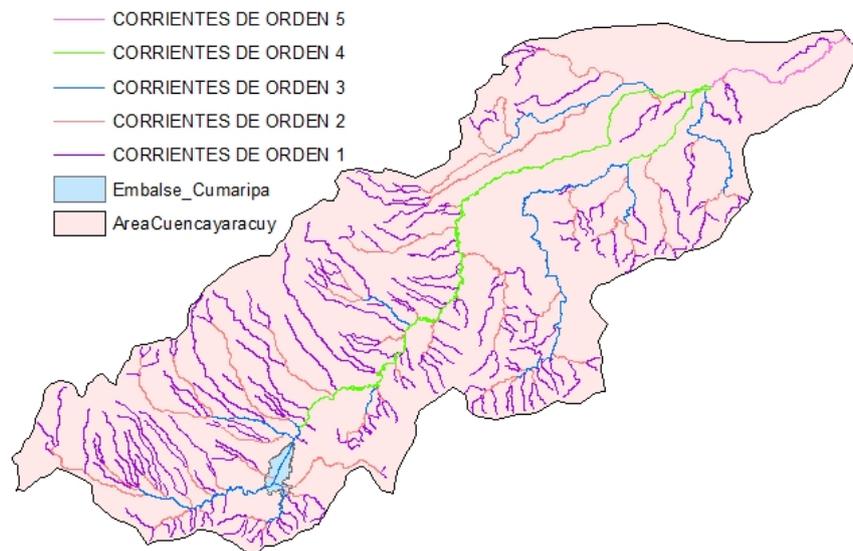
**Tabla 4.2 Clasificación de las cuencas según su Área (Km<sup>2</sup>)**

| Tamaño de la cuenca (km <sup>2</sup> ) | Descripción        |
|--|--------------------|
| < 25                                   | Muy pequeña        |
| 25 a 250                               | Pequeña            |
| 250 a 500                              | Intermedia-Pequeña |
| 500 a 2500                             | Intermedia-Grande  |
| 2500 a 5000                            | Grande             |
| > 5000                                 | Muy grande         |

(López, 2008)

El área de la cuenca de estudio es de  $A = 2308,76 \text{ km}^2$ , esto indica que tenemos una cuenca Intermedia-Grande.

El orden de una cuenca hidrográfica está dado por el número de orden del cauce principal. Por tanto, el orden de la cuenca del río Yaracuy es 5.



Fuente: Elaboracion Propia

**Figura 4.1 Red Hidrica de la Cuenca Río Yaracuy, Venezuela.**

En la Tabla 4.3 se muestran los valores obtenidos de la Relación de Bifurcación en cada orden.

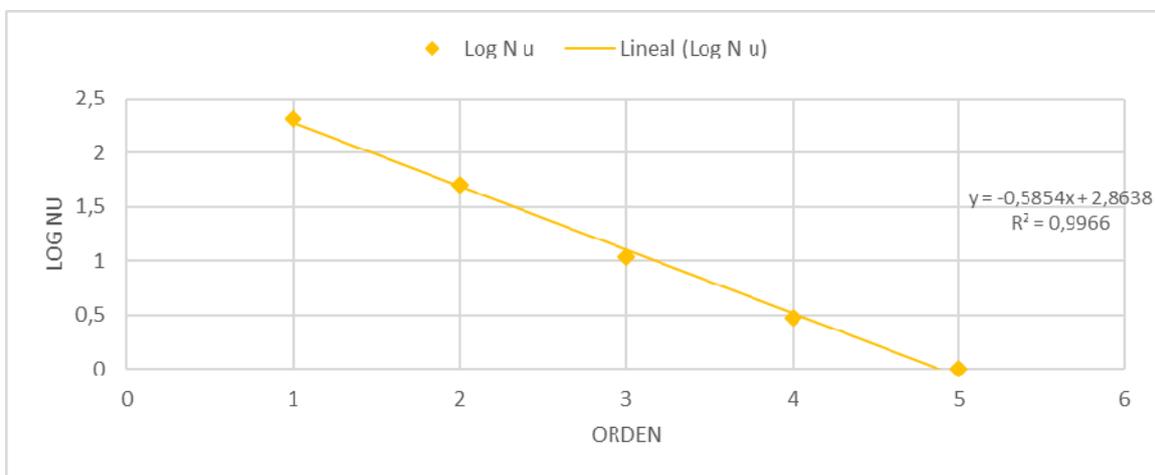
**Tabla 4.3 Parámetros de la Relación de Bifurcación (Rb)**

| U | N u | Rb    |
|---|-----|-------|
| 1 | 205 | 4,019 |
| 2 | 51  | 4,636 |
| 3 | 11  | 3,666 |
| 4 | 3   | 3     |
| 5 | 1   |       |

La media de estos valores parciales de Rb, podría tomarse como un valor representativo de la cuenca en este caso es 3,83.

En la Ley de Horton, las relaciones de bifurcación tienden a ser de la misma magnitud; generalmente valores entre 3 y 5. El valor promedio de Rb calculado en este estudio está dentro de este rango.

Al graficar los logaritmos de Nu de la tabla 4.4 contra los órdenes (U), se muestra una relación lineal, (Figura 4.2), a partir de la cual se puede calcular Rb.



**Figura 4.2** Grafica de los logaritmos del número de corrientes contra los órdenes

**Tabla 4.4.** Sistema de ordenes en la Cuenca del río Yaracuy

| U | Nu  | Log Nu |
|---|-----|--------|
| 1 | 205 | 2,31   |
| 2 | 51  | 1,71   |
| 3 | 11  | 1,23   |
| 4 | 3   | 0,48   |
| 5 | 1   | 0      |

De la ecuación de la recta, se obtiene que Log Rb es igual a la pendiente de la recta, Log Rb= 0,5854, por tanto: Rb= 3,85

Este valor de  $R_b$  calculado con la pendiente de la recta es muy similar al obtenido de los promedios de  $R_b$  con cada orden, por lo que se podría utilizar cualquiera de los dos métodos para calcularlo.

Partiendo de la premisa de que “El estudio de numerosos sistemas fluviales, confirma el principio de que, en una región de clima, litología y uso del suelo uniformes, la relación de bifurcación tiende a permanecer constante de un orden al siguiente”. (Strahler, op.cit), como el caso de este estudio donde  $R_b$  tiende a 4 en todos los órdenes, se puede establecer una comparación entre la realidad de la cuenca hidrográfica estudiada y las condiciones ideales prefijadas por las leyes de Horton y establecer hipótesis que permitan investigar las causas de las modificaciones importantes que se produzcan entre las condiciones geocológicas dentro de la cuenca en estudio.

Según Strahler (1957), el menor valor teórico de  $R_b$  es 2, y corresponde a dos tributarios y un colector. Una red de drenaje de tipo dendrítico tiende a valores altos de  $R_b$ , mientras que una de tipo paralelo, con fuerte control estructural, puede dar valores próximos a 2.

Analizando lo anterior, el modelo de drenaje de la cuenca del Río Yaracuy es dendrítico.

El coeficiente de compacidad,  $K_c$ , calculado es:

**Tabla 4.5 Coeficiente de compacidad**

| <b>Kc</b>   | <b>P(Km)</b> | <b>A(Km<sup>2</sup>)</b> |
|-------------|--------------|--------------------------|
| 1,614808087 | 276,99       | 2306,76                  |

El menor valor de  $K_c$  es 1 y corresponde a una cuenca circular. A medida que este aumenta mayor es la irregularidad de la cuenca y su desviación de la forma circular (Guevara y Cartaya, 1991), por tanto, en este estudio la forma de la cuenca es irregular.

En la siguiente tabla se encuentran expresados los valores calculados de las longitudes promedios de las corrientes por cada orden.

**Tabla 4.6 Longitud de las corrientes**

| <b>U</b> | <b>Lu (Km)</b> | <b><math>\bar{L}_u</math> (Km)</b> |
|----------|----------------|------------------------------------|
| 1        | 859,61         | 4,19                               |
| 2        | 313,72         | 6,15                               |
| 3        | 155,89         | 14,17                              |
| 4        | 111,12         | 37,04                              |
| 5        | 21,76          | 21,76                              |

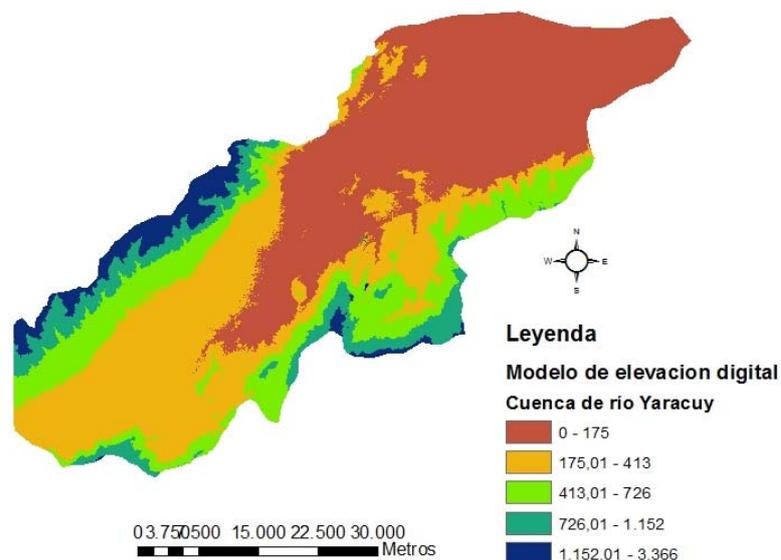
La longitud promedio  $\bar{L}_u$  de un segmento de cauce de orden una es una propiedad dimensional reveladora del tamaño característico de los componentes de una red de drenaje y de las superficies de sus cuencas contribuyentes.

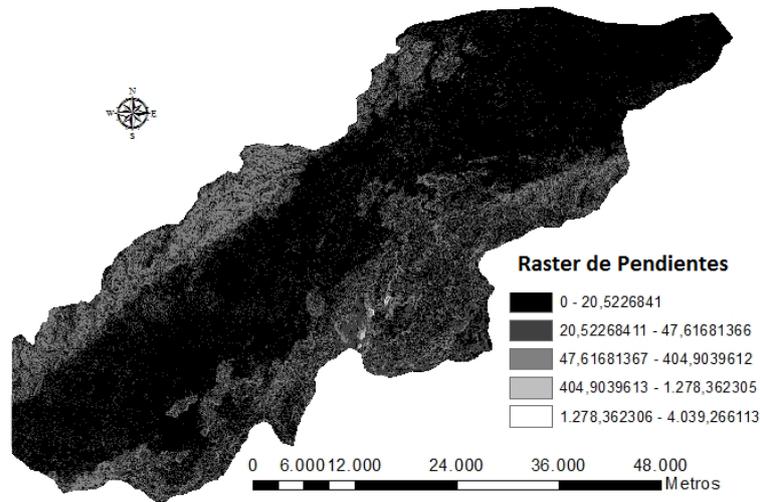
En la tabla 4.7 se muestra el valor obtenido de densidad de drenaje:

**Tabla 4.7 Densidad de Drenaje**

| $\Sigma Lu$ (Km) | Área Cuenca (Km <sup>2</sup> ) | D     |
|------------------|--------------------------------|-------|
| 1462,1           | 2306,76                        | 0,633 |

La densidad de drenaje es una medida de textura del territorio de la cuenca y expresa el equilibrio entre el poder erosivo del caudal y la resistencia a la erosión expresada por las características geológicas del territorio de la cuenca. Estas características deben evaluarse en forma global ya que una alta densidad de drenaje expresa materiales geológicos friables, suelos relativamente impermeables o escasa cobertura vegetal. Constituye por lo tanto un indicador del potencial de erosividad intrínseco al territorio en estudio. En la Cuenca del Río Yaracuy la Densidad es baja, según Delgadillo y Páez, 2008, con valores por debajo de 1 (Km/Km<sup>2</sup>). Una densidad de drenaje baja refleja una cuenca pobremente drenada con una respuesta hidrológica muy lenta (Linsey 1977).

**Figura 4.3. Modelo de Elevación digital Cuenca del río Yaracuy**



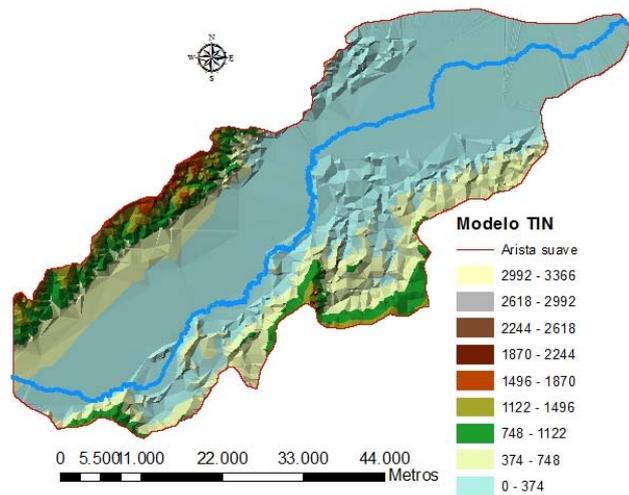
**Figura 4.4. Ráster de pendientes Cuenca del río Yaracuy**

Usando modelo de elevación digital (DEM) con el uso de las herramientas del software ArcGis se calculó la pendiente media de la cuenca.

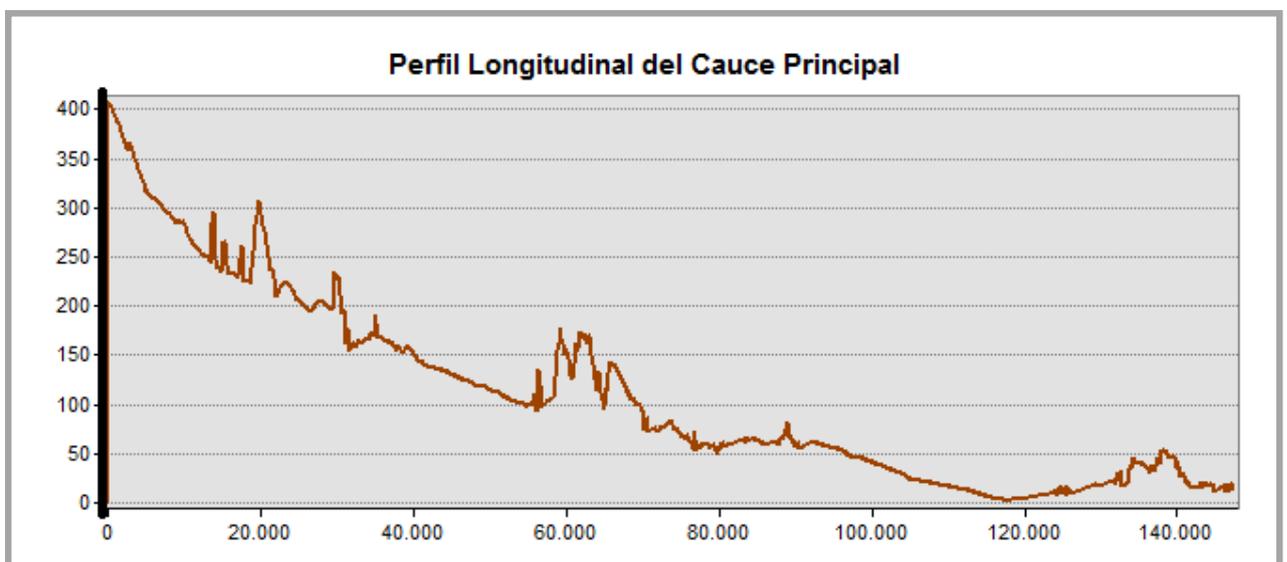
$$\bar{S} = 20,66\%$$

La pendiente del terreno en una cuenca está estrechamente relacionada con los fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie de la cuenca, y guarda, además, una relación importante, aunque compleja, con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al caudal de las corrientes. Por otra parte, es uno de los factores principales que controla el tiempo de concentración de la lluvia en los cauces de los ríos, teniendo por ello, una importancia directa en las magnitudes de las crecientes.

Y con el modelo TIN de la cuenca, se grafica el perfil longitudinal de la cuenca, figura 4.5



**Figura 4.5 Modelo TIN Cuenca del río Yaracuy**

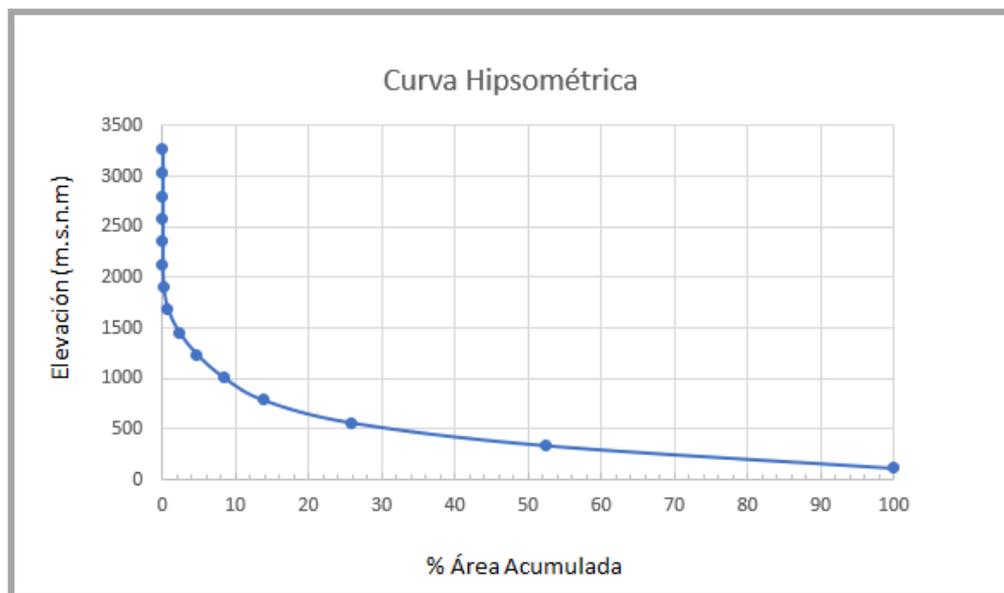


**Figura 4.6 Perfil del Río Yaracuy**

La cuenca del río Yaracuy, en la vertiente ubicada sobre la sierra de Aroa, alcanza alturas superiores a los 1.700 m.s.n.m. A partir de allí, los afluentes bajan con fuertes pendientes, cercanas en algunos casos al 20%, hasta llegar al valle, el cual se

va ensanchando hasta su entrada en la planicie, en donde la pendiente longitudinal del mismo toma valores muy pequeños, tal como se puede apreciar en la gráfica del perfil del río Yaracuy (Figura 4.6)

De acuerdo con la curva hipsométrica podemos inferir que la cuenca esta erosionada, la forma convexa de la curva indica que es una cuenca antigua y los efectos de da la sedimentación han actuado en ella.



**Figura 4.7. Curva hipsométrica del río Yaracuy en el trayecto de la Cuenca**

#### 4.1.2 Uso de la tierra.

Con la clasificación utilizada fue posible delimitar las áreas de cuatro coberturas: vegetación, zonas agrícolas, suelo degradado y zona urbana (figura 4.9). Para cada año de estudio, 2015, 2016 y 2017 en dos meses cada uno, se estimó el porcentaje de cada una de las superficies a partir de una imagen satelital Landsat 8 (figura 4.8).

**Tabla 4.8 Usos de la Tierra**

| Cobertura         | 2015  |       | 2016  |       | 2017  |            |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
|                   | Mayo  | Junio | Junio | Julio | Julio | Septiembre |
| % Vegetación      | 31,53 | 41,20 | 63,76 | 44,79 | 55,18 | 69,76      |
| % Agrícolas       | 37,13 | 33,50 | 17,66 | 18,05 | 24,53 | 15,66      |
| % Suelo degradado | 13,50 | 15,27 | 12,15 | 25,05 | 16,77 | 11,15      |
| % Urbano          | 17,84 | 10,04 | 6,43  | 12,11 | 3,52  | 3,43       |

De acuerdo a los resultados obtenidos en la clasificación esta puede ser una alternativa para clasificar imágenes de satelitales, cuando se requiere delimitar una cobertura específica.

En los mapas de uso de suelo generados en este estudio (Figura 4.9) se puede observar como la cobertura vegetal se funde con la zona agrícola, en la cuenca del río Yaracuy la mayoría de los cultivos son en secano por lo que en la época de lluvia se ve como si todo estuviese cubierto por vegetación, en concordancia con los valores de la tabla 4.10, donde los porcentajes mayores son de la cobertura de vegetación siendo el más alto el del mes de septiembre de 2017 con 69,76%.

Se puede corroborar la información con las imágenes satelitales (figura 4.8), estas son imágenes de combinación de bandas espectrales de falso color, 5, 4, 3 del satélite Landsat 8, donde se puede observar que la mayor cobertura del terreno es de color rojo asociado a zonas vegetadas.

Esta es la respuesta a la reflectancia de la luz roja e infrarroja de la vegetación verde: a mayor cantidad de clorofila, mayor absorción de la luz incidente roja; a mayor volumen foliar, mayor reflectancia de la luz infrarroja cercana. Considerando que pueden existir otras coberturas con alta reflectancia en el infrarrojo, u otras con alta absorción en el rojo, solo la vegetación viva produce invariablemente ambas respuestas.

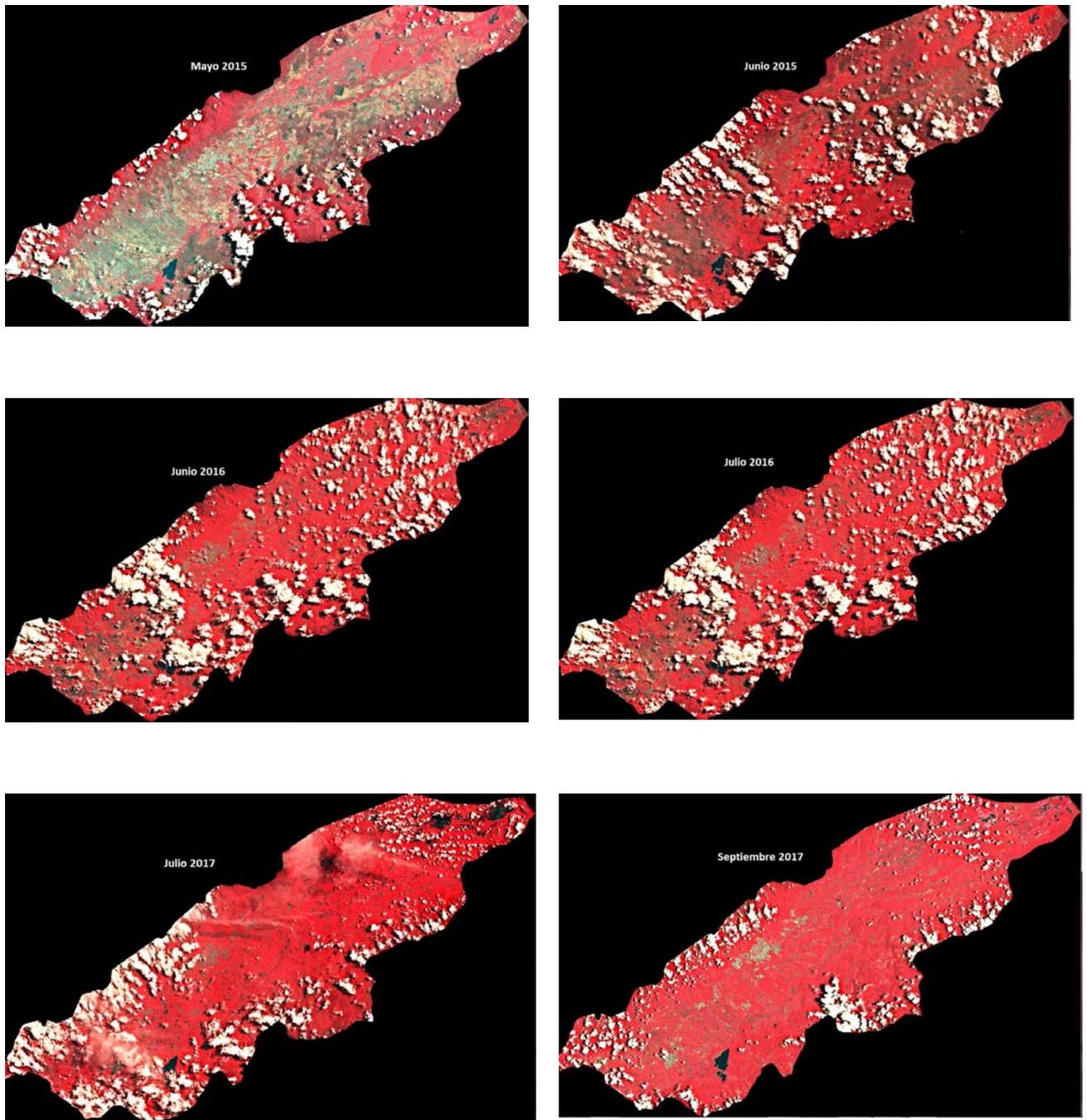
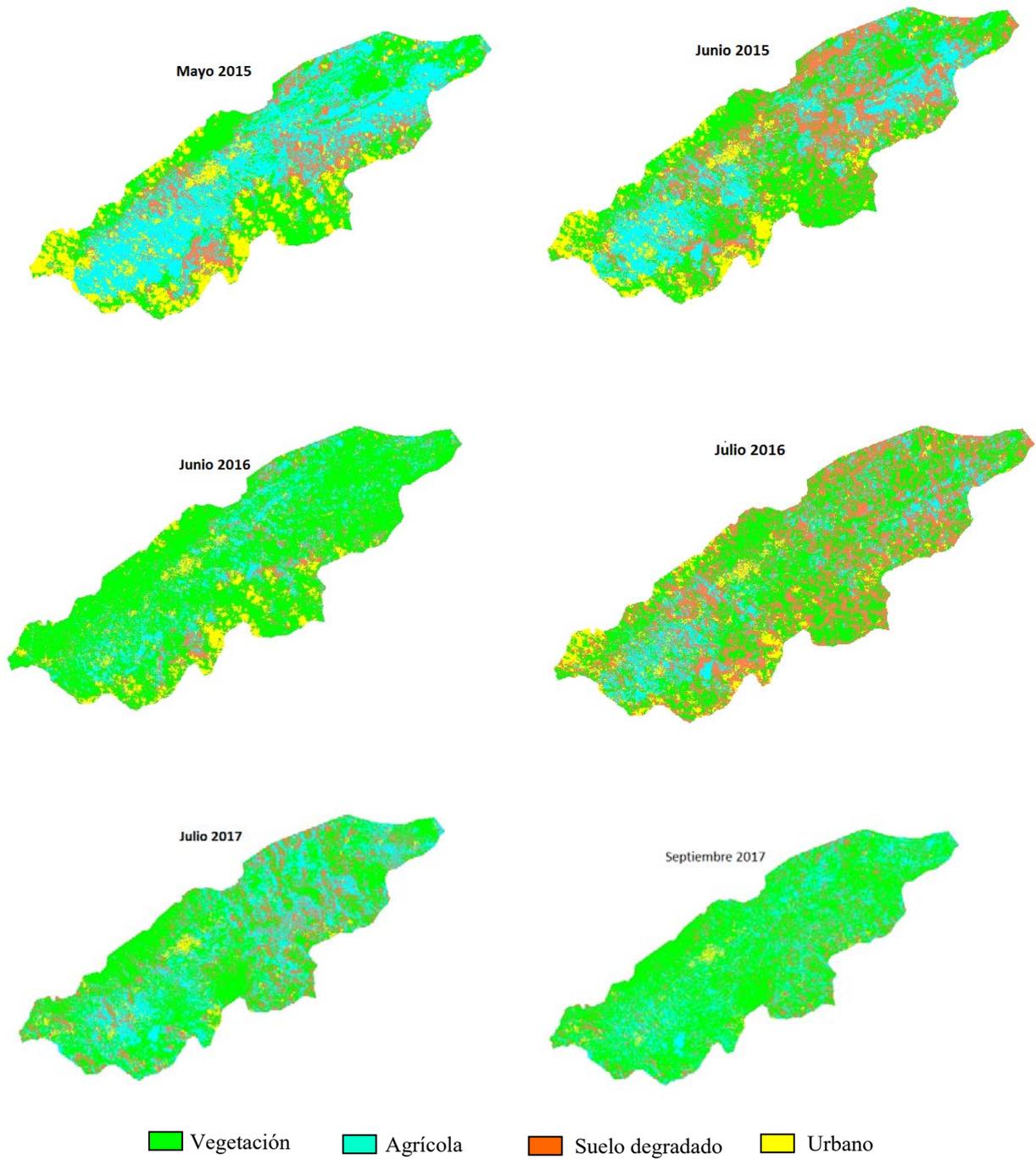


Figura 4.8. Imágenes Satelitales Landsat 8



Fuente: Elaboración propia

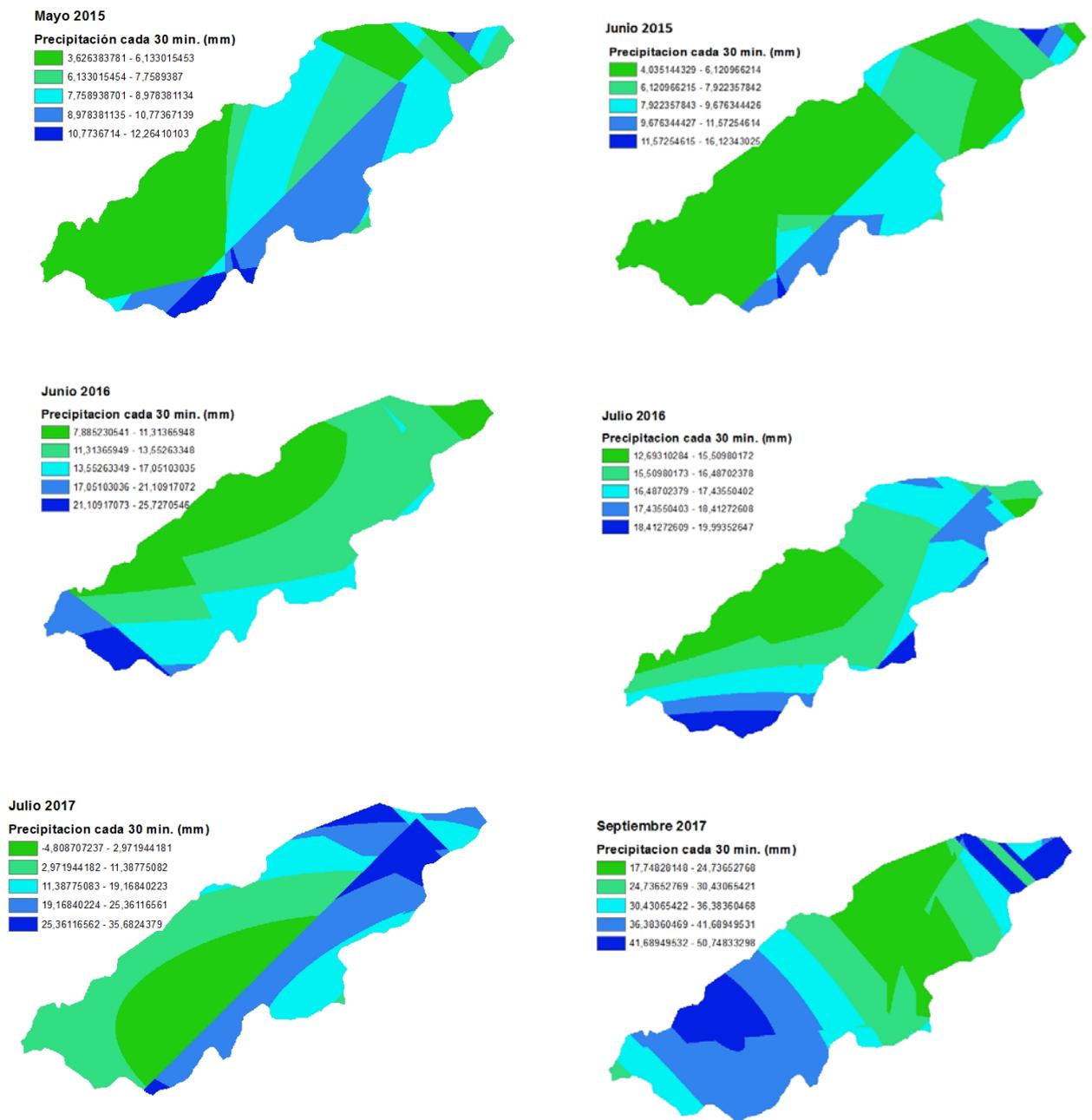
**Figura 4.9. Usos de la Tierra por mes en los años 2015, 2016 y 2017.**

## **4.2. Estimar los procesos físicos de producción de sedimentos en la cuenca del río Yaracuy**

Los valores de la producción de sedimentos,  $q_s$ , obtenidos para cada mes de estudio con el Método de Langbein-Schumm, ecuación 2.14 y los factores involucrados en el cálculo de  $q_s$  están representados con mapas, en la figura 4.11 está la precipitación,  $P$ , cada 30 minutos para cada mes donde los valores menores de precipitación se registraron en mayo de 2015 en un rango de 7,88 mm a 25,727 mm y el rango más alto en septiembre de 2017 es de 17,74 mm a 50,74 mm.

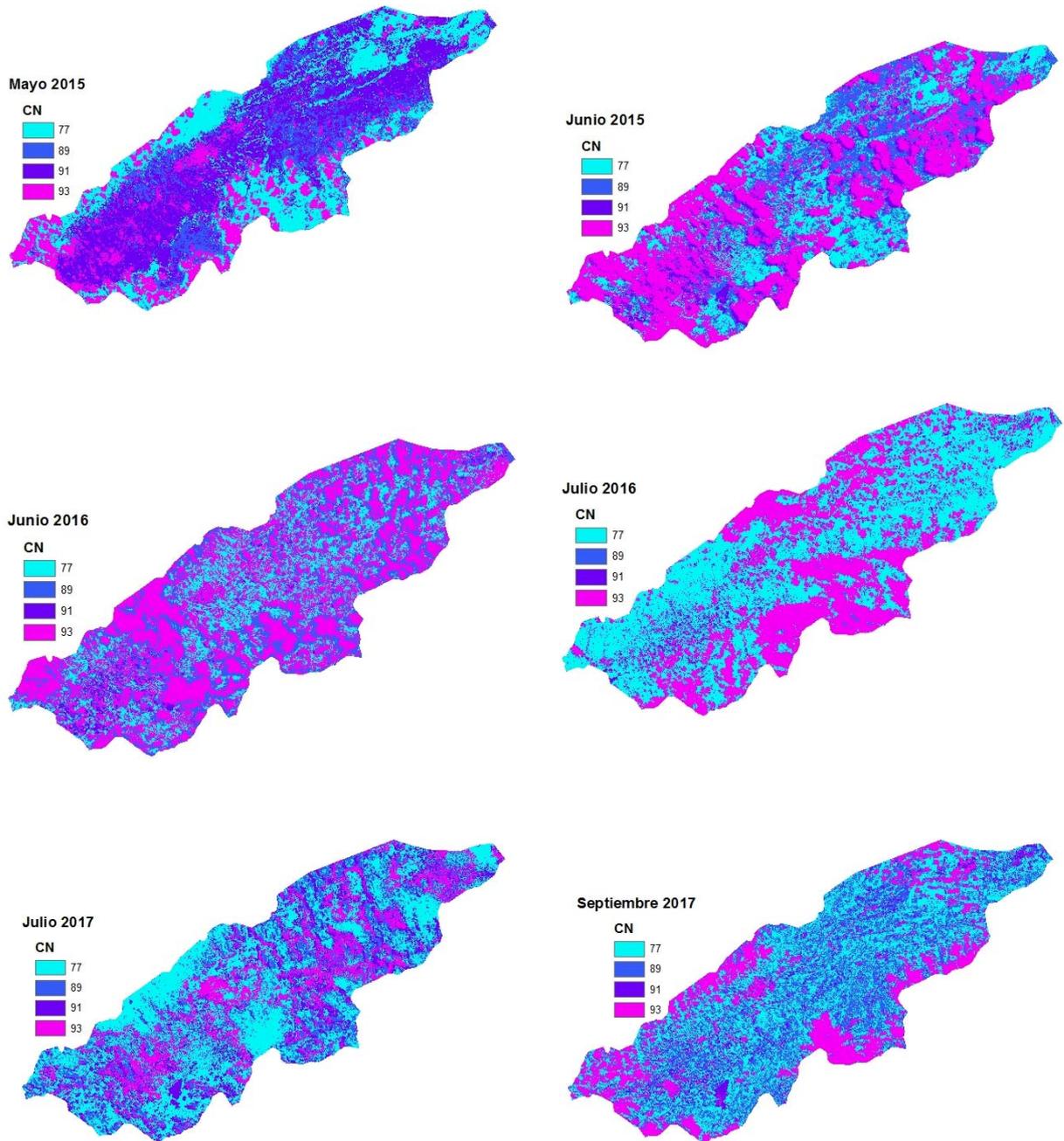
En la figura 4.12 se muestran los valores del número de curvas, CN, con condición de humedad antecedente normal, los mismos fueron tomados de la tabla 2.1 para el tipo de suelo D, alto potencial de escorrentía, para suelos con infiltración muy lenta, nivel freático alto permanente; estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta (Guevara y Cartaya, 2004), de acuerdo al mapa de suelo mostrado en la figura 3.2.

Los valores de CN están entre 77 y 93. El número de curvas 77 está asociada a los bosques con buena cobertura y 93 de las áreas urbanas. Con estos valores de CN se calcularon los valores de la capacidad útil de almacenamiento,  $S$ , como se muestra en la figura 4.12.



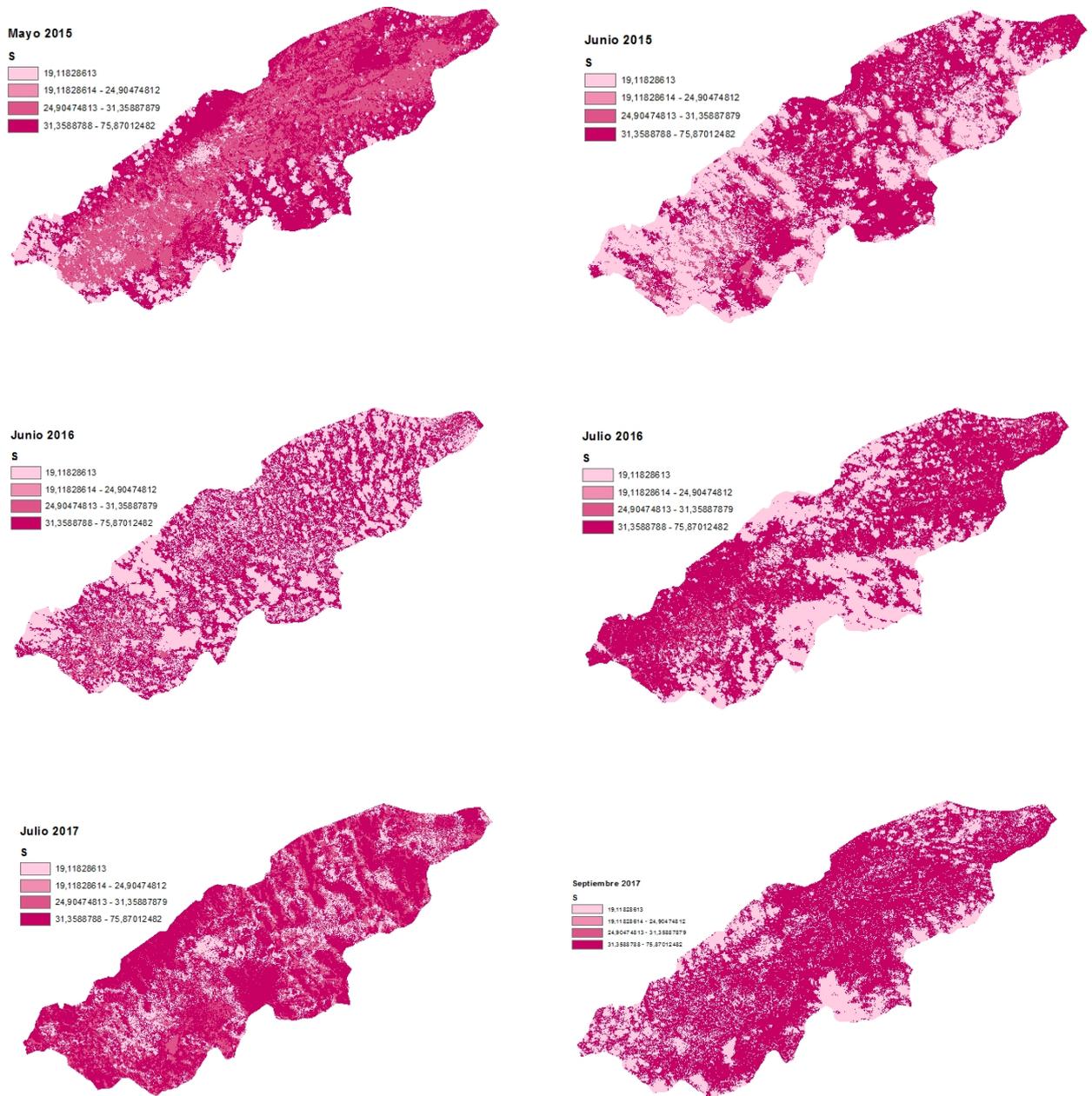
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.10. Precipitación medida durante 30 minutos en la cuenca del río Yaracuy.**



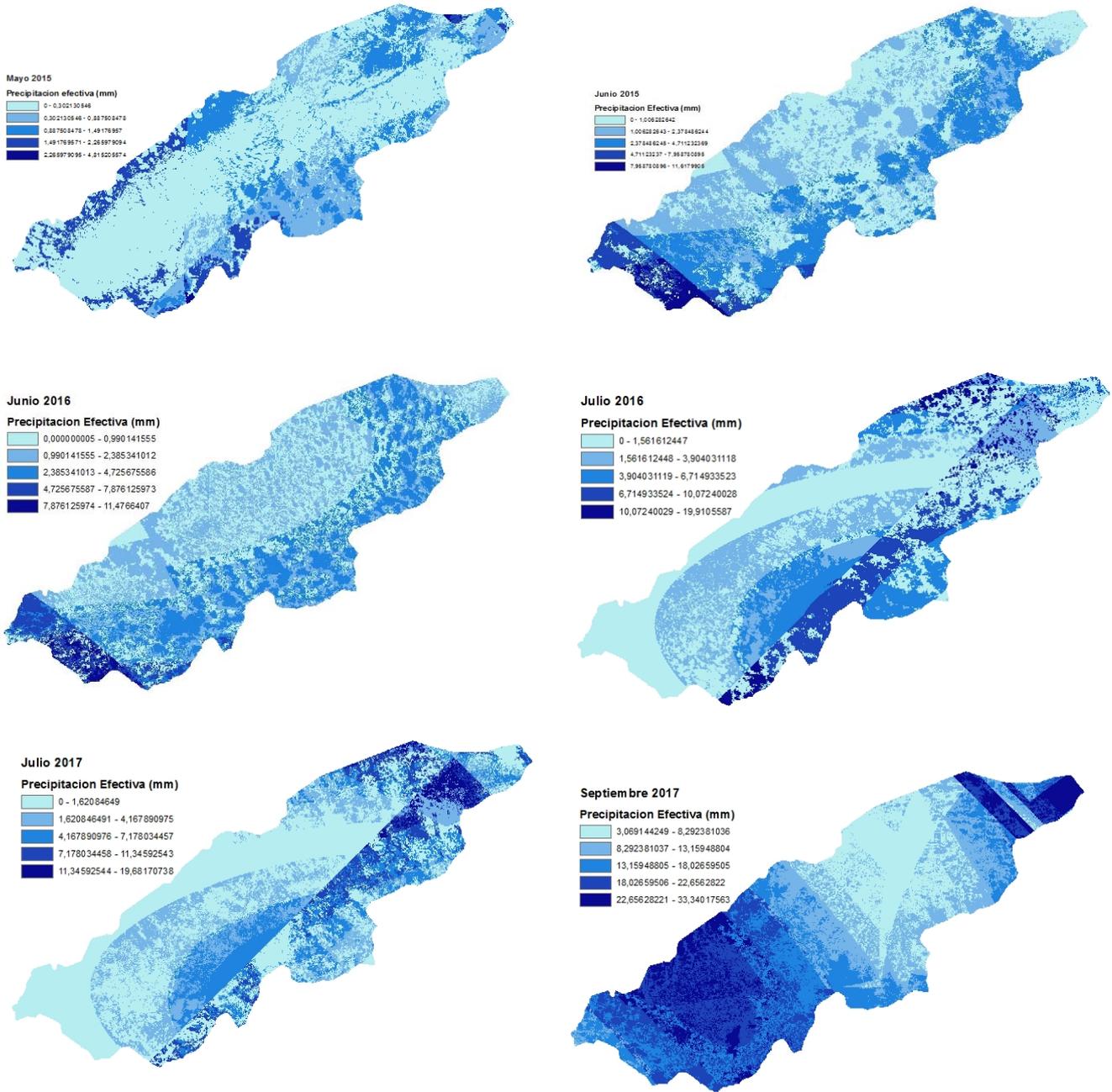
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.11. Numero de Curvas (CN) en la cuenca del río Yaracuy**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.12. Capacidad útil de almacenamiento (S) en la cuenca del río Yaracuy.**

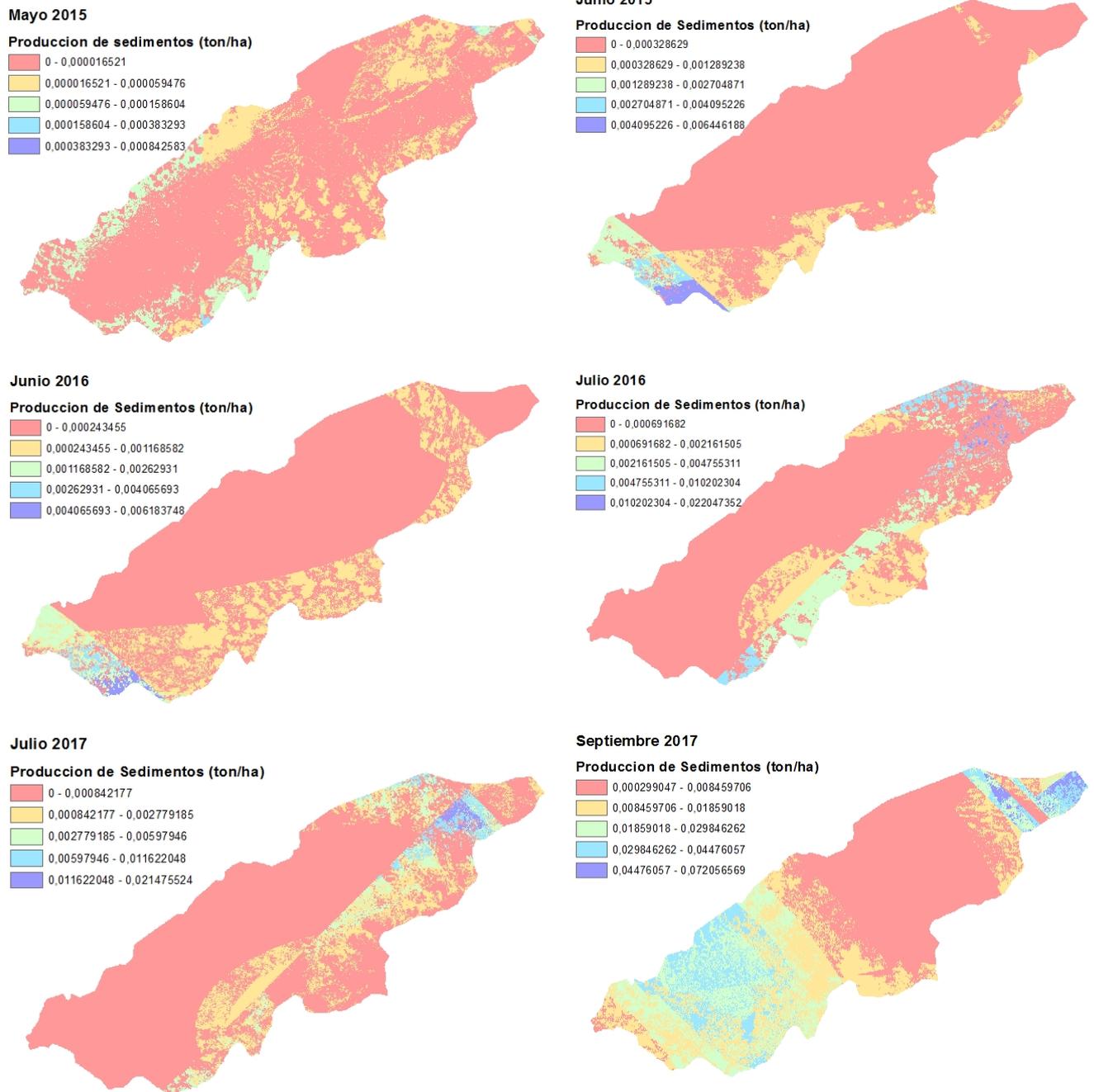


Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.13. Lluvia efectiva (Pe) en la cuenca del río Yaracuy.**

La precipitación efectiva, figura 4.13, está dada por los valores de S y P, de acuerdo a la ecuación 2.20, los valores mayores de precipitación efectiva están dentro del rango 3,06 (mm) y 33,39(mm) para el mes de septiembre de 2017, estos valores de lluvias efectiva, ocurren en la cuenca alta del río Yaracuy y en la desembocadura del río Principal y el rango de valores más bajos de esta variable ocurren en el mes de mayo de 2015 y ocurren en las zonas montañosas de la cuenca alta y un poco en la desembocadura del río al mar Caribe, y varían dentro del rango de 0(mm) a 4,81(mm). En general en todos los meses de este estudio se puede observar en los mapas de precipitación efectiva, que los valores más altos ocurren en las zonas montañosas y con abundante vegetación.

La producción de sedimentos (qs) está influenciado por las lluvias ocurridas en los años del estudio. La mayor producción de sedimentos varía en el rango entre 0 y 0,073 ton/ha para septiembre de 2017, y se ubica en la cuenca alta del río Yaracuy y la desembocadura del río Yaracuy en el mar. Durante mayo 2015, se registran los valores más bajos de producción de sedimentos y varían entre 0 y 0,0017 ton/ha. (Figura 4.14). En la cuenca del río Yaracuy la actividad principal es la agricultura por tanto la cobertura del suelo son las actividades agrícolas, vegetación y suelo degradado. La precipitación causa la mayor cantidad de sedimentos en la cuenca. Como sucedió en este estudio donde los valores más altos de producción de sedimentos ocurrieron en el mes de septiembre de 2017 donde los registros de lluvia fueron los más altos.

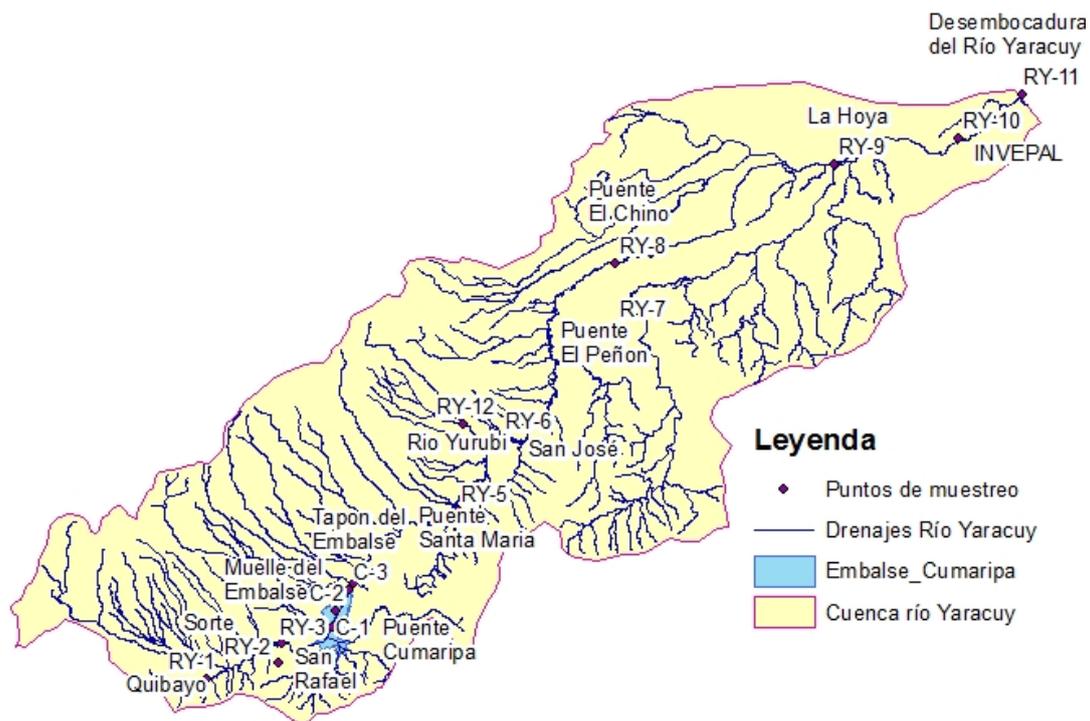


Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.14. Producción de sedimentos (qs) en la cuenca del río Yaracuy.**

### 4.3 Determinar la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Yaracuy.

La ubicación y distribución de los puntos de muestreo utilizados con información de calidad del agua, se observan en la Figura 4.15.



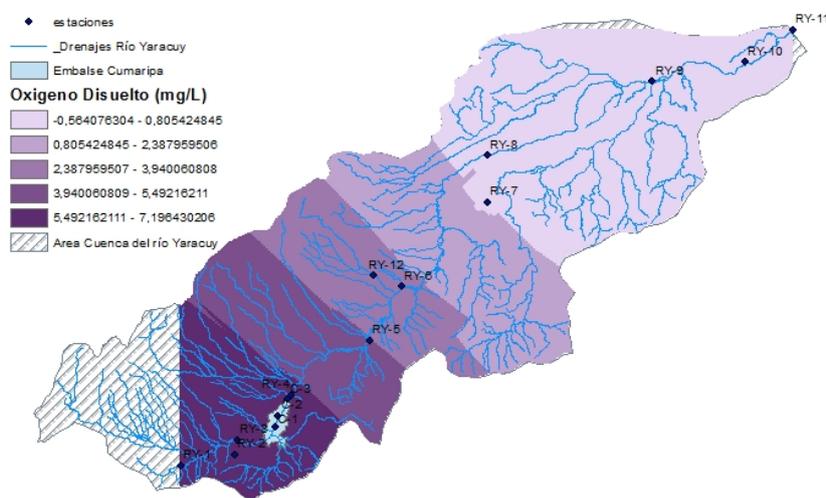
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15. Localización de los puntos de muestreo en la cuenca del río Yaracuy.

Aplicando la metodología descrita en este estudio, se generaron mapas de isoconcentraciones para cada parámetro establecido, se observó cada distribución

espacial para ver donde se concentran los niveles más altos y bajos de cada variable en estudio en toda la cuenca.

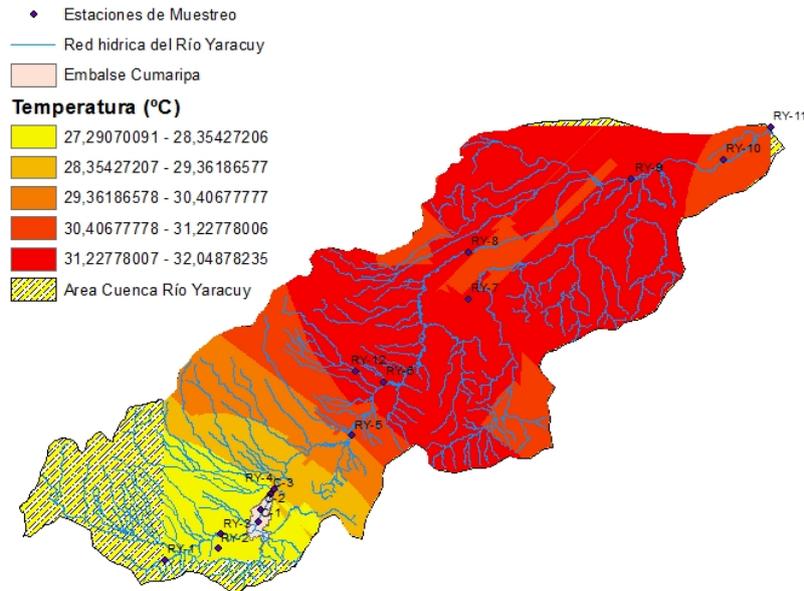
### 4.3.1 Oxígeno Disuelto



**Figura 4.16. Distribución espacial de las concentraciones de Oxígeno Disuelto (mg/l) en la cuenca del río Yaracuy.**

Para el Oxígeno Disuelto (mg/l) se observa en el mapa (figura 4.16) como las concentraciones van disminuyendo, desde 7,19 mg/l en la cuenca alta, y a medida que van hacia la cuenca baja del río Yaracuy hasta llegar a la desembocadura del río Yaracuy donde ocurren los con registros más bajos.

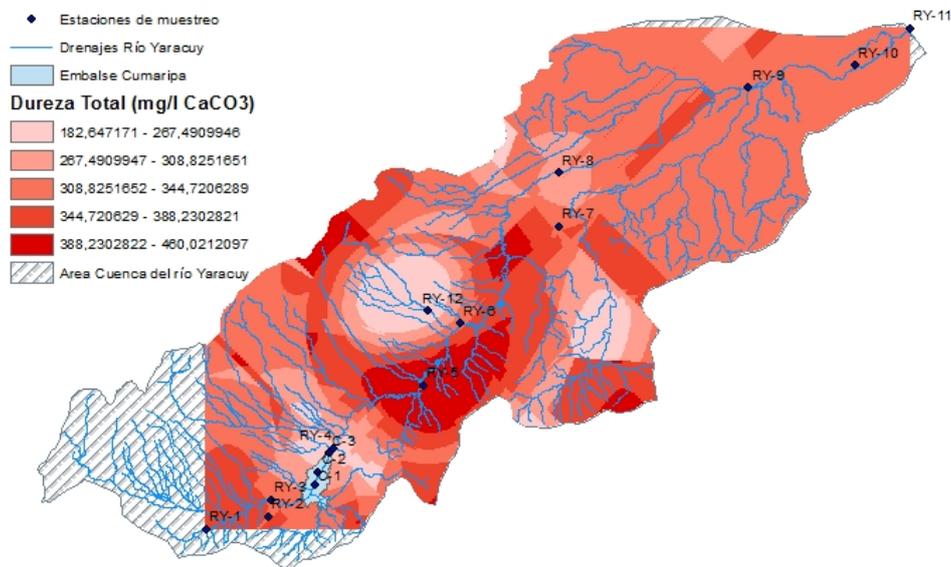
### 4.3.2 Temperatura



**Figura 4.17. Distribución espacial de la Temperatura (°C) en la cuenca del río Yaracuy.**

Los registros de temperatura, (Figura 4.17) varían entre 27,29-32,05 (°C), y aumentan a medida que disminuye la altitud, los valores mayores ocurren hacia la salida del mar, en la cuenca baja del río Yaracuy.

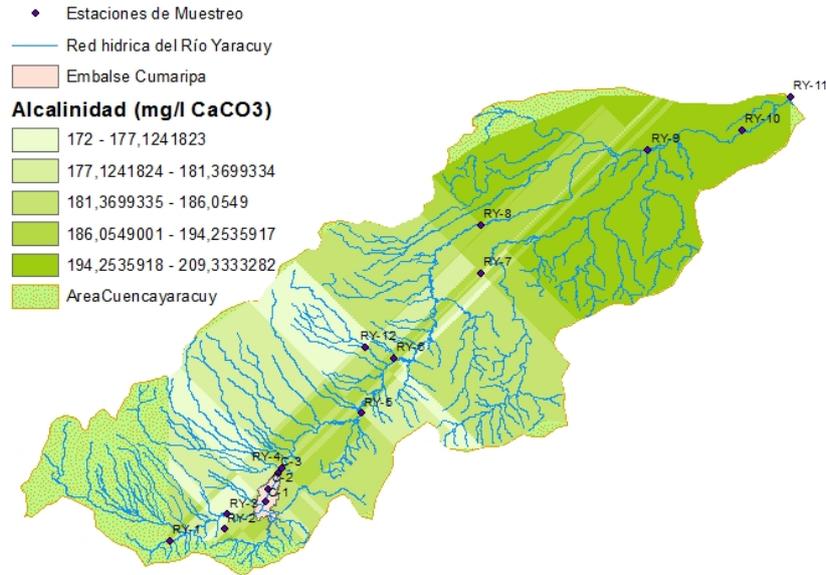
### 4.3.3 Dureza total



**Figura 4.18. Distribución espacial de las concentraciones de Dureza total (mg/L CaCO<sub>3</sub>) en la cuenca del río Yaracuy.**

Los valores registrados están entre 182,64-460,02 (mg/L CaCO<sub>3</sub>), los valores menores se ubican en la cuenca media del río Yaracuy, en la salida del embalse y en el río Yurubí en la ciudad de San Felipe, donde se concentra la mayor población del estado Yaracuy. Y las mayores concentraciones están en el puente Santa María, también la cuenca media del río Yaracuy.

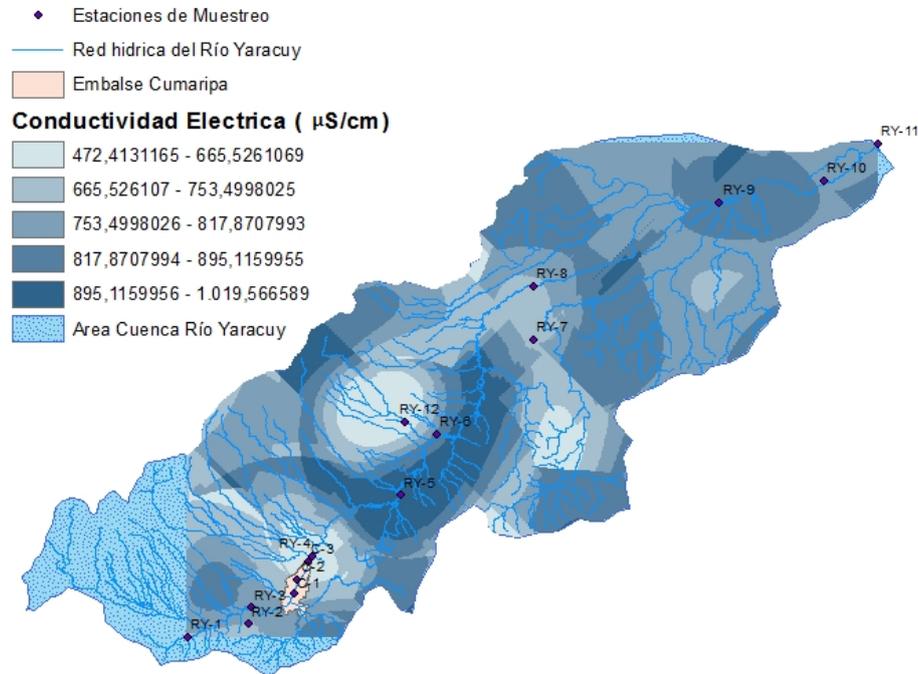
#### 4.3.4 Alcalinidad Total



**Figura 4.19. Distribución espacial de las concentraciones de Alcalinidad total (mg/L CaCO<sub>3</sub>) en la cuenca del río Yaracuy**

Las concentraciones de la alcalinidad total varían ente 172-209,333 (mg/lCaCO<sub>3</sub>), las mínimas en la cuenca media a la salida del embalse y en el río Yurubí y estos valores aumentan a medida que se acerca a la desembocadura del río Yaracuy, en la cuenca baja.

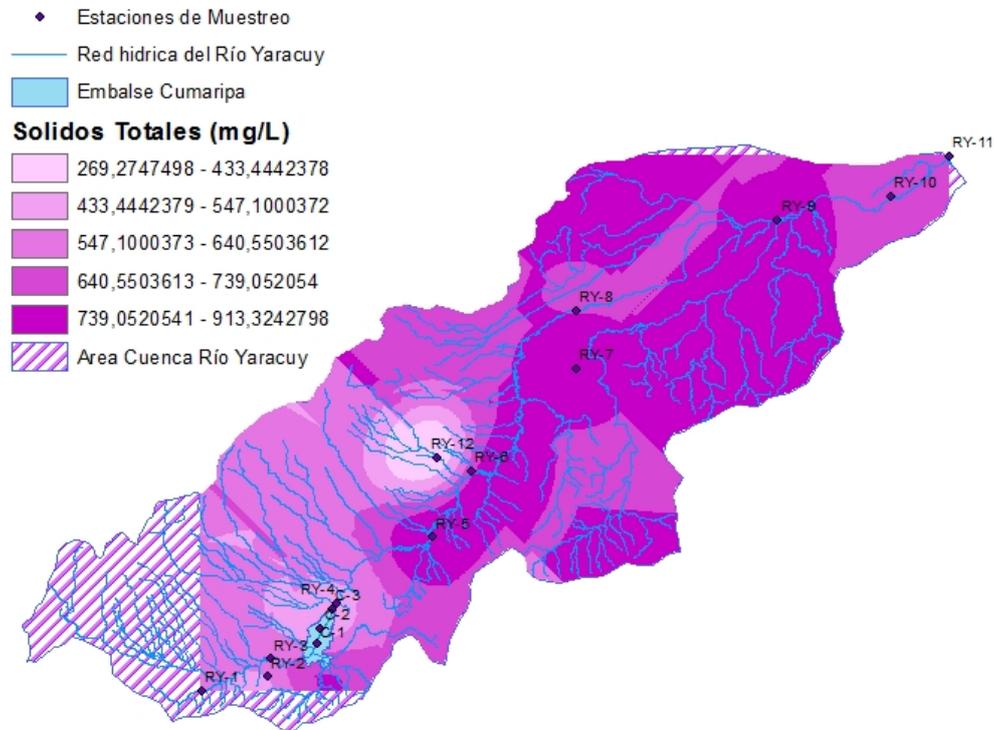
### 4.3.5 Conductividad eléctrica



**Figura 4.20. Distribución espacial de la Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la cuenca del río Yaracuy**

Las concentraciones más bajas se registran a la salida del embalse Cumaripa y en el río Yurubí, cuenca media del río Yaracuy, y valores mayores en la cuenca baja del río Yaracuy específicamente en INVEPAL; y en San José y el puente Santa Maria ambos puntos de muestreo de la cuenca media, con valores que varían entre 472,41-1019,56 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

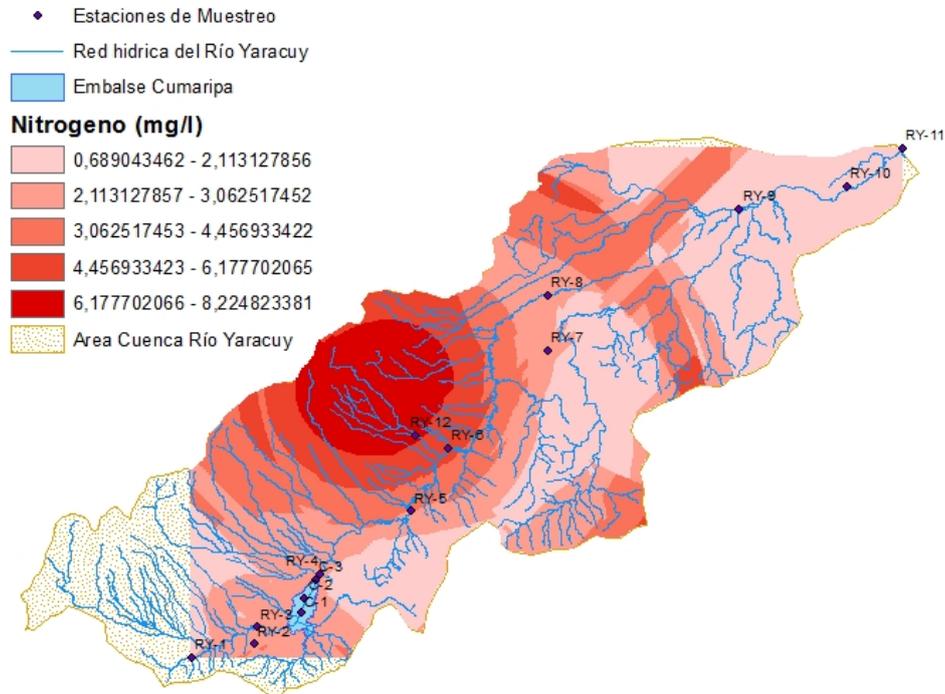
### 4.3.6 Sólidos totales



**Figura 4.21. Distribución espacial de la concentración de Sólidos Totales (mg/l) en la cuenca del río Yaracuy**

En el mapa se observan isoconcentraciones con valores más bajos en los puntos de muestreo de la salida del embalse y en el río Yurubí, cuenca media, y los mayores en la cuenca baja, con un rango de concentraciones entre 269,27-913,32 mg/L.

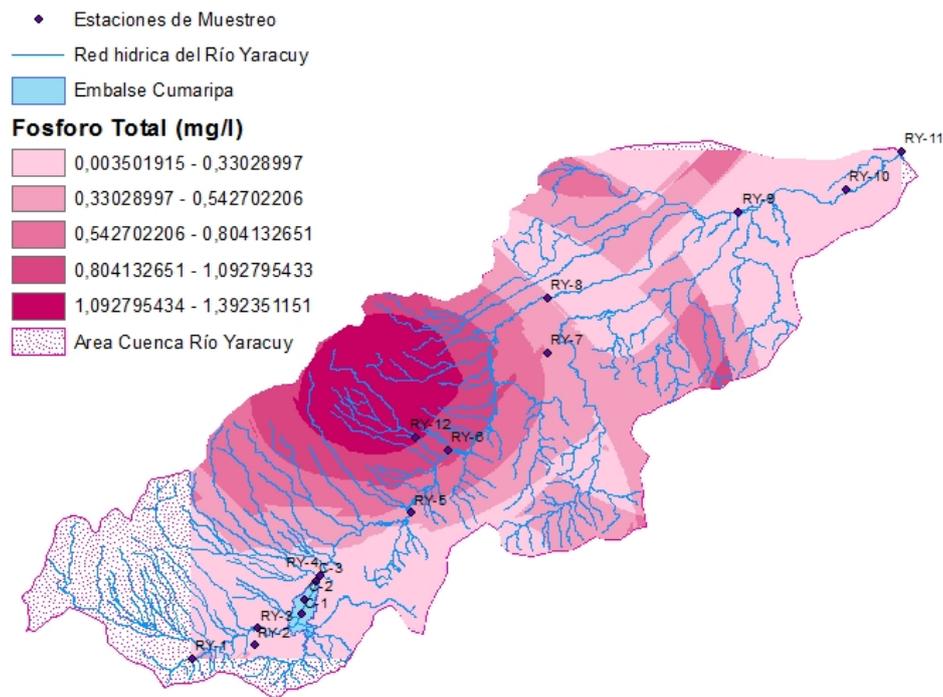
### 4.3.7 Nitrógeno total



**Figura 4.22. Distribución espacial de las concentraciones Nitrógeno Total (mg/l) en la cuenca del río Yaracuy**

Las concentraciones varían entre 0,68-2.26 (mg/L), se observa una concentración mayor en el río Yurubí, cerca de la población de San Felipe, cuenca media, estas concentraciones van disminuyendo hacia la cuenca baja hasta la desembocadura del río Yaracuy.

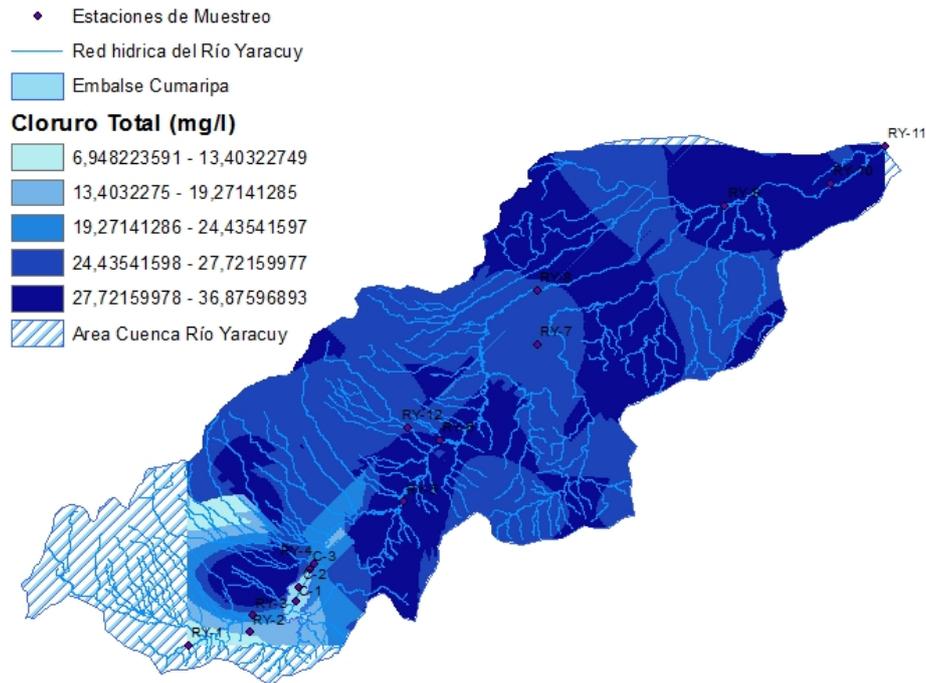
### 4.3.8 Fosforo Total



**Figura 4.23. Distribución espacial de las concentraciones Fósforo Total(mg/l) en la cuenca del río Yaracuy**

La mayor concentración es en el río Yurubí cerca a la población más grande, dentro de la cuenca media, y los valores menores en la cuenca alta y en la cuenca baja, Estas concentraciones están entre 0,003-1,3923 (mg/L).

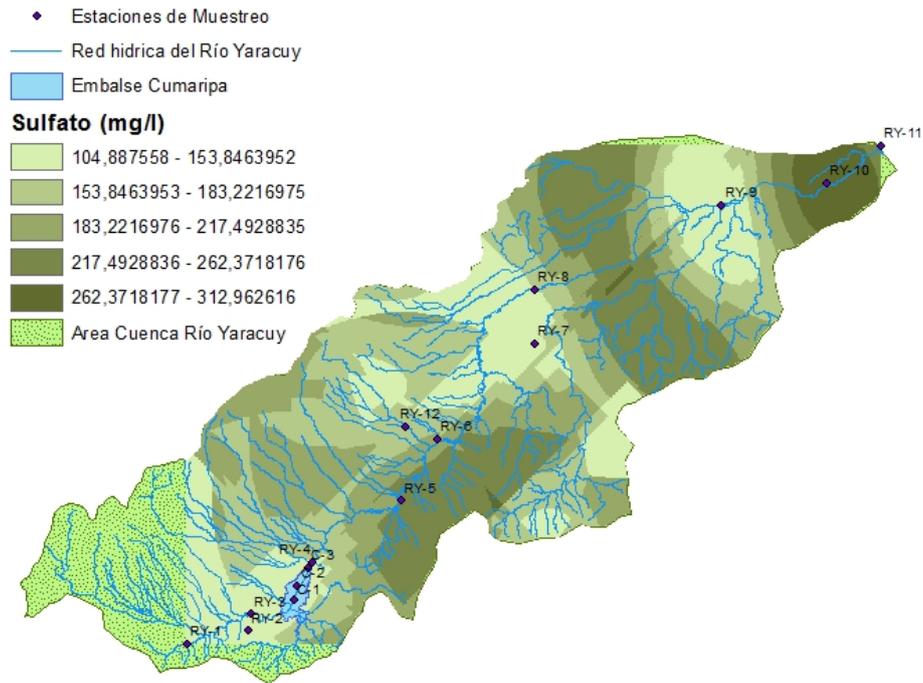
### 4.3.9 Cloruro Total



**Figura 4.24. Distribución espacial de las concentraciones Cloruro Total(mg/l) en la cuenca del río Yaracuy**

Las concentraciones varían entre 6,948-36,8759 (mg/L) los valores más altos se encuentran en el embalse en la cuenca alta, en San José en la cuenca media y en INVEPAL (RY-10) y la desembocadura del río en la cuenca baja; y los valores más bajos en la cuenca alta antes de llegar al embalse y después del embalse, se reducen a la salida del embalse.

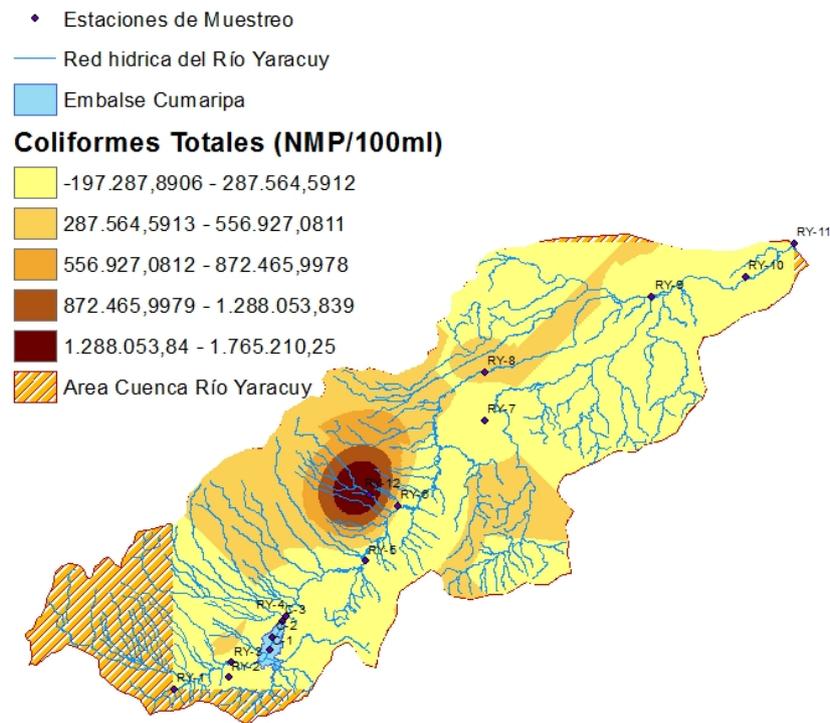
### 4.3.10 Sulfato



**Figura 4.25. Distribución espacial de las concentraciones de Sulfato(mg/l) en la cuenca del río Yaracuy**

Los valores más bajos se observan en la cuenca alta del río Yaracuy, en La Hoya y El puente es Peñón de la cuenca media, y el registro de mayor concentración está ubicada la empresa INVEPAL en la cuenca baja.

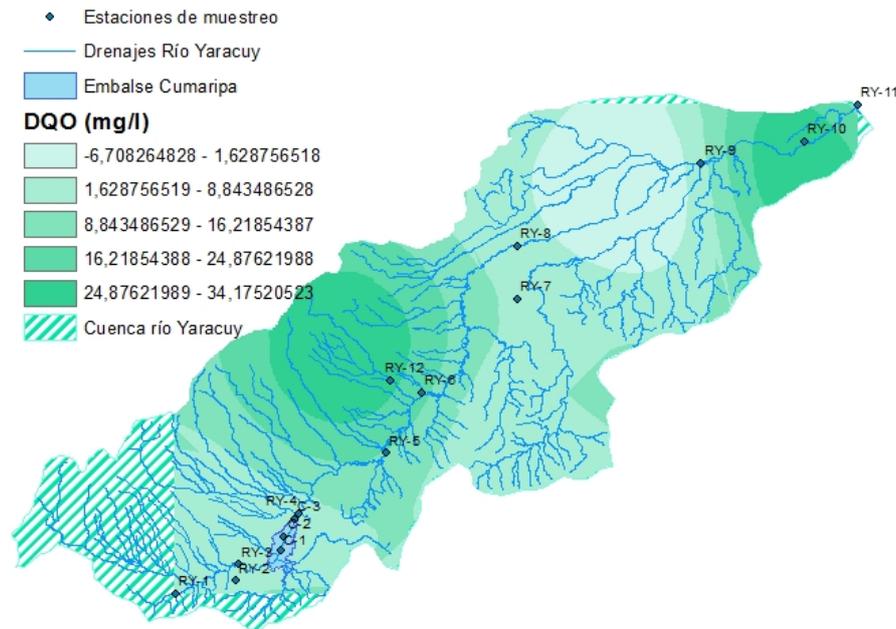
#### 4.4.11 Coliformes Totales



**Figura 4.26 Distribución espacial de los Coliformes totales (NPM/100ml) en la cuenca del río Yaracuy.**

Los valores más altos se observan en la cuenca media, en el casco de la ciudad de San Felipe, esta cuenta con la mayor densidad de población en todo el estado. Dichas concentraciones superan los 1000 NPM/100ml.

#### 4.4.12 DQO



**Figura 4.27** Distribución espacial de DQO (mg/l) en la cuenca del río Yaracuy.

Las concentraciones de DQO más altas se observan claramente en el mapa que se encuentran cerca de la ciudad de San Felipe en la cuenca media y en INVEPAL en la cuenca baja donde aguas arriba de este punto de muestreo se registraron los valores más bajos de esta variable.

#### **4.4 Analizar la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Yaracuy.**

Con los mapas generados de cada una de las variables de calidad de agua se logró la distribución espacial de las mismas.

##### **4.4.1 Oxígeno disuelto**

El nivel más alto de oxígeno disuelto indica mejor calidad, la solubilidad del oxígeno en el agua está directamente relacionada con la presión atmosférica y de forma inversa con la temperatura y la concentración de sales, a mayor presión atmosférica el agua contiene más oxígeno, por tanto, en las zonas altas, cuenca alta, se registran valores más altos de oxígeno disuelto. El agua más fría puede guardar más oxígeno que el agua caliente, tal y como se observan ambos fenómenos en la *figura 4.16* donde los registros de Oxígeno disuelto disminuyen a medida que van acercándose a la desembocadura del río Yaracuy, en la misma medida que aumenta la temperatura a lo largo de la cuenca donde se registran temperaturas mas altas en la cuenca baja del río Yaracuy y disminuye la altitud.

Los valores establecidos por la norma para la clasificación y control de la calidad de las aguas en la cuenca del río Yaracuy; determina que el valor de los Niveles de Oxígeno Disuelto debe ser mayor de 4,0 mg/l. Los niveles de Oxígeno Disuelto para el año 2015 de los puntos de muestreo desde Quibayo, RY-1, en la cuenca alta hasta el puente Santa Maria, RY-5, son mayores que el valor constituido por lo que está dentro de la norma, quiere decir que la oxigenación del agua actúa mediante la

disponibilidad que se encuentre el ambiente para un buen metabolismo de la fotosíntesis, y cumple con la norma, a partir de esa estación de muestreo los valores de la variable empiezan a disminuir por debajo del valor mínimo permitido por la norma, lo que quiere decir que los niveles de OD en la cuenca baja no cumplen con los parámetros establecidos.

#### **4.4.2 Temperatura**

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

La temperatura aumenta en la medida que disminuye la altitud tal como ocurre en la cuenca en estudio, *figura 4.17*. A mayor altura menor temperatura, los registros con temperaturas menores están en la cuenca alta del río Yaracuy y las más altas en la desembocadura del río Yaracuy.

#### **4.4.3 Dureza Total**

Los valores establecidos por la norma para la clasificación y control de la calidad de las aguas en la cuenca del río Yaracuy deben poseer un Nivel menor 500 mg/l. Todos los valores registrados de esta variable para el año 2015 en la cuenca del río Yaracuy están por debajo de este valor, por lo que se consideran que están cumpliendo con la norma. En la figura 4.18 se observan como los registros de DT del agua tienen menores valores en la cuenca media en la salida del embalse y en el punto de muestreo del río Yurubí.

Las aguas se pueden clasificar de acuerdo al valor de la dureza total ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ ).

**Tabla 4.11 Clasificación del agua según el valor de la dureza total**

| Dureza Total (mg/l $\text{CaCO}_3$ ) | Interpretación |
|--------------------------------------|----------------|
| 0-75                                 | agua suave     |
| 75-150                               | agua poco dura |
| 150-300                              | agua dura      |
| >300                                 | agua muy dura  |

(Siegert, 1998)

Según esta clasificación se pueden considerar las aguas de la cuenca del río Yaracuy como agua dura y muy dura.

#### 4.4.4 Alcalinidad total

La alcalinidad, permite identificar la capacidad del ecosistema acuático de amortiguar la concentración de compuestos ácidos, así como de los carbonatos, bicarbonatos y ácido carbónico.

En la Figura 4.19 se observa que los valores más altos de alcalinidad están presentes en la cuenca baja, evidencia de una elevada actividad amortiguadora, esta situación se relaciona con la actividad agropecuaria e industrial en esta zona, en la cuenca baja se encuentran varias empresas que aportan su descarga másica al río Yaracuy. Las estaciones de la salida del embalse y la del río Yurubí presenta los valores más bajos, este comportamiento se debe en gran medida a la presencia de las compuertas de desagüe, en el embalse Cumaripa, y aguas arriba de la estación RY-12, en el río Yurubí existe un dique de la planta de tratamiento de agua potable, en ambos casos se mantiene un flujo constante de agua.

#### **4.4.5 Conductividad Eléctrica**

Expresa la concentración total de sales solubles contenidas en las aguas de riego. Para interpretar la calidad de agua para riego, se utilizan una serie de parámetros que evalúan el posible riesgo de deterioro del suelo y la afectación que su uso pueda tener sobre la producción agrícola, entre los que está la Conductividad eléctrica (CE) o Sales Totales. Por lo que se puede determinar la salinidad a partir de esta variable.

Según los criterios de peligro de salinización y restricciones de uso de las aguas empleadas para riego según el Laboratorio de Salinidad de Riverside indica que los valores más bajos, en la cuenca media, las aguas son aptas para el riego mientras que en el Puente Santa María, RY-5 y en la cuenca baja apta con precauciones, figura 4.20.

#### **4.4.6 Sólidos Totales Disueltos**

Los STD presentes en el agua de la cuenca proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales.

Los valores establecidos por la norma para la clasificación y control de la calidad de las aguas en la cuenca del río Yaracuy determina que el valor de los Niveles de STD debe ser menor de 1500 mg/l. Mediante los resultados arrojados en el año 2015 los datos se encuentran por debajo al valor establecido, figura 4.21.

En la Cuenca Media y parte de la cuenca baja, los valores de concentraciones de sólidos totales se elevan en las estaciones RY5, RY6, RY7 y RY9 donde se observa una elevación de las concentraciones en ese Sector, quizás se atribuya a la actividad

de extracción de minerales no metálicos que se encuentra establecida cerca de estas zonas.

Es importante acotar que las variables STD, CE, Dureza total y Alcalinidad tienen comportamientos similares en la distribución espacial, mostrando valores mínimos, para estas variables, en los puntos de muestreo de la salida del Embalse y la toma del Río Yurubí. Ver figuras 4.20 a la 4.22.

#### **4.4.7 Nitrógeno total**

El comportamiento de la variable cambia con respecto a las anteriores, en este caso los valores más altos de nitrógeno total se registran en la cuenca media y se observan isoconcentraciones en esta zona (figura 4.22), que es de aprovechamiento agrícola y de las más pobladas del estado, tomando en cuenta que los nutrientes como el nitrógeno, son los mayores constituyentes de los fertilizantes agrícolas, desechos de animales y aguas municipales, que son arrastrados por la escorrentía o descargados al río Yaracuy, y otro punto donde se registran valores altos en la zona donde se encuentran las empresas que descargan efluentes al río, contribuyendo al aumento de los niveles de nitrógeno total en la cuenca.

#### **4.4.8 Fósforo Total**

El comportamiento de las concentraciones de Fosforo total en la cuenca tiene la misma tendencia que el nitrógeno total (figura 4.23).

El fosforo también es un constituyente de los fertilizantes agrícolas, desechos animales y aguas municipales, por lo que los niveles más altos se registran en la

cuenca media, en la zona de aprovechamiento agrícola y la ciudad de San Felipe, la capital del estado Yaracuy.

#### **4.4.9 Cloruros**

Los valores establecidos por la norma para la clasificación y control de la calidad de las aguas en la cuenca del río Yaracuy deben poseer un nivel menor 600 mg/l de Cloruros, en el año 2015 los valores en toda la cuenca cumplen con la norma estando por debajo del límite, figura 4.24. Los valores mas altos de cloruros ocurren en la cuenca baja donde se realizan descargas al río Yaracuy de los efluentes de las empresas que allí se encuentran establecidas, además que esta variable es afectada por el agua del mar, estas tienen valores muy altos de cloruros e invaden las aguas de los ríos que desembocan en ella, el agua salada por ser mas densa viaja río arriba por debajo del agua dulce que fluye río abajo.

#### **4.4.10 Sulfatos**

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se descargan a través de los desechos industriales.

La norma para la clasificación y control de la calidad de las aguas en la cuenca del río Yaracuy; determina que el valor de los niveles de Sulfato debe ser menor de 400 mg/l. En cuanto a este elemento, los datos registrados en toda la cuenca están por debajo de este valor establecido. En la figura 4.25 se observan valores mas altos en las zonas donde se encuentran la empresa INVEPAL que descarga efluentes en el río Yaracuy. Los mas bajos en la cuenca alta y la estación de la Hoya RY-9.

#### **4.4.11 Coliformes Totales**

La presencia de Coliformes en aguas superficiales indica contaminación proveniente de residuos humanos, animales o erosión del suelo separadamente, o de una combinación de las tres fuentes.

Los valores establecidos por la norma para la clasificación y control de la calidad de las aguas en la cuenca del río Yaracuy describe que los valores Coliformes Totales deben poseer un Nivel menor a 2.000 NMP/100ML, todos los registros en la cuenca están muy por encima de este valor, presentando niveles mas altos en la estación de muestreo del Río Yurubí en la cuenca media, debido principalmente a las descargas del efluente doméstico de las principales localidades del municipio San Felipe.

En la cuenca alta, aguas arriba del embalse y en la cuenca baja los niveles de coliformes totales son menores.

#### **4.4.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Los registros de con niveles más altos de DQO se encuentran en la cuenca media, en la estación RY-12, en San Felipe, claramente influenciado por la actividad antrópica y descargas municipales y en la estación RY-10, en la empresa INVEPAL donde se descargan efluentes al río Yaracuy.

Por otro lado, los niveles más bajos están en la cuenca baja entre la estación RY-8 y RY-9, con este parámetro se puede calcular las descargas de los efectos de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad del agua.

#### **4.5 Evaluar la influencia del uso de los recursos de la cuenca del Río Yaracuy sobre la calidad del agua del Embalse Cumaripa.**

El embalse Cumaripa se encuentra ubicado en la cuenca alta del río Yaracuy aguas abajo de los municipios Urachiche y Bruzual. En estos municipios se realizan actividades residenciales, agropecuarias e industriales que impactan en la calidad de agua del embalse bien sea por descargas de efluentes directamente al río Yaracuy, o también arrastrados por la escorrentía, incidiendo directamente en la calidad del agua del embalse Cumaripa, que abastece de agua potable a gran parte de la población de los municipios San Felipe, Cocorote, Independencia, Arístides Bastidas y Sucre, también es utilizado con fines de riego y para actividades deportivas y recreacionales.

El impacto de las actividades antrópicas establecidas en la cuenca alta del río Yaracuy se ven reflejado en los parámetros de calidad de agua registrados en el embalse en sus 3 estaciones de muestreo y al ser comparados con los valores establecidos con la norma, Decreto 2181, se tiene que no todos cumplen con la misma, como se muestra en las tablas 4.12 y 4.13, para los periodos de sequía y lluvia.

En el periodo seco se tienen que los niveles de Oxígeno Disuelto en C-1, no cumplen con los parámetros establecidos por la norma en ninguna de las clasificaciones.

**Tabla 4.12. Parámetros de Calidad de Agua del Embalse Cumaripa, 04/06/2015 (periodo sequia)**

| Parámetros                  | Unidad                 | C-1   | C-2  | C-3  | Decreto 2.181 - Valores permitidos |  |   |
|-----------------------------|------------------------|-------|------|------|------------------------------------|--|---|
|                             |                        |       |      |      | tipo 1 sub tipo 1B                 | Tipo 2, sub tipo 2B                        | Tipo 4, sub tipo 4B                       |
| Oxígeno Disuelto            | mg/L                   | 2,2   | 6,0  | 5,7  | Mayor de 4,0 mg/L                  | 3,0 mg/L mínimo                            | Mayor de 5,0 mg/L                         |
| Temperatura                 | °C                     | 26,5  | 26,8 | 26,6 | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Dureza Total                | mg/L CaCO <sub>3</sub> | 349   | 235  | 252  | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Alcalinidad Total           | mg/L CaCO <sub>3</sub> | 238   | 111  | 110  | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Conductividad Eléctrica     | µS/cm                  | 769   | 608  | 612  | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Solidos Totales             | mg/L                   | 566   | 488  | 480  | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Solidos Totales Disueltos   | mg/L                   | 516   | 386  | 390  | 1.500 mg/L                         | 3.000 mg/L                                 | No Establecido                            |
| Solidos Totales Suspendidos | mg/L                   | 50    | 102  | 90   | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Dureza Cálctica             | mg/L CaCO <sub>3</sub> | 290   | 178  | 182  | 500 mg/L                           | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Calcio                      | mg/L                   | 116   | 71   | 86   | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Magnesio                    | mg/L                   | 14    | 14   | 12   | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Nitrógeno Total             | mg/L                   | 3,6   | 2,2  | 1,8  | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Fosforo Total               | mg/L                   | 0,12  | 0,04 | 0,31 | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Cloruro                     | mg/L                   | 23    | 24   | 24   | 600 mg/L                           | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Sulfato                     | mg/L                   | 97    | 117  | 204  | 400 mg/L                           | No Establecido                             | No Establecido                            |
| pH                          | Adimensional           | 6,77  | 7,36 | 7,52 | Mínimo 6,0 y máximo 8,5            | No Establecido                             | Mínimo 6,5 máximo 8,5                     |
| Demanda Química de Oxígeno  | mg/L                   | 5     | <5   | 7,4  | No Establecido                     | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Aceites y Grasas            | mg/L                   | <1    | <1   | <1   | 0,3 mg/L                           | No Establecido                             | 0,3 mg/L                                  |
| Fenoles                     | mg/L                   | 0,21  | 0,08 | 0,15 | 0,002 mg/L                         | No Establecido                             | No Establecido                            |
| Coliformes Totales          | NMP/100 ml             | 7.900 | 230  | 20   | 10.000 NMP/100ml                   | Promedio mensual menor a 5.000 NMP/100 ml  | Promedio mensual menor a 5.000 NMP/100 ml |
| Coliformes Fecales          | NMP/100 ml             | 2.300 | 230  | <1,8 | No Establecido                     | Promedio mensual menor a 10.000 NMP/100 ml | Promedio mensual menor a 1.000 NMP/100 ml |

**Tabla 4.13. Parámetros de Calidad de Agua del Embalse Cumaripa, 18/11/2015 (periodo lluvia)**

| Parámetros                  | Unidad       | C-1   | C-2   | C-3   | Decreto 2.181<br>Valores permitidos                        |  |  |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|--|--|--|
|                             |              |       |       |       | tipo 1 sub<br>tipo 1B                                      | Tipo 2, sub<br>tipo 2B                             | Tipo 4,<br>sub tipo<br>4B                                |
| Oxígeno Disuelto            | Mg/L         | 6,9   | 7,3   | 7,1   | Mayor de<br>4,0 mg/l                                       | 3,0 mg/L<br>mínimo                                 | Mayor a 5,0<br>mg/l                                      |
| Temperatura                 | °C           | 28    | 27    | 21    | No<br>Establecido  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Dureza Total                | mg/L         | 250   | 225   | 245   | 500mg/l  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Alcalinidad Total           | mg/L         | 13    | 12    | 12    | No<br>Establecido  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Conductividad Eléctrica     | µS/cm        | 580   | 594   | 592   | No<br>Establecido  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Solidos Totales             | mg/L         | 389   | 470   | 409   | No<br>Establecido  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Solidos Totales Disueltos   | mg/L         | 312   | 360   | 332   | 1.500 mg/L   | 3.000 mg/L   | No<br>Establecido  |
| Solidos Totales Suspendidos | mg/L         | 77    | 110   | 77    | No<br>Establecido  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Color                       | U PT/Co      | 51    | 26    | 17    | Menor de<br>150 U Pt/Co                                    | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Turbiedad                   | NTU          | 3     | 3     | 3     | Menor de<br>250 NTU  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Cloruro                     | mg/L         | 20    | 23    | 25    | 600 mg/L   | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Nitritos                    | mg/L         | 0,009 | 0,006 | 0,011 | No<br>Establecido  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Nitratos                    | mg/L         | 1,7   | 1,6   | 1,3   | No<br>Establecido  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| pH                          | Adimensional | 7,9   | 7,8   | 7,8   | Mínimo 6,0<br>máximo 8,5                                   | No Establecido                                     | Mínimo 6,5<br>máximo 8,5                                 |
| Demanda Química de Oxígeno  | mg/L         | <3    | 3     | 5     | No<br>Establecido  | No Establecido                                     | No<br>Establecido  |
| Coliformes Totales          | NMP/100 ml   | 9.000 | 500   | 300   | Promedio<br>mensual<br>menor de<br>10.000<br>NMP/100<br>ml | Promedio<br>mensual menor<br>a 5.000<br>NMP/100 ml | Promedio<br>mensual<br>menor a<br>5.000<br>NMP/100<br>ml |
| Coliformes Fecales          | NMP/100 ml   | 800   | 40    | 40    | No<br>Establecido  | Promedio<br>mensual menor<br>a 1.000<br>NMP/100 ml | Promedio<br>mensual<br>menor a<br>1.000<br>NMP/100<br>ml |

Coliformes totales en C-1 no cumple para la clasificación Tipo 2, sub tipo 2B que son aguas destinadas a las actividades agropecuarias (riego) y tipo 4B aguas

destinadas a balnearios, deportes acuáticos y pesca, por lo tanto, dichos valores limitan los usos establecidos en la norma.

Con respecto al parámetro oxígeno disuelto, se presentan valores que se encuentran por debajo de los límites de calidad establecidos, los mismos se observan en el punto C1 que corresponde al Puente Cumaripa, donde se aprecia crecimiento abundante de plantas acuáticas. Por último, los aceites y grasas y los fenoles no cumplen con ninguna de las clasificaciones.

En el período de lluvia el parámetro de coliformes totales solo cumple para la clasificación tipo 1 subtipo 1B. Los valores de Fenoles y aceites y grasas no fueron medidos para esta época del año. En este periodo se observa que mejora la calidad del agua del embalse algunos parámetros bajan su nivel de concentración.

Es de resaltar, que considerando las actividades que se realizan en la cuenca alta, y que para la fecha de este muestreo, no existía un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales, se presentan los valores de Coliformes totales y aceites y grasas de origen mineral por encima de la Norma, esas concentraciones se encuentran altas ya que provienen de las áreas urbanas y rurales asentadas en dicha zona; con respecto al parámetro fenoles, es necesario determinar qué tipo de fenoles predominan para poder así establecer exactamente su origen; sin embargo, se puede decir que los niveles de fenoles detectados pudieran estar vinculados con las actividades de carácter agrícola e industrial por el uso de plaguicidas y

pesticidas, y también por el uso de productos derivados de la industria de perfumería y explosivos (pólvora) las cuales están relacionadas a la actividades esotéricas del área.

Por último, es importante destacar que ocurre un fenómeno importante, donde algunos parámetros de calidad de agua disminuyen su concentración dentro del embalse, para la misma fecha de muestreo, entre C-1 y C-3. La disminución más notable es en los coliformes totales de 7900 NPM/100ml a 20 NPM/100ml y Coliformes fecales de 2300 NPM/100ml a <1,8 NPM/100ml para la época seca; y de 9000 NPM/100ml a 300 NPM/100ml y Coliformes fecales de 800 NPM/100ml a 40 NPM/100ml para la época de lluvia, donde la caída de concentraciones es abrupta, evidenciando el efecto biorremediador que ocurre dentro del embalse.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

5.1.1. Las propiedades geomorfológicas de la red de drenaje y de las cuencas hidrográficas aportan un marco referencial a los efectos de definir con precisión, la escala espacial de las investigaciones en Hidrología y de esa forma unificar criterios para la delimitación espacial al momento de realizar la recolección, registros y sistematización de información producto de los trabajos empíricos. El orden de la Cuenca del Río Yaracuy es de media a alto. La relación de bifurcación es alta, tiende a permanecer constante de un orden al siguiente. La forma de la Cuenca es irregular y la densidad de la Cuenca en estudio es baja. La pendiente media de la cuenca es de media a alta, indicando terrenos fuertemente accidentados y de acuerdo con la curva hipsométrica se puede inferir que la cuenca esta erosionada y geológicamente vieja. En cuanto al uso de la tierra con la clasificación utilizada para el uso de la tierra fue posible obtener porcentajes para las áreas coberturas: vegetación, zonas agrícolas, suelo degradado y zona urbana, a partir de una imagen satelital, en este estudio los porcentajes mayores son de la cobertura de vegetación siendo el más alto el del mes de septiembre de 2017.

5.1.2. La producción de sedimentos ( $q_s$ ) está influenciado por las lluvias ocurridas en los años del estudio. La mayor producción de sedimentos ocurre en el mes septiembre de 2017, en este mismo periodo se registraron los niveles más altos de

precipitación y se ubica en la cuenca alta del río Yaracuy y la desembocadura del río Yaracuy en el mar. Durante mayo 2015, se registran los valores más bajos de producción de sedimentos y también los niveles más bajos de precipitación.

5.1.3. La distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Yaracuy permitió generar isoconcentraciones para tener una visión general del comportamiento de los mismos en toda la cuenca. El oxígeno disuelto y la temperatura registran comportamientos inversos a medida que el OD disminuye aumenta la temperatura, desde la cuenca alta hacia la cuenca baja. Las variables STD, CE, Dureza total y Alcalinidad tienen comportamientos similares en la distribución espacial, mostrando valores más bajos en la cuenca media del río Yaracuy. Lo contrario ocurre con las variables Fosforo total, Nitrógeno total, Coliformes fecales y DQO que muestran valores máximos en la distribución espacial, en la cuenca media del río Yaracuy. Por otra parte, los niveles de concentraciones de sulfato y cloruro son bajos en la cuenca alta y registran máximos en la cuenca baja del río Yaracuy.

5.1.4. Los registros de Oxígeno Disuelto disminuyen en aguas que contienen sal, a medida que van acercándose a la desembocadura del río Yaracuy, en la misma medida que aumenta la temperatura a lo largo de la cuenca donde se registran temperaturas más altas en la cuenca baja del río Yaracuy, afectando la función de los organismos aeróbicos que usan oxígeno libre para la oxidación de materia orgánica e inorgánica y forman productos finales inocuos, dándole paso a los

anaeróbicos que llevan a cabo la oxidación mediante la reducción de algunas sales inorgánicas como sulfatos y los productos finales son perjudiciales, lo que indica una alerta en la cuenca baja donde los niveles de OD son bajos y las concentraciones de sulfato son altas. A mayor altura menor temperatura, los registros con temperaturas menores están en la cuenca alta del río Yaracuy y las más altas en la desembocadura del río Yaracuy. Las variables STD, CE, Dureza total y Alcalinidad tienen comportamientos similares en la distribución espacial, mostrando valores mínimos, para estas variables, en los puntos de muestreo de la salida del Embalse y la toma del Río Yurubí, aguas arriba de este punto está un dique de la planta de tratamiento de agua potable, en la cuenca media, ambos puntos están en salidas de flujo constante de agua, y agua de mejor calidad que ayudan a disolver las concentraciones de estos parámetros. Y por último fósforo, nitrógeno, coliformes y DQO poseen registros mayores en la cuenca media donde existe mayor densidad de población corriendo riesgo a una eutrofización de las aguas, también se observan los niveles altos de cloruros y sulfuros en la cuenca baja donde están establecidas empresas que descargan efluentes al río Yaracuy.

5.1.5. En los municipios aguas arriba del embalse se realizan actividades residenciales, agropecuarias e industriales que impactan en la calidad de agua del embalse bien sea por descargas de efluentes directamente al río Yaracuy, o también arrastrados por la escorrentía, incidiendo directamente en la calidad del agua del embalse Cumaripa, prueba de ello es el parámetro coliforme totales que a la entrada del embalse presenta valores muy altos por encima del máximo permitido

por la Norma. En el embalse Cumaripa ocurre un efecto de biorremediación por lo que los valores de los parámetros de calidad de agua tienden a disminuir en la salida del mismo, las aguas contaminadas se purifican por sí mismas, siempre que se le deje en reposo durante suficiente periodo de tiempo.

## **5.2 Recomendaciones.**

5.3.1. Se recomienda continuar este estudio con imágenes satelitales para todos los meses del año, y así tener una mejor comparación entre el comportamiento de las variables estudiadas en la época de sequía y la época de lluvias.

5.2.2. Realizar caracterizaciones en los efluentes del río Yaracuy para poder realizar una mejor interpolación de los parámetros de calidad de agua para futuras investigaciones.

5.2.3. Hacer un seguimiento a las actividades que se realizan en la cuenca del río Yaracuy y hacen descargas directas sin ningún tipo de control sobre todo en las zonas con mayor densidad de población.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

**Alfonso, José.** Análisis Morfométrico de Cuencas: Caso de Estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. Instituto Nacional de Ecología. México. 2004.

**Banco Interamericano de Desarrollo** (1997). Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental. BID. Disponible en [www.Cepis.ops-oms.org](http://www.Cepis.ops-oms.org) .

**Campos, J.** Caracterización y clasificación de la red hidrográfica de la cuenca del río Bobo, departamento de Nariño, Colombia. 1992.

**Delgadillo, A y otros.** Un estudio de amenazas múltiples y vulnerabilidad en la Cuenca Media del río Chama (Andes Venezolanos). Memorias del Quinto Congreso Venezolano de Geografía. 1-14. Mérida. Venezuela. 2004.

**Delgadillo, A y Moreno.** Hidrología. Morfometría de cuencas. Memorias del Quinto Congreso Venezolano de Geografía. 1-14. Mérida. Venezuela. 2004.

**Delgadillo, A y otros.** Aspectos Hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenario de riesgos por crecidas. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Fundación para la prevención de los riesgos del estado Mérida (Fundapris). 2008.

**González, Askoa.** Análisis Morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. Departamento Geografía, Prehistoria y Arqueología. Universidad del País Vasco. España. 2004.

**González, et al,** “Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): abundancia, biomasa y producción primaria”. Universidad Central de Venezuela. 2004.

**Green, L.** El proyecto Factible. Modelo Metodológico para la Elaboración de Trabajos Especiales de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Venezuela. (S/F).

**Guardia, C.**, Estudio hidrogeológico para estimar las reservas geológicas de las aguas subterráneas en el área de mayor explotación del recurso dentro del valle alto del río Yaracuy. Trabajo de Grado. CIDIAT. Venezuela. 2005

**Guevara, Edilberto y otros.** Hidrología: Una introducción a la ciencia hidrológica aplicada. Universidad de Carabobo. Valencia.Venezuela.1991.

**Hernández S., B.** Metodología de la investigación (2da. Edición). México. Editorial McGraw Hill. 1997.

**Jardi, Montserrat.** Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía, vol. XIX. Barcelona, 1985, pp. 41-68.

**Mungia, Silvia y otros.** Características Hidro – geomorfológicas de la cuenca del arroyo Pescado Castigado, Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional del Sur. Argentina. 2003.

**Mardones, María y otros.** El patrón hidrográfico de la cuenca del río Blanco: control tectónico y geomorfológico. Universidad de Concepción (Chile).2007.

**Pérez y Colon;** Diagnostico de la calidad del agua en el embalse Cumaripa. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela, 1998

**Rossen, et al ;** “Indicadores bacterianos de contaminación fecal en el embalse San Roque (Córdoba, Argentina)”. Instituto Nacional del Agua. 2008

**Sarmiento, et al;** Evaluación del Impacto de la Contaminación del Embalse del Muña Sobre la Salud Humana. Universidad Nacional de Colombia. 1999

Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (2006). Universidad Pedagógica Experimental Libertador.. (4 Ed.) Caracas. FEDUPEL.

**VITALIS.** Situación Ambiental de Venezuela 2006. Disponible en: [www.vitalis.net](http://www.vitalis.net). 2006