

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Págs
I. INTRODUCCIÓN	
1. Justificación	1
2. Objetivos	4
3. Tipo de investigación	5
II. FACTORES GEOGRÁFICOS Y SU INFLUENCIA EN EL SISTEMA FLUVIAL	
1. Cuenca geográfica como unidad espacial	7
2. Aspectos físico geográficos a considerar en la cuenca hidrográfica	8
Aspectos externos	
• Localización geográfica	8
• Morfología	8
• Geología	9
• Clima	9
• Suelo	12
• Hidrología	12
• Vegetación	13
3. Factores internos del sistema fluvial	14
a. Características del sistema fluvial	15
• Longitud del cauce	16
• Anchura del cauce en los diferentes tramos de análisis	17
• Profundidad del cauce	17
• Patron de drenaje	18
4. Análisis y representación espacial de los factores geográficos.	20
a. Aplicación de Sistemas de Información Geográficas	20
• Osumap	20
• Idrisi	20

•	Mapinfo	22
•	Otras herramientas de trabajo	23
III.	POBLACIÓN URBANA Y SU INCIDENCIA EN EL APORTE DE VERTIDOS	
1.	Población	24
a.	Métodos de estimación de proyecciones demográficas	24
•	Modelo aritmético o lineal	25
•	Modelo geométrico o exponencial	25
•	Modelo de la tasa de crecimiento	26
•	Modelo de curva logísticas de la población	27
•	Modelo de semejanza de poblaciones	27
•	Modelo del MOPT	27
•	Modelo de componentes	27
2.	Distribución de la población y la dotación de agua	33
a.	Datos de abastecimiento	34
•	General	34
•	Específico	34
b.	Valores típicos	35
3.	Caudales vertidos en relación con la población	39
IV.	CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE USO DOMESTICO	
1.	Composición de las aguas residuales urbanas	41
a.	Productos orgánicos	41
b.	Productos inorgánicos	41
c.	Microorganismos	41
2.	Características del agua residual urbana doméstica	48

a.	Características físicas	48
•	Sólidos totales	48
•	Olores	48
•	Temperatura	48
•	Color	49
•	Densidad	49
•	Turbidez	49
b.	Características químicas	50
•	Materia orgánica	50
•	Materia inorgánica	51
•	pH	51
•	Conductividad	51
•	Cloruros	51
•	Alcalinidad	51
•	Nitrogeno	52
•	Fósforo	52
c.	Características biológicas	52
3	Efectos de la contaminación de las aguas sobre el sistema acuático y el ser humano	53

V. PROCESO DE AUTODEPURACION DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DOMESTICAS

1.	Proceso de autodepuracion de los ríos	55
2.	Parámetros utilizados para medir la contaminación de las aguas residuales urbanas domésticas	58
3.	Técnicas de análisis	59
•	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	59
•	Demanda química de oxígeno (DQO)	60
•	Carbono orgánico total (COT)	60
•	Demanda total de oxígeno (DTO)	61
•	Oxígeno disuelto	62

• pH	62
• Color	63
• Turbidez	63
• Conductividad	63
• Sólidos	63
4. Modelos y simulaciones de calidad del agua	64
a. Variabilidad en el tiempo	65
• Estáticos o de régimen permanente	65
• Dinámicos o de régimen transitorio	65
b. Dimensionalidad espacial	66
• Uni, bi o tridimensionales o reales	66
c. Determinísticos y estocásticos	66
• Determinísticos	67
• Estocásticos	67
d. Modelos de simulación	67
• Simulación	68
• Caja negra o modelos entrada/ salida	68
• Mecanicista	69

VI. MODELO DE AUTODEPURACION

1. Modelo de oxígeno disuelto	70
• Antecedentes	70
• Dinámica del proceso	74
• Cálculo de la reaeración	76
• Concentración de saturación del oxígeno disuelto	81
• Agotamiento del oxígeno disuelto o desoxigenación	82
• Pasos para el desarrollo del modelo	87

2.	Un modelo para la gestión de la calidad de los ríos (GRYM) ..	91
•	Descripción del modelo GRYM	91
•	Aplicación del modelo. Ejemplo río Jarama	94
VII.	CONCLUSIONES	97
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	101
	ANEXOS	

I. INTRODUCCIÓN

1. Justificación

La contaminación de los cauces de los ríos por aguas residuales urbanas domésticas, es un problema que de una forma u otra, ha estado siempre presente en nuestra sociedad, por lo que no representa una problemática totalmente nueva de investigación.

En este sentido, el tema de la contaminación de las aguas a pesar de lo amplio y ambicioso, que puede ser, cada día es más estudiado y documentado bibliográficamente tanto por organismos internacionales - Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organismos No Gubernamentales como por Universidades e Institutos-

Pues bien, cabe preguntarnos por qué interesa investigar en este campo. Una de las principales preocupaciones la constituye los efectos que se han generado en forma directa o indirectamente en esferas sociales, ecológicas y geográficas.

Dentro de este contexto social es fundamental partir en primer lugar del concepto de salud, definido por la Organización Mundial de la Salud -OMS- como “un estado de completo bienestar físico, mental y social”. Bajo este principio, la contaminación del curso de las aguas por vertidos urbanos domésticos, genera efectos sobre la salud de las personas al alterar la naturaleza del agua y los posibles usos a que esta es sometida. Esto significa que se rompe con la armonía entre el hombre y el propio recurso hídrico..

Otro aspecto importante de considerar es el crecimiento demográfico de la población y las condiciones económicas, sociales y culturales de la misma. El crecimiento demográfico implica un mayor consumo de agua y por tanto un aumento de los vertidos urbanos domésticos al cauce.

Lo anterior lleva a que los vertidos vayan muchas veces en forma directa al cauce de los ríos, sin tomar en cuenta el impacto que ocasiona en el ecosistema fluvial y por ende en su proceso de autodepuración.

Además, no todas las ciudades disponen de la infraestructura de una depuradora que permita tratar el agua residual urbana y reducir la demanda bioquímica de oxígeno antes de ser vertida al río.

En muchos casos, el cauce no sólo, recibe el vertido de agua residual urbana doméstica, sino que a veces, éste va acompañado de residuos sólidos urbanos. Problema que se agudiza con el aumento de crecidas o reducción de cauces así como por los vertidos de tipo industrial que pueden sumarse al cauce y agudizar el problema de contaminación del agua.

Reafirmando lo anterior, Poch (1990), expresa que la aparición de la cultura urbana ha ido cambiando esta situación...implica la presencia de importantes núcleos de población con una elevada concentración humana y por tanto la presencia de vertidos de agua residuales con caudales muy superiores... provoca que el río en lugar de recibir pequeñas cantidades de contaminación a lo largo de su cuenca, tenga aportes puntuales y concentrados que alteran bruscamente su calidad.

Por otro lado, las prácticas culturales de consumo de los diferentes grupos sociales urbanos inciden en la composición y características del agua residual urbana doméstica, y en la calidad de las mismas. A su vez, estas prácticas culturales de consumo guardan relación con el nivel socioeconómico que caracteriza o que pertenece el grupo social urbano.

En el contexto ecológico, la contaminación de los cauces por aguas residuales urbanas domésticas puede significar una modificación y/o adaptación de los organismos vivos a nuevas condiciones del sistema fluvial.

En el ámbito físico geográfico los componentes adyacentes a la cuenca hidrográfica tales como el clima, la geología, el suelo, la vegetación pueden sufrir alteraciones resultado de su propia dinámica natural o por acciones antrópicas con incidencia negativa en la contaminación del sistema fluvial.

El aporte de las aguas residuales urbanas domésticas vertidas en el cauce del río, así como los factores físicos geográficos y demográficos, influyen en la contaminación de las aguas y por consiguiente el deterioro de la calidad de las mismas.

Lo anterior conlleva a que el proceso de autodepuración del río disminuya considerablemente afectando su fauna, flora y dificultando su utilización.

Teniendo como base este contexto general, interesa para los fines de esta investigación el tema sobre un acercamiento metodológico para el análisis integral del **" proceso de autodepuración de un río contaminado por aguas residuales urbanas de uso doméstico en una cuenca hidrográfica"**

La delimitación del tema responde a una razón de interés personal y profesional, considerando que es un problema cotidiano en que están expuestas las cuencas hidrográficas, como consecuencia en parte por la falta de políticas de planificación urbana, la ausencia de legislación o inadecuada praxis de ella y de programas educativos concretos sobre esta temática .

El constituir un problema cotidiano significa que nos enfrentamos a un crecimiento de la **población urbana, con una determinada distribución espacial de la población en núcleos**. Un deterioro de la calidad del agua como posible resultado del aumento de vertidos al cauce del río sin tratamiento previo. Unido además, a la necesidad de ampliar las fuentes de abastecimiento del agua para diversos usos.

Para el análisis interno del proceso de autodepuración del río es necesario recurrir a la aplicación de modelos de calidad de agua, los cuales permiten interpretar el comportamiento del proceso.

Entre los modelos más significativos está el modelo de oxígeno disuelto -OD-. Este permite determinar el OD real mediante su evolución. Con ello se busca conocer los valores mínimos exigibles y de esa manera mantenerlos por encima de éstos según la utilización asignada.

De allí la importancia de estudiar **el proceso de autodepuración de un río contaminado por aguas residuales urbanas de uso doméstico en una cuenca hidrográfica**, bajo un enfoque integral, ya que permite llegar a recomendaciones en el campo de la prevención y mitigación, mediante acciones concretas que tiendan a eliminar o reducir el problema de la contaminación de las aguas. Así como propuestas en el marco legislativo, esto implicaría tanto la revisión de la normativa vigente, su aplicación como la modificación correspondiente. Además ayudaría a la planificación urbana y ordenamiento del territorio.

2. Objetivos

General

Desarrollar una propuesta metodológica que permite mediante el análisis integral, estudiar el proceso de autodepuración de un río contaminado por aguas residuales urbanas de uso doméstico, en una cuenca hidrográfica y su contexto geográfico adyacente así como la aplicación del modelo de oxígeno disuelto.

Específicos:

- 1.1 Determinar los principales factores físico geográficos y demográficos y su influencia en el proceso de autodepuración de un río en la cuenca hidrográfica.
- 1.2 Describir las características y composición de las aguas residuales urbanas de uso doméstico.
- 1.3 Establecer los parámetros y las técnicas aplicados en el análisis del proceso de autodepuración de las aguas residuales urbanas de uso doméstico.
- 1.4 Explicar la aplicación del modelo de oxígeno disuelto como herramienta de trabajo para conocer el proceso de autodepuración del río.
- 1.5 Determinar los principales efectos sobre el medio ambiente y la reacción de éste sobre la población, producto de la contaminación de las aguas residuales urbanas de uso doméstico.

3. Tipo de investigación

La presente investigación es de carácter bibliográfico. Para su desarrollo se realizó una de revisión bibliográfica, tanto de libros como de revistas científicas, que abordaran el tema de la contaminación de los ríos por aguas residuales urbanas de uso doméstico y su proceso de autodepuración bajo diferentes perspectivas. El trabajo está orientado bajo una perspectiva geográfica.

Es importante dejar claro que este tipo de investigación permite introducirse en el tema y llegar a un acervo de conocimientos generales. Donde la fase experimental no es desarrollada.

II. FACTORES FÍSICO GEOGRÁFICOS Y SU INFLUENCIA EN EL SISTEMA FLUVIAL

1. Cuenca hidrográfica como unidad espacial

Es muy normal que al realizar estudios de comportamiento espacial, se suele utilizar diversas unidades de análisis, desde unidades políticas administrativas como comunidades, distritos, municipios hasta unidades de planificación como regiones o subregiones.

Lo anterior ha llevado que en muchos casos el análisis pierda perspectiva ya que no es representativo del ecosistema, sino por el contrario, se divide el espacio sin considerar su integración global, es decir las partes interrelacionadas que integran un todo funcional.

De allí la propuesta de trabajar con la **cuenca hidrográfica como unidad espacial** de análisis. En la praxis representa una realidad donde interactúan diversos sistemas de índole biológicos (organismos vivos y materia orgánica) e inertes (materia inorgánica y la energía), los cuales mantienen una interrelación e interdependencia recíproca que forman un todo unificado. Donde un ecosistema, además, de las caracterización impuesta por los factores físicos, a saber: el clima, la topografía, la posición geográfica, la geología estructural, se desarrolla la actividad socioeconómica de la población, la cual ejerce presión sobre el medio.

Físicamente la cuenca hidrográfica está constituida por un sistema de laderas que convergen hacia un valle común. Esto significa que por la dinámica propia de la cuenca, se presentan diferencias de pendiente entre sus laderas. El proceso de arrastre de material y agua siempre será a favor de la pendiente, indiferentemente de sus diferencias, confluyendo en las partes más bajas del valle.

Según Díaz Pineda (1993), una cuenca hidrográfica resulta esencialmente de la progresiva excavación del sustrato geológico por las aguas de escorrentía y la formación de un cauce fluvial donde estas aguas convergen. La excavación pudo originarse por hundimiento, erosión progresiva, encajonamiento del cauce en una falla, en una estructura tectónica adecuada previa o en un antiguo sistema de laderas. La cuenca de recepción podrá comenzar formando torrentes ocasionales o continuos en las zonas altas y corrientes de agua permanentes, más o menos caudalosas, en el fondo del valle.. El encajonamiento de la red fluvial provoca un progresivo tallado de la roca y el derrame de los materiales hacia el fondo del valle.

2. Aspectos físico geográficos a considerar en la cuenca hidrográfica

La determinación y el análisis de los aspectos físicos geográficos a nivel macro, permiten una organización e interpretación del espacio adyacente a la cuenca hidrográfica, al considerar los componentes que la caracterizan. Su estudio permite llegar a establecer una zonificación del territorio a diferentes escalas de trabajo, según sea el objetivo que se persiga. Permite explicar en muchos casos la actual distribución de la población, la actividad socioeconómica presente sobre el territorio a partir de factores topográficos, geomorfológicos, edafológicos, climáticos y su influencia en el proceso de autodepuración.

Para el caso específico de esta investigación se considera que los factores físico geográficos que a continuación se describirán, influyen en el sistema fluvial y en su proceso autodepuración.

- **Localización geográfica.**

Localizar la cuenca hidrográfica por coordenadas geográficas en latitud y longitud, esto permite conocer el punto, la unidad espacial o el sistema fluvial. También es necesario ubicarla teniendo como referencia los puntos cardinales.

Otro aspecto importante de tener en cuenta es la delimitación del área de estudio. Esta se caracterizará por el espacio que ocupa dentro de la vertiente, en este caso se determina a través de la divisoria de aguas.

- **Morfología**

Son las formas geomorfológicas que caracterizan la cuenca tales como el valle, las terrazas, los abanicos aluviales, las cárcavas, los taludes, las serranías, donde su origen se debe a factores tanto geológicos, hidrológicos, climáticos y antrópicos en algunos casos.

- **Geología.**

Interesa identificar las unidades estructurales, fallas, plegamientos y su litología. La litología es fundamental ya que permite conocer el comportamiento de los materiales presentes, si son impermeables o permeables, su identificación y análisis frente a los agentes externos que estarían incidiendo.

- **Clima.**

El paso a seguir es el de identificar el tipo de clima que caracteriza la cuenca hidrográfica, en relación con el comportamiento de las lluvias y las temperaturas, para luego proceder al análisis de las interrelaciones y comportamientos durante las estaciones y su influencia en el caudal.

Entre los principales elementos a considerar por sus interrelaciones están:

La pluviometría, donde la distribución espacial y temporal de las lluvias en la cuenca hidrográfica influyen en las oscilaciones de caudal y en el aporte de sólidos al río. Es necesario considerar la intensidad, la duración, la cuantía y los períodos de retorno de máximas lluvias. Para ello se recurre al análisis de series de datos climáticos de las estaciones presentes en el área.

Las lluvias ejercen un efecto mecánico sobre los agregados del suelo, debido a que el golpe de las gotas de agua desprenden las partículas que luego son arrastradas fácilmente por el agua de escorrentía.

La intensidad y la frecuencia de los aguaceros tiene una influencia directa sobre la velocidad y la cantidad de escorrentía.

La intensidad: es la cantidad de agua llovida en una determinada área, en un período de tiempo determinado (medida en milímetros, mm/hora). Se produce escorrentía sobre un terreno, cuando la intensidad de la lluvia es mayor a la velocidad de infiltración que tenga un terreno. A su vez, la velocidad y la capacidad de infiltración se alteran con el grado de humedad del suelo, que está determinado por la frecuencia y cantidad de lluvias anteriores (CENICAFE: 1975).

Frecuencia: es el intervalo de tiempo transcurrido entre los aguaceros, cuanto menor sea este tiempo mayor será la presencia de agua en el suelo, y viceversa.

El potencial erosivo de las lluvias está condicionado por la cantidad y la calidad de la vegetación, sobre todo con la altura que ésta tenga. El efecto protector más eficaz de la vegetación contra la erosión pluvial se desarrolla cuando el suelo tiene una capa de hojas caídas y de residuos sobre su superficie.

Para estimar la precipitación media mensual en una cuenca o subcuenca se debe considerar la densidad y distribución de la red de estaciones, ya que esto determina la complejidad de los patrones de lluvia. También se debe considerar el tipo de tormenta que genera la lluvia, incluyendo su duración y movimiento. El tamaño y la topografía de la cuenca o subcuenca son factores que tampoco se pueden descartar, así como el método adoptado para evaluar los datos (Ponte, 1987).

Es necesario que los datos de precipitación registrados por las diferentes estaciones cercanas representen un mismo período de tiempo. La estimación de la precipitación promedio mensual, debe comprender un período de tiempo definido.

Otro elemento corresponde a las *temperaturas*, éstas pueden variar por causas naturales (temperatura del aire) o por la presencia de vertidos principalmente de origen industrial. Cambios que pueden variar dependiendo de las estaciones o períodos. A su vez estas diferencias de temperatura influye en el aumento de la evaporación directa sobre el río.

Según Estay Low (1991) una *variación de la temperatura* puede generar modificaciones en la solubilidad del oxígeno, desplazamiento de equilibrios dinámicos por cambios en la velocidad de sedimentación, aumento de la toxicidad de muchas sustancias y alteración del metabolismo de organismos acuáticos.

El *relieve* también juega un papel importante, en la medida que incide en la distribución de las precipitaciones por el fenómeno orográfico. (cantidad y volumen). Teniendo presente que éste, según sus características puede favorecer la penetración de los vientos, que en caso de venir cargados de humedad chocarían con el obstáculo montañoso, generando un ascenso llamado cambio adiabático con una consiguiente condensación y posteriores precipitaciones.

Otro elemento a considerar es el *grado de inclinación de las pendientes*, dado que a mayor pendiente la escorrentía superficial, es mayor, provocando un aumento de la crecida y disminución de la infiltración y consecuente aumento del caudal del río.

Además es necesario determinar la frecuencia de la corriente del agua así como el lapso de tiempo en que se dan a partir del pico de crecida. Las pendientes se trabajan el porcentaje (%) y se calcula mediante la siguiente expresión:

- Estimación angular

$$P^{\circ} = \text{tg}^{-1} \frac{dv}{dh}$$

Donde:

P = pendiente
 dp = distancia horizontal
 dh = distancia vertical (diferencia de altura entre las dos curvas de nivel)

- Estimación porcentual

$$P = \frac{dv}{dh} \times 100$$

La pendiente está constituida por dos variables: el grado de inclinación y la longitud. Las variaciones de estas variables determinan, en gran medida, el poder erosivo del agua. *El grado de inclinación se define como la diferencia de altitud que hay entre dos puntos de una área dada*, a medida que crece, también aumenta el peligro de erosión, puesto que el agua escurre más rápidamente y el suelo tiene menos tiempo para infiltrarla.

La longitud de la pendiente, por su parte, influye en la velocidad, energía y volumen del agua de escorrentía, por lo que a mayor longitud mayor poder erosivo del agua.

Wischmeier y Smith (1978), estudiaron la relación entre longitud de la pendiente y la velocidad, la energía del agua de escorrentía y la pérdida de suelo. De sus ensayos dedujeron, que al aumentar cuatro veces la longitud de la pendiente se duplica la velocidad del agua; su fuerza erosiva aumenta cuatro veces y la cantidad de material arrastrado aumenta 32 veces. Por el contrario, si se corta una pendiente en cuatro, disminuye la erosión 32 veces (CENICAFE: 1975).

- **Suelos**

Todos los suelos poseen características propias y, por lo tanto, tienen un comportamiento diferente, y cada cual requiere un uso racional y un manejo adecuado para su conservación, de acuerdo con sus propias necesidades.

Cada suelo tiene un grado de resistencia diferente, y agruparlos de acuerdo a su material de origen es una de las formas más generalizadas para una caracterización de grandes áreas.

En su dinámica intervienen los factores activos del medio, el clima, la vegetación y el relieve.

- **Hidrología:**

La interrelación de la cuenca con el cauce se pone en evidencia, pues los caudales que circulan por los ríos son consecuencia de los procesos hidrológicos que tienen lugar en ésta. El régimen de caudal resultante configura una morfología de los cauces variable y dinámica, e impone sus características hidráulicas dentro del río. (García de Jalón, 1987)

Es importante conocer si el régimen de caudal está condicionado por la regulación de embalses, detracciones para regadíos, aportaciones de arrollos, retorno de regadíos, crecidas y estiajes o caudal mínimo en ciertas épocas de año. Donde el estiaje está influenciado por el resultado del déficit pluviométrico acumulado, el incremento de la evaporación por aumento de las temperaturas. Así como la precipitación anual media en Hm^3 , la aportación anual media Hm^3 , el caudal medio en m^3/s , el coeficiente (%) y déficit de escorrentía.

El caudal se calcula, mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{v}{t}$$

Donde:

$$v = \text{Volumen en } m^3$$

$$t = \text{Tiempo}$$

Es necesario considerar los coeficientes de escorrentía, a partir de la relación entre el tipo de material (la estratigrafía, la geología), la capacidad de permeabilización, el monto de precipitaciones, las pendientes del terreno. Si el material es permeable favorece la infiltración del agua y reduce los volúmenes de agua superficial.

Así mismo es importante establecer el factor erosivo que llevaría la corriente del agua en relación a la intensidad y tiempo de duración de las lluvias, el grado y longitud de la pendiente y uso de suelo. Además de que la inestabilidad de las laderas, genera movimientos de suelo, ocasionando surcos, cárcavas y deslizamientos.

Otro aspecto es la recarga de las aguas subterráneas, ésta depende de la combinación de varios factores : factores exógenos como el aporte de las precipitaciones, la temperatura, la cual condiciona la evaporación directa al aire libre en la superficie del suelo y la transpiración que ejerce la vegetación a niveles inferiores del suelo (Strahler, 1984).

De allí que sea de gran interés el tipo de vegetación existente, la textura y estructura del suelo, puesto que éstas características condicionan en parte la capacidad de retención del suelo.

También es importante tomar en cuenta la alternancia de los estratos rocosos, así como lo penetrable o impenetrable de dichos estratos (permeabilidad y porosidad); especialmente, cuando los estratos están plegados, fallados o provistos de diaclasas, ya que forman depósitos de agua subterránea (Holmes, 1951).

La escorrentía superficial es aquella parte del agua que no se infiltra, ni se pierde por evaporación. Generalmente ésta se presenta cuando la intensidad de la lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo (Linsley, 1984 y Benítez, 1972). Davis y De Wiest, (1971) la definen como el conjunto de precipitación que cae sobre una cuenca menos la retención superficial, menos la infiltración, menos la evaporación.

- **Vegetación**

La cobertura vegetal es importante, dado que ayuda a mantener y sostener el suelo. Esto permite mitigar el impacto de las lluvias sobre éste, y disminuir el arrastre de materiales sólidos en suspensión sobre el cauce del río, causando problemas fuera del sitio sobre represas y otras obras de infraestructura.

La vegetación con una altura inferior a los dos metros es de gran importancia para la protección del suelo contra la erosión, porque disminuye la fuerza del golpe de las gotas de lluvia; forma sobre la superficie del suelo una hojarasca y raicillas que amortiguan la fuerza del agua de escorrentía al disminuir su velocidad de escurrimiento, además, sus raíces forman un red interna que amarra las partículas del suelo y aporta materia orgánica.

Interesa saber el tipo de vegetación, el porcentaje (%) y la superficie que ocupa.

3. Factores internos del sistema fluvial

El río constituye un sistema fluvial en donde se llevan a cabo múltiples interrelaciones entre los elementos externos e internos de los ecosistemas acuáticos y terrestres presentes.

Considerando esas interrelaciones *el análisis debe ser de carácter integral*, entre el *sistema fluvial y el circundante* o sea el biótico o abiótico, así como las características físico geográficas presentes en el área de estudio.

Retomando los factores físico geográficos externos explicados en apartados anteriores, se tiene como aspectos claves, la distribución temporal y espacial de las precipitaciones, los montos mensuales de ésta, la temperatura, la cual incide sobre la evapotranspiración potencial. El tipo de vegetación presente, todo esto relacionado con el grado de la pendiente modelada, la topografía, la geología y su estructura, la permeabilidad de la formación rocosa, dado que éstas condicionan el movimiento de las aguas subterráneas y los niveles freáticos.

El fenómeno que se desarrolla comprende la convergencia del agua superficial y su concentración en la zona baja de la cuenca. Entre los efectos que se generan están la erosión de las laderas y remodelación de los valles. Por otro lado, se tiene la influencia del agua subterránea, que mantiene unos niveles constantes de humedad en torno al cauce. Esto ayuda a una mayor capacidad de ensanchamiento de los ríos y alteración de las rocas, acción que favorece los movimientos o remoción de masas de tierra de las laderas.

La dinámica del río permite que este vaya formando sus propias llanuras aluviales y de inundación. Su naturaleza busca siempre establecer unas relaciones de equilibrio a las condiciones cambiantes de caudal y carga sólida en que se ve sometido. Esto genera modificaciones en características tales como pendiente, anchura, profundidad, sinuosidad y patrón de drenaje del río..

En este sentido, el río no puede considerarse como un sistema estático, por el contrario, los factores geológicos y climáticos inciden constantemente en su geomorfología. Esto significa que el cauce del río está en un proceso continuo de sedimentación y depositación con erosión en las orillas.

Según Garzón Heydt, (1988) un río se considera estable cuando sea capaz de ajustar sus dimensiones, su gradiente y morfología a unas condiciones cambiantes, de manera progresiva pero rápida.

Considerando los aspectos mencionados García de Jalón (1987), explica que el ecosistema fluvial, en cada tramo funciona como un sistema abierto en que su fauna, flora, materia orgánica, nutrientes y las características físico-químicas conforman una estructura dinámica en el tiempo y en el espacio desde la cabecera hasta la desembocadura del río.

Desde el punto de vista metodológico y funcional es importante trabajar el sistema fluvial en sus diferentes componentes sin perder las interrelaciones .

a. Características del sistema fluvial:

Constituye un **flujo unidimensional** que genera un transporte horizontal. Se establece una estratificación. Se define un sector en la parte alta o cabecera, donde se incorporan grandes cantidades de materiales aportados por el medio adyacente según las características que presente tales como pendiente, inestabilidad de laderas, montos de lluvias, deslizamientos, deforestación entre otros.

Mientras que el sector bajo y medio del río se van acumulando materiales resultado del arrastre y transporte, los cuales, a su vez sufren un proceso de ubicación según las características del cauce en cuanto a su forma, velocidad de la corriente y el tipo de material, así como al efecto de las precipitaciones

En este mismo contexto Illies (1961) clasifico el río a partir de los siguientes componentes:

Aguas altas (Rhitron)

Desde el manantial hasta el punto más abajo en que la media mensual de las temperaturas medias no pase los 20 °C. La velocidad de la corriente es alta y el caudal pequeño. El sustrato suele ser de rocas, piedras o gravas y solo se produce algún depósito en pequeños posos. En esta zona predomina la erosión sobre la sedimentación

Aguas bajas (Potamon)

A partir del punto de la corriente donde empieza a los 20 °C de temperatura media. La velocidad es más baja y el movimiento tiende a ser laminar. El oxígeno es menor que en el Rhitron, predominando la sedimentación.

Crenon

Formada por los manantiales y tributarios de primer orden. La presencia de aguas frías, oxígeno disuelto, abundante corriente, pocas sales disueltas.

- **Longitud del cauce:**

Permite profundizar en la morfología del cauce, aspecto que se visualiza mediante la elaboración de un perfil longitudinal de éste. La pendiente sigue siendo un factor de influencia en la velocidad de las aguas que circulan por el cauce y en las avenidas.

En relación con la velocidad del agua, ésta influye directamente en acciones del río tales como la erosión, el transporte y la sedimentación de materiales. Por tanto, entre mayor pendiente, mayor velocidad de la avenida y aumento del poder destructivo.

El perfil longitudinal a su vez constituye un parámetro determinante para identificar las diferencias de altura que se presentan a lo largo de su trayecto.

Entre las alturas que se pueden establecer como referencia para el análisis son:

- Altitud máxima (Hám_x), distancia vertical entre el nivel del mar y el punto más alto dentro del área de drenaje

- Altitud mínima (H_{\min}), distancia entre el nivel del mar y el punto más bajo de la cuenca (punto de salida, vértice de confluencia, o desembocadura de la red de drenaje).
- Altura de la cuenca o altura (h_{\max}) total de la cuenca, diferencia entre la altitud máxima y mínima de la cuenca.

$$h_{\max} = H_{\max} - H_{\min}$$

- Altura del relieve en un punto de la red fluvial(h), diferencia entre la altitud topográfica m.s.n.m y la altitud mínima de la cuenca.

$$h = H - H_{\min}$$

- **Anchura del cauce en los diferentes tramos de análisis**

Este parámetro va muy ligado a la forma que tenga el cauce. En el caso de un río meándrico, presenta claramente tramos de mayor anchura respecto a otros. Aquí incide la dinámica de socavamiento en un lado del cauce y el depósito de sedimentos en el otro.

La anchura media se determina en metros, mediante la expresión:

$$\frac{S}{L}$$

Donde:

S = Superficie de la cuenca Km^2

L = Longitud en línea recta de cabecera a desembocadura

- **Profundidad de cauce.**

La profundidad incide en las características físico-químicas del agua como puede ser la presión, la temperatura, las cuales, a su vez determinan el valor de la densidad del agua.

Según Díaz Pineda (1993) la profundidad constituye un parámetro de referencia de la variación de los factores ambientales de acción directa sobre la fisiología y sobre la distribución espacial de los organismos. Estos factores varían a su vez con el tiempo y con las propias interacciones que tienen lugar tanto entre ellas como con la biocenosis.

Entre los valores de clasificación que se manejan están:

- Menor o igual a 0,50 m. baja
- 0,50 m. y 1,20 m. moderado
- Mayor a 1,20 m. alta

• Patrón de drenaje

En lo que respecta al patrón de drenaje se dice que es un importante parámetro, ya que está relacionado principalmente con la resistencia de la roca a la erosión y a su permeabilidad; por lo que **"La densidad de drenaje es inversamente proporcional a la resistencia a la erosión y permeabilidad de las rocas"** (De Romer, 1969).

Interesa identificar la forma que caracteriza el cauce, ya sea este estructural, ramificado o meándrico.

Aquí es necesario trabajar la sinuosidad (ondulaciones) del río. Esta se expresa mediante el coeficiente L/L'

Donde:

L = Longitud física del río (Km)

L' = Longitud en línea recta de cabecera a desembocadura (Km)

La longitud física del río mantiene una relación con el caudal, las avenidas, las variaciones estacionales. Mientras que la longitud en línea recta se relaciona con la dinámica de erosión.

Estay Low (1991), establece que el coeficiente de sinuosidad es indicativo del modo de circular del río. Se presenta como valor mínimo 1, que significa que éste circula en línea recta. Cuando el valor se diferencia de 1, aumenta la sinuosidad. Los factores que influyen en este comportamiento son la geología, los afluentes y la inclinación.

Entre los factores que inciden en la forma y estabilidad del río se puede recurrir al denominado "*umbral geomorfológico*", que significa que dentro de una misma cuenca hidrográfica, la dinámica fluvial no se manifiesta de una forma progresiva en el tiempo.

Por tanto, las fases de erosión y depositación de material serán diferenciales. El límite de estabilidad esta influenciado por cambios en sí mismos o por elementos externos.

Garzón Heydt, citando a Shumm (1988), plantea que el concepto umbral es básico en el estudio de la rectificación de ríos. Existe una relación directa entre la pendiente del valle y la sinuosidad del río. Esto conlleva a la posibilidad de generar un **cambio de un modelo de río patrón recto a meándrico, de meándrico a uno de baja sinuosidad de nuevo**. Esta manifestación ocurre para pendientes críticas o umbrales geomorfológicos .

Con base a los componentes tanto físico geográficos como sociales - demográficos - se establece la **zonificación espacial** de la cuenca hidrográfica como un todo, donde el sistema fluvial es una parte esencial de ella. Metodológicamente se han denominado cuenca alta, media y baja.

4. Análisis y representación espacial de los factores geográficos

Al considerar el problema de contaminación del agua en los ríos como el resultado de la influencia de muchos factores presentes en la cuenca hidrográfica, el análisis geográfico, pueda ir de lo más general a lo particular siempre bajo un enfoque o perspectiva integral del problema. Esto nos lleva a recurrir a una variedad de técnicas de acuerdo con cada paso metodológico establecido.

En este sentido, en geografía las técnicas de análisis han evolucionado notoriamente con el desarrollo de la informática, como es el caso de los **Sistemas de Información Geográficos (SIG)**

a. Aplicación de Sistemas de Información geográficos (SIG)

Un SIG es un programa que permite manejar, graficar, analizar y mapear información de diferente índole con fines de planificación o de ejecución de inventarios.

Constituye una poderosa herramienta que permite graficar en forma de mapas una gran cantidad de información, así como realizar relaciones y correlaciones con información variable y generar de ésta forma nueva información y nuevos mapas.

Existen en la actualidad una gran cantidad de programas que pueden ser calificados como **Sistemas de Información Geográfica** y el reconocimiento de su importancia es cada día más mayor a nivel estatal y privado. Dentro de los más importantes **SIGs** se encuentran:

- **Osumap**, que es un programa desarrollado por la Universidad de Ohio (USA), de aplicación y exigencias muy simples, pero con grandes limitaciones en cuanto a la cuantía de los datos que puede procesar, así como de los resultados que con él se pueden obtener.
- **Idrisi**, fue creado por la Universidad de Harvard (USA), es uno de los **SIGs** más populares y utilizados en la actualidad, debido fundamentalmente, a su bajo precio comparativo y la relativa versatilidad con que puede operar.

El *Idrisi* puede trabajar con datos que se encuentran en diferentes formatos, es decir, es capaz de cargar información directamente digitada en una tableta digitalizadora. También lee información tabulada en hojas electrónicas, así como importar y exportar mapas e información desde otros SIGs o de programas de dibujo o diseño ingenieril como los CATs.

Básicamente el *Idrisi* es sumamente útil cuando se trabaja en áreas de pequeño y mediano tamaño (de decenas a cientos de kilómetros cuadrados) y cuando las variables aplicables no son muchas (de 6 a 12 por ejemplo), bajo estas condiciones se puede realizar con el *Idrisi* una buena serie de sobreposición de mapas con un detalle de despliegue (en la pantalla) de aceptable calidad.

Por lo anterior el *Idrisi* es un buen programa cuando la investigación no es demasiada ambiciosa y cuando se dispone de un Hardware de mediana calidad.

Entre las principales limitaciones que presentan están

Su módulo para digitar no es tan versátil o confiables como otros creados exclusivamente para esos fines como el *Roots*.

Las salidas del programa tanto de despliegue como las calidad en duro (papel) presentan problema debido a:

Primero, aunque la información original se encuentra en formato vectorial el cual, que permite un gran detalle en la representación de la información (aunque se este trabajando en una ventana zoom), el *Idrisi* convierte esta información en formato raster, creando con esto, una especie de retícula o cuadrícula con un valor asignado a cada pixel (algo muy parecido a la forma de trabajar del *Osumap*), con lo cual se pierde una parte del detalle cuando se trabaja en secciones de la información desplegada (zoom).

Segundo, este mismo problema se presenta a la hora de imprimir o de plotear los resultados obtenidos. Siendo mucho mas práctico realizar un proceso de exportación de los resultados a otros programas con mejores formatos de salida, como *Autocad*, *Deluxpaint*, *Paintbrush*, etc., que ofrecen productos acabados impresos con mucho mejor calidad, y que tienen la capacidad de agregar información marginal, como rótulos, leyendas, notas etc, con mucho mas versatilidad que el *Idrisi*.

- *Mapinfo* (versión 3.0 para windows), es un SIG de manejo sencillo en el análisis de la información geográfica. Esta diseñado para funcionar con microsoft windows e incorpora capacidades para uso de bases de datos, análisis geográfico de la información y salidas gráficas visualmente atractivas.

Este SIG ofrece ventajas considerables por su relativa sencillez y versatilidad para aceptar información geográfica y su posterior incorporación al análisis. La información geográfica puede ser introducida a través de la digitalización de las variables o capas necesarias o el escaneo de las mismas. También es posible la introducción de datos importados en imágenes ráster como puede ser las imágenes aéreas y de satélite, siempre que se realice transformación o asignación de coordenadas geográficas de las diferentes puntos de control.

La información soportada en *mapinfo* refenda a polígonos espaciales, líneas o puntos, tiene una estructura común a una base de datos convencional. Los individuos que pudieran ser áreas representativas de tipología del suelo en la cuenca hidrográficas o tramos lineales de la red fluvial se corresponden con las filas, en tanto las columnas o capas pueden ser las diferentes variables que califican al suelo o a los tramos fluviales: textura del suelo, tipo de vegetación, velocidad de la corriente.

Esta estructura facilita la incorporación de numerosas cualidades o capas a los elementos previamente digitalizados. La incorporación y actualización de los mapas contenidos en *mapinfo*, puede ser posible por las facilidades de importación de ficheros desde hojas de cálculo, *dbase*, *ascii*, siempre que se conserve la estructura de individuos y columnas. Así es posible actualizar las diferentes columnas o adecuar información nueva que enriquezca el análisis posterior. Por ejemplo se podrá adicionar información sobre la calidad del agua, pendientes, para cada uno de los tramos especificados en las tablas de *mapinfo*. Por otra parte, las tablas de *mapinfo*, podrán ser exportadas a los formatos referidos para la realización de otros tipos.

Con la información introducida en el *mapinfo*, es posible realizar diversos tipos de análisis con las variables o capas que coalifican cada uno de los individuos y obtener estadísticas descriptivas. Así como, localizar zonas de mayor riesgo por ejemplo r vertidos líquidos en la cuenca.

Una de las funciones analíticas más importante que realiza *mapinfo* es la agregación-disgregación, con esta función es posible la zonificación o regionalización geográfica.

Mapinfo permite la salida de la información en forma de mapas, gráficos y tablas. Es posible la construcción de mapas temáticos para cada una de las columnas o capas de las tablas trabajadas. Se seleccionan rangos o se asignan símbolos para la representación cartográfica.

La selección de tipos de rangos, ofrece diversas posibilidades o algoritmos para la agrupación en clases de la información temática, lo cual, brinda la posibilidad de seleccionar de acuerdo al interés del analista o las características de la información.

Por otra parte el software ofrece posibilidades de edición de mapas, configuración de leyenda y de los objetos a representar.

Entre las limitaciones del software están que no realiza todas las prestaciones deseadas referente al análisis geográfico, por ejemplo autocorrelaciones espaciales, análisis estadístico como correlaciones y regresiones, y sus posibilidades con trabajo cualitativo también es reducido.

Entre las ventajas están que agrega-desgrega datos, crear zonas de influencia, localización de objetos atendiendo a una varias condiciones y crear nuevas capas sobre la base de las existentes y modificar lasd existentes (estandarizar.)

• Otras herramientas de trabajo

Asimismo podemos trabajar con fotografías aéreas, mapas topográficos a escala 1:50.000, mapas geológicos, geomorfológicos, de uso del suelo, uso potencial del suelo (residencial, comercial, industrial, recreativo, agrícola, forestal)

A nivel propiamente del río las técnicas se orientan al uso o diseñó de simulaciones de calidad de las aguas mediante la definición de parámetros específicos así como de modelos matemáticos .