

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ROSARIO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y AGRIMENSURA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA**

**DISERTACIÓN DOCTORAL**

**Rosario, Santafé (Argentina)**

**Agosto de 2009**

**MODELO SISTÉMICO PARA LA EVALUACIÓN  
DEL IMPACTO AMBIENTAL A NIVEL DE CUENCA**

**Ing. EDGAR RICARDO MONROY VARGAS I.C.**

**PRESENTADO EL 20 DE AGOSTO DE 2009, A LA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y  
AGRIMENSURA, DE LA ESCUELA DE POSTGRADO Y  
EDUCACIÓN CONTINUA DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL ROSARIO, EN PARCIAL  
CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE “DOCTOR EN INGENIERÍA”.**

**Director de la Tesis**

**Dra. NORA POUHEY Ph.D.**

**Rosario, Santafé (Argentina)**

**Agosto de 2009**

## *DEDICATORIA*

Este trabajo está dedicado a Dios que en la escenificación de mi madre y mi padre sosegaron con su infinito amor los difíciles momentos y en especial a mi hijo Camilo Andrés que con su dulce alegría motivaron la culminación de este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

El agradecimiento infinito con el Señor, por haberme dado la fortaleza para sobrellevar la cruz que representa el estar lejos de la familia y las costumbres arraigadas en su amor filial.

Un especial agradecimiento fraterno a la Dra. Nora Pouey, por su constante orientación y motivación, y por sobre todo por la calidez humana para acogerme en los brazos cálidos de una madre hacia un hijo en la procura de su realización personal.

Del mismo modo un reconocimiento especial a Cristina Yanneth, Juan Pablo, Víctor Manuel, Juan Alonso, Jeisson, y Nestor, por sus valiosos aportes, acompañamiento e impulso para llevar a feliz término la realización de éste trabajo doctoral

## **TABLA DE CONTENIDO**

RESUMEN

x

ii

ABSTRACT	xii
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	C1.1
1.1.    MOTIVACIÓN	C1.1
1.2.    OBJETIVOS	C1.5
1.2.1.    OBJETIVO GENERAL	C1.5
1.2.2.    OBJETIVOS ESPECÍFICOS	C1.5
1.3.    PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS	C1.6
1.3.1.    DESCRIPCIÓN	C1.6
1.4.    ALCANCE Y CONTRIBUCIONES	C1.8
1.5.    ESTRUCTURA GENERAL DEL DOCUMENTO	C1.9
CAPITULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	C2.1
2.1.    ESTADO DEL ARTE	C2.1
2.2.    MARCO CONCEPTUAL DEL MANEJO Y PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	C2.7
2.2.1.    Planes de Manejo y Protección de Cuencas	C2.8
2.2.2.    Participación Ciudadana	C2.11
2.2.3.    Municipio como unidad básica territorial	C2.26
2.2.4.    Relación Medio Ambiente y Economía	C2.41
CAPITULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	C3.1
3.1.    ESQUEMA CONCEPTUAL DEL MODELO IVAFIC	C3.1
3.2.    CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ EIA	C3.1
3.3.    VALIDACIÓN DE LA MATRIZ EIA	C3.5
3.4.    DESCRIPCIÓN DEL MODELO IVAFIC (FASE 1)	C3.6
3.5.    ALGORITMO FI EN MATLAB	C3.15
3.5.1.    Antecedentes	C3.16
3.5.2.    Tipos de datos	C3.19
3.5.3.    Interacción Excel - MATLAB	C3.20
3.5.4.    Entorno de MATLAB	C3.21
3.5.5.    Programa FIC	C3.25
3.6.    CODIFICACIÓN DE LAS MATRICES FI Y FIC	C3.35
3.7.    DIAGRAMACIÓN DE RESULTADOS	C3.37
3.8.    INTERACCIÓN SIG – IVAFIC (FASE 1)	C3.38
3.9.    DESCRIPCIÓN DEL MODELO IVAFIC (FASE 2)	C3.40
3.10.1.    Sistemas Difusos	C3.45
3.10.2.    Reglas Difusas	C3.54
CAPITULO 4.    APLICACIÓN DEL MODELO IVAFIC (CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO GARAGOA)	C4.1
4.1.    IDENTIFICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	C4.1
4.1.1.    Fundamento de la Selección de la Zona de Estudio	C4.3
4.2.    DESCRIPCIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	C4.4

4.2.1.	Evaluación del Impacto Ambiental de la Zona de Estudio	C4.4
4.2.2.	Matriz de Ruta	C4.4
4.3.	APLICACIÓN DEL MODELO IVAFIC (FASE 1 – ANÁLISIS FIC)	C4.8
4.4.	INTERACCIÓN SIG CON EL MODELO IVAFIC FASE I	C4.11
4.5.	APLICACIÓN DEL MODELO IVAFIC (FASE 2 – ANÁLISIS IVA)	C4.27
 CAPITULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		 C5.1
5.1.	PROBLEMÁTICA DE LA CUENCA DEL RÍO GARAGOA	C5.1
5.1.1.	Conflictos por uso del agua	C5.1
5.1.2.	Problemas por prácticas agropecuarias inadecuadas	C5.3
5.1.3.	Contaminación de agua y suelo	C5.4
5.1.4.	Conflictos por fraccionamiento de la propiedad	C5.6
5.1.5.	Problemas de tipo tecnológico	C5.7
5.1.6.	Los mercados de insumos y productos	C5.8
5.1.7.	El acceso a recursos financieros	C5.9
5.1.8.	Altos niveles de desempleo urbano y rural	C5.10
5.2.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO IVAFIC	C5.14
5.2.1.	Diseño experimental	C5.14
5.2.2.	Visualización gráfica del comportamiento del FIC.	C5.15
5.2.3.	Estadística descriptiva de los resultados	C5.18
5.2.4.	Conclusiones del análisis estadístico de datos	C5.43
5.2.5.	Indicador del nivel de confianza en la respuesta del FI y FIC.	C5.45
5.3.	ESCENARIOS FINALES DE ANÁLISIS	C5.46
5.4.	COMPOSICIÓN ESPACIAL DE VALORES DE ISOFIC	C5.53
5.5.	ESCENARIOS DE ANÁLISIS DEL MODELO IVA	C5.55
5.6.	ESQUEMA CONCEPTUAL DE USUARIO DEL MODELO IVAFIC	C5.58
 CAPITULO 6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, APORTES Y FUTUROS TRABAJOS		 C6.1
6.1.	CONCLUSIONES	C6.1
6.2.	RECOMENDACIONES	C6.4
6.3.	NUEVOS APORTES	C6.5
6.4.	FUTUROS TRABAJOS	C6.5

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

APÉNDICES

ANEXOS

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1.	Atributo de los impactos para la matriz en policromía.	C.3.4
Tabla 3.2.	Valoración de atributos.	C.3.8
Tabla 3.3.	Clasificación de los Impactos	C.3.10
Tabla 3.4.	Valoración de impactos para exportar a MATLAB.	C.3.11
Tabla 3.5.	Valoración de los Impactos	C.3.14
Tabla 3.6.	Definición de Ec	C.3.30
Tabla 3.7.	Clasificación de los Impactos fic	C.3.32
Tabla 4.1.	Matriz de Ruta.	C.4.6
Tabla 4.2.	Resumen de resultados del modelo IVAFIC Fase 1 – Análisis FI	C.4.9
Tabla 4.3.	Resumen de resultados del modelo IVAFIC Fase 1 – Análisis FIC	C.4.10
Tabla 4.4.	Composición de reglas de operación del Modelo IVAFIC	C.4.30
Tabla 5.1.	Valores de frecuencia FI	C.5.19
Tabla 5.2.	De los percentiles (Media ponderada a $x(Np)$ ):	C.5.20
Tabla 5.3.	Estadísticas descriptivas:	C.5.25
Tabla 5.4.	Parámetros estimados::	C.5.26

Tabla 5.5.	Estadísticas estimadas sobre los datos	C.5.26
Tabla 5.6.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov:	C.5.26
Tabla 5.7.	Prueba del Chi-cuadrado:	C.5.27
Tabla 5.8.	Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas:	C.5.27
Tabla 5.9.	Parámetros estimados.	C.5.28
Tabla 5.10.	Estadísticas estimadas sobre los datos	C.5.28
Tabla 5.11.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov.	C.5.29
Tabla 5.12.	Prueba del Chi-cuadrado	C.5.29
Tabla 5.13.	Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas	C.5.30
Tabla 5.14.	Parámetros estimados	C.5.31
Tabla 5.15.	Estadísticas estimadas sobre los datos	C.5.31
Tabla 5.16.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov	C.5.32
Tabla 5.17.	Prueba del Chi-cuadrado	C.5.32
Tabla 5.18.	Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas	C.5.33
Tabla 5.19.	Valores de frecuencia FIC	C.5.34
Tabla 5.20.	Estadísticas descriptivas	C.5.35
Tabla 5.21.	Parámetros estimados	C.5.35
Tabla 5.22.	Estadísticas estimadas sobre los datos	C.5.35
Tabla 5.23.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov:	C.5.35
Tabla 5.24.	Prueba del Chi-cuadrado	C.5.36
Tabla 5.25.	Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas	C.5.36
Tabla 5.26.	Estadísticas descriptivas	C.5.38
Tabla 5.27.	Parámetros estimados	C.5.38
Tabla 5.28.	Estadísticas estimadas sobre los datos	C.5.38
Tabla 5.29.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov	C.5.38
Tabla 5.30.	Prueba del Chi-cuadrado	C.5.39
Tabla 5.31.	Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas	C.5.39
Tabla 5.32.	Estadísticas descriptivas	C.5.41
Tabla 5.33.	Parámetros estimados	C.5.41
Tabla 5.34.	Estadísticas estimadas sobre los datos	C.5.41
Tabla 5.35.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov	C.5.41
Tabla 5.36.	Prueba del Chi-cuadrado	C.5.42
Tabla 5.37.	Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas	C.5.42
Tabla 5.38.	Escenarios de estudio para el análisis del Modelo IVAFIC.	C.5.55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.	Diagrama de Flujo del Modelo Exploratorio IVAFIC	C.3.2
Figura 3.2.	Interacción EXCEL - MATLAB.	C.3.21
Figura 3.3.	Entorno de MATLAB	C.3.22
Figura 3.4.	Entrada al programa EIA	C.3.26
Figura 3.5.	Interfaz EIA	C.3.27
Figura 3.6.	Importación de datos	C.3.28
Figura 3.7.	Presentación de resultado del análisis	C.3.29
Figura 3.8.	Función de membresía para el conjunto de las personas altas.	C.3.50
Figura 3.9.	Tablas de verdad de las operaciones básicas de los conjuntos difusos.	C.3.52
Figura 3.10.	Ejemplo gráfico del proceso de interpretación de una regla difusa.	C.3.56
Figura 3.11.	Ejemplo de la aplicación del método de implicación al consecuente.	C.3.59
Figura 3.12.	Resultado de la defusificación, expresado como un único valor en el universo de discurso de la salida, el cual responde al centroide del área bajo la curva del conjunto difuso de salida.	C.3.60
Figura 3.13.	Esquematización general de un sistema de inferencia difusa.	C.3.61
Figura 4.1.	División Política de los municipios de la cuenca del Rio Garagoa	C.4.2
Figura 4.2.	Actividades totales vs Paisaje.	C.4.13
Figura 4.3.	Actividades totales vs Históricos.	C.4.14
Figura 4.4.	Actividades totales vs geoesféricos	C.4.15
Figura 4.5.	Actividades totales vs Hidrometeorologicos	C.4.16
Figura 4.6.	Actividades totales vs Ecosistema	C.4.17

Figura 4.7.	Actividades totales vs Económicos	C.4.18
Figura 4.8.	Actividades totales vs Biodiversidad	C.4.19
Figura 4.9.	Paisaje vs Disposición de basuras	C.4.20
Figura 4.10.	Hidrometereológicos vs Disposición de basuras	C.4.21
Figura 4.11.	Biodiversidad vs Proyectos de minería	C.4.22
Figura 4.12.	Económicos vs Calderas de alfarería	C.4.23
Figura 4.13.	Ecosistemas vs Proyectos de minería	C.4.24
Figura 4.14.	Geoesféricos vs Infraestructura Eléctrica	C.4.25
Figura 4.15.	Históricos vs Edificaciones	C.4.26
Figura 4.16.	Funciones de membrecía del conjunto difuso definido por el PIB.	C.4.27
Figura 4.17.	Funciones de membrecía del conjunto difuso definido por la TCP.	C.4.28
Figura 4.18.	Funciones de membrecía del conjunto difuso definido por el índice de GINI.	C.4.29
Figura 4.19.	Funciones de membrecía del conjunto difuso definido por el FIC	C.4.29
Figura 4.20.	Funciones de membrecía del conjunto difuso de salida que define el IVA.	C.4.30
Figura 4.21.	Proceso de agregación de las 23 reglas del sistema de inferencia difusa para el análisis del IVA.	C.4.33
Figura 5.1.	Gráfico de contorno del FI	C.5.16
Figura 5.2.	Vista Tridimensional de FI	C.5.16
Figura 5.3.	Gráfico de comportamiento del FIC	C.5.17
Figura 5.4.	Vista Tridimensional de FIC	C.5.17
Figura 5.5.	Histograma FI.	C.5.20
Figura 5.6.	Distribución acumulada empírica	C.5.21
Figura 5.7.	Diagrama de Caja – Valores estimados de Fi	C.5.22
Figura 5.8.	Diagrama de Dispersión	C.5.23
Figura 5.9.	Frecuencias observadas y teóricas	C.5.28
Figura 5.10.	Frecuencias observadas y teóricas	C.5.31
Figura 5.11.	Frecuencias observadas y teóricas	C.5.33
Figura 5.12.	Frecuencias observadas y teóricas	C.5.34
Figura 5.13.	Frecuencias observadas y teóricas.	C.5.37
Figura 5.14.	Frecuencias observadas y teóricas	C.5.40
Figura 5.15.	Frecuencias observadas y teóricas	C.5.43
Figura 5.16.	Mapa de ISOFIC para las provincias de la cuenca del Río Garagoa	C.5.54
Figura 5.17.	Diagrama de flujo del modelo IVAFIC para el usuario.	C.5.59

## RESUMEN

Hoy en día, en el que el mundo continuamente sufre transformaciones, el hombre se ha preocupado por conocer y hacer de su entorno ambiental un lugar vivible, pero al mismo tiempo, el mismo se ha encargado de maltratarlo y llevarlo a situaciones que desdibujan un verdadero caos.

Ese caos, conocido como Impacto Ambiental, es necesario medirlo, para lo cual se ha empleado la metodología de la Evaluación del Impacto Ambiental EIA, sin contar hasta hoy con un modelo sistémico para hacerlo cuantitativamente al nivel de una Cuenca Hidrográfica y por consiguiente estimar un Indicador que asocie condiciones económicas y ambientales al mismo nivel de Cuenca, generando así un Problema en términos de la Evaluación para la Gestión Ambiental.

La aplicación del modelo desarrollado en este trabajo denominado IVAFIC, responde al problema presentado, evaluando a través de un modelo matemático y con la ayuda de herramientas computacionales de Programación Estructurada y de Sistemas de Información Geográfica, el impacto ambiental en una cuenca de forma cuantitativa definido como Factor de Impacto Corregido FIC.

Ahora bien, con el apoyo de un modelo de Lógica Difusa, se resuelve la parte final del problema planteado, toda vez que se relacionan variables económicas con el valor determinado de FIC, obteniendo así un Indicador de valor Ambiental denominado IVA.

## **ABSTRACT**

Nowadays, when the world continually undergoes transformations, man is concerned to know and make their environment a livable place. Even though, at the same time, he has damaged it and created really chaotic situations.

It is necessary to measure that chaos, known as Environmental Impact. The methodology of the Environmental Impact Assessment (EIA) has been used for that purpose. However, until today, it does not have a systemic model to apply it quantitatively to the level of a river basin and estimate an indicator that associates economic and environmental conditions in the same level of Basin. That condition creates a problem in terms of Assessment for Environmental Management.

The solution to the problem presented is the application of the model developed in this work, called IVAFIC. Such a model evaluates quantitatively environmental impacts in a basin through a mathematical model and with the help of computational tools for Structured Programming and Geographic Information Systems and it is defined as Corrected Impact Factor (FIC). However, the final part of the problem is solved with the support of a fuzzy model, where economic variables are related to the value determined by FIC, thus obtaining an Environmental Value Indicator called IVA.

## **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. MOTIVACIÓN**

El hombre a través de la historia se ha preocupado por conocer el mundo que lo rodea. Dada esa preocupación, los ingenieros han procurado hallar nuevos y novedosos sistemas de interpretación medio ambiental, en la búsqueda de soluciones que posibiliten espacios dignos y calidad de vida al ser humano.

En ese orden de ideas, se ha introducido el reconocido concepto de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), en el cual, se ha avanzado a nivel mundial incluyendo los países en vía de desarrollo.

Con el anterior objeto, se han implantado técnicas y modelos para estimar las implicaciones de la acción antrópica sobre el medio ambiente, ajustándose a medidas de tipo cualitativo, que sin duda, procuran proteger el reconocimiento y generación de alternativas de solución a las distintas problemáticas que se puedan presentar.

En la actualidad, existen herramientas de tipo tecnológico que permiten ampliar el horizonte cognitivo, con el fin de explorar de una forma concreta conceptos que otrora, se encontraban lejanos a su estudio. Pues bien, ahora resulta más sencillo proyectar verdaderos escenarios de planeación y control sobre la realidad del hombre. Como ejemplo de ello, se manifiestan hoy los Sistemas de Información Geográfica, SIG, así como la Programación Estructurada configurada con el lenguaje propio de MATLAB, entre muchos otros que sin duda, posibilitan el ejercicio de cuantificación, en este caso, del impacto ambiental a nivel de cuenca.

Ahora bien, la formulación de planes de manejo y protección de cuencas, entendida como una política imprescindible dentro del esquema gubernamental de todo país, requiere de la información ambiental que tiene deficiencias en cuanto a su disponibilidad (cantidad). Para salvar la limitación de esta información, se requiere el uso de herramientas que permitan evaluarla, organizarla y generarla de modo rápido y con un grado de confiabilidad aceptable. (Ongay, 1998).

En cuanto a la cuantificación del impacto ambiental a nivel de cuenca, es claro que la misma, permitiría estimar acertados presupuestos, que hasta hoy, parecieran desperdiciados en la medida que no reflejan acertadamente soluciones reales a los distintos problemas que se generan de la acción antrópica, que a su vez, revierte sobre si en virtud de la participación ciudadana en la planeación Regional, en cumplimiento de las leyes de planeación vigentes. (Bohórquez, 1997)

En la actualidad, existen indicadores económicos que facilitan o mejor aún contextualizan rápidamente la situación propia de algún sector económico o la situación particular de un país. A través de estos índices, se ha podido reconocer a las economías sólidas, los momentos de crisis, de inversión, entre otros.

Ahora bien, así como la inflación nos refleja el rápido crecimiento de la oferta monetaria, el GINI mide el grado de pobreza (Romer, 2002), sería interesante y de mucha utilidad tener un indicador que mostrara la situación ambiental de una zona, en este caso una cuenca, vista desde una óptica económica y técnica que asocie variables económicas y evaluación de impactos, de forma tal que el indicador, en forma sencilla y expedita, pueda vislumbrar el panorama general económico-ambiental de una cuenca, siendo así soporte para la toma de decisiones administrativas y políticas que redunden en beneficio de las comunidades.

Dentro de las acciones Administrativas se encuentra la de presupuestar, implícita en las actividades humanas desde la época de las primeras civilizaciones. Se sabe que desde los imperios babilónico, egipcio y romano se debía planear las actividades de manera acorde con los cambios climáticos para aprovechar las épocas de lluvias y asegurar la producción de los alimentos (Burbano, 2005).

La conclusión a partir de las reflexiones anteriores radica en que hoy en día, los órganos encargados del manejo de la materia ambiental, necesitan de técnicos que aporten continuamente instrumentos claros y sencillos, como el factor de impacto ambiental cuantificado de una cuenca, o la estimación de un indicador ambiental, para resolver adecuadamente los conflictos presentados en todas las esferas. Lo anterior ha cobrado importancia en los países en vía de desarrollo por cuanto las partidas presupuestales son reducidas, y por consiguiente, se genera la necesidad de saberlos distribuir en defensa de la igualdad, consagrado éste último en la Constitución Política de Colombia de 1991 como derecho fundamental.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Formular un modelo sistémico que permita evaluar de forma cuantitativa el impacto ambiental en una cuenca, y a su vez, valorar desde el punto de vista económico dicho impacto.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para el cumplimiento del objetivo general se fijaron como objetivos particulares:

- ❖ Desarrollar una matriz de evaluación de impactos EIA a la cuenca tomada como caso de estudio, a partir de trabajo de campo, información de expertos y participación ciudadana.
- ❖ Proponer un modelo matemático de tipo meta heurístico que evalúe cuantitativamente el impacto ambiental de una cuenca, hasta obtener el Factor de Impacto Total, utilizando herramientas computacionales de programación estructurada.
- ❖ Integrar los resultados del Factor de Impacto calculado a los Sistemas de Información Geográfica de forma que se resalten las actividades que más impactan la cuenca y de otro lado, los factores más afectados.
- ❖ Generar un mapa de resultados de la evaluación ambiental a nivel de Municipio, usando la herramienta SIG.

### **1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. DESCRIPCIÓN**

La toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales para implementar modelos de gestión, planes de manejo y protección, planes de inversión, leyes ambientales, entre otros, a nivel de cuenca, han suscitado inconvenientes teniendo en cuenta que gran parte de la información se procesa de forma cualitativa, en un momento en el que la dinámica universal requiere de celeridad, y muchos de los conceptos deben cuantificarse, estandarizarse y valorarse en términos económicos, aprovechando las herramientas de tipo tecnológico, y de esta manera, afinar presupuestos que por demás, son escasos en esta zona del continente, dada la gran variedad de recursos naturales existentes; se hace necesario entonces, ofrecer garantías en relación con la solución a los problemas ambientales, sin desestimar con esto, la importancia de percibir cualitativamente la problemática ambiental desde la óptica de los expertos y la comunidad en general .

#### **1.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

- ❖ No hay un modelo sistémico que permita cuantificar el impacto ambiental a nivel de cuenca.
- ❖ Se carece de un indicador económico ambiental a nivel de cuenca.

#### **1.3.3. HIPÓTESIS**

Para dar solución a la problemática planteada en este trabajo, se han considerado las siguientes hipótesis:

- ❖ A través de un modelo matemático, es posible calcular cuantitativamente el impacto ambiental en una cuenca.
- ❖ Por intermedio de un modelo de Lógica Difusa, es factible derivar un Indicador de Valor Ambiental a nivel de cuenca.

#### **1.4. ALCANCE Y CONTRIBUCIONES**

El desarrollo de esta investigación en su Fase 1 llega hasta la valoración numérica de cualquier cuenca, con sus actividades antrópicas particulares y variedad de factores ambientales impactados, sea cualquiera su condición de ubicación geográfica. Es posible igualmente, aplicar el modelo planteado en la fase mencionada para escenarios más pequeños o puntuales con acción directa de proyectos específicos. Vale la pena rescatar, que dicha valoración de impacto está dada en función de dos atributos que para el alcance del ejercicio de este trabajo, es decir a nivel de cuenca, resulta suficiente, cómodo, sencillo y a su vez significativo, en la medida que valora los impactos en función de la Durabilidad y Reversibilidad de los mismos.

De otro lado, este trabajo en su Fase 2, considera la presentación de un Indicador que se ajusta para cualquier escenario ambiental y el cual está dado en función de cuatro componentes, tres de tipo económico y uno de tipo ambiental, ellos son : El PIB, desempleo, GINI y Factor de Impacto, teniendo en cuenta su interrelación y relevancia en el concierto ambiental, y que para los efectos de estimar o reflejar una condición económico – ambiental a nivel de cuenca, significa un orden de magnitud en el sentido de entender o interpretar una asignación de valor económico a un factor de impacto ambiental dado.

El aporte se cifra en la condición de poder catalogar a través de un valor numérico la condición de una cuenca, en relación con el impacto que producen las actividades antrópicas, como a su vez, asociar el mismo a unas condiciones económicas, de modo tal, que la lectura de un Indicador Ambiental como el propuesto, sea instrumento o patrón de medida, para la adopción de políticas acordes con la realidad ambiental, por parte del Ejecutivo o Legislador de una región o país.

#### **1.5. ESTRUCTURA GENERAL DEL DOCUMENTO**

El presente trabajo de investigación se desarrolla en seis capítulos. En un primer capítulo se plasma las razones que motivaron la selección de este tema, junto con los objetivos, formulación del problema, hipótesis, alcances y aportes al conocimiento científico.

En una segunda unidad se destaca el estado del arte en torno al tema de estudio y demás antecedentes relacionados con la evaluación de impactos ambiental. En esta misma unidad, se describen antecedentes bibliográficos relacionados con la

participación ciudadana, la relación entre el medio ambiente y la economía y el municipio como unidad básica de extensión; conceptos fundamentales e íntimamente relacionados para el desarrollo de la investigación.

El tercer capítulo registra la metodología de la investigación, la definición conceptual del modelo sistémico propuesto denominado IVAFIC, la elaboración de la EIA, su validación a través de la matriz de ruta, y la referenciación de los resultados del modelo en su fase I utilizando los sistemas de información geográfica SIG.

Los fundamentos para la escogencia de la zona de estudio así como su descripción, aplicación del modelo IVAFIC en sus fases I y II, con la presentación de sus resultados y su representación utilizando sistemas de información geográfica se presentan en el capítulo cuarto.

El capítulo cinco está dedicado a estimar todos los análisis estadísticos, análisis de resultados y discusiones, así como el mapa de ISOFIC a nivel de municipios y el modelo conceptual de aplicación del modelo por parte de un usuario.

El último capítulo hace referencia a las conclusiones, recomendaciones y propuesta de nuevos proyectos a partir de ésta investigación.

## CAPITULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ESTADO DEL ARTE

La preocupación de que surgiera una forma de protección sobre el medio ambiente, data de 1920. En esta época se concentraron esfuerzos para predecir los impactos altamente tangibles o visibles a nivel local. R.E. Hester (1999), Roy et al., (1999).

En el periodo entre los años 1950 y más recientemente hacia 1980 se dio un conjunto emergente de preocupaciones acerca de la demanda de recursos medioambientales, la cual creció en una extensión geográficamente más amplia produciendo impactos y necesitando la mediación cada vez más avanzada de los científicos. R. E. Hester (1999), Roy et al., (1999).

En la segunda mitad del siglo XX aspectos ambientales tomaron mayor importancia a nivel político viéndose reflejado en una legislación más estricta para el aprovechamiento de recursos naturales. R. E. Hester, et al., (1999).

En la actualidad han aparecido modelos matemáticos como apoyo al diagnóstico y valoración de los impactos ambientales EIA. Estos modelos tienen como finalidad, identificar las modificaciones ambientales significativas, predecir el cambio cualitativo y/o cuantitativo especial en el ambiente identificado y estimar la probabilidad de que ocurra el impacto. Jiménez Cisneros Blanca E., 2002. Las EIA aparecen en Estados Unidos a finales de los años 60 con el nombre de “*environmental impact assessment*”.

Existen algunos métodos para la evaluación de los impactos ambientales como la matriz de Causa-Efecto (Leopold, 1971), o el sistema de Batelle, los cuales cuentan fundamentalmente con características cualitativas. Las matrices causa-efecto son métodos de valoración cualitativa, muy útiles para valorar las diversas alternativas de un mismo proyecto. La matriz de Leopold es la más conocida y la primera metodología que se diseñó para las EIA.

Lázaro Lago Pérez, en su trabajo Metodología general para la evaluación de impacto ambiental de proyectos 1999, presenta un modelo para cuantificar impactos ambientales de utilidad práctica con proyectos pequeños y medianos . El método contiene estos criterios de evaluación : Carácter del Impacto (CI), Intensidad del impacto (I), Extensión del impacto (EX), Sinergia (SI), Persistencia (PE), Efecto (EF), Momento del impacto (MI), Acumulación ( AC), Recuperabilidad (MC), Reversibilidad (RV), Periodicidad (PR).

La valoración cuantitativa del impacto, importancia del efecto (IM), se obtiene a partir de la valoración cuantitativa de los criterios explicados anteriormente y su expresión es la siguiente:

$$IM = \pm[3(I) + 2(EX) + SI + PE + EF + MO + AC + MC + RV + PR] \quad (2.1.)$$

De otro lado, Gundysalvo Morales, 1998 planteó un modelo para evaluar cuantitativamente los impactos ambientales en función de estos atributos: Intensidad (I), Efecto (E), Extensión (A), Temporalidad (T), Duración (D), Reversibilidad (R), Naturaleza (N).

La importancia del impacto será dada por:

$$I = \pm (3I + E + 2A + T + 2D + R) \quad (2.2.)$$

Al igual que Lázaro Pérez, el modelo aplica para medianos y pequeños proyectos.

A nivel de cuenca hidrográfica, no existen estudios previos que posibiliten el cálculo numérico del impacto ambiental a través de la formulación de un modelo sistémico. Por tal motivo, el modelo a presentarse es de tipo meta heurístico, y se estima su mejoramiento con el tiempo, o por el contrario su refutación, en la medida que se aplique a más Cuencas, lo que implica un dispendioso trabajo que demandará una considerable mano de obra, tiempo y recursos económicos.

Ahora bien, como la pretensión del trabajo es integrar el valor cuantitativo de impacto a variables de tipo económico, visibles en un Indicador, y después de revisada la bibliografía en donde se ha identificado la no existencia de un método sistémico para la cuantificación de los impactos a nivel de Cuenca, no hay un método integrador de estos componentes para estimar un Indicador del tipo deseado. No obstante, se han planteado indicadores de tipo económico y ambiental. En el terreno ambiental y en el marco de los países de la Unión Europea, el desarrollo de planes nacionales de política ambiental comienza a darse a mediados de los 80. Es entonces cuando surge la necesidad de poner en práctica instrumentos evaluadores de la situación del medio ambiente y las consecuencias de las medidas aplicadas.

Tras un largo período de investigación sobre la estructura y contenido de los indicadores ambientales, proceso que permanece abierto, existe consenso sobre su utilidad como medio de información.(Manrique, 2000). Según El grupo de Revisión de la Política Ambiental de la Comisión Europea, formado por responsables políticos de todos los países miembro, decidió organizar un "Grupo de Expertos" en indicadores de integración con el fin de asesorar a la Comisión en estos aspectos.

Este Grupo de Expertos planteó la necesidad de definir unos pocos “Indicadores de cabecera” representativos cuyo objetivo principal sea establecer un instrumento de comunicación sobre aspectos ambientales clave. La selección de indicadores está basada en los trabajos de Eurostat y la Agencia Europea de Medio Ambiente. (Manteiga, 2000).

Según Manteiga, existe una diversidad de tipo de indicadores que pueden agruparse en indicadores de tipo ambiental, indicadores de integración sectorial, e indicadores de integración económica. En este último grupo encontramos :

- ❖ PIB verde y Gasto total consolidado en actividades características medioambientales. (OCDE 1993).

Los fondos estructurales de la Unión Europea son instrumentos financieros disponibles para aproximar la situación socioeconómica del conjunto de países que la conforman. Estos instrumentos precisan una detallada planificación económica a nivel regional que justifique la asignación de fondos.

La política ambiental siempre ha estado presente en el marco reglamentario de los fondos estructurales. Sin embargo, es en los últimos reglamentos, para el período 2000-2006 donde mayor hincapié se hace en la necesidad de integrar la variable ambiental en la programación estructural. (Manrique, 2000).

En consecuencia, de las actividades desarrolladas en la Unión Europea que tomamos en este sector de la geografía mundial, como lo es el continente americano, especialmente su cono sur, como referencia para ajustar los fondos de recursos para inversión ambiental basados en indicadores. Este trabajo bajo ese esquema propone la vinculación de un indicador a nivel de cuenca, con la idea de poder aportar una base justa para la adopción de estas políticas financieras.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL DEL MANEJO Y PROTECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

Realizar un ejercicio para cuantificar el impacto ambiental de una cuenca y definir un Indicador que integre el mismo variables económicas, adquiere sentido en la medida que se puedan emplear o sirvan de soporte para formular los planes de manejo y protección de cuencas acordes con la realidad ambiental y económica de un país, región, provincia, municipio.

Abordaremos algunos conceptos que integran el desarrollo de un Plan de Manejo y Protección de Cuencas, y que a su vez, están íntimamente relacionados con la metodología aplicada en esta investigación , como la participación ciudadana en la evaluación ambiental, la relación o vínculos del Medio ambiente y su evaluación

con la economía sectorial para la formulación de un Indicador Económico Ambiental, y el municipio como unidad básica territorial y de gobernabilidad para la formulación y aplicación de los planes antes mencionados.

### **2.2.1. Planes de Manejo y Protección de Cuencas**

En la historia y todavía en algunas regiones, se practica la utilización predatoria de los recursos naturales. Salvo en los casos extremos de aridez donde no existe indicio de escurrimiento de agua, cualquier parte del territorio está incluido en una cuenca hidrográfica. Las tierras de las cuencas varían grandemente en cuanto a su rendimiento de agua, sensibilidad natural, y actividades que soportan. La relación entre manejo apropiado y resultados de largo plazo es crucial, incluyendo erosión, inundaciones, calidad y cantidad de agua y vida silvestre. Faustino et al., (2002).

Las cuencas hidrográficas son las mayores áreas receptoras y colectoras de aguas, al mismo tiempo son el hábitat principal de todos los seres vivientes. El concepto de manejo de cuencas se debe al conocimiento que existe sobre la relación entre la calidad y cantidad de agua con los tipos y formas de usos a que someten las tierras de las mismas. La conservación del suelo y del agua es un concepto de aplicación originado para hacer frente a los graves problemas de erosión en los suelos que ocurre en las cuencas. Faustino (2002), Kass (2002), Tineo,(2002).

El manejo de cuencas está relacionado con cualquier actividad del uso de la tierra debido a la relación indicada. El análisis de las cuencas incluye todos los recursos presentes con especial énfasis en el agua, incluyendo el conocimiento de los procesos hidrológicos y, mediante modelos de simulación, su comportamiento hidrológico con la modificación de las variables que lo afectan. En adición al inventario de los recursos hídricos interesan las características geomorfológicas de la cuenca, el clima, los suelos, la topografía, los tipos y condiciones de la vegetación.

La planificación de cuencas está interesada en identificar áreas problema actuales o potenciales. La identificación de planicies de inundación, áreas geológicas peligrosas, trayectoria de avalanchas, áreas húmedas, y otras le puede ahorrar tiempo y esfuerzos considerables. Para la ejecución de acciones específicas en las cuencas actualmente se realizan estudios de impacto en el medio natural (Estudios de Impacto ambiental EIA). Dichos estudios además de presentar los inventarios de los recursos en el sitio, incluyen análisis detallados de las consecuencias probables de la acción propuesta y métodos de investigación de los impactos. Faustino et al., (2002).

La falta de asistencia técnica en aspectos de protección y conservación de los recursos naturales, esta inhibiendo a las municipalidades para poder jugar un papel

más decisivo en cuanto a la conservación y protección de una Cuenca. Losilla, et al., (1987).

La parte socioeconómica en un Plan de Manejo y Protección es de vital importancia. Se deben tener reuniones guiadas por técnicos, con los actores campesinos o pobladores de la cuenca (Diagnóstico Rural Participativo) y en las cuales se analiza aspectos relativos a la agricultura, la salud, la educación, la actividad pecuaria y la biodiversidad existente.

Los aspectos socioeconómicos, son complementados con estudios técnicos relacionados a pendientes, hidrología, geología, uso de suelos y otros que dan una primera aproximación del grado de riesgo de erosión presentada en una cuenca.

Los dos aspectos, el socioeconómico y el físico de una cuenca, dan lugar a un Plan de Manejo que permite la mejor opción de desarrollo de una cuenca, de manera que el mismo sea ambientalmente sostenible y genere ingresos extraordinarios a los pobladores y a la sociedad en su conjunto.

### **2.2.2. Participación Ciudadana**

Sería más optimista respecto al futuro que espera al ser humano si este no perdiese el tiempo queriendo demostrar que es más sabio que la naturaleza y dedicase más tiempo a deleitarse con su dulzura y a respetar su veteranía.  
E. White

El mundo, desde un punto de vista netamente utilitarista, podría definirse como un conjunto de elementos, bien sean naturales o artificiales, que le ofrecen al hombre la posibilidad de hacer maravillas y desarrollar tecnologías un día antes inimaginadas. Es así como en las últimas décadas se ha empezado a desarrollar un desaforado gusto por la realidad virtual, las comunicaciones intercontinentales rápidas por medio de aparatos electrónicos, el diseño de implementos destinados a fines científicos e industriales, a más de los destinados al entretenimiento, los cuales por su gran demanda en el comercio mundial, han generado un empleo masivo e indiscriminado de recursos naturales que, con el paso de los años, ha redundado en un crecimiento casi inmanejable de los índices de contaminación y extinción de los mismos; y, cuando se habla de casi inmanejable, se hace referencia a la posibilidad de controlar tanto el impacto medioambiental de cada uno de los proyectos ya mencionados como de la expansión urbana que se genera en torno a los mismos y es considerada como factor altamente negativo dentro de la lista que aumenta día a día debido a la falta de conciencia tanto personal como la gubernamental.

Por las razones expuestas, se ha considerado conveniente desarrollar dentro del presente trabajo un estudio sucinto pero real y centrado, frente al tema de la percepción ambiental y al impacto de la participación ciudadana tanto en procesos de degradación ecológica como en la búsqueda de mecanismos que contribuyan a la conservación y la preservación de los pocos recursos renovables que aún quedan y de otros no renovables que, como se explicará más adelante, en caso de que desaparecieran podrían suscitar a corto plazo conflictos de índole social.

No obstante, aunque el tema a abordar parezca ser una materia propia de conciencia ciudadana o educación ambiental, la cuestión en sí va más allá, ya que, aunque en los últimos años y en simultánea al fanatismo por los avances tecnológicos también han nacido distintas organizaciones en defensa de la naturaleza, como la ONU y el Banco Mundial, que a su vez han creado dependencias o comisiones dedicadas única y exclusivamente al desarrollo de estrategias globales de prevención y promoción ambiental, no puede desconocerse el hecho de que en algunos de los casos, sobretudo en los más críticos se necesita de la aplicación de estudios como el que aquí es presentado, para buscar dar soluciones contextualizadas a problemáticas actuales no sólo de índole ambiental sino social que en algunos casos alcanzan la esfera de lo jurídico y lo político, e igualmente proponer acciones preventivas que no permitan la ocurrencia de otras situaciones de riesgo en un futuro.

En este orden de ideas, al plantear esas soluciones y este tipo de estudios, que no se limitan a planteamientos técnicos sino que van más allá siguiendo diseños metodológicos como la matriz de ruta, se pasa de la dependencia de bases meramente teóricas, como en este caso acudiendo a lo descrito por la psicología ambiental, sino que se acude también a un estudio de índole sociológico haciendo acercamiento a experiencias anteriores planteadas en otros proyectos, e igualmente echando mano a herramientas como el derecho ambiental moderno que, en parte, enmarca cualquier tipo de acción legal que pueda llegar a adelantarse.

Es por ello que se reseñará, de una forma breve, lo concerniente a la psicología ambiental para, acto seguido, enunciar aquellos indicadores ambientales generadores de alertas y proyectos mundiales, abordando el tema socio-legal actual que envuelve a la percepción ambiental, específicamente lo referente al Protocolo de Kyoto, con el fin de determinar la importancia y el impacto que tiene la participación ciudadana y los procesos de evaluación en el desarrollo e implementación del actual estudio.

#### **2.2.2.1. Psicología Ambiental como base teórica de la percepción ambiental.**

La psicología ambiental nace de la necesidad de estudiar la relación del ser humano con el medio ambiente. Esta rama de la psicología es relativamente nueva; el psicólogo Kurt Lewin fue uno de los pioneros en este tema y fue su interés analizar la interacción entre ellos dadas las relaciones de los sujetos en los diversos

contextos y de la influencia del grupo en el comportamiento del individuo, con respecto al medio con el cual se desenvuelven.

Cabe anotar que esta rama de la psicología presenta cinco principios sobre los cuales deben basarse tanto cuando se efectúa alguna acción como cuando se adelanta una investigación al respecto.

El hombre es capaz de modificar el ambiente. Dada su acelerada evolución, el ser humano ha venido realizando cambios drásticos en su entorno con el fin de optimizar los resultados en las diferentes actividades que realiza y, como es natural, genera impactos que pueden tener consecuencias positivas o negativas para el medio.

Es necesario estar presente en todos los contextos del día a día. Las condiciones medio ambientales van cambiando en forma tan rápida que es perentorio mantener una observación y análisis permanentes con el fin de buscar alternativas de solución y/o prevención que permitan actuar de la manera más coherente y práctica posible para minimizar o anular las consecuencias nefastas del accionar del hombre frente al deterioro de los recursos naturales y del medio ambiente.

Considerar a la persona y el medio ambiente como una entidad única. Mientras el ser humano se mire de manera aislada y se considere como un ente independiente del contexto en el cual se desarrolla y vive no es posible llegar a la protección del medio por cuanto se le ve como un factor exógeno no determinante en su vida y realización personal.

El individuo actúa en el medio ambiente y el medio ambiente afecta a la persona. Hasta el momento, la mayor parte de los seres humanos actúan de forma irresponsable con el medio, afectándolo negativamente ya que se da la espalda al perjuicio que se causa adoptando conductas antiecológicas sin darse cuenta de que en la medida en que el ambiente sea sano, el ser humano se mantendrá también así, de lo contrario se está convirtiendo al medio en un factor constante de riesgo tanto para el bienestar propio como del planeta.

Una investigación o intervención de este tipo debe siempre llevarse a cabo con la ayuda de otras ciencias. El planeta es un todo y las diferentes ciencias emanan de la necesidad de solucionar los problemas que en él se generan. Es más, todas las ciencias pueden y deben hacer sus aportes con miras a buscar salidas a las situaciones problémicas que en este tema se generan cada día.

De lo anterior se colige que el desarrollo del movimiento ambiental desarrollado con base en la psicología y la sociología es el punto de partida para la creación, aplicación y vigilancia de indicadores ambientales así como para la posterior evaluación de los mismos. No obstante, al mismo ritmo en que creció la población

interesada por el tema del desarrollo medio ambiental sostenible y la creciente interacción entre el humano y el ambiente, aumentó el empleo de malas y masivas prácticas de no conservación de los indicadores ambientales como el agua, la atmósfera, los suelos, los residuos, los recursos forestales y la biodiversidad.

#### **2.2.2.2. Indicadores Ambientales: actualidad y crisis.**

Es importante recalcar que en el pasado la lista de indicadores ambientales y de desarrollo sostenible se reducía a factores como el agua, el suelo, el aire y la biodiversidad pero, teniendo en cuenta ante todo las crisis ambientales, ha venido transformándose con el paso de los años y por tanto, en la actualidad se ha incrementado considerablemente.

Así pues, en la actualidad, los componentes que se reúnen entorno a la descripción, análisis, evaluación y sobretodo origen de crisis en cada uno de los indicadores, son varios y comprenden diversos campos del conocimiento, especialmente atendiendo al hecho de que, según la según lo planteado en la Guía metodológica – Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible:

El Índice de Sostenibilidad Ambiental (Yale University and Columbia University, 2005) se construye con el objetivo de constituirse en una medida basal que permita a las Naciones evaluar la forma en que se protege al medio ambiente en las próximas décadas, para lo cual plantea la integración de un conjunto de indicadores relacionados con los niveles pasados y presentes de contaminación, los esfuerzos de gestión ambiental, la capacidad de la sociedad para mejorar su desempeño ambiental, entre otros.<sup>1</sup>

De acuerdo con el anterior planteamiento, vale la pena anotar que el ESI categoriza en cinco grupos los 21 indicadores de sostenibilidad ambiental que tiene en cuenta, así:

Sistemas ambientales, Reducción de la vulnerabilidad humana ante el estrés ambiental, Reducción del estrés ambiental, Gestión global y la Capacidad social e institucional de respuesta a retos ambientales.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> SCHUSCHNY, Andrés y SOTO, Humberto. Guía metodológica - Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Santiago de Chile: Copyright © Naciones Unidas, 2009. p.92

<sup>2</sup> ibid., p. 93

Así pues, el Índice de Sostenibilidad Ambiental está dado por el promedio ponderado de los 21 indicadores enunciados, y que comprenden desde la pobreza hasta los patrones de consumo y producción, pasando por la gobernabilidad, la salud, la educación, demografía, riesgos naturales, atmosfera, océanos, costas, mares, suelos, agua dulce, biodiversidad y desarrollo económico.

A partir de estos planteamientos es justo entonces, retomar un poco de la historia de la humanidad con el fin de evidenciar cómo el uso del agua ha sido modificado y diversificado ya que hace miles de años, cuando aún se estaba desarrollando el proceso de evolución humana y el hombre debido a factores climáticos, fisiológicos y posteriormente anatómicos era un ser de naturaleza nómada; el agua era utilizada como base alimenticia no sólo para la especie humana sino para las otras especies animales, así como un elemento de apoyo para el desarrollo agrícola; posteriormente, y ya actuando como homo sapiens empieza a desarrollar impulsos y conductas distintas que generen diversificación en el uso de los recursos naturales y más específicamente el agua que empieza a ser utilizada con fines higiénicos, y a incrementar su empleo en la agricultura con el paso del nomadismo al sedentarismo. Fue así como con el devenir de los tiempos, empiezan a generarse las industrias y el crecimiento y la expansión urbana que vinieron a desembocar en una conducta irresponsable de despilfarro que, en los últimos años, aquel recurso otrora tan abundante en nuestro planeta, ha venido a convertirse en un lujo del que gozan algunos sectores, no precisamente por políticas de cuidado, manejo o preservación, sino por ventajas de índole natural como el caso de sur América y que, en otros puntos cardinales tiene un índice de escasez tan alto generando finalmente tasas de mortalidad infantil, de pobreza, de epidemias, aumentadas de manera alarmante por la baja cobertura de los sistemas de salud.

Sumado a lo anterior, dicha insuficiencia ha llegado a convertirse en punto determinante de conflictos entre regiones, teniendo en cuenta que pueblos fronterizos con reducidas vías de acceso al recurso hídrico, entran en serias disputas con sus vecinos con el fin de alcanzar unas mejores condiciones para su población, y así mejorar la calidad de vida de la misma; dichas controversias han aumentado tanto que, varios analistas han realizado predicciones de futuras guerras por el preciado líquido. Es por esta razón que uno de los objetivos del milenio formulado por la ONU, propone que para el 2015 la proporción de la población carente de acceso al agua y al saneamiento básico sea reducida en un cincuenta por ciento.

Es tal la magnitud del problema que no se podría, en este espacio, mostrar las cifras actuales; las conclusiones a las que han llegado los estudios realizados por parte de las organizaciones dedicadas a la preservación de los recursos naturales, específicamente del agua, como es el caso de algunas comisiones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) entiéndase la UNESCO, la UICN, así como el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP).

No sobra mencionar que la insuficiencia de agua tiene relación, como prácticamente todos los artículos de consumo, con la oferta y la demanda. Es una realidad que ésta última va en acelerado aumento causado por el desmesurado incremento en el índice de población y como consecuencia lógica el crecimiento en el consumo, situación que se agrava cuando se tiene escasez de recursos hídricos que no pueden acrecentar la oferta, por lo cual sobrevienen conflictos tanto internos como con los vecinos; no obstante, algunos países han optado por disminuir los rangos en la agricultura para tratar de nivelar la oferta y la demanda del agua.

Pero la cantidad de agua no es el único problema que ha de considerarse pues no puede dejarse de lado el deterioro de la calidad del agua. No puede desconocerse la influencia nociva en este tema de la agricultura que, por el uso indiscriminado de abonos, fungicidas e insecticidas químicos, es el factor que genera el mayor grado de contaminación, sin dejar de lado las industrias y aún la población del común, que día tras día aumenta el consumo de materiales tóxicos que van a afectar las aguas.

De la misma manera, no puede dejarse de lado en el análisis del problema lo concerniente al aspecto geopolítico, dada la afectación tanto en la parte cualitativa como en la cuantitativa, causada por los consumidores aguas arriba de los ríos sobre los mismos de aguas abajo. Es así que dependen los segundos de los primeros y esa relación puede incidir en las relaciones de unos con otros.

### **2.2.2.3. Participación ciudadana en procesos ambientales.**

Desde la misma Constitución Política de Colombia, y más exactamente en el artículo 270, se concede facultad a los ciudadanos con el fin de que intervengan de forma activa en el control de la gestión pública ya que establece: "La ley organizará las formas y los sistemas de participación ciudadana que permitan vigilar la gestión pública que se cumpla en los diversos niveles administrativos y sus resultados".

Es así como, analizando el cumplimiento de la Ley, se observa que la realidad demuestra que la ausencia de la participación ciudadana se ve reflejada muy frecuentemente frente a la implementación de proyectos con gran impacto ambiental, y por supuesto sociológico, en los cuales no se ha tenido en cuenta a la población. La anterior situación puede describirse, entonces, a través de la siguiente reflexión:

“El otro problema mencionado es el de la participación ciudadana en estos procesos. En los casos de proyectos con conflictos ambientales en México, las expectativas del público para influir la forma de decisiones no concuerda con las realidades políticas y de las instituciones. Esto no es un fenómeno

único en México y sucede con frecuencia en países altamente desarrollados.  
3

La importancia de la participación ciudadana en un proceso de planeación participativa previo a la ejecución de un proyecto radica en la prevención o minimización de la posible ocurrencia de un daño ambiental y así evitar un costoso conflicto ulterior, tanto para determinar la responsabilidad del daño ambiental, como en su caso resarcirlo. Es decir, las acciones precautorias, de entendimiento, comprensión y participación en el diseño de un proyecto de desarrollo son mucho más económicas y redituables que cualquier acción o política remedial". (Ongay, 2000)

Es por ello que, con el paso de los años, se han creado diversas metodologías en las que se pretende que el proceso de planificación sea conjunto, en donde la participación ciudadana sea activa y tanto las autoridades como la población civil y los organismos investigativos y sociales, participen no sólo en el proceso de aplicación de determinado proyecto (desarrollado siguiendo etapas como las que serán descritas más adelante cuando se abarque el tema de planes ambientales municipales), sino también desarrollando formas de acompañamiento para determinar la eficacia de las evaluaciones de impacto ambientales previas, que permitan advertir posibles dificultades y afectaciones, con miras a implementar acciones dirigidas tanto a la prevención de riesgos como al mantenimiento de los servicios.

Ahora bien, la participación ciudadana realmente es sui generis, es un tema nuevo e incluso puede decirse que es una moda, una nueva moda, una tendencia que debe mantenerse y que ha ido cobrando fuerza en los últimos años.

"La tendencia actual en los países desarrollados es incrementar aún más la participación del público. En muchos casos, la incorporación de la opinión pública es mayor que la exigida por la ley, debido a que las instituciones se dan cuenta de que un proceso abierto da más credibilidad a los resultados del proceso de evaluación de los impactos ambientales y más apoyo a las decisiones de la institución encargada"<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> FIORINO, D.J; "Environmental risk and democratic process: a critical review, Colombia, Journal at Environmental Law, New York. Vol. 14 núm 2, 1989, pp 501-547.

<sup>4</sup> HORMAZÁBAL, Sylvia, HELGATH, Shella. Evaluación de impacto ambiental: La experiencia internacional. Ambiente y Desarrollo. Junio 1993. p. 10.

La participación ciudadana es entonces la base fundamental para desarrollar la protección ambiental, para desarrollar la legislación protectora del medio ambiente, y para generar los listados analíticos de los actuales indicadores económicos teniendo en cuenta que, cada uno de estos ítems afectan a la población y, por lo tanto, directamente al cuerpo gubernamental. Entonces, se espera que desde los Concejos Municipales hasta los cuerpos colegiados más sofisticados y numerosos, tengan en cuenta la intervención de la comunidad como base fundamental para la existencia y posterior implementación exitosa de un proyecto ambiental.

### **2.2.3. Municipio como unidad básica territorial**

*“La democracia es la necesidad de doblegarse de vez en cuando a las opiniones de los demás.”*  
Winston Churchill

Los municipios, como entidades territoriales que son, tienen algunas funciones específicas que contemplan, entre otras, la promoción de la participación de la comunidad y el progreso en materia social y cultural de los habitantes de los mismos, para lo cual cuenta con una su estructura propia que pretende garantizar el cumplimiento de todas las funciones y la prestación óptima de los servicios a su cargo.

En esta medida, el municipio debe realizar una gestión participativa que, arrancando de un consenso comunitario, adelante las acciones pertinentes que permitan no solamente el progreso de los pueblos sino también garantice la protección del medio ambiente, cuyo deterioro es cada día más preocupante debido a diferentes factores como el incremento del índice de población, el aumento en el uso de vehículos automotores, el manejo inadecuado de las basuras y la contaminación y desperdicio del agua, entre otros. Estas acciones deben desarrollarse en forma conjunta y así lograr un mayor sentido de pertenencia que permita mayor conocimiento y compromiso de todos los estamentos del municipio.

Es necesario considerar que el proceso debe iniciar con la educación, enseñando a los niños formas sencillas que deben realizarse a fin de preservar el medio ambiente. En el ejercicio de la gestión ambiental que se realice en el municipio es fundamental tener en cuenta lo concerniente a las actividades humanas que sustentan el desarrollo y que pueden definir el medio ambiente de acuerdo con el

planteamiento de Domingo Gómez Orea en la Evaluación de impacto ambiental<sup>5</sup> las cuales son: Fuente de recursos naturales, Soporte de los elementos físicos que las forman, Receptor de desechos y residuos no deseados; a través de estos aspectos, sostiene Gómez Orea, se puede entender, valorar, aceptar o rechazar los impactos ambientales ocasionados por las actividades humanas<sup>6</sup> lo cual a su vez permite determinar las formas de llegar a lograr la integración ambiental y la sostenibilidad<sup>7</sup>, fundamentales para que los resultados sean los mejores.

Indiscutiblemente no puede hablarse del tema sin mencionar la Evaluación de impacto ambiental EIA<sup>8</sup> que es un procedimiento que permite la identificación, prevención e interpretación de los impactos ambientales que pueden llegar a ocasionarse en el medio en el cual se desarrolle un proyecto. La EIA, entonces, permite que las autoridades correspondientes tengan suficientes elementos de juicio para aceptarlo, rechazarlo o modificarlo.

Es de gran importancia que no solamente los gobernantes sino la comunidad en general, conozcan la EIA de los proyectos a implementarse en su municipio, con el fin de poder conceptuar al respecto y hacer el concerniente seguimiento para evitar acciones negativas que puedan afectar su medio ambiente.

Sin embargo, en la actualidad la intervención popular en desarrollos administrativos no es mayoritaria, más aún si se analiza la misma viendo al Estado como un todo; de ahí, la importancia de volver a mirar hacia el municipio como unidad territorial básica productora de iniciativas ambientales, y como esfera esencial para la descentralización de políticas sociales y la apertura a una real participación ciudadana que exhorte no sólo al poder público municipal en pro del cuidado de lo público, sino para que en algunos casos sea un ejemplo para la creación de programas nacionales.

Teniendo en cuenta que el aparato legislativo del municipio es el Concejo, lo primero que debe observarse y ante todo garantizarse, es el cumplimiento de las funciones de dicho cuerpo colegiado dentro de las cuales debe encontrarse el

---

<sup>5</sup> GÓMEZ OREA, Domingo. Evaluación de impacto ambiental. 2ª edición. Ediciones Mundi-Prensa y Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid .2002.p.38

<sup>6</sup> Idem.

<sup>7</sup> Idem.

<sup>8</sup> Ibid. p.217.

reforzamiento de la autonomía municipal, desarrollando Consejos de gestión incluyentes a los que tengan acceso todos los sectores poblacionales bien sean mayoritarios, minoritarios o vulnerables, con el fin de integrar diversos grupos representativos de múltiples intereses, que finalmente concilien las diversas posiciones encaminadas a lograr los objetivos propuestos.

No obstante, no pueden ignorarse los diversos intereses y situaciones que impidan bien sea el nacimiento o el cumplimiento de dichos pactos y para tratar de contrarrestar los efectos negativos que esto traería como consecuencia, nacen otros mecanismos de participación dentro de los cuales se encuentran la Iniciativa legislativa o el Referendo.

La importancia de la interacción entre el Concejo y la población no debe estar dada tan sólo en que esta última logre una posición lo suficientemente relevante, sino para que en un futuro los aspirantes a concejeros o alcaldes la vinculen para la redacción de planes de gobierno, en los cuales iniciativas conjuntas y políticas sociales se vean reflejados en el actuar administrativo, como también sean solidificadas las veedurías ciudadanas a través de las cuales se controle el impacto de las reformas administrativas, ya sea evaluándolas, aprobándolas o no, articulando de esta forma el compromiso de ambas partes.

No puede desconocerse que generalmente, las mayores dificultades se presentan en el momento en que la calidad de vida y la economía entran en choque; lastimosamente, en la mayoría de ocasiones, los sectores industrial y comercial, logran con la colaboración de los medios de comunicación, desviar la atención de los ciudadanos y es así como las crisis ambientales se recrudecen para finalmente, devenir en una situación problemática sin solución visible.

Es a partir de las reflexiones anteriores que cabe preguntarse, ¿cómo puede ayudar el municipio al mejoramiento del medio ambiente?. La respuesta a éste interrogante no es fácil y mucho menos corta ya que, múltiples son las estrategias de cooperación que pueden tener su punto de origen en el municipio como son numerosos los impactos de la aplicación de las mismas al igual que son fatales las consecuencias de no iniciar el proceso de concientización por lo ambiental en la unidad territorial.

Es así como debe pensarse siempre, el diseño de cualquier estrategia para iniciar procesos al interior de un municipio, la cual debe partir de la ejecución previa de planes educativos comunales con el fin de: prevenir, sensibilizar e informar acerca del tema específico a abordar; estos tres pasos pueden darse siguiendo diferentes tipos de metodologías. Es más, en el caso del planteamiento de iniciativas municipales, la metodología más conveniente a seguir es aquella donde la comunidad afectada tenga una participación activa y acompañe el proceso de principio a fin, por ello es provechoso describir a continuación los pasos

metodológicos que, generalmente se desarrollan con el objeto de crear iniciativas concertadas y democráticas.

El primer paso, antes de iniciar el proceso formal de redacción y estructuración de la iniciativa es la fase informativa que, a su vez, involucra un ciclo de asesoramiento con el propósito de encontrar un punto en el cual se unan ambas estrategias logrando así generar relaciones de confianza entre el sector público y la población que va a ser afectada con el desarrollo de determinado proyecto; acto seguido, como segunda medida, se encuentra la creación de grupos de gestión que tienen la función de llevar a la comunidad la información adecuada de forma tal que el interés por parte del ciudadano de a pie sea el necesario para posteriormente implementar el proceso de planificación conjunta que es en donde se reúnen los usuarios, los afectados, las instancias estatales y las redes de apoyo.

Es a partir de ese trabajo realizado que se inicia otra etapa en la cual se hace un diagnóstico partiendo del estudio del impacto ambiental (EIA), teniendo en cuenta que su función está dada en permitir a las autoridades desarrollar evaluaciones de los impactos ambientales. Al respecto ha de subrayarse la importancia de los factores sociales en los procesos de evaluación, por lo tanto se considera indispensable en todo proyecto delimitar con exactitud la región afectada y ante todo las problemáticas hacia las cuales está enfocado el proyecto.

En consecuencia, y a partir de esta etapa, se parte para llegar a la última fase que es la presentación de un informe en el que realmente haya existido una planificación conjunta.

Lo anterior junto con otros aportes de sobresalientes estudiosos del tema, son la puerta de entrada para hacer algunas precisiones y reflexiones acerca del papel del Estado, asociado a la dimensión municipal, dentro del desarrollo de la biopolítica, el biopoder y el “buen gobierno” temas que desarrolló Michel Foucault a lo largo de su vida docente y que pueden encontrarse en el libro “Seguridad, territorio, población”<sup>9</sup>.

Son los temas enunciados anteriormente los que pueden llegar a ser un referente teórico para entender más adelante el impacto que tiene el marco legal que ha venido desarrollándose en los últimos años.

Ahora bien, en cuanto al primero de los términos, es decir biopolítica, Foucault trae a colación entonces la obra *Recherches sur la population* de Moheau, de la cual

---

<sup>9</sup> FOUCAULT, Michel. Seguridad, territorio, población. Fondo de Cultura Económica de Argentina S.A., Buenos Aires, 2006.

resalta el siguiente aparte: “Depende del gobierno cambiar la temperatura del aire y mejorar el clima; un curso dado a las aguas estancadas, bosques plantados o quemados, montañas destruidas por el tiempo o el cultivo constante de su superficie forman un nuevo suelo y un nuevo clima. Tal es el efecto del tiempo, de la habitación de la tierra y de las vicisitudes en el orden físico, que aún los cantones más saludables se han tornado morbíficos”<sup>10</sup>; ahora bien, al momento de hacer referencia a los soberanos o gobernantes explica cómo, sus decisiones en el campo legislativo tienen en la vida de los gobernados un impacto tanto cultural como económico, es entonces, según lo descrito por el autor, deber de el cuerpo político de determinada población encaminar su trabajo en términos de articulación de naturaleza entendiéndola como un conjunto de elementos físicos y la naturaleza relativa a la especie humana, finalmente se resalta la importancia de volver a lo que en el Siglo XVIII se denominó *medicina social*, la cual se desarrolló con base en la población que a su vez fue definida como “un conjunto de seres vivos y coexistentes, que exhiben rasgos biológicos y patológicos particulares y, por consiguiente, corresponden a saberes y técnicas específicas.”<sup>11</sup>

En cuanto al biopoder, Foucault determina dicho tema como el hito de su trabajo, llevándolo como una bandera que debe izarse como un símbolo indispensable, como la base fundamental para el diseño e implementación de todo plan de gobierno, donde la relación estado – población esté dada en términos de un pacto de seguridad, que incluya varias disciplinas entre las que se encuentre la economía política y la gobernabilidad.

Ahora bien, cuando Foucault hace referencia al “buen gobierno”, se remite a Turquet de Mayerne quien también llama al estado como “policía” y describe la función del mismo cuando dice “...todo lo que debe dar ornamento, forma y esplendor a la ciudad”, así mismo, se encuentra dentro de lo explicado por Mayerne su propuesta en cuanto a la organización de la “policía” que, de paso sea dicho, tiene como objetivo principal el dominio del arte de gobernar, el cual sólo puede ser alcanzado si tiene cuatro “oficiales mayores” dedicados a la justicia, el ejército, la hacienda y por último a la formación de una ciudadanía que dirija su actuar teniendo en cuenta valores como la lealtad y la caridad. No obstante, más adelante se explica cómo la oficina más importante es aquella que desarrolla métodos de estudio para formar personas que cumplan funciones en ellas mismas; por esto, cuando se refiere a quienes deben asumir funciones públicas sostiene “He propuesto al hombre por verdadero sujeto en el cual se imprimen la virtud y el vicio, a fin de que, por grados, sea conducido desde su infancia a su perfección y, habiéndolo llevado a este punto,

---

<sup>10</sup> Ibid. p. 43

<sup>11</sup> Ibid.

tanto él como sus actos se avengan a los términos de la verdadera virtud política y social en cualquiera de las cosas a las que se entregue”<sup>12</sup>. Teniendo en cuenta algunos de esos valores y por causa de las continuas crisis, es que se ha dado paso a la creación de una serie de leyes internas, así como de tratados internacionales; sin embargo, nos detendremos para estudiar más a fondo este tema en el siguiente aparte.

### **2.2.3.1. Impacto socio-ambiental del marco legal vigente.**

Antes de enunciar algunos de los tratados internacionales con ratificación más reciente y de más impacto, es importante volver a lo explicado por Foucault, esta vez en cuanto a que la ley y a la normatividad no deben confundirse. Así que, lo primero que hay que aclarar es que ley y norma no son lo mismo ya que la ley tiene la función de codificar la norma. Ahora bien, en cuanto a la forma de sancionar la ley así como su contenido e implicaciones, el profesor nos acerca a lo que se conoce como el sistema del código legal con partición binaria, donde se establece una acción prohibida y el castigo a imponerse en caso de ser realizada; sin embargo, el acto judicial que condena al culpable debe ir acompañado de técnicas que permitan mantener un control y un diagnóstico de la situación para desarrollar un proceso de transformación de los individuos. Son entonces, para el caso del derecho ambiental, las crisis y conductas contaminantes con devastadores impactos las que han servido como punto de partida para la formulación y posterior ratificación de tratados y protocolos, con varios fines tales como:

- ❖ Prevenir recaídas y evitar el surgimiento de otros hechos peligrosos.
- ❖ Mantener el “pacto de seguridad” del cual ya se había tratado.
- ❖ Generar un apoyo a lo que Foucault ha llamado “tecnologías de seguridad”.

Haciendo referencia a lo anteriormente expuesto, se hace necesario un acercamiento al Protocolo de Kyoto. Es necesario resaltar que este organismo ha sido dentro de la historia del derecho ambiental, a nivel internacional, uno de los más importantes en cuanto a cambio climático se refiere, así como uno de a los que se le ha concedido mayor credibilidad y cuenta con, hasta el momento, 183 países miembros, dentro de los cuales encontramos a todos los países llamados “potencias” o industrializados con excepción de Estados Unidos y China.

Es así como este protocolo tiene por fin que, para el 2012, los niveles de las emisiones a la atmósfera de seis gases a saber: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, el hidrofluorcarbono, el perfluorocarbono y el hexafluorocarbono de

---

<sup>12</sup> TURQUET DE MAYERNE, Louis. La Monarchie aristodémocratique, op. cit., p.19.

azufre, los cuales provocan efecto invernadero, sean reducidas en un 5,2% con respecto a los niveles de 1990. En este orden de ideas cabe resaltar que Estados Unidos decidió no adherir al protocolo argumentando que de acogerse al mismo su economía interna se vería afectada; en efecto, tal afirmación no está alejada de la realidad ya que básicamente el desarrollo económico de la Unión Americana se basa en la explotación ambiental por medio de la extracción de recursos no renovables, la producción de los renovables y la creación de nuevas tecnologías que constantemente generan cambio en los estilos de vida y que a su vez generan toneladas de basura que van a parar directamente al medio ambiente.

Ahora bien, de haber ratificado el protocolo, Estados Unidos tendría que haber modificado su sistema capitalista que tiene su pilar fundamental en la utilización de combustibles fósiles y de productos de la naturaleza, que luego de ser sometidos a procesos de industrialización generan tal cantidad de dióxido de carbono que han logrado posicionar al país norteamericano como el principal emisor de este gas.

Sin embargo, los argumentos anteriormente expuestos no corresponden únicamente a los Estados Unidos sino que también lo son de China, país que ocupa el segundo lugar en el listado de estados emisores de gases contaminantes de donde se infiere que es por casos como estos, de posiciones tercas, ambiciosas y poco consideradas con la situación actual del planeta que la inconciencia va en aumento y es por esa misma razón que se hace necesaria la aplicación de políticas públicas que garanticen la seguridad y el futuro del planeta, así como iniciativas legales que obliguen al sector industrial a que implemente técnicas protectoras del medio ambiente a la hora de expandir su mercado y aumentar sus ingresos.

Se colige que la situación ambiental actual es crítica y no da espera, por lo tanto es perentorio que los aparatos estatales asuman como de obligatorio cumplimiento la adopción y promoción de normas tanto nacionales como internacionales que permitan que el crecimiento económico y la protección de los recursos naturales estén sujetos a indicadores ambientales relacionados y no excluyentes como actualmente parece que lo fueran.

De otro lado, la población civil tiene un papel vital en la medida en que, si la misma no tiene una participación activa bien sea acompañando procesos de cambio para el tratamiento de recursos naturales o exigiendo a sus gobernantes la imposición de normas que mantengan los pactos de seguridad a los que tienen derecho, el papel del estado y sus funciones empiecen a tener desviarse a causa de factores económicos, creando de esta forma círculos cada vez más fuertes de corrupción y de pobreza, ya que, como se explicaba antes, la calidad de vida de una población depende del manejo que se le dé a los recursos naturales y especialmente al agua.

#### **2.2.4. Relación Medio Ambiente y Economía**

Aún cuando el medio ambiente, la sostenibilidad, el mejoramiento de la calidad de vida, la mantención del servicio, el acceso y la prestación de servicios públicos a poblaciones vulnerables o de escasos recursos, entre otros temas han cobrado gran relevancia dentro de debates políticos, la redacción de planes de gobierno en época electoral y en algunas intervenciones de índole diplomático a nivel internacional cuando las crisis se presentan.

No obstante, el tiempo invertido en desarrollar proyectos de investigación con el objeto de desarrollar estrategias para reforzar los campos temáticos antes citados, específicamente el caso ambiental, no tienen equivalencia con el presupuesto destinado a la ejecución de los mismos, de hecho, en muchos casos dichos avances investigativos son archivados y olvidados, mientras que los gobiernos invierten el dinero proveniente de impuestos, regalías y en general, de su actividad económica, en armamento, en expansión urbana, así como, en explotación de recursos naturales, sin la aplicación de evaluaciones de impacto ambiental (EIA), que, como se advertía anteriormente son esenciales no sólo para fortalecer las relaciones entre el sector privado, el aparato estatal y la sociedad, sino para desarrollar los fines de una nación que debe garantizar el cumplimiento de pactos de seguridad.

Es entonces necesario, hacer un análisis de la relación derecho - deber que crea el estado mediante el aparato legislativo, representado en leyes nacionales o pactos regionales, materializadas en el pago de obligaciones de tipo económico por parte de la ciudadanía, que en teoría tienen el objeto de desarrollar planes de gobierno que garanticen no sólo una estabilidad económica, sino también social, social no desde un punto de vista netamente laboral, como se ha creído en los últimos tiempos teniendo en cuenta los pilares fundamentales del sistema capitalista sino que, también se intensifique la observancia de los indicadores ambientales, como un aspecto fundamental en cuanto que, de no hacerse la misma con el tiempo la explotación, de los recursos naturales bien sean renovables o no, el aumento de la contaminación, entre otros factores mencionados en el momento de abarcar el tema de percepción ambiental, generaran finalmente un impacto considerable en la economía mundial, ya que, como se explicaba antes la actividad económica de la mayoría de los países está basada en la explotación de su riqueza natural, ignorando por completo pactos internacionales que determinan y obligan en teoría, a los estados partes el respeto por el medio ambiente.

Es en este punto, en la relación que debe existir entre la economía y el ambiente donde, se reúnen cada uno de los conceptos descritos y analizados a lo largo del presente estudio, para dejar en evidencia que, realmente, en la actualidad esa unidad que debería existir entre el ser humano y el ambiente como un todo y no como seres vivos independientes, aún sigue siendo una ilusión.

Actualmente, la crisis económica domina los medios de comunicación, las conversaciones cotidianas en cualquier esfera social, los espacios académicos y sobretodo, la atención de las organizaciones mundiales y de los estados, sin importar su calidad de potencias, países desarrollados o en vía de desarrollo, aún cuando estudios especializados demuestran, como ha podido observarse a lo largo de este documento, el riesgo que está corriendo el planeta en materia ecológica y la vital importancia de estrechar los lazos entre la ciudadanía y las naciones, y cómo es cada vez más necesario que, la primera exija el cumplimiento de los Objetivos del Milenio, en cuanto que es ese cuerpo de propuestas el cual, debe ser seguido por la mayoría de países miembros de la Organización de las Naciones Unidas.

Es claro que, se les ha ido restando importancia a dichos objetivos, primero por encontrarse dentro de la clasificación de leyes blandas o soft laws, en segunda instancia, debido a la falta de aplicación de estrategias metodológicas que permitan la unión de el sector industrial como el principal sustento de la economía mundial y el desarrollo de políticas ambientales como el refuerzo y la base del mismo; es por esto que, surge la idea de crear un indicador de valor ambiental dado en términos pecuniarios, el cual permita determinar de manera conjunta el por qué debe tenerse en cuenta el medio ambiente a la hora de hacer un estudio de mercadeo, por nombrar algún caso y cómo el pago de un impuesto bien sea por parte del sector privado o por parte de la comunidad, dependiendo de las condiciones demográficas, geográficas, culturales y ante todo socioeconómicas en determinado estado, es un apoyo fundamental para que industrias que encuentran sus materias primas directamente en recursos naturales, a futuro no sufran pérdidas millonarias por la extinción de sus medios de producción o sus materiales más esenciales, teniendo que desarrollar así tecnologías de alto costo que en principio suplan dicha insuficiencia sino que también gradualmente sean determinantes para el surgimiento o recrudescimiento de crisis ambientales, así como también, finalmente terminen siendo declaradas responsables por hacer parte de una cultura utilitarista que derive en conflictos internacionales por recursos como el agua, como los que ya se han presentado en zonas fronterizas.

Es a este punto entonces, donde deben resaltarse los cambios existentes alrededor de la economía política, cambios que se han generado desde la teoría como podrá verse a continuación y que a su vez, son necesarios para estructurar y materializar el uso del indicador del valor ambiental del que se ha hablado:

“El estado de la población y el empleo de los hombres es (...) el principal objeto del gobierno económico de los Estados; pues la fertilidad de las tierras, el valor venal de las producciones y el buen empleo de las riquezas pecuniarias, resultan del trabajo y la industria de los hombres. Tales son las cuatro fuentes de la abundancia, que concurren mutuamente al crecimiento de todas; pero sólo pueden sostenerse por la manutención, de la

administración general de los hombres, los bienes, las producciones.”  
(Tomado de François Quesnay et la physocratie, p. 512)

Es como puede observarse, la cita anterior un resumen de lo que, trabaja en la actualidad, la ciencia económica aplicada a lo político y gubernamental, vinculando así, al actuar del ser humano con la explotación de esas riquezas que deben ser evaluadas de un forma integral.

¿Por qué debe realizarse dicha evaluación?, ¿por qué no simplemente explotar los recursos en pro del avance industrial, solamente controlando por ejemplo la emisión de gases?, ¿por qué es tan importante fortalecer la economía de mano de los buenos manejos del medio ambiente y viceversa?, ¿por qué desarrollar proyectos que estén enmarcados en la interdisciplinariedad?; la respuesta a todos y cada uno de los interrogantes planteados anteriormente está ligada a diversos conceptos que han sido desarrollados y estudiados a profundidad por autores como Enrique Left, Juan José Oñate y David Pereira entre otros.

En cuanto a las investigaciones interdisciplinarias, cabe anotar que ellas por su misma condición, por el concepto mismo de interdisciplinariedad están limitadas es por ello que Enrique Left (1985) en su libro *Ecología y Capital: Racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable* anota:

“La articulación de de las ciencias no se limita a una práctica teórica transdisciplinaria, consiste en la importación de conceptos y paradigmas, o en la aplicación de objetos teóricos de un campo del conocimiento al otro. Los objetos teóricos de cada ciencia le dan especificidad y son intransferibles, inaplicables. La articulación de órdenes de materialidad de lo real, lo que autoriza a pensar en una articulación de otras ciencias no surge de los presupuestos que explican la génesis evolutiva de nuevos niveles de lo real -la emergencia de la organización biológica a partir de sus bases físicas o de lo simbólico y lo cultural como epifenómeno del orden vital-; tampoco se fundamenta en las imposibles relaciones de constitución de una ciencia en otra. La articulación de las ciencias se da como una articulación de los efectos de los procesos materiales de los que éstas dan cuenta a través de sus objetos de conocimiento. La necesidad de aprehender dichos procesos es lo que obliga a reelaborar, los conceptos teóricos de cada ciencia y a producir conceptos a partir de la transformación de conceptos importados de otras ciencias.”<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup>LEFT, Enrique. *Ecología y Capital Siglo. Veintiuno editores*. p. 115. 1985.

De igual forma, se habla también de la intervención de la cultura entre la relación de economía y ecología o economía y ambiente.

Es así como, para llevar a cabo procesos que permitan estrechar los lazos a veces destruidos por la ambición, el poder y los beneficios particulares entre estas dos importantes ciencias, es necesario determinar la cultura, la idiosincrasia de la región a la cual se vaya aplicar determinado proyecto, y cuando se habla de cultura, no quiere decir solamente que se requiera la observancia de las costumbres más autóctonas y arraigadas que pueden presentarse en cada ciudadano, también se resalta la importancia del concepto de cultura política, de educación en escuela primaria, de familia como núcleo de la sociedad, de comportamientos propios de los sectores industrial, agrícola, comunicacional entre otros, de cada municipio o región en que vaya a desarrollarse el proceso metodológico del que se había hablado antes.

Todos estos factores mencionados apuntan entonces a la variabilidad de cada población, a determinar el cómo y el para qué del actuar bien sea del sector público o privado, las consecuencias y por supuesto, la reacción de los pobladores.

Ha sido pues, durante muchos años la economía una barrera no sólo para la sociedad como tal sino para la organización de los gobiernos de las mismas, ya que, tanto una como otra parte han venido desarrollando miedos así como, estableciendo prioridades muchas veces no estructuradas con base en la realidad sino atendiendo a las necesidades económicas y de bienestar social que se han establecido durante generaciones.

El bienestar ambiental como parte de ese bienestar comunitario e individual, ha venido siendo relegado, escondiendo entonces la importancia del mismo y las graves afectaciones que han venido sucediéndose por el afán de alcanzar quizás un estatus económico que permita la satisfacción de anhelos personales y familiares.

Así como los Estados cada año realizan estudios viales, de seguridad, culturales, de guerra entre otros, que redundan en el incremento de impuestos; así como las empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios aumentan los costos de los mismos de manera periódica argumentando la necesidad de tecnificar y mejorar el servicio, es necesario, indispensable y urgente que parte de esos recursos recogidos estén dirigidos y sean invertidos para la protección ambiental, ello atendiendo a otros conceptos que han venido siendo resaltados como los indicadores ambientales, la extinción de flora y fauna silvestre, la conversión de recursos renovables a no renovables debido a malos usos como es el caso de agua entre otros.

De otro lado, es importante reforzar el concepto de responsabilidad social empresarial, ya que, si bien el sector industrial y comercial de cada estado, así

como el sector agrícola contribuyen económicamente por medio de regalías, la generación de empleo entre otros en cada región donde se encuentre su producción, es claro que debe establecerse una normatividad que imponga valores agregados, el pago del indicador de valor ambiental en términos netamente económicos, para desarrollar y fortalecer las iniciativas municipales ambientales, el apoyo a procesos educativos, culturales y de formación ambiental que finalmente de ser desarrollados y acogidos no como una carga negativa sino como lo contrario, como herramientas y estrategias de protección a materias primas, medios de producción e incluso mano de obra.

## **CAPITULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. ESQUEMA CONCEPTUAL DEL MODELO IVAFIC**

En la Figura 3.1 se mostrará el esquema sistémico conceptual planteado para el ejercicio de ésta investigación el cual identifica las distintas fases propuestas, sus relaciones y productos finales esperados.

### **3.2. CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ EIA**

La metodología propuesta en esta investigación dentro del desarrollo sistémico para la evaluación del impacto ambiental en cuencas, contempla la descripción de los atributos empleados en la valoración de impactos ambientales para establecer una metodología de calificación sencilla , clara y efectiva, a partir del ejercicio cualitativo (MATRIZ EIA), previo a la verificación cuantitativa.

En cualquier tipo de cuenca, las acciones pueden variar, así como la contemplación de los factores ambientales, para la elaboración de una EIA.

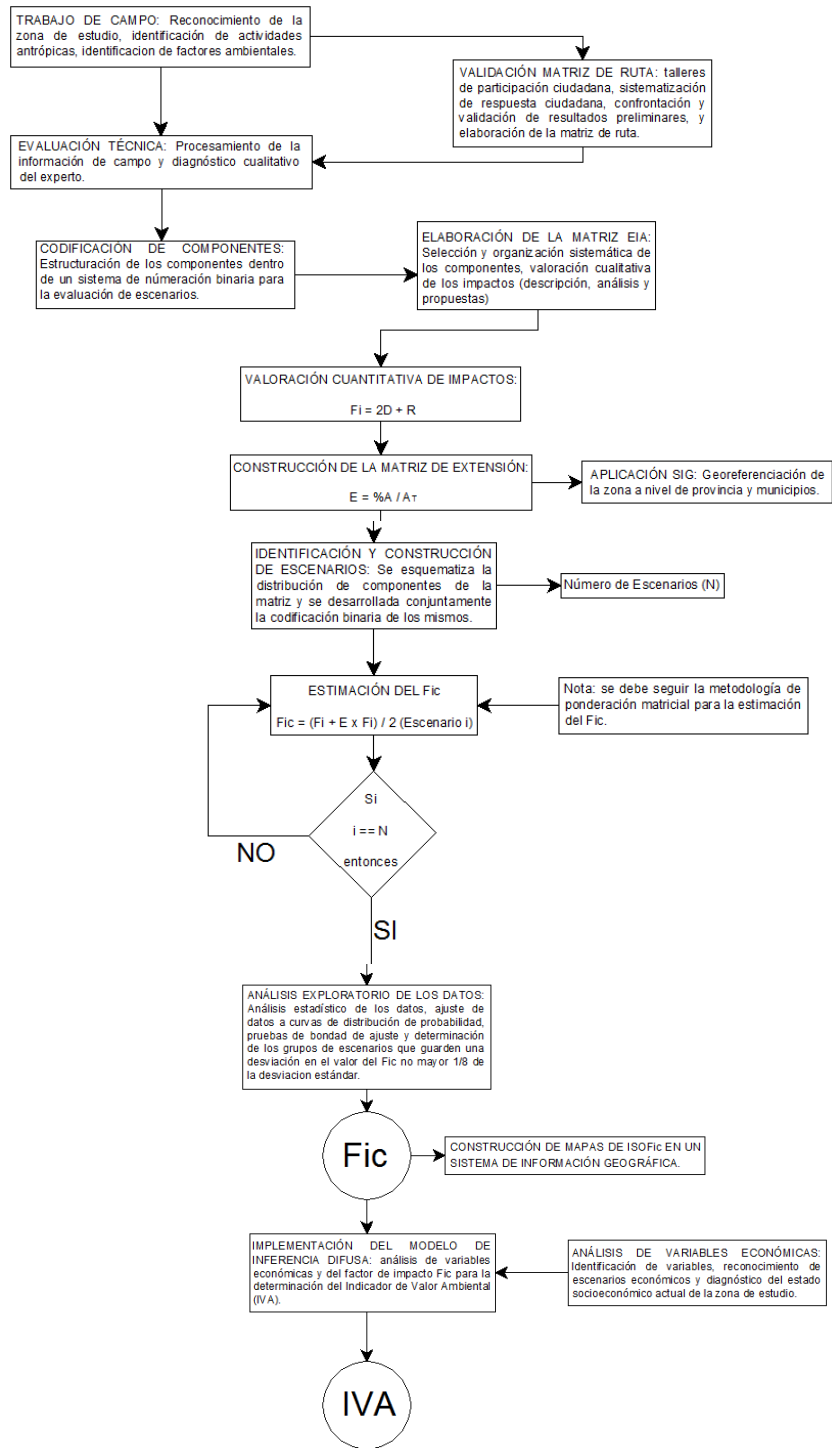


Figura 3.1. Diagrama de Flujo del Modelo Exploratorio IVAFIC

Este trabajo reconoce dicha variabilidad en la medida que permite a través del modelo propuesto originar esta información.

La EIA tiene como objetivo llegar a una decisión balanceada que concilie los intereses y objetivos del proyecto (actividades antropicas), con los factores ambientales, socio económico, político y técnicos. Como todo proceso de planeación ambiental la EIA consta de tres etapas: Descriptiva, Analítica y Propositiva.

En cada etapa se deben llevar a cabo reuniones interdisciplinarias del grupo y talleres de planeación participativa como parte de una estrategia de comunicación de la información, gestión y evaluación (e.g., Bojórquez y Tapia,1992; Orgay y Delhumeau,1992).

En primer lugar, ha de realizarse un trabajo de campo y escritorio que defina de forma cualitativa las acciones que intervienen la cuenca y los factores ambientales que se ven afectados por las mismas, asignando la siguiente escala de policromía de acuerdo al tipo de impacto generado:

Tabla 3.1. Atributo de los impactos para la matriz en policromía.<sup>1</sup>

ATRIBUTO DEL IMPACTO	COLOR
IMPACTO NEGATIVO IRREVERSIBLE	ROJO
IMPACTO NEGATIVO PERMANENTE	MAGENTA
IMPACTO NEGATIVO TEMPORARIO	ROJO CLARO
IMPACTO POSITIVO PERMANENTE	VERDE OSCURO
IMPACTO POSITIVO TEMPORARIO	AZUL
IMPACTO CON MEDIDA MITIGADORA	AMARILLO

Este trabajo de valoración requiere de una estimación acertada a partir de la claridad y conocimiento sobre cuencas en todos sus aspectos, de tal suerte que la información obtenida sea confiable, lo cual implica recurrir a expertos en los distintos campos. En ese orden de ideas a nivel de departamento, o de estado o de provincia, o cualquiera que sea la unidad política - administrativa en un país, es

<sup>1</sup> Pouey, N. 1998. Erosión hídrica en cursos de llanura sobre lechos cohesivos. UNR editora. <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/erosion/>

posible encontrar dicha información tanto en las entidades o corporaciones encargadas del manejo ambiental , tales como las alcaldías, las gobernaciones, o a través de los Planes de Ordenamiento Territorial y sus Planes de Desarrollo como herramienta de planeación elaboradas por los gobernantes al inicio de sus mandatos.

Teniendo en cuenta lo anterior, la estimación de actividades y factores ambientales para una cuenca son innumerables. En este trabajo, se han definido las acciones y factores más relevantes que de una u otra forma conceptúan cualitativamente el comportamiento ambiental de una cuenca y que en cumplimiento del objeto de este ejercicio, resulta suficiente. Los factores ambientales y acciones se resumen en el formato de matriz EIA, esta calificación se efectúa a través de una hoja de cálculo con la ayuda de la herramienta Excel (Microsoft Inc.),

### **3.3. VALIDACIÓN DE LA MATRIZ EIA**

Es fundamental, desarrollar a la par del ejercicio de elaborar una matriz de evaluación de impacto ambiental EIA, la interacción con los agentes directos del escenario ambiental, para confrontar que la información suministrada por los expertos, se aproxima a la realidad de la situación, como quiera que ellos son los directamente beneficiados o afectados por las acciones derivadas de uno o varios proyectos , desarrollados en su jurisdicción residencial. Esta validación de información, permitiendo la percepción y participación ciudadana, expresada bajo el modelo de una matriz de ruta, es importante en la medida que el desarrollo del modelo cuantitativo sistémico, se formula a partir de ésta matriz EIA, y que por consiguiente a de esperarse resultados compatibles en un alto grado de confiabilidad.

Se ha tomado como referencia el ejercicio planteado en la metodología desarrollada por Agenda 2 1 en la municipalidad de Rosario (Argentina, por la doctora Nora Pouey), y que resulta dinámico para la valoración de una gran extensión de área como lo es el de una cuenca hidrográfica. La encuesta aplicada en los talleres realizados en la Provincias de la Cuenca de Estudio se muestran en el Anexo 2.

### **3.4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO IVAFIC (FASE 1)**

El modelo IVAFIC, es un procedimiento sistémico de tipo matemático meta heurístico, fundamentada en una aproximación cualitativa representada en una matriz de evaluación de impacto ambiental EIA , con el objeto de medir o valorar cuantitativamente el impacto producido por las acciones antrópicas en los diferentes factores ambientales que representan el escenario ambiental de una cuenca. Dicha cuantificación, contempla la asignación de tres atributos como son: la Durabilidad Reversibilidad y Naturaleza, que para la escala de trabajo, correspondiente a una

cuenca hidrográfica, resultan significantes en la medida que reflejan el comportamiento dado.

Asociando dicha valoración, a una unidad de área específica, como lo es para éste caso el municipio agrupado a su vez en provincias, resulta interesante determinar un factor de impacto corregido FIC que denota un valor numérico el cual posibilita la interpretación sencilla y rápida de las consecuencias producidas por la acción de una actividad o proyecto a un factor ambiental en un área específica de terreno. De este modo así, a través de la ejecución de una fórmula matemática es posible identificar de manera cuantitativa las acciones de mayor impacto en una cuenca, los factores más altamente impactados y por último el factor de impacto total presentado en una cuenca, utilizando herramientas computacionales que facilitan el ejercicio y a su vez lo hacen amigable para la aplicación de cualquier usuario.

Existen varios modelos de aplicación para elaborar EIA, con sus distintos atributos a evaluar dependiendo a su vez del tipo de acción a desarrollarse. Como se pretende encontrar una valoración cuantitativa a nivel de cuenca, es necesario definir los atributos más relevantes y que a su vez sean claros y sencillos a efectos de lograr un proceso sistémico.

En este trabajo, como ya lo habíamos mencionado anteriormente, se plantea un modelo que considera tres atributos de evaluación que reflejan la Naturaleza, Duración y Reversibilidad de los impactos, a los cuales se les ha asignado una valoración, que se observa en la siguiente tabla:

Tabla 3.2. Valoración de atributos.

ATRIBUTO	VALORACIÓN	DEFINICIÓN
Duración (D)		Se refiere al tiempo que, supuestamente, el efecto permanecerá.
Temporario	2	Cuando los efectos permanecen por un periodo de tiempo después de la conclusión de la acción que los generó.
Permanente	4	Cuando, una vez ejecutada la acción, los efectos no cesan de manifestarse en un horizonte temporal conocido.
Reversibilidad (R)		Cuando es posible revertir la tendencia, teniéndose en cuenta la aplicación de medidas para la reparación del mismo, o la suspensión de la actividad generadora.
Reversible	1	Cuando, cesado el origen o controlado el impacto, el medio impactado puede volver a su condición original.

ATRIBUTO	VALORACIÓN	DEFINICIÓN
Irreversible	4	Cuando, cesada la causa controlado el impacto, el medio impactado no retorna a su condición original.
Naturaleza (N)		
Positiva	+	Cuando el impacto es benéfico, ósea cuando una acción resulta una mejoría de la calidad ambiental.
Negativa	-	Cuando la acción resulta en un daño a calidad de un factor o parámetro ambiental.

La magnitud del impacto denominado en este trabajo como Factor de impacto, está apoyada en la expresiones dadas por Lázaro Lago Pérez que contempla diversos atributos y evalúa cuantitativamente los mismos a través de una expresión matemática que concluye en lo que él denomina Importancia del Efecto, y Gundysalvo Morales en su trabajo de tesis doctoral de la Universidad Federal de Pará en Brasil año 2000, de la misma manera estima el denominado Importancia de impacto en función de la Intensidad, Efecto, Extensión, Temporalidad, Duración y Reversibilidad, mostrados en el capítulo II de éste trabajo.

Con el ánimo de buscar practicidad en el desarrollo de un modelo descriptor denominado en este trabajo como Factor de Impacto, y teniendo en cuenta el orden de magnitud que representa evaluar toda una cuenca, se ha definido una expresión matemática que pondera los atributos de acuerdo a su importancia y significado, así:

$$F_i = 2D + R \quad (3.1.)$$

Donde:

Fi = Factor de Impacto  
D = Duración  
R = Reversibilidad

Nota: El signo de Fi, está dado según el atributo de Naturaleza.

La importancia o factor de impacto tendrá las siguientes fajas de valores:

Tabla 3.3. Clasificación de los Impactos

Definición	Valor +/-
Temporario - Reversible	5

Temporario - Irreversible	8
Permanente - Reversible	9
Permanente - Irreversible	12

Debe entenderse que la faja de valores puede ser negativa, si el impacto es negativo, o positiva de ser positivo el impacto.

Una vez elaborada la matriz EIA (cualitativo), se procede a realizar la valoración, con base en los atributos mostrados en la Tabla 3.2 de cada uno de los factores de impacto asociados a las actividades y factores ambientales de la cuenca. Esta labor se desarrolla con el respaldo de los técnicos expertos en cada una de las áreas y que reconocen el escenario ambiental como quiera que su ejercicio profesional se desenvuelve en este ámbito como trabajadores de las corporaciones autónomas regionales presentes en la zona de estudio: Corpoboyacá y Corpochivor.

Esta cuantificación se efectúa a través de una hoja de cálculo con la ayuda de la herramienta MS Excel (Ver Apéndice 1).

Una vez efectuada esta tarea, se propone optimizar el procedimiento por intermedio de la herramienta de cálculo matemático MATLAB, para lo cual se exporta desde la hoja de cálculo que contiene la EIA y que a su vez tiene asignado para cada color un valor de FI conforme a la Ecuación (3.1.) FI así:

Tabla 3.4. Valoración de impactos para exportar a MATLAB.

DESCRIPCIÓN IMPACTO	COLOR	FI
IMPACTO NEGATIVO IRREVERSIBLE	Red	-12
IMPACTO NEGATIVO PERMANENTE	Magenta	-9
IMPACTO NEGATIVO TEMPORARIO	Red	-5
IMPACTO POSITIVO PERMANENTE	Dark Green	9
IMPACTO POSITIVO TEMPORARIO	Blue	5
IMPACTO CON MEDIDA MITIGADORA	Yellow	5

Cada componente ambiental será afectado por una acción específica dentro del rango de valores mostrado en la tabla anterior. Ahora bien, la idea es obtener valores promedio de cada factor ambiental asociado a una actividad, para finalmente obtener un valor de factor de impacto total de la cuenca que resulta de hacer el promedio ponderado de los valores de factor de impacto parcial.

Los impactos parciales correspondientes a una actividad asociada con un factor específico se calculan evaluando un promedio ponderado de los valores de FI asignados así:

$$Fi = \sum_{i=1}^2 w_i \times Fi_i \quad i = \left\{ \begin{array}{l} 1 = \text{Componentes por fila} \\ 2 = \text{Componente por columna} \end{array} \right\} \quad (3.2.)$$

Donde:

$$W_i = \frac{\text{Numero de componentes por fila o por columna sectorial}}{\text{Numero total de componentes sectorial}} \quad (3.3.)$$

Los valores totales de FI correspondientes a la incidencia de todas las acciones a un factor específico (sentido horizontal) o también la implicación de una actividad a todos los factores ambientales (sentido vertical), resultan del cálculo del promedio aritmético de los valores parciales ponderados, lo que desde el punto de vista procedimental requiere de un gran consumo operacional dada la cantidad de variables o de componentes que conforman la matriz de impacto.

El factor de impacto total de la cuenca, mencionado anteriormente, se calcula realizando un promedio ponderado en virtud a la existencia de dos valores de FI totales (horizontal y vertical). Este promedio con el ánimo de establecer un valor ponderado se sugiere establecer algunos pesos basados en el número de componentes que se introducen en el análisis de la matriz de impacto, es decir, la existencia del mayor número de actividades obtendrá mayor primacía en la valoración final. La ecuación que responde al factor de impacto ponderado (total):

$$Fi = \sum_{i=1}^2 w_i \times Fi_i \quad i = \left\{ \begin{array}{l} 1 = \text{Componentes por fila} \\ 2 = \text{Componente por columna} \end{array} \right\} \quad (3.4.)$$

Donde:

$$W_i = \frac{\text{Numero de componentes por fila o por columna de la matriz de impacto}}{\text{Numero total de componentes de la matriz de impacto}} \quad (3.5.)$$

$Fi_i = \text{Factor de impacto ponderado por componentes sectoriales}$

Ha de manifestarse a partir de lo anterior, las bondades que presta la utilización de una herramienta de cálculo matemático MATLAB, como quiera que las múltiples iteraciones y combinaciones para la obtención de los FI parcial y total, en una hoja de cálculo resultaría extremadamente dispendioso.

En ese orden de ideas, estos promedios se calculan algebraicamente lo cual implica tener valores dentro de la faja definida en la Tabla 3.5 y que se pueden

explicar y detallar de la siguiente manera, conforme al criterio del evaluador y tomando como referencia Lázaro Lago Pérez (1998) así:

Tabla 3.5. Valoración de los Impactos

FACTOR DE IMPACTO	VALORACIÓN +/-	DEFINICIÓN
BAJO	0 - 5	Temporario menor a 2 años – reversible
MEDIO – BAJO	5 - 8	Temporario de 2 a 4 años – reversible
MEDIO	8 - 9	Temporario de 4 a 6 años – reversible
MEDIO – ALTO	9 - 11	Permanente mayor a 6 años – reversible
ALTO	11 - 12	Permanente mayor a 6 años – irreversible

El rango definido en la tabla en relación con el número de años aparte de soportarse en un concepto técnico, también lo hace desde un intangible administrativo que corresponde al tiempo utilizado por las administraciones ambientales para generar y aplicar los planes de manejo y protección ambiental. Normalmente estos periodos son trianuales (República de Colombia Ley 99 de 1993), y en ese sentido las políticas derivadas de la formulación de un Plan ambiental adquieren sentido y responsabilidad en el lapso máximo de dos periodos.

### 3.5. ALGORITMO FI EN MATLAB

#### 3.5.1. Antecedentes

Para la evaluación del impacto ambiental en una cuenca hidrográfica las observaciones pueden llegar a ser grandes series o registros históricos de datos las cuales son complejamente difíciles de depurar y ser estudiadas; por tanto para la validación de estos datos se ha desarrollado un procesador sistemático para la manipulación de información que trabaja bajo sistemas matriciales que recogen, compilan y procesan la información capturada, buscando así obtener una mejor interpretación y manipulación de los escenarios de análisis.

Dado que el proceso sistemático se interrelaciona con el modelo matemático para la evaluación de la matriz de impacto ambiental, se podrá alcanzar no sólo los resultados para un momento discreto, sino una conceptualización profunda de un

problema a lo largo de grandes periodos y la configuración del entorno generada a su vez por la base de datos disponible.

El ánimo del autor al presentar una herramienta matemática para la evaluación del impacto ambiental en cuencas, es buscar la economía del cálculo numérico, para ello se realizó la implementación de un procesador sistemático para la manipulación de la información, bajo el lenguaje de MATLAB.

MATLAB, es altamente conocido en ingeniería, como una herramienta interactiva y abierta para la computación científica implementada con un poderoso lenguaje de programación de alto nivel para cálculos científicos y resolución de problemas numéricamente complejos.

Originalmente MATLAB fue escrito por Cléber Moler en 1980, en la universidad de México, en lenguaje FORTRAN, donde el objetivo perseguido era mejorar el interfaz gráfico de usuario con la librería de subrutinas LINPACK. Sin embargo The MathWorks Inc. implemento el lenguaje C con el mismo propósito y es éste la versión actual utilizada en el mercado.

MATLAB es el nombre abreviado de “MATrix LABoratory” (García de Jalón et al., 2001). MATLAB es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Como caso particular puede también trabajar con números escalares, tanto reales como complejos. Una de las capacidades más atractivas es que MATLAB tiene un lenguaje de programación propio.

MATLAB es un gran programa para el cálculo técnico y científico. Para ciertas operaciones es muy rápido, cuando puede ejecutar sus funciones en código nativo con los tamaños más adecuados para aprovechar sus capacidades de vectorización. En otras aplicaciones resulta bastante más lento que el código equivalente desarrollado en C/C++ o Fortran. Sin embargo, siempre es una magnífica herramienta de alto nivel para desarrollar aplicaciones técnicas, fácil de utilizar y que aumenta la productividad de los programadores respecto a otros entornos de desarrollo.

La versión utilizada de MATLAB sobre la cual se trabajó los programas es la 7.6 y se utilizó el GUIDE (GUI Development Environment) para la construcción del interfaz. GUIDE es un juego de herramientas que forman parte de MATLAB en las que se extiende por completo el soporte del programa, diseñadas para crear GUIs fácil y rápidamente. De la fusión de los elementos de GUIDE, resulta una combinación que brinda un inigualable control de los gráficos en MATLAB.

El concepto de la GUI está fundado a partir de la idea básica de agrupar ordenadamente en una sola ventana todos los elementos necesarios para la manipulación y graficación de algún tema en específico, para llegar a programas originales y con personalidad propia.

### 3.5.2. Tipos de datos

MATLAB fundamentalmente trabaja sistemas de vectores y/o matrices, sin embargo MATLAB implementa en su sistema la manipulación de otros tipos de datos los cuales se indican a continuación:

- ❖ Conjuntos o cadenas de caracteres.
- ❖ Hipermatrices, o matrices de más de dos dimensiones.
- ❖ Estructuras, o agrupaciones bajo un mismo nombre de datos de naturaleza diferente.
- ❖ Vectores o matrices de celdas (Cell Arrays).

*Cadenas de caracteres.* Las cadenas de caracteres (strings) es un conjunto de elementos compuesto por expresiones alfanuméricas, las cuales podrán ser evaluadas mediante expresiones matemáticas creadas por el programa para satisfacer las necesidades del usuario. En MATLAB las cadenas de caracteres podrán ser encapsuladas en matrices y desde las cuales podrán ser operadas de igual forma como si fuese una matriz numérica.

*Hipermatrices.* Las hipermatrices son matrices con más de dos dimensiones; esto quiere decir que MATLAB tiene la capacidad de evaluar no solo matrices bidimensionales, sino también matrices o series de datos diferentes en su contenido pero semejantes en su dimensión.

*Estructuras.* Las estructuras son arreglos multidimensionales con elementos accedidos por un único designador de campo, donde los datos ingresados son denominados miembros o campos, y son compuestas por variables que se denominan objetos. Estos tipos de datos permiten trabajar con sistemas de información numérica, alfabética y alfanumérica.

*Vectores o matrices de celda.* Un vector de celda (Cell Array) es un vector multidimensional donde los elementos que lo componen son otros tipos de arreglos, datos o variables de cualquier tipo; esto significa que un vector de celda puede contener bajo una única variable de entrada una estructura, un arreglo de caracteres, una hipermetría, u otros tipos de datos.

### 3.5.3. Interacción Excel - MATLAB

MATLAB integra Microsoft Excel con MATLAB en un ambiente de cómputo basado en Microsoft Windows. Al poder conectarse MS Excel con MATLAB, el usuario podrá acceder desde una hoja de cálculo al poder numérico, gráfico y computacional de MATLAB, permitiéndose un intercambio y sincronización entre los dos ambientes computacionales.

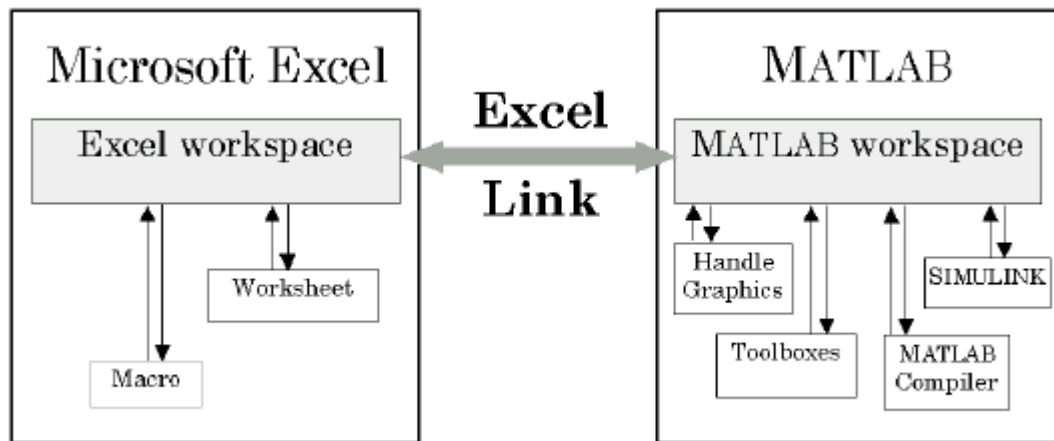


Figura 3.2. Interacción EXCEL - MATLAB.

### 3.5.4. Entorno de MATLAB

Los componentes más importantes dentro del entorno gráfico de MATLAB son el editor de caminos de búsqueda (Path Browser), el editor y depurador de errores (Editor & Debugger) y el visualizador del espacio de trabajo (Workspace Browser).

*Workspace.* El MATLAB Workspace (Espacio de trabajo de MATLAB) es el conjunto de variables y de funciones de usuario, que en un determinado momento están definidas en la memoria del programa y a su vez son utilizables en los procesos de cálculo. El usuario puede utilizar los comandos "who" y "whos" para visualizar el estado actual de Workspace. El comando who indicará las variables o matrices contenidas en el espacio de trabajo, mientras que who suministra información del tamaño y el tipo de dato contenido en el Workspace.

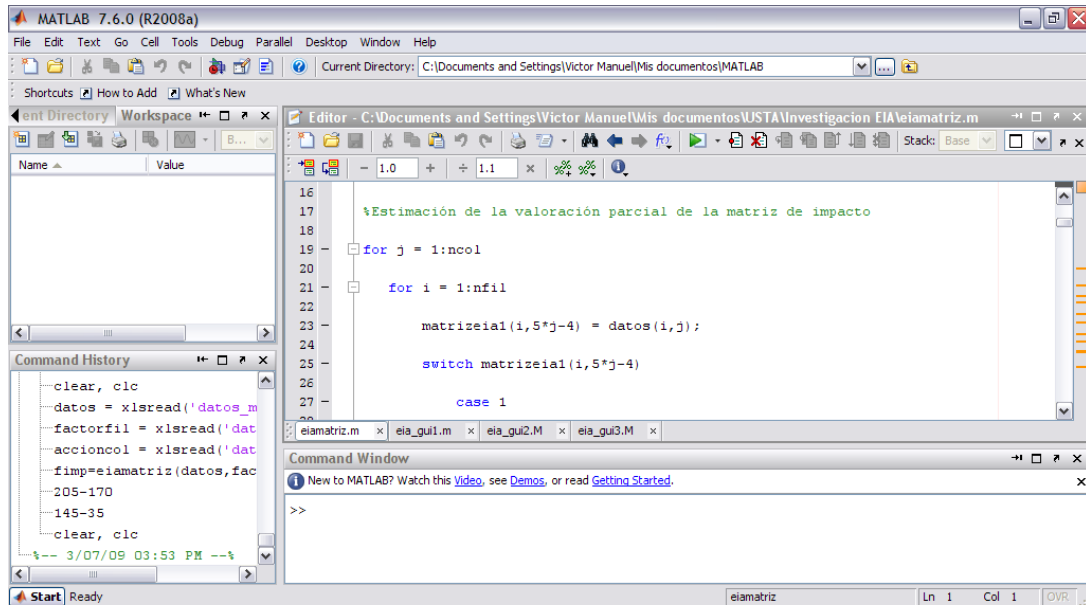


Figura 3.3. Entorno de MATLAB

MATLAB también ofrece al usuario guardar el espacio de trabajo en cualquier momento de una sesión con el fin de poder construir una base de datos sólida que funciona sólo bajo el programa, con archivos de extensión “.mat”. Para guardar los datos contenidos en la sesión de trabajo escriba la función “save” y el nombre de la sesión de trabajo, de igual forma para cargar el espacio de trabajo la función “load”. No obstante los resultados del cálculo de la matriz de impacto ambiental es almacenado bajo la instrucción “xlswrite”

*Search Path.* El Search Path es utilizado para encontrar archivos de extensión “.m”, los cuales son generalmente archivos de funciones o programas que trabajan bajo el lenguaje de MATLAB. El search path de MATLAB es una lista de directorios que se puede ver y modificar a partir de la línea de comandos (mediante las funciones path, addpath, y rmpath), o utilizando el Path Browser. Si se desea ver el contenido la ruta actual ejecute la función “what”.

*Path Browser.* El Path Browser (Establecer el camino de búsqueda – Search Path), permitirá al usuario encontrar la ruta de los archivos .m propios de MATLAB como también las programadas por los usuarios, que desean ser ejecutadas en una sesión.

A veces puede haber funciones distintas que tienen el mismo nombre; interesa saber cuáles son las reglas que determinan qué función o qué fichero “.m” es el que se va a ejecutar cuando su nombre aparezca en una línea de comandos del programa. Esto queda determinado por el camino de búsqueda (search path) que el programa utiliza cuando encuentra el nombre de una función.

*Editor & Debugger.* El Editor & Debugger (Editor de ficheros y depurador de errores), está diseñado para crear o generar archivos de extensión “.m” e identificar errores en su programación. En MATLAB tienen particular importancia los ya citados ficheros – “.m” (ó M-files). Son ficheros de texto ASCII, con la extensión \*.m, que contienen conjuntos de comandos o definición de funciones. La importancia de estos ficheros es que al teclear su nombre en la línea de comandos y pulsar Enter, se ejecutan uno tras otro todos los comandos contenidos en dicho fichero. El poder guardar instrucciones y grandes matrices en un fichero permite siempre ahorrar mucho trabajo de tecleado.

Aunque los ficheros \*.m se pueden crear con cualquier editor de ficheros ASCII tal como Notepad o MS Word, MATLAB dispone de un editor que permite tanto crear y modificar estos ficheros, como ejecutarlos paso a paso para ver si contienen errores (proceso de Debug o depuración). El Editor muestra con diferentes colores los diferentes tipos o elementos constitutivos de los comandos (en verde los comentarios, en rojo las cadenas de caracteres, etc.). El Editor se preocupa también de que las comillas o paréntesis que se abren, no se queden sin el correspondiente elemento de cierre.

### **3.5.5. Programa FIC**

El programa se conforma por un núcleo central que llama a la subrutina principal de cálculo, y a su vez se podrá indicar la ruta donde se localizan los archivos o base de datos para analizar.

Para poder visualizar esta pantalla inicial se requiere en primera instancia haber cargado en MS Excel las tres matrices de información de entrada, la cuales son:

- ❖ La matriz en policromía.
- ❖ La matriz indicadora de los saltos entre factores de análisis. Esta matriz debe ser almacenada en un archivo de extensión xls, en la cual se mostrará los índices de las celdas donde se agrupan los subfactores que intervienen en el análisis.
- ❖ La matriz indicadora de los saltos entre las actividades de análisis. Esta matriz debe ser almacenada en un archivo de extensión xls, en la cual se mostrará los índices de las celdas donde se agrupan las subactividades que intervienen en el análisis.

Debe tenerse en cuenta que los datos almacenados en los archivos de MS Excel no deben tener formato alguno y debe restringirse únicamente a caracteres de tipo numérico.

Después de almacenadas las matrices en Excel y guardadas en su formato nativo, se procede a la inicialización del programa de MATLAB. Debe indicarse en el “Path

Browser” la ruta donde se encuentran las tres matrices y en la ventana de comandos escribir “eia\_gui1”; así como se indica:

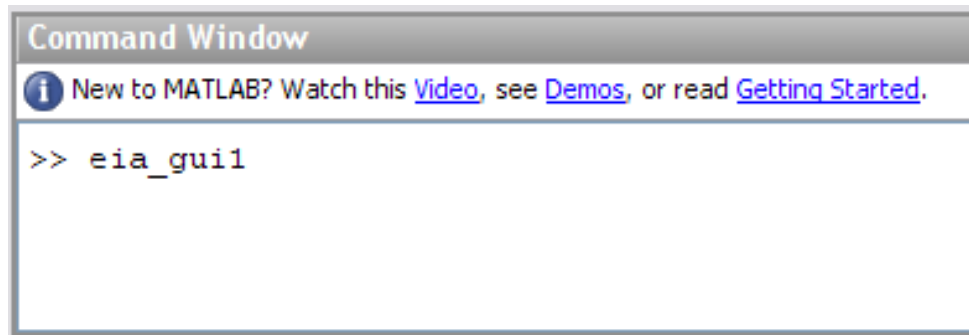


Figura 3.4. Entrada al programa EIA

Esta palabra invocará el núcleo central del programa y se visualizará el siguiente interfaz:

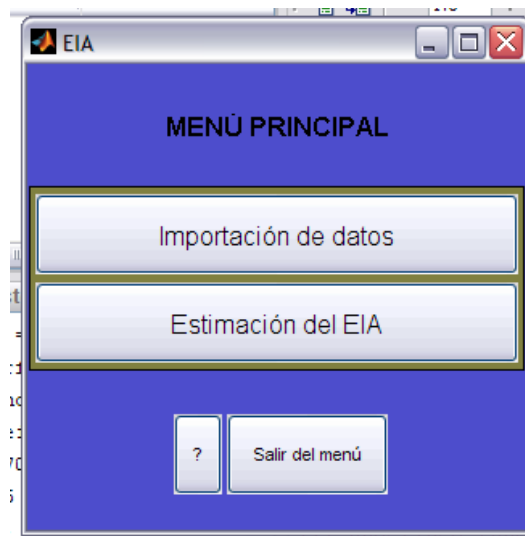


Figura 3.5. Interfaz EIA

El menú principal comprende dos elementos principales implicados en el procesamiento sistemático; en el primer elemento se aborda la importación de datos desde MS Excel a MATLAB y el segundo elemento la ejecución del algoritmo de cálculo de la matriz de impacto y sus resultados derivados.

Durante la importación de datos se debe ingresar los nombres de los archivos de MS Excel que son almacenados en la ruta de trabajo en MATLAB y el nombre de la cuenca de estudio. Posteriormente se debe presionar el botón denominado “Estimación EIA”, para la valoración completa de la matriz de impacto, el cual arrojará un único valor que representa la evaluación final para la cuenca de estudio (e.g. ver Figura 3.6).

The image shows a software window titled "EIA Datos de Entrada" with a blue background. It contains several input fields for data import:

- Nombre de la Cuenca Hidrográfica:** A text box containing "Río Garagoa".
- Nombre de la matriz principal de datos:** A text box containing "datos\_matlab1.xls".
- Matriz de control fila:** A text box containing "datos\_matlab2.xls".
- Matriz de control columna:** A text box containing "datos\_matlab3.xls".
- Matriz de provincias:** A text box containing "datos\_matlab3.xls".
- Matriz de áreas:** A text box containing "matrizarea".

At the bottom of the window, there are two buttons: "Continuar" and "Salir".

Figura 3.6. Importación de datos

Habiéndose finalizado el análisis, el algoritmo almacena en formato .xls el detalle de los resultados de la matriz de impacto ambiental, el resumen de los análisis sectorizados por factores y actividades y la respuesta final de la caracterización de impacto ambiental ejercidos para la totalidad de la cuenca.

Ahora bien, es posible identificar un factor de corrección correspondiente al área de aplicación del impacto, el cual llamaremos E, como factor de extensión. Este factor aplicará para la cuantificación de actividades o proyectos totales conforme a su afectación al componente global o factor ambiental global.

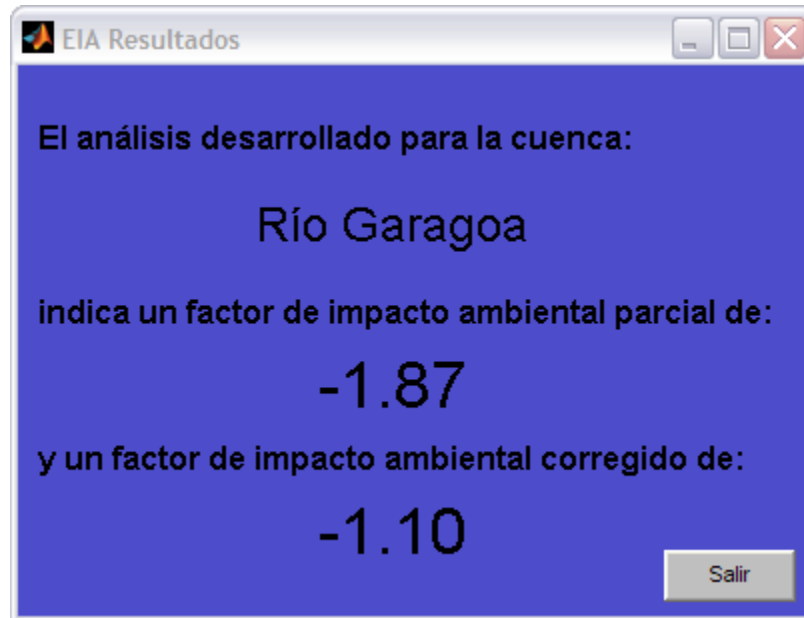


Figura 3.7. Presentación de resultado del análisis

En aras de unificar argumentos generales, se ha seleccionado como unidad de área El Municipio como quiera que se hace más sencilla su valoración cualitativa en el momento del desarrollo de la matriz EIA, el cual a su vez se puede asociar en una unidad que dada la magnitud de una cuenca resulta ventajoso y no menos importante como lo es la PROVINCIA, entendida como una entidad local con personalidad jurídica propia, determinada por la agrupación de municipios y división territorial para el cumplimiento de las actividades del Estado. Iniciado el modelo de cuantificación, este factor de corrección denominado de Extensión E, está asociado a un valor numérico expresado como la relación entre el área de los municipios asociados en provincias/área total cuenca.

$$E = \left( \frac{\text{Área provincia}}{\text{Área total cuenca}} \right) \quad (3.6.)$$

en todo caso la suma de todo los E es igual a 1.0

$$Ec = E \times \% \text{Área} \quad (3.7.)$$

Donde el % de Área indica la cantidad de porción de E que efectivamente es impactada de la provincia y  $E_c$  corresponde al factor de extensión corregido.

Este factor  $E_c$  tendrá un rango entre 0 y 1, el cual se explica en la siguiente tabla:

Tabla 3.6. Definición de Ec

Definición	Intervalo [ )
Afectación en área de hasta el 10% de la Cuenca	0 – 0,1
Afectación en área de hasta el 20% de la Cuenca	0.1 - 0.2
Afectación en área de hasta el 30% de la Cuenca	0.2-0.3
Afectación en área de hasta el 40% de la Cuenca	0.3-0.4
Afectación en área de hasta el 50% de la Cuenca	0.4-0.5
Afectación en área de hasta el 60% de la Cuenca	0.5-0.6
Afectación en área de hasta el 70% de la Cuenca	0.6-0.7
Afectación en área de hasta el 80% de la Cuenca	0.7-0.8
Afectación en área de hasta el 90% de la Cuenca	0.8-0.9
Afectación en área de hasta el 100% de la Cuenca Alta	0.9- 1.0

Hasta ahora tenemos estimado un factor de impacto asociado a componentes ambientales y acciones antrópicas y de otro lado su afectación expresada en términos de área de la cuenca, lo cual permite identificar en el espacio los distintos impactos ambientales. Surge el cuestionamiento en el sentido de estimar que resulta más importante: si el factor de impacto o el factor de área, puesto que al operar un factor de impacto bajo con un factor de área alto, explicaría un bajo impacto asociado a una gran área, o por el contrario, un factor de impacto alto operado con un factor de área bajo, que correspondería a un alto impacto asociado a un área baja. De cualquier modo, se puede entender que para todo FI existe un Ec y viceversa, de tal suerte que podríamos encontrar una expresión así:

$$Fic = \left( \frac{fi + Ec \times fi}{2} \right) \quad (3.8.)$$

Donde:

Fic = factor de impacto corregido  
Ec = factor de extensión corregido  
Fi = factor de impacto

Las fajas de valores para FIC , de acuerdo a la expresión anterior son :

Tabla 3.7. Clasificación de los Impactos fic

Definición	Intervalo + - ( )
Bajo	0 – 5
Bajo - Medio	5 – 8
Medio	8 – 9
Medio - Alto	9 – 11
Alto	11 - 12

En esta escala se puede apreciar la vinculación que tiene el valor del impacto con un área determinada, logrando de esta manera aproximar de forma más sensible la afectación en toda la extensión de la cuenca. En comparación con la tabla de Fi, aquí hemos considerado que a todo factor de impacto le está asociado un área y por lo tanto la medida calculada como FIC está más cercana a la real afectación de una acción a un determinado componente ambiental en un espacio territorial.

A efectos de procurar agilidad en el desarrollo de los cálculos para el Fic, se procede a elaborar una matriz de extensión Ec para cada provincia, la cual describe el área de afectación de una actividad sobre un factor ambiental. Esta matriz ha de construirse en una hoja de cálculo que posteriormente se exporta a la herramienta de cálculo matemático MATLAB, siguiendo el mismo procedimiento desarrollado para el cálculo del Fi (Ver Apéndice 3).

De esta manera, podemos encontrar un valor de FIC para cada acción y al final para toda la cuenca, que nos permite visualizar en un orden de magnitud la incidencia de distintas acciones en una cuenca determinada.

Para los fines pretendidos con este trabajo, resulta exitoso tener una aproximación matemática asociada al impacto y su ubicación como los resumidos en la matriz final para Fic, que a nivel o escala de toda una cuenca o macroproyecto es bastante aproximado al darnos un orden de magnitud. No obstante, el ingeniero debe tener en cuenta situaciones particulares, es decir, realizar un análisis de sensibilidad conforme a los objetivos que se plantee en torno a un proyecto o estudio de tal modo que pueda detallar ciertas condiciones que a esta escala resultan innecesarias.

Se debe tener especial atención que para la aplicación del modelo para el cálculo de FI y FIC, usando la herramienta estructural en MATLAB (ver Apéndice 3), ni la primera y última, tanto para fila y columna de la matriz EIA, correspondiente respectivamente a Factores Ambientales y Actividades, carezca de valor numérico,

inclusive cero, ya que el dimensionamiento de las matrices se ven alteradas y consecuentemente se produce un error en el cálculo. Se recomienda entonces cambiar de posición de la fila o columna que presentase esta situación, en la matriz principal de impacto, lo cual no cambia los resultados.

En resumen, a partir de los resultados obtenidos en la matriz de  $F_i$ , se desarrolla una nueva matriz  $F_{ic}$ , la cual contiene las actividades generales y factores ambientales asociados a un factor de extensión o área  $E_c$ , tomando al municipio como la unidad ambiental básica territorial inmersa dentro de la unidad llamada Provincia (Ver Apéndice 1).

### **3.6. CODIFICACIÓN DE LAS MATRICES $F_i$ Y $F_{ic}$**

Con el ánimo de encontrar una fácil interpretación del resultado obtenido de la matriz de impacto, se propone a continuación un sistema de codificación de los componentes subyacentes del análisis del factor de impacto. En primer lugar, la codificación consistirá en dar una representación numérica distinguible a las agrupaciones de componentes, ya sea por actividad o por factor ambiental, es decir la agrupación de los factores hidrometeorológicos, económicos y de suelo deben dar una respuesta diferente o parcialmente diferente, en el factor de impacto, a si se tomase los factores cultural, de paisaje y calidad del aire. En segundo lugar, la codificación permitirá observar los datos o resultados, de una forma sencilla y fácilmente comprensible.

El proceso de codificación debe entenderse bajo la siguiente metodología:

Se debe establecer una organización clara y bien definida de los componentes por actividad o por factor ambiental que participaran en la matriz de impacto y el orden enfoque se dispongan estos componentes no podrán ser permutables durante los análisis posteriores.

Ya establecidos los componentes y su orden intrínseco, se enumerara el número de elementos por fila y el número de elementos por columna. Esta enumeración establecerá una composición binaria, es decir el número de elementos por fila o por columna representará el tamaño en bits de los grupos por componentes. Para el caso de estudio se tienen 13 factores ambientales y 19 actividades, por consiguiente se tendrá dos representaciones binarias, la primera de 13 bits y la segunda de 19 bits, correspondientemente.

El empleo de todos los componentes activará el mayor número en la composición binaria indicada anteriormente. Por ejemplo para la composición de 13 bits el número más alto que podrá representarse es 8191. Ahora bien, si se omiten algunos componentes en el análisis o bien se suprimen actividades o factores ambientales, como consecuencia de una verificación de sensibilidad en los componentes de la determinación del factor de impacto, podrá obtenerse cifras menores a 8191. Tal es

el caso de la matriz objeto de estudio, donde solamente se adaptaron en uno de los análisis, los factores ecosistema, biodiversidad, demográficos, económicos, socioculturales, de paisaje e históricos; para obtener la representación numérica de 1000 (Ver Apéndice 2).

Mediante el esquema de codificación establecido se podrá construir escenarios de análisis, que permitan visualizar la interacción de las variables en juego y la predominancia participativa de cada uno de los mismos.

### **3.7. DIAGRAMACIÓN DE RESULTADOS**

Al haber analizado un conjunto de escenarios que se definieron en la codificación binaria, la respuesta del FI podría adoptar valores que difieren de acuerdo a la composición de los elementos en la matriz de impacto; por lo cual se hace necesario analizar la variabilidad que podría adoptar la respuesta del modelo. Teniendo en cuenta que cualquier combinación de factores o actividades representa un único par ordenado de valores, podría obtenerse una representación visual del FI y FIC, adaptando este último como un objeto tridimensional en el espacio geométrico que definen las variables de estudio.

Entre las múltiples formas que existen para visualizar campos tridimensionales, se ha adoptado para los propósitos de esta investigación, un diagrama de contornos y la superficie 3D. No obstante la construcción misma de estos diagramas requiere de un proceso de interpolación preliminar (e.g., tipo Kriging, SPLINE, entre otros), para la conformación del campo en los puntos donde no se tiene un muestreo. En esta investigación se tomaron 99 puntos en un espacio plano (aquel que define la composición binaria de actividades y factores ambientales), cuyo dominio va desde 1 hasta 8191 (factores ambientales) y el rango que parte desde 1 hasta 524.287 (actividades). La variable FI de acuerdo con los resultados obtenidos va desde 2 hasta -6 (estos valores responden al eje Z en la diagramación tridimensional).

La selección del método de interpolación estará sujeta a una verificación del comportamiento de los datos en un espacio tridimensional, por lo cual se sugiere verificar las técnicas de validación cruzada y de geoestadística para validar el método seleccionado. Se sugiere revisar las siguientes referencias: Beers y Kleijnen (2004), Kerry y Hawick (2005), Oliver (1990).

### **3.8. INTERACCIÓN SIG – IVAFIC (FASE 1)**

“La disponibilidad de datos e información sobre los recursos de un territorio son imprescindibles para lograr de manera racional y sostenible su festiony manejo. La aplicacionn de los sistemas de información geográfica Sig son una alternativa válida par estudios regionales, por la cobertura espacial, multiespectral y temporal que

alcanza. Los SIG se constituyen en la mejor forma de almacenar, administrar y gestionar dinámicamente datos territoriales”. (Carñel y Belmonte, 2001).

Actualmente, los sistemas de información geográfica SIG, se han posicionado dentro del ámbito de la ingeniería como una herramienta fundamental para la representación, medición y proyección de contextos actuales y futuros. En virtud de lo anterior éste trabajo asocia la interpretación cuantitativa dada como FIC a una demostración gráfica que en términos didácticos facilitan la interpretación de los resultados obtenidos, y a su vez escenifican los comportamientos relevantes producto del ejercicio desarrollado.

Esta herramienta permite ejemplificar entre otros, mapas que en éste trabajo se han denominado ISOFICS, que permiten llevar la evaluación del impacto ambiental formulado en el ítem anterior en su fase 1 a la unidad básica territorial o de extensión que para éste trabajo se ha designado como el municipio, facilitando así, la toma de decisiones en materia ambiental, por parte de los alcaldes, intendentes o gobernantes que por su condición socioeconómica carecen de los recursos suficientes para presupuestar un estudio de las condiciones dadas en éste trabajo.

### **3.9. DESCRIPCIÓN DEL MODELO IVAFIC (FASE 2)**

“So far as the laws of mathematics refer to reality, they are not certain.  
And so far as they are certain, they do not refer to reality”.  
Albert Einstein

Llevando este cálculo cuantitativo de factor de impacto Fic, al escenario económico, en donde el ejecutivo o legislador de una región país se posiciona a favor de adoptar políticas ambientales, resulta importante explorar el campo de los invitadores, en la medida que éstos reflejan una situación o comportamiento determinado. En ese orden de ideas, a través de un modelo de lógica difusa se han relacionado variables de tipo económico íntimamente relacionadas con el desarrollo de un país y el factor de impacto FIC, para formular un indicador de tipo económico – ambiental denominado IVA (Indicador de Valor Ambiental) como instrumento o herramienta para catalogar con un cierto grado de precisión o mas bien, asignar un grado de valor económico al factor de impacto dado a una cuenca hidrográfica. Si el Gini por ejemplo, representa el grado de pobreza y resulta siendo un factor importante para la formulación para la toma de decisiones en torno a esta circunstancia, se espera que el IVA planteado en éste trabajo dirija acertadamente las decisiones que de tipo económico ambiental deban tomarse por aquellos agentes u órganos encargados de la temática ambiental.

El problema de la selección de un modelo tiene gran importancia en ciencias y en ingeniería, dando lugar a la consecución de instrumentos matemáticos de diferente tipo para inferir una conceptualización clara y efectiva sobre el comportamiento de algún proceso estudiado. No obstante algunos sistemas son imprecisos y de difícil

conceptualización, donde los grados de incertidumbre y la precisión de una respuesta no son fácilmente cuantificables.

Es claro en el entorno científico, que el entendimiento de algunos procesos físicos está basado en el razonamiento humano (Ross, 2004). Este razonamiento puede ser aprovechado para la estructuración de modelos y la habilidad para encapsularlo en la solución de problemas complejos e intratables, es el criterio por la cual la eficacia de los modelos heurísticos y metaheurísticos son juzgados. Tal vez la precisión de estos modelos no permite resolver a plenitud el problema, sin embargo se constituye una estrategia para la toma de decisiones en el análisis de problemas ambientales en general y especialmente para la valoración del detrimento ambiental en sistemas de cuenca.

El propósito de esta etapa de la investigación es la identificación de un modelo metaheurístico, implementando la herramienta de "lógica difusa", que permitiera la integración de la respuesta estimada por el "Factor de Impacto Ambiental" con algunas variables socioeconómicas para el análisis final de un "Indicador de Valor Ambiental (IVA)". En enlace de las variables anteriormente descritas, no es tractable y por lo cual aquí se sugiere un modelo de lógica difusa que accediera a vislumbrar el comportamiento de la interacción paramétrica. Cuando se considera el uso de la lógica difusa para cualquier problema en ingeniería se debe ponderar el grado de imprecisión en la respuesta al problema, pues ciertamente, no solo la imprecisión dictamina la calidad de la respuesta sino la baja tractabilidad del problema (Ross, 2004).

Las actividades antrópicas por naturaleza están generando intervención y daño al ecosistema. Sin embargo, la intensidad e impacto son diferentes de conformidad con varios parámetros que tienden a estar asociados directamente con la actividad económica y social. Las comunidades en general, están caracterizadas por varios indicadores que reflejan su condición. En el caso de la economía, los cambios en la situación pueden darse por múltiples factores, que en últimas están manifestando su relación directa o indirecta con su entorno ambiental. No todas las sociedades y situaciones económicas poseen la misma afectación al medio ambiente. El grado de asocio y la combinación de variables en relación a la construcción del valor de impacto ambiental, estarán argumentados posteriormente.

Las variables socioeconómicas que fueron seleccionadas (tres de ellas) toman en cuenta su primacía en la valoración del estado económico de una sociedad, estas son: el producto interno bruto (PIB), la tasa de crecimiento poblacional, y el coeficiente de GINI.

El indicador de crecimiento económico es el resultado del incremento en la producción agregada de un país por parte de sus agentes económicos a lo largo del tiempo, generalmente un año, expresado a través del Producto Interno Bruto PIB. Existe un gran asocio entre el incremento del PIB y el impacto que tiene la economía en el medio ambiente. Se asume que un mayor crecimiento del aparato

productivo en cualquier de sus componentes, genera un mayor impacto en el deterioro ambiental. A mayor crecimiento económico, mayor es el daño ambiental que genera los agentes económicos.

La tasa de crecimiento poblacional, en sentido demográfico, se refiere a los desplazamientos demográficos de un determinado volumen de personas, desde un lugar de residencia a otro. La variación poblacional (crecimiento positivo o negativo) que experimenta el tamaño de la población, es el resultado de nacimientos y defunciones (crecimiento vegetativo) y el aporte neto de movimientos migratorios. La tasa de crecimiento se expresa en el porcentaje de la población que cambia de un periodo a otro.

La relación ambiental que existe con la variable se encuentra en la medida que exista un mayor número de personas que habiten en el territorio, también se presenta un incremento en la demanda de bienes y servicios ambientales tales, desde la apropiación de biomasa con fines energéticos, hasta el vertedero de residuos a la cuenca. A mayor crecimiento demográfico, mayor es el deterioro ambiental que se presenta en el territorio.

El coeficiente de GINI es un indicador de equidad, que muestra la forma porcentual en la que se distribuye una variable en la población. Generalmente se asocia al bienestar de la población en relación a su participación con el ingreso. Cero corresponde a una distribución perfectamente equitativa del ingreso (todos tienen el mismo ingreso) y 1 a una distribución perfectamente inequitativa (una sola persona tiene todo el ingreso y el resto no tiene nada). En otras palabras, mientras más cerca de 0 esté el índice de GINI más equitativa es una sociedad. El índice de GINI es el coeficiente de GINI expresado en porcentaje y es igual al coeficiente de GINI multiplicado por 100.

La relación existente entre el coeficiente de GINI con el componente ambiental, se asocia de manera tal que un incremento en el nivel de pobreza o inequidad en el ingreso dentro de una población, generará mayor deterioro ambiental. Entre más pobre sea una sociedad, mayores serán los conflictos ambientales generados debido a su precariedad en el ingreso, su nivel de educación y otras variables conexas.

### **3.10.1. Sistemas Difusos**

Varias fuentes han mostrado y probado que los sistemas difusos son aproximadores universales (Kosko, 1994; Ying et al., 1999, Ross, 2004), apoyados básicamente en conceptos de álgebra abstracta (e.g., grupos, campos y anillos) y álgebra lineal. Los sistemas difusos son muy útiles en dos contextos: i) en situaciones donde se involucre sistemas altamente complejos cuyos comportamientos no son bien entendidos, y ii) en situaciones donde se requiere una solución rápida y aproximada con una moderada garantía en la calidad de la solución. Para el análisis del

Indicador de Valor Ambiental (IVA) un modelo de inferencia difusa contrasta los factores económicos determinantes del estado de un país o locación geográfica, con el análisis de la matriz de impacto que se evalúa a partir el Factor de Impacto (FIC).

Debe ser entendido como un modelo de inferencia difusa como aquel que integra un modelo del sistema y un modelo de incertidumbre esforzado por entender un sistema general para el cual no existe un modelo predeterminado, y que parte de información difusa, imprecisa o inclusive desconocida. Los sistemas cuyos comportamientos son entendidos y controlados, exhiben cierta robustez ante las perturbaciones, es decir, la robustez es definida por la significancia en los cambios de la (o las) salida(s) bajo la influencia de las entradas al sistema. Un sistema de inferencia difusa presentará salidas categorizadas y que caracterizarán preliminarmente los patrones de comportamiento de un sistema.

Es importante destacar que los sistemas basados en conjuntos difusos es una forma disfrazada de teoría de probabilidad. El análisis estadístico básico es fundado en la teoría de probabilidad y en procesos aleatorios estacionarios, mientras que muchos resultados experimentales contienen procesos aleatorios y no aleatorios (e.g., el FIC es estimado bajo una estructura determinística claramente identificada pero la valoración económica es fuertemente influenciada por patrones con características aleatorias). Una clase de los procesos aleatorios, los procesos estacionarios, exhiben las siguientes características: i) el espacio de muestreo sobre el cual los procesos que están definidos no pueden cambiar de un experimento a otro, es decir, el espacio de salida no puede ser cambiado. ii) La frecuencia de ocurrencia, o probabilidad de un evento dentro del espacio de muestreo es constante y no puede ser cambiado de experimento a experimento. iii) Las salidas deben ser repetibles de experimento a experimento y no influyen sobre previos experimentos. Existen muchas clases de procesos aleatorios que podrían ser mencionados, no obstante se resalta que los conjuntos difusos no son gobernados plenamente por estas características.

Solamente una pequeña parte del conocimiento (o información) puede ser tratado de forma determinista. Infortunadamente, una vasta mayoría del material enseñado en ingeniería es basado en la presunción de que el conocimiento es determinístico, pues ciertamente, muchos procesos son reducidos a algoritmos, ecuaciones o fórmulas matemáticas. Éstas fórmulas describen un proceso determinista donde no hay incertidumbre sobre la física del proceso, como también no hay incertidumbre paramétrica del modelo que constituye. Sin embargo, existen problemas de incertidumbre en la información, dada sus características de procedencia tal como es: la imprecisión de la observación, los errores sistemáticos del muestreo, y su posible composición aleatoria.

La naturaleza de la incertidumbre en cualquier problema, es un aspecto muy importante que el ingeniero debe ponderar antes de la selección de un apropiado método para expresar la incertidumbre. Los conjuntos difusos proveen una forma matemática para representar el conocimiento experto humano y los sistemas

inferidos de éste. La idea propuesta por Lotfi Zadeh (1965) sugiere que las funciones (o conjuntos) de membrecía es la clave para la toma de decisiones cuando encaran con incertidumbre. Zadeh realizó la siguiente declaración en su artículo de 1995:

“La noción de un conjunto difuso provee un punto conveniente de partida para la construcción de una estructura conceptual paralela en muchos aspectos a la estructura empleada en el caso de los conjuntos ordinarios, pero es más general que este último y potencialmente podría probarse que tiene mayor aplicabilidad, particularmente en los campos de patrones de clasificación y en el procesamiento de información. Esencialmente, tal estructura provee una forma sencilla para tratar con problemas en la cual la fuente de imprecisión es la ausencia de un criterio claramente definido en las clases de membrecía en vez de la presencia de variables aleatorias (Zadeh, 1965)”

En los sistemas de inferencia difusa, las funciones de membrecía es una curva que define con cuales puntos en el espacio de las entradas es mapeado a un valor de membrecía (o grado de membrecía) entre 0 y 1. El espacio de entrada es algunas veces referido como el “universo de discurso” (The MathWorks, Inc., 1999). Uno de los ejemplos comúnmente empleados en conjuntos difusos es el conjunto de las personas altas. En este caso el universo de discurso es toda altura potencial, dígase de 3 a 6 pies, y la palabra “alto” corresponde a una curva que define el grado para el cual cualquier persona es alta. Si el conjunto de las personas altas es definido, de acuerdo al esquema de frontera de los conjuntos clásicos, como aquellas personas de más de 6 pies de alto; tal distinción es claramente absurda. Podría tomar sentido, considerar el conjunto de todos los números reales más grandes que 6 porque el número pertenece a un plano abstracto, pero cuando se quiere hablar de personas, es irrazonable llamar una persona “baja” cuando la diferencia con una “alta” difiere en altura por el ancho de un cabello.

En las funciones de membrecía, definidas bajo la letra  $\mu$ , el eje de salida es un número conocido como el grado de membrecía que va entre 0 y 1 (Figura 3.8). La función de membrecía define la transición de “bajo” a “alto”. En la parte superior de la figura, la primera función de membrecía demarca fuertemente la transición de bajo a alto, mientras que la segunda función (figura inferior) suaviza la transición, de tal forma que la definición de alto es menos significativa entre dos puntos de prueba.

La única condición de una función de membrecía debe realmente satisfacer, es que debe variar entre 0 y 1. La función en si misma puede ser una curva arbitraria cuya forma puede ser definida como una función  $\mu$  que se ajusta desde el punto de vista de simplicidad, conveniencia, velocidad y eficiencia.

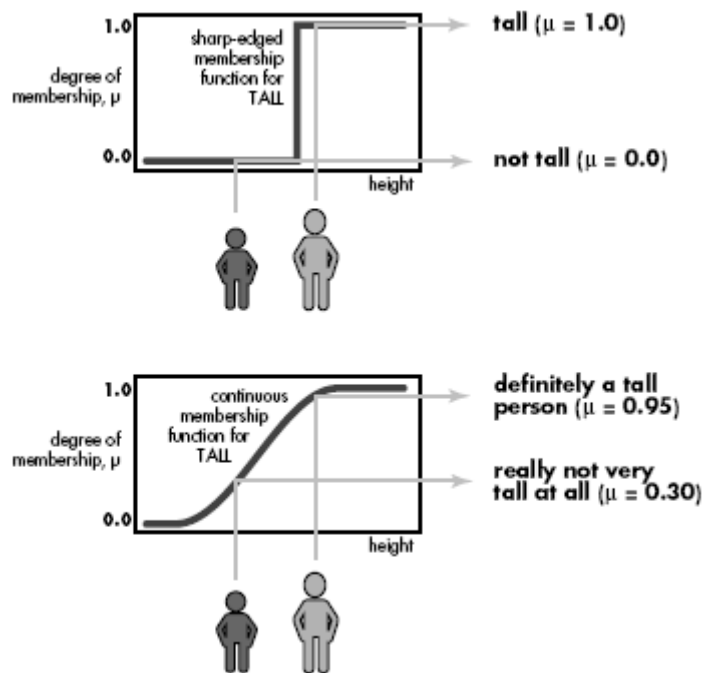


Figura 3.8. Función de membrecía para el conjunto de las personas altas<sup>2</sup>.

Un conjunto clásico puede ser expresado como:

$$A = \{x \mid x > 6\} \quad (3.9.)$$

Un conjunto difuso es una extensión de un conjunto clásico. Si  $X$  es el universo de discurso y sus elementos son denotados por  $x$ , entonces un conjunto difuso en  $A$  en  $X$  es definido como un conjunto de pares ordenados:

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\} \quad (3.10.)$$

$\mu_A(x)$  es llamada la función de membrecía de  $x$  en  $A$ . Las funciones de membrecía mapea cada elemento de  $X$  a un valor de membrecía en 0 y 1.

<sup>2</sup> Tomado de la referencia (The MathWorks Inc., 1999)

Debe reconocerse que la lógica difusa es un superconjunto de lógica Booleana estándar. En otras palabras, si se mantienen los valores difusos en sus extremos de 1 (completamente cierto o 0 completamente falso), las operaciones lógicas estándar se mantendrán.

En lógica difusa la verdad de una proposición es un asunto de grados, de tal forma que las tablas de verdad definidas en la teoría clásica de conjuntos es alterada mediante el operador “min”. Es decir, resolver la proposición  $A \wedge B$ , donde A y B son limitados al rango de 0 y 1, es por medio de la función  $\min(A, B)$ . Empleando el mismo razonamiento se puede resolver la proposición  $A \vee B$ , bajo su función equivalente  $\max(A, B)$ . Finalmente la operación de negación llega a ser equivalente a  $1 - A$ . De acuerdo a lo anterior, las tablas de verdad son definidas para los conjuntos difusos de la siguiente forma:

A	B	$\min(A, B)$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**AND**

A	B	$\max(A, B)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

**OR**

A	$1 - A$
0	1
1	0

**NOT**

Figura 3.9. Tablas de verdad de las operaciones básicas de los conjuntos difusos<sup>3</sup>.

La intersección o conjunción de dos conjuntos difusos A y B, es especificado por un mapeo binario  $T$ , el cual agrega dos funciones de membresía, tal como:

$$\mu_{A \cap B}(x) = T\{\mu_A(x)\mu_B(x)\} \tag{3.11.}$$

Por ejemplo, el operador binario  $T$  puede representar la multiplicación de  $\mu_A(x)$  y  $\mu_B(x)$ . Estas operaciones de intersección difusa, las cuales son referida como operadores de norma Triangular, reúne los siguientes requerimientos básicos:

<sup>3</sup> Tomado de la referencia (The MathWorks Inc., 1999)

Frontera  $T(0,0) = 0, T(a, 1) = T(1, a) = a$

Monotonicidad  $T(a, b) \leq T(c, d)$  si  $a \leq c$  y  $b \leq d$

Conmutatividad  $T(a, b) = T(b, a)$

Asociatividad  $T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c)$

El primer requerimiento impone la correcta generalización de los conjuntos. El segundo requerimiento implica que un decrecimiento en los valores de membresía en  $A$  o en  $B$  no puede producir un incremento en los valores de membresía en

$A \cap B$ . El tercer requerimiento indica que el operador es indiferente al orden de los

conjuntos difusos que serán combinados. Finalmente, el cuarto requerimiento nos permite tomar la intersección de cualquier número de conjuntos en cualquier orden de parejas agrupadas. Otras parametrizaciones de mapeo pueden ser revisadas (e.g. Yager, 1994; Dubois y Prade, 1980; Sugeno, 1977), las cuales proveen nuevas formas para variar la "ganancia" en la función, de tal manera que pueden obtenerse formas muy restrictivas o muy permisivas.

### 3.10.2. Reglas Difusas

Los conjuntos difusos y los operadores difusos, son los sujetos y los verbos de la lógica difusa. Las reglas que se declaran en un sistema de inferencia difusa son empleadas para formular la proposición condicional que comprime la lógica difusa. Una regla difusa asume la siguiente forma:

"si  $x$  es  $A$  entonces  $y$  es igual a  $B$ "

Donde  $A$  y  $B$  son valores lingüísticos definidos por conjuntos difusos sobre los rangos (universos de discurso)  $X$  e  $Y$ , respectivamente. La parte "si  $x$  es  $A$ " es definida como la premisa o antecedente, mientras que la parte "entonces  $y$  es igual a  $B$ " es llamada como el consecuente o la conclusión.

La interpretación de las reglas es un proceso de 3 etapas:

- ❖ Entradas difusas: resuelve todas las declaraciones difusas en el antecedente al grado de membrecía entre 0 y 1: Si hay una sola parte del antecedente, este es el grado de soporte para la regla.
- ❖ Aplicar operadores difusos para múltiples partes antecedentes: Si hay múltiples partes para el antecedente, se aplica operadores lógicos difusos y se resuelve el antecedente para un único número entre 0 y 1. Este es el grado de soporte para la regla.
- ❖ Aplicación del método de implicación: se usa el grado de soporte de la regla para la forma del conjunto difuso de salida. El consecuente de una regla difusa es asignar un conjunto difuso a la salida. Este conjunto difuso es representado por una función de membrecía que es seleccionada para indicar las calidades de los consecuentes. Si el antecedente es parcialmente cierto, entonces la salida del conjunto difuso es truncado de acuerdo al método de implicación.

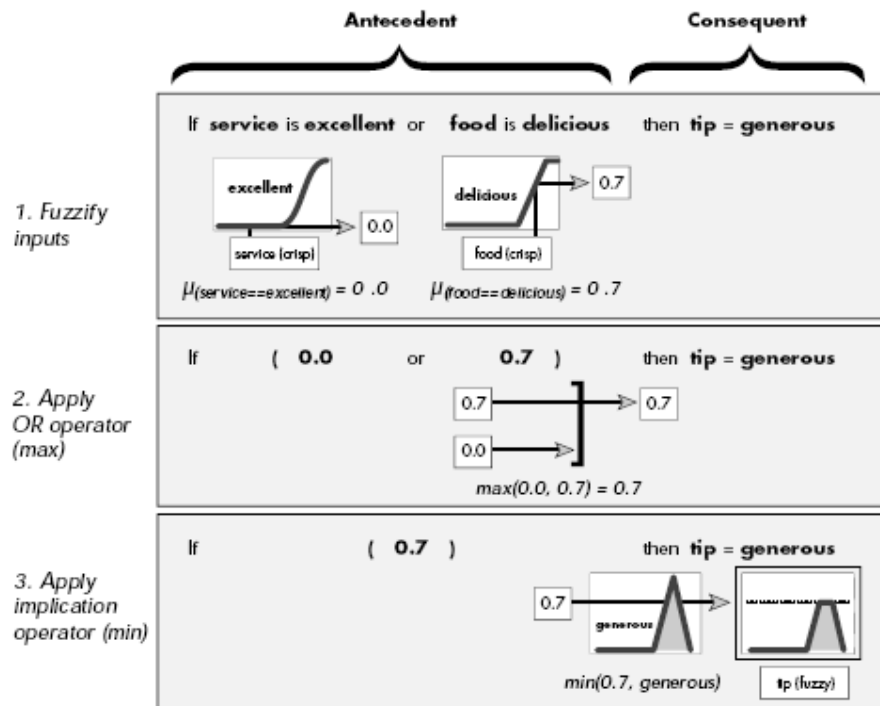


Figura 3.10. Ejemplo gráfico del proceso de interpretación de una regla difusa<sup>4</sup>.

En términos generales, una regla por sí sola no ofrece un buen resultado. Es necesario 2 o más reglas para explicar el funcionamiento del sistema. La salida de cada regla es un conjunto difuso. Los conjuntos difusos para cada regla son

<sup>4</sup> Tomado de la referencia (The MathWorks Inc., 1999)

agregados en un único conjunto difuso de salida. Finalmente, el conjunto resultante es resuelto a un único número.

La inferencia difusa es el proceso de formular el mapeo de una entrada dada a una salida, empleando lógica difusa. El mapeo provee una base para que la decisión sea tomada o un patrón discernido. El proceso de inferencia difusa involucra las funciones de membresía, los operadores lógicos y las reglas. Los sistemas de inferencia difusa han sido exitosamente aplicados para control automático, clasificación de datos, análisis de decisión, sistemas expertos entre otros. El proceso de inferencia difusa puede ser explicado en cinco etapas: difusificación de las variables de entrada, aplicación de los operadores difusos en los antecedentes, implicación del antecedente al consecuente, agregación de los consecuentes alrededor de las reglas definidas y la defusificación.

- **Difusificación de las variables de entrada:** El primer paso es tomar las entradas y determinar el grado para el cual ellos pertenecen a cada uno de los conjuntos difusos mediante las funciones de membresía. La entrada es casi siempre un valor numérico limitado en el universo de discurso de las variables de entrada y la salida es un grado difuso de membresía en el conjunto de cualificación lingüística (siempre en el intervalo entre 0 y 1).
- **Aplicación de los operadores difusos:** Una vez que las entradas han sido difusificadas, se conoce entonces el grado para el cual cada parte de los antecedentes ha sido avalada por cada regla. Si el antecedente de una regla dada tiene más de una parte, el operador difuso es aplicado para obtener un número que represente el resultado del antecedente para cada regla. Este número será aplicado en la función de salida. La entrada del operador difuso es en dos o más valores de membresía de las variables difusas de entrada.
- **Implicación del antecedente al consecuente:** Antes de aplicar el método de implicación, se debe tener cuidado en el peso de las reglas. Cada regla tiene un peso (un número entre 0 y 1), el cual es aplicado al número dado por el antecedente. Una vez que los pesos han sido asignados a cada regla, el método de implicación es implementado. Un consecuente es un conjunto difuso representado por una función de membresía, el cual pondera apropiadamente las características lingüística que le son atribuidas. El consecuente es reformado usando una función asociada con el antecedente (un único número). La entrada para el proceso de implicación es un único número dado por el antecedente, y la salida es un conjunto difuso (Ver Figura 3.11).

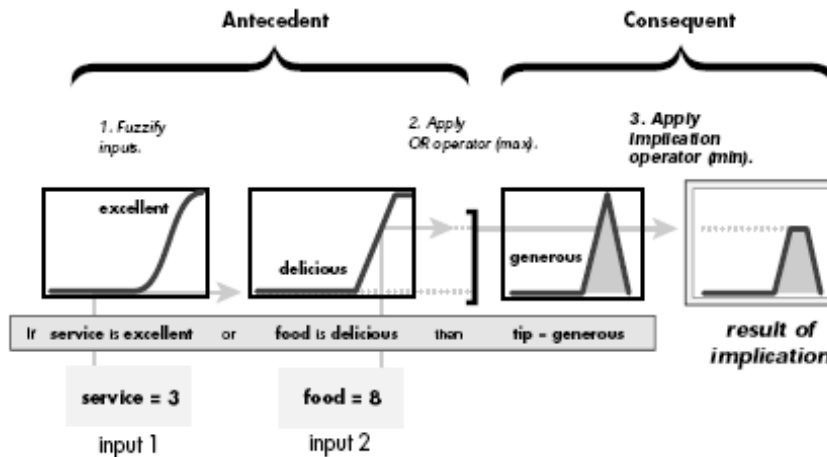


Figura 3.11. Ejemplo de la aplicación del método de implicación al consecuente.

- **Agregación de todas las salidas:** Desde que las decisiones estén basadas en las pruebas de todas las reglas en un sistema de inferencia difusa, las reglas son combinadas de alguna forma para tomar la decisión. La agregación es el proceso por el cual, los conjuntos difusos que representan las salidas de cada regla son combinados en un único conjunto difuso. La entrada del proceso de agregación es la lista de funciones de salida truncada que retornan por el proceso de implicación de cada una de las reglas. La salida del proceso de agregación es un conjunto difuso para cada variable de salida.
- **Defusificación:** La entrada para la defusificación es un conjunto difuso (el conjunto difuso de salida que resulta de la agregación). El método más convencional para la defusificación es el del cálculo del centroide (The MathWorks Inc., 1999), el cual retorna el centro del área bajo la curva que conforma el conjunto difuso de salida (ver Figura 3.12).

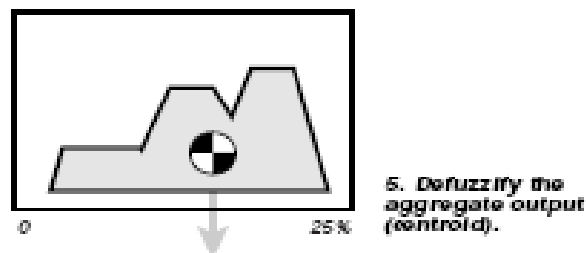


Figura 3.12. Resultado de la defusificación, expresado como un único valor en el universo de discurso de la salida, el cual responde al centroide del área bajo la curva del conjunto difuso de salida.

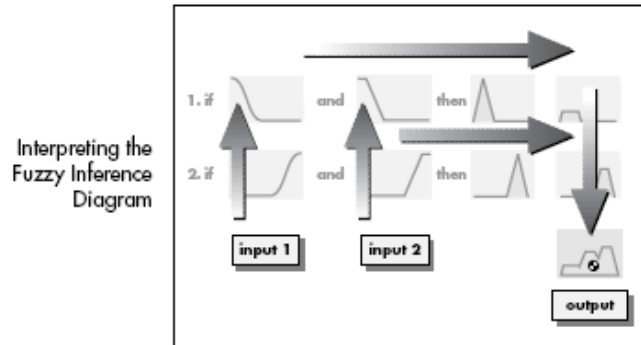


Figura 3.13. Esquematación general de un sistema de inferencia difusa.

Resumiendo, el sistema de inferencia difusa es una diagramación de los componentes anteriormente descritos (e.g., difusificación de las variables de entrada, aplicación de los operadores difusos en los antecedentes, implicación del antecedente al consecuente, agregación de los consecuentes alrededor de las reglas definidas y la defusificación), que permite evaluar escenarios de comportamiento de un proceso estudiado, en este caso el análisis de Indicador de Valor Ambiental (IVA).

## **CAPITULO 4. APLICACIÓN DEL MODELO IVAFIC (CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO GARAGOA)**

### **4.1. IDENTIFICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO**

Resulta indefectiblemente necesario seleccionar un escenario de prueba que para el cumplimiento del objeto de éste trabajo es una cuenca hidrográfica. De la multiplicidad de opciones, Colombia, y específicamente Boyacá presentan condiciones que desde el punto de vista ambiental resultan exquisitas, en virtud de la cantidad de recursos naturales existentes.

Boyacá corresponde a un departamento ubicado en la cordillera oriental que a su vez pertenece al complejo montañoso de los Andes, que tienen condiciones ambientales que varían desde la óptica geográfica de un nivel de llanura hasta un nivel de páramo en una extensión de área relativamente baja. A continuación se muestra la Cuenca seleccionada en su División Política

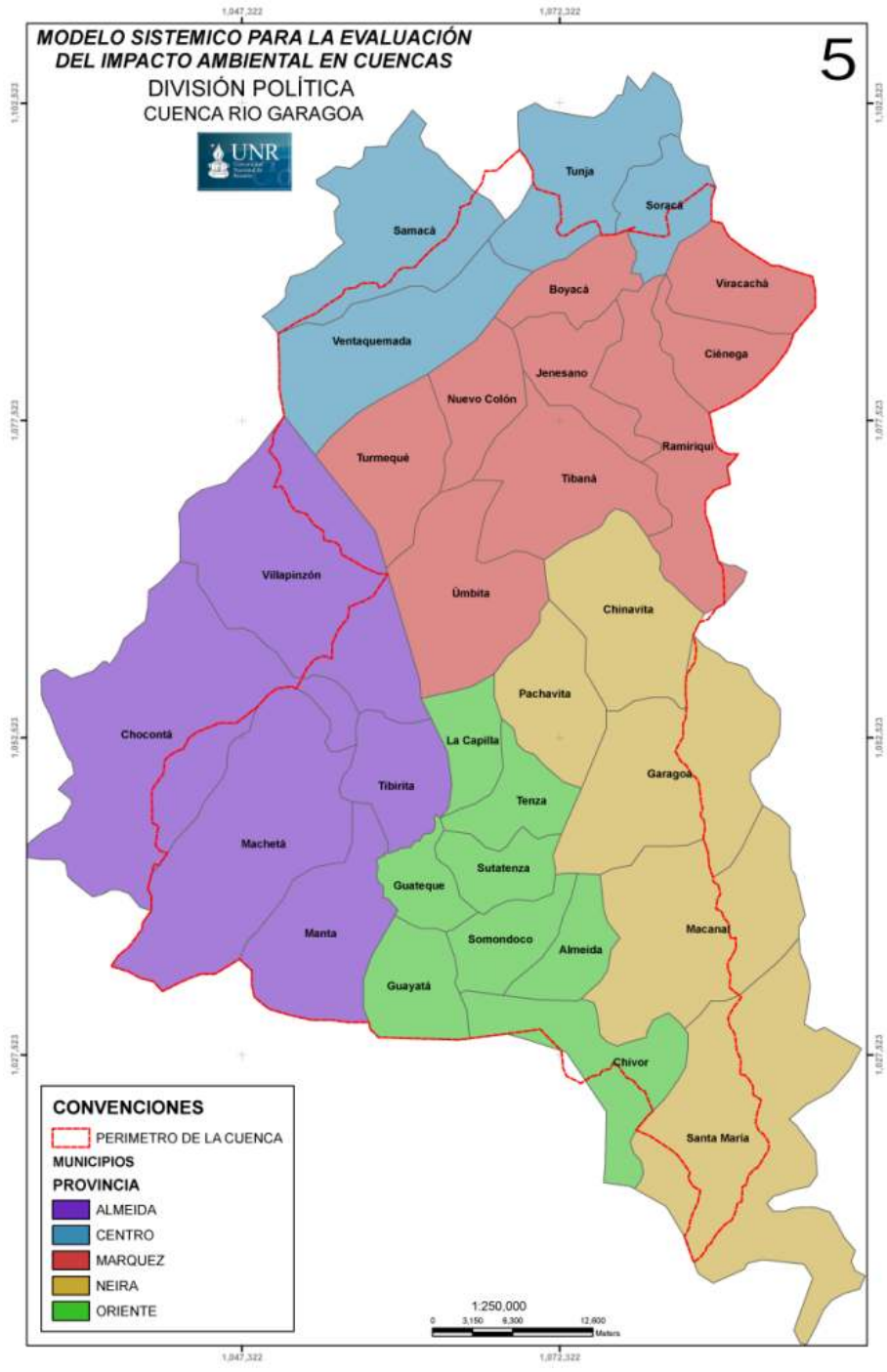


Figura 4.1. División Política de los municipios de la cuenca del Rio Garagoa

#### **4.1.1. Fundamento de la Selección de la Zona de Estudio**

Para el desarrollo de este trabajo, se ha seleccionado la cuenca del río Garagoa, teniendo en cuenta que por su ubicación geográfica presenta una alta gama de posibilidades de actividades antrópicas afectando a diversos factores ambientales, que reúnen una multiplicidad de situaciones favorables para la implementación y validación del modelo propuesto.

La inclusión de nuevas actividades o factores ambientales que se puedan presentar en una cuenca son mínimos, comparada con la tomada como prueba, desestimando de ésta forma, el sesgo que se pueda tener dada la particularidad de pertenecer al territorio colombiano.

De otro lado, las corporaciones autónomas de Boyacá y Chivor, encargadas del manejo ambiental de las cuencas correspondientes del sector centro de Colombia, en colaboración con estudios de consultoría de la Universidad Nacional de Colombia han elaborado estudios sobre esta Cuenca que facilitan el trabajo de campo y validación de información en esta investigación, en aras de tener una base confiable para la aplicación del modelo IVAFIC propuesto.

## **4.2. DESCRIPCIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**

A partir de la información suministrada en un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia y en el ejercicio del desarrollo de esta investigación con la colaboración de la corporación Autónoma regional de Boyacá Corpoboyacá y la Corporación Autónoma de Chivor Corpochivor, autoridades ambientales de la zona de estudio, se procedió junto con expertos, y trabajo de campo a practicar la descripción de la zona, la cual se muestra en el Anexo 1.

### **4.2.1. Evaluación del Impacto Ambiental de la Zona de Estudio**

Realizado el ejercicio de elaboración de la matriz de impacto ambiental EIA, con el apoyo de expertos en cada una de las áreas y trabajo de campo, se presenta los resultados preliminares encontrados en el Apéndice 1.

### **4.2.2. Matriz de Ruta**

Lamentablemente los planes de manejo ambiental carecen de información cuantitativa que permitan valorar rápidamente su comportamiento y que a su vez permitan definir verdaderas acciones y políticas ambientales. El

desarrollo de este trabajo propone una herramienta de tipo cuantitativo que permita aproximar los presupuestos a inversiones reales de forma que se detecten los escenarios más agotados y las acciones que implican mayores impactos de forma tal, que se logren desarrollar eficaces medidas de mitigación, reparación y compensación.

No obstante y a pesar de obtener información confiable por parte de las autoridades ambientales, para la elaboración de la EIA, es necesario realizar una confrontación a través de una evaluación denominada matriz de ruta, explicada en el capítulo anterior.

Validando la información suministrada por los expertos, por los actores directos en el escenario ambiental propuesto en el caso de estudio, a continuación se presenta la matriz de ruta resultante:

La información suministrada en la figura anterior es de vital importancia en la medida que sustenta el soporte cualitativo dado en la EIA sobre el cual se basa el modelo sistémico IVAFIC propuesto en este trabajo. El formato de encuesta y la representación estadística de los resultados de la misma, se presentan en el Anexo 2.

Tabla 4.1. Matriz de Ruta.

<b>MATRIZ DE RUTA CUENCA RIO GARAGOA</b>
------------------------------------------

Se han tomado los datos de percepción ambiental, teniendo en cuenta la siguiente valoración:					
menos del 40 % .color claro					
Entre 40 y 75 %. Color medio					
Más del 75 % . Color fuerte					

INDICADOR	PROVINCIAS				
	ALMEIDA	CENTRO	MÁRQUEZ	NEIRA	ORIENTE
FACTOR GEOSFERICO					
ABAST.AGUA SUBTERRANEA					
CALIDAD AGUA SUBT					
COSTO NORMAL DE AGUA					
CONSUMO DE AGUA MAYOR AL NECESARIO					
FACTOR HIDROMETEOROLOGICO					
HAY INUNDACIONES					
CLIMA SECO					
FACTOR DE SUELO					
ZONAS CON SUELO CONTAMINADO					
LUGARES PARA DISPOSICION DE BASURAS					
HAY SELECCIÓN DE LA BASURA					
BUENA LIMPIEZA DE SU ZONA					
FACTOR DE ECOSISTEMA Y BIODIVERSIDAD					
HAY ARBOLES EN SU CUADRA					
HAY ANIMALES EN SU HOGAR					
EXISTENCIA ROEDORES EN SU ZONA					
INSECTOS EN SU ZONA					
FACTORES DEMOGRAFICOS Y ECONOMICOS					
VIVE EN CIUDAD					

INDICADOR	PROVINCIAS				
	ALMEIDA	CENTRO	MÁRQUEZ	NEIRA	ORIENTE
VIVE DE EMPLEO					
ESTUDIA PUBLICO					
TIENE COVERTURA EN SALUD PUBLICA					
TIENE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO					
FACTOR CULTURAL-PAISAJE - HISTORICO					
PROBLEMAS DE TRANSITO					
INSEGURIDAD EN SU ZONA					
CALIDAD DE PAISAJE					
CONSERVA COSTUMBRES DE ABUELOS					
FACTOR CALIDAD DE AGUA					
CALIDAD AGUA DE CONSUMO					
CALIDAD DEL SERVIVIO DE AGUA POTABLE					
AGUAS SERVIDAS TRATADAS					
CONTAMINACION EN RIOS					
FACTOR CALIDAD DEL AIRE					
MALOS ALORES					
IDENTIFICA LAS RAZONES					
PROBLEMAS DE RUIDO					
PRESENCIA DE POLVO EN EL AIRE					

Fuente: Pouey Nora. Agenda 21.Municipalidad de Rosario.

### **4.3. APLICACIÓN DEL MODELO IVAFIC (FASE 1 – ANÁLISIS FIC)**

Después de aplicada la metodología descrita en el capítulo anterior en relación con el cálculo del Factor de impacto corregido FIC, los resultados para FI y FIC se muestran en las siguientes tablas. (Ver detalles en Anexo 1).

La tabla correspondiente a los Factores de impacto FI muestra los valores parciales por actividades y factores, así como también, el total de de la cuenca correspondiente a  $- 1.87$ , que de acuerdo a la asignación de valor dada corresponde a un nivel bajo Temporario menor a 2 años – reversible.

De la misma forma en la tabla de Factores de impacto corregido FIC, se muestra los FIC parciales por actividades y factores, así como el FIC total de la cuenca, que para éste caso resulta ser de  $- 1,10$  equivalente a un Factor de impacto bajo.

Será este valor de FIC total de la cuenca de  $- 1.10$ , el que se use para aproximar el modelo IVAFIC en su fase II, que se mostrará más adelante.

Tabla 4.2. Resumen de resultados del modelo IVAFIC Fase 1 – Análisis FI

MODELO DE MATRIZ IA PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL RIO GARAGOA	INFRAESTRUCTURA VIAL	OBRAS DE ACUEDUCTO	OBRAS DE ALCANTARILLADO	INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	SISTEMAS DE RIEGO	EDIFICACIONES	CALDERAS DE ALFARERIA	MATADEROS	DISPOSICION DE BASURAS	HIDROELECTRICA	AGROINDUSTRIA	INDUSTRIAS AVICOLAS	INDUSTRIAS PORCICOLAS	PROYECTOS DE MINERIA	EDUCACION	SALUD	PROYECTOS DE COMERCIO	CULTURA, RECREACION Y TURISMO	SEGURIDAD CIUDADANA
FACTORES GEOSFÉRICOS	-2,14	-5,80	-6,42	-7,57	4,50	-7,64	-8,68	-8,51	-9,00	1,23	-7,36	-7,27	-7,48	-4,30	-8,59	-8,57			
FACTORES HIDROMETEOROLÓGICOS	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00					-9,00	-9,00									
FACTORES DEL ECOSISTEMA	-3,80	-3,50	-3,50	-3,50		-3,50	-3,50	-4,92	-12,00	-4,33	4,33	-7,67	-8,20	-8,20	-9,00	-9,00			
FACTORES DE BIODIVERSIDAD	1,25	1,25	-2,19	-0,47		2,50	2,86	1,00	-11,00	-5,06	0,47	-6,38	-6,38	-6,38	-6,25	-6,25			
FACTORES ECONÓMICOS	5,44	5,02	0,89	3,45	9,00	-0,96	-2,58	-1,40	2,35	2,96	3,42	1,47	0,86	0,39	1,22	2,99	9,00	9,00	9,00
FACTORES DEL PAISAJE	-8,13	-8,63	-8,63	-9,17		-8,50	-9,50	-8,50	-9,00	-1,13				-5,00	9,00	9,00			
FACTORES HISTÓRICOS	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	-9,00			9,00	7,73	7,00	6,73	6,73	7,49	7,89	7,53			
<b>FACTOR DE IMPACTO AMBIENTAL (ESTIMADO TOTAL)</b>	<b>-1,87</b>																		

Tabla 4.3. Resumen de resultados del modelo IVAFIC Fase 1 – Análisis FIC

<b>MODELO DE MATRIZ EIA PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL RIO GARAGOA (CORREGIDO)</b>	INFRAESTRUCTURA VIAL	OBRAS DE ACUEDUCTO	OBRAS DE ALCANTARILLADO	INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	SISTEMAS DE RIEGO	EDIFICACIONES	CALDERAS DE ALFARERIA	MATADEROS	DISPOSICION DE BASURAS	HIDROELECTRICA	AGROINDUSTRIA	INDUSTRIAS AVICOLAS	INDUSTRIAS PORCICOLAS	PROYECTOS DE MINERIA	EDUCACION	SALUD	PROYECTOS DE COMERCIO	CULTURA, RECREACION Y TURISMO	SEGURIDAD CIUDADANA	
FACTORES GEOSFÉRICOS	-1,74	-3,95	-4,38	-5,48	2,53	-4,29	-4,99	-4,79	-5,08	0,71	-4,50	-4,04	-4,71	-3,90	-4,84	-4,74				
FACTORES HIDROMETEOROLÓGICOS	-5,19	-5,24	-5,24	-5,20					-5,55	-6,45										
FACTORES DEL ECOSISTEMA	-2,98	-2,02	-2,02	-2,47		-2,01	-1,97	-3,57	####	-2,62	3,93	-5,93	-6,47	-6,88	-5,05	-4,95				
FACTORES DE BIODIVERSIDAD	0,92	0,70	-1,24	-0,31		1,43	1,59	0,68	-8,88	-3,24	0,29	-3,80	-4,13	-5,35	-3,44	-3,44				
FACTORES ECONÓMICOS	4,89	4,40	0,81	3,08	6,89	-0,73	-1,86	-1,14	1,94	2,11	3,10	1,32	0,76	0,36	1,04	2,41	8,24	8,17	7,79	
FACTORES DEL PAISAJE	-5,95	-4,78	-4,80	-5,48		-5,86	-5,35	-5,20	-8,17	-0,73				-3,40	4,95	4,95				
FACTORES HISTÓRICOS	5,01	4,98	4,98	5,08	4,95	-5,07			6,01	4,48	3,94	3,76	3,98	4,43	4,34	4,14				
<b>FACTOR DE IMPACTO AMBIENTAL (ESTIMADO TOTAL)</b>																				<b>-1,10</b>

#### **4.4. INTERACCIÓN SIG CON EL MODELO IVAFIC FASE I**

Un sistema de información geográfica SIG consiste en un conjunto de programas de computadora para capturar, almacenar, manipular, analizar e imprimir mapas o cartas (Cogalton y Green 1992, Burrough 1989, Ripple 1989).

Para el desarrollo de este trabajo se ha georeferenciado la zona de estudio. A su vez, la cuenca se ha dividido en unidades administrativas denominadas provincias con el objeto de visualizar espacialmente los distintos impactos ambientales en sus diferentes factores ambientales acusados por la actividad antrópica de la zona. De la multiplicidad de cartografía que se puede generar a partir de este estudio se ha querido distinguir cuales de las provincias son las más altamente afectadas para cada uno de los factores ambientales por todas las acciones, resultantes del escenario reconocido como altamente probable del ejercicio del análisis de sensibilidad que se mostrará en el capítulo siguiente.

De otro lado, se ha destacado las actividades que generan mayor impacto a determinado factor ambiental identificando a su vez las provincias de mayor

afectación de impacto. Con los atributos cargados al sistema podemos generar mapas visualizando a nivel de cuenca general, aquellas provincias que representan el mayor impacto ambiental.

A continuación se presentan entre la gran cantidad de combinaciones posibles, algunos mapas en los que se describe el impacto que producen todas las actividades a un factor (Figuras 4.2 a 4.8) y la actividad que genera un mayor impacto a cada uno de los factores ambientales (Figuras 4.9 a 4.15).

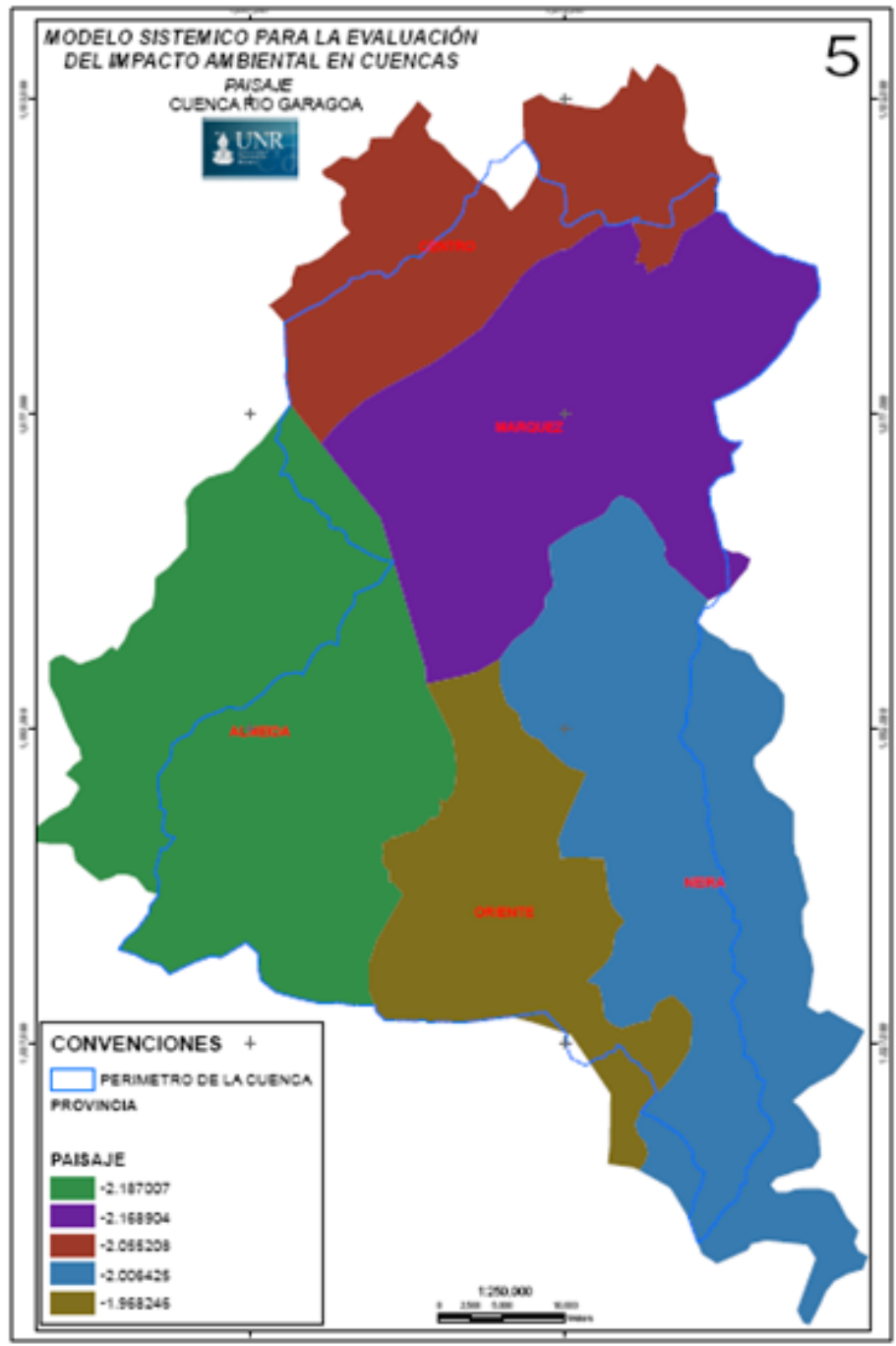


Figura 4.2. Actividades totales vs Paisaje.

La provincia de Almeida es la de mayor impacto a consecuencia de todas las actividades sobre el factor paisaje.

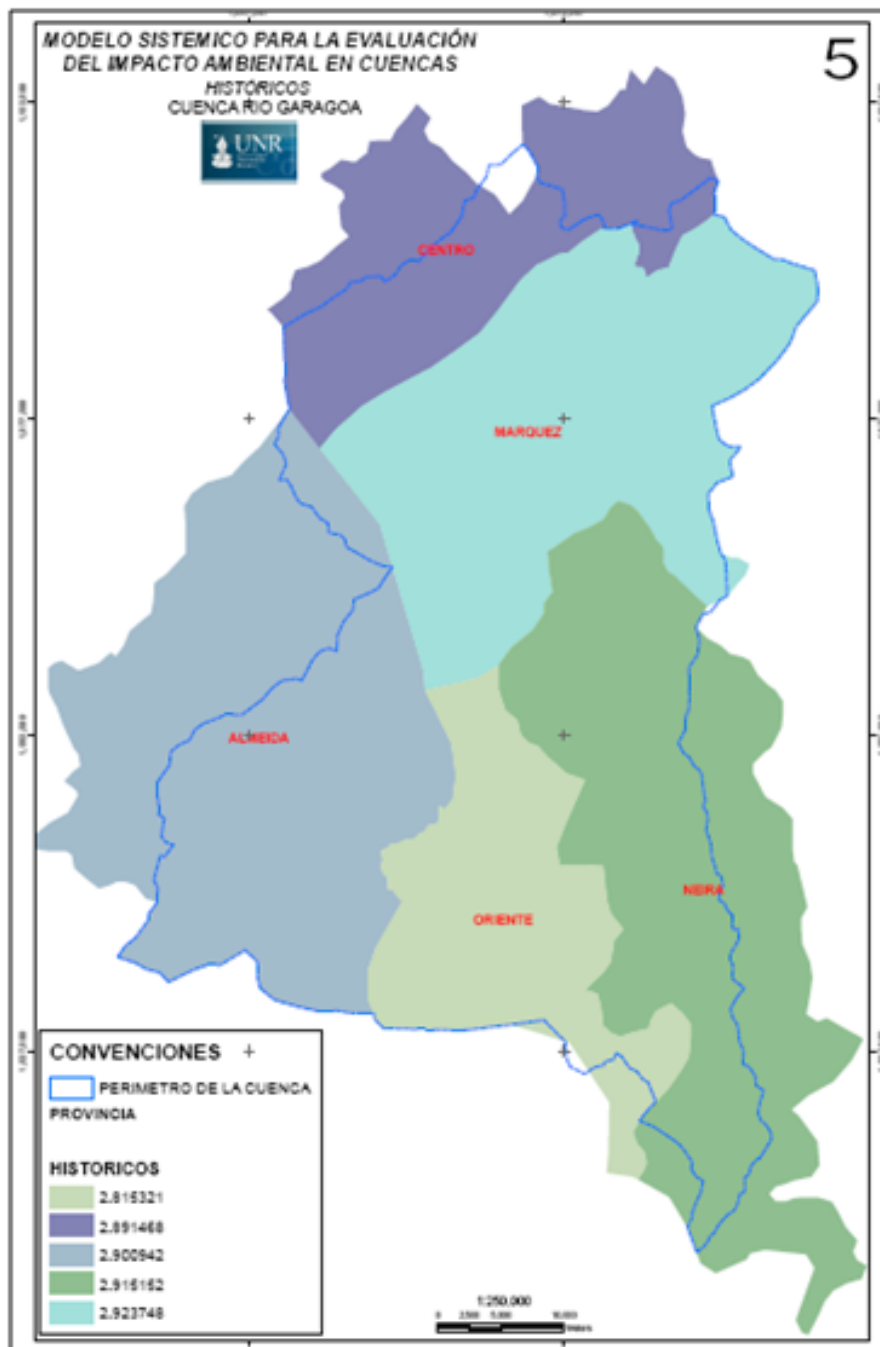


Figura 4.3. Actividades totales vs Históricos.

La provincia de Oriente es la de mayor impacto a consecuencia de todas las actividades sobre el factor histórico.

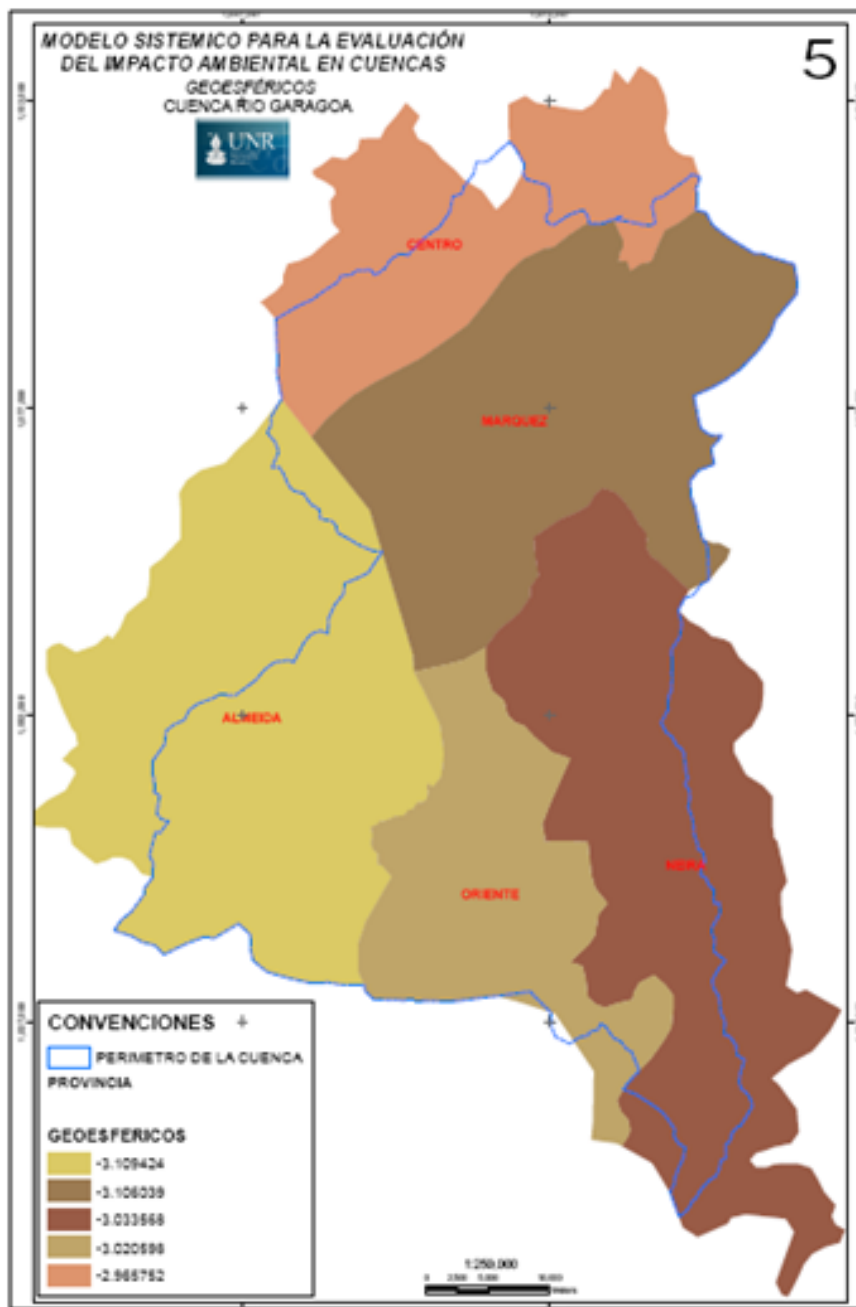


Figura 4.4. Actividades totales vs geoesféricos

La provincia de Almeida es la de mayor impacto a consecuencia de todas las actividades sobre el factor geoesférico.

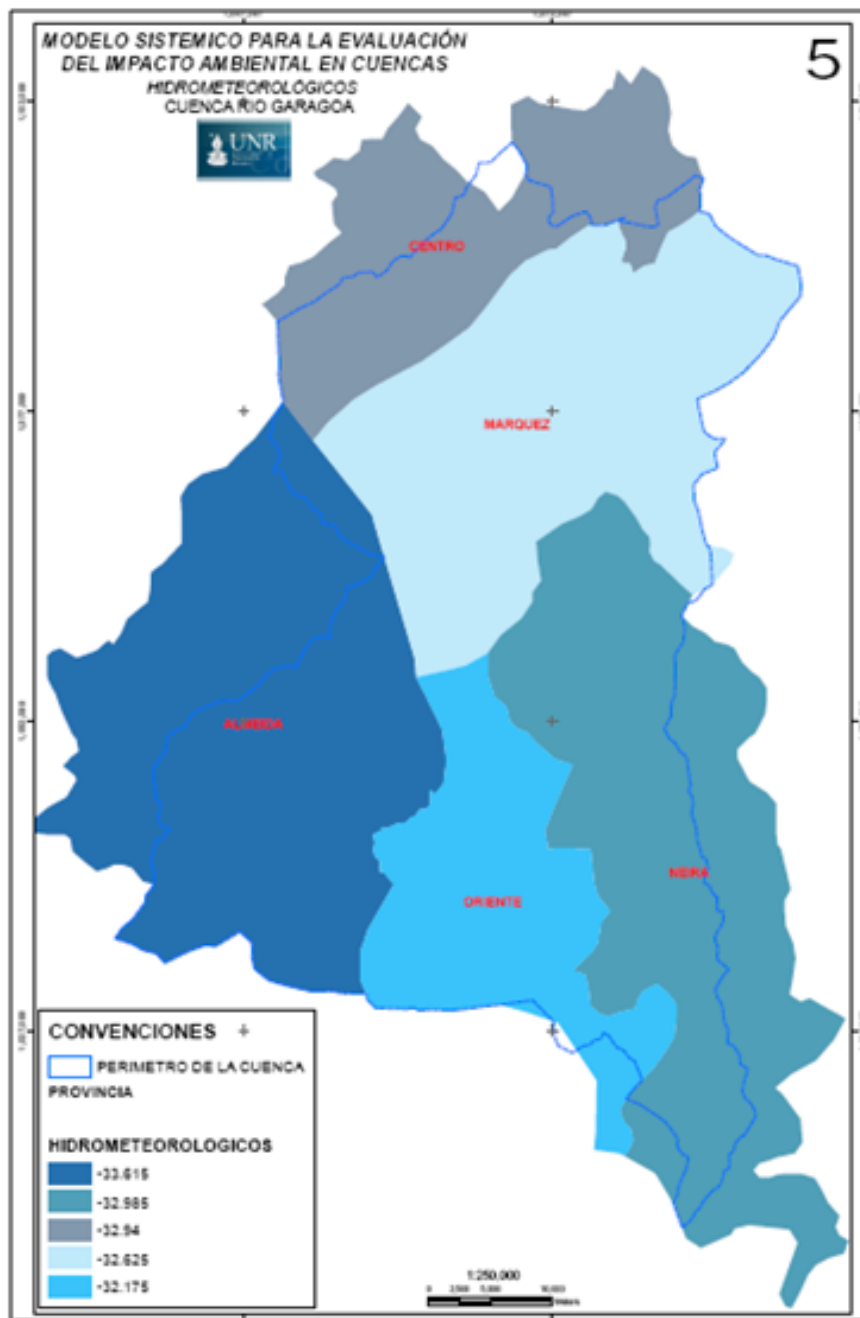


Figura 4.5. Actividades totales vs Hidrometeorológicos

La provincia de Almeida es la de mayor impacto a consecuencia de todas las actividades sobre el factor Hidrometeorológicos.

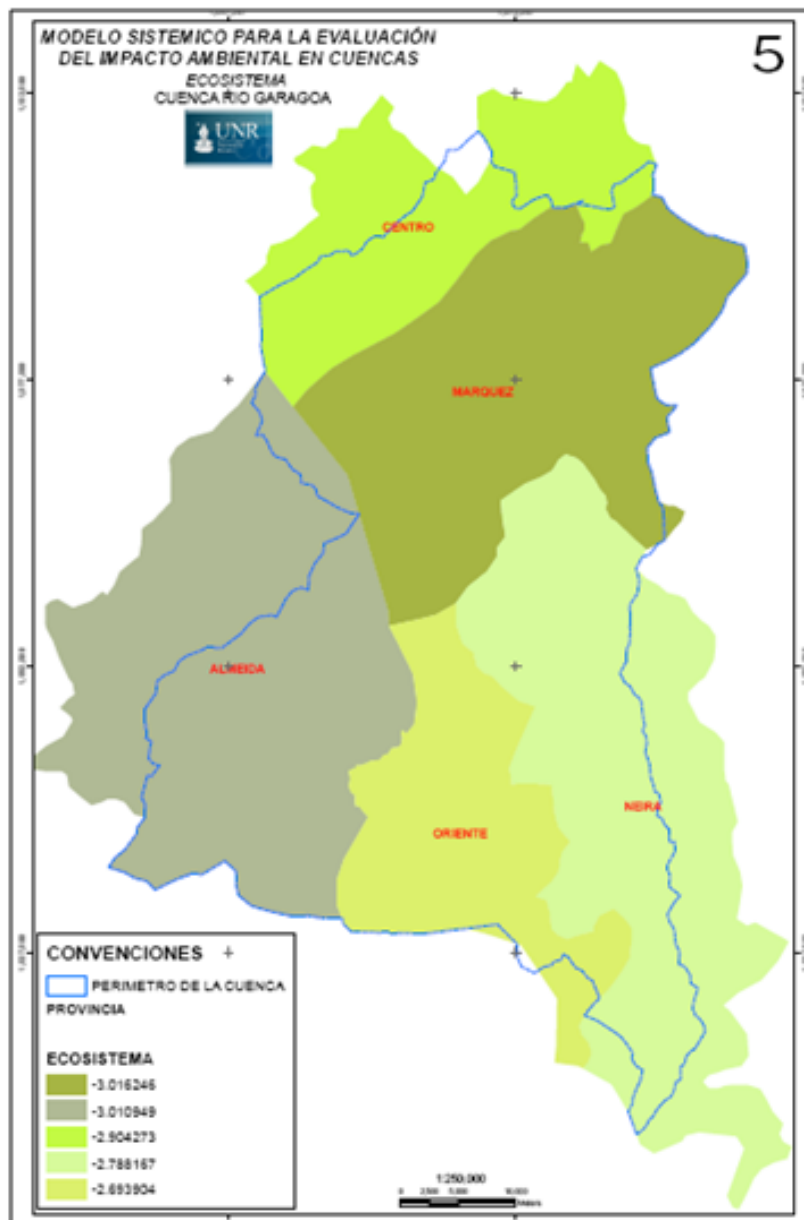


Figura 4.6. Actividades totales vs Ecosistema

La provincia de Márquez es la de mayor impacto a consecuencia de todas las actividades sobre el factor ecosistema.

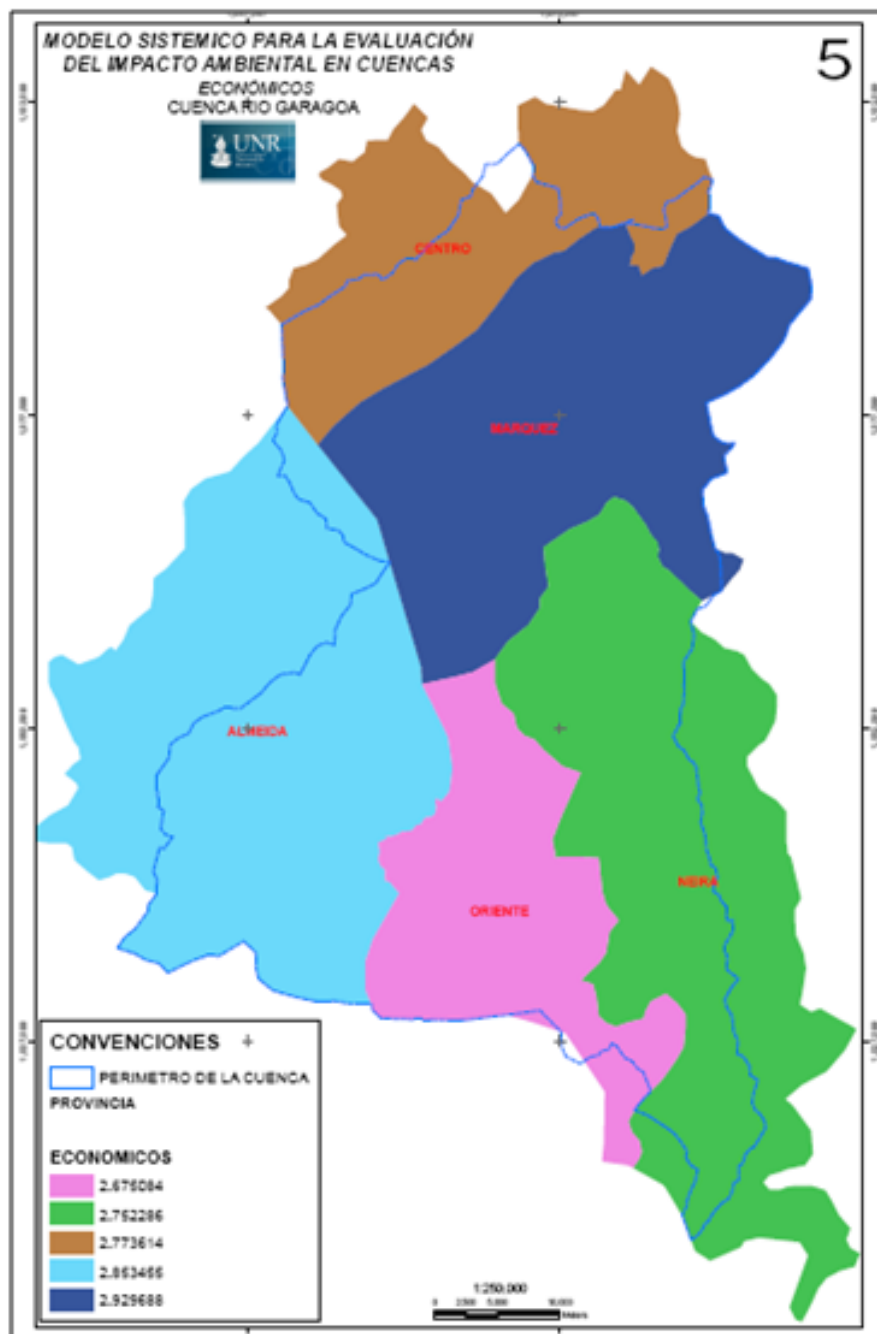


Figura 4.7. Actividades totales vs Económicos

La provincia de Oriente es la de mayor impacto a consecuencia de todas las actividades sobre el factor económico.

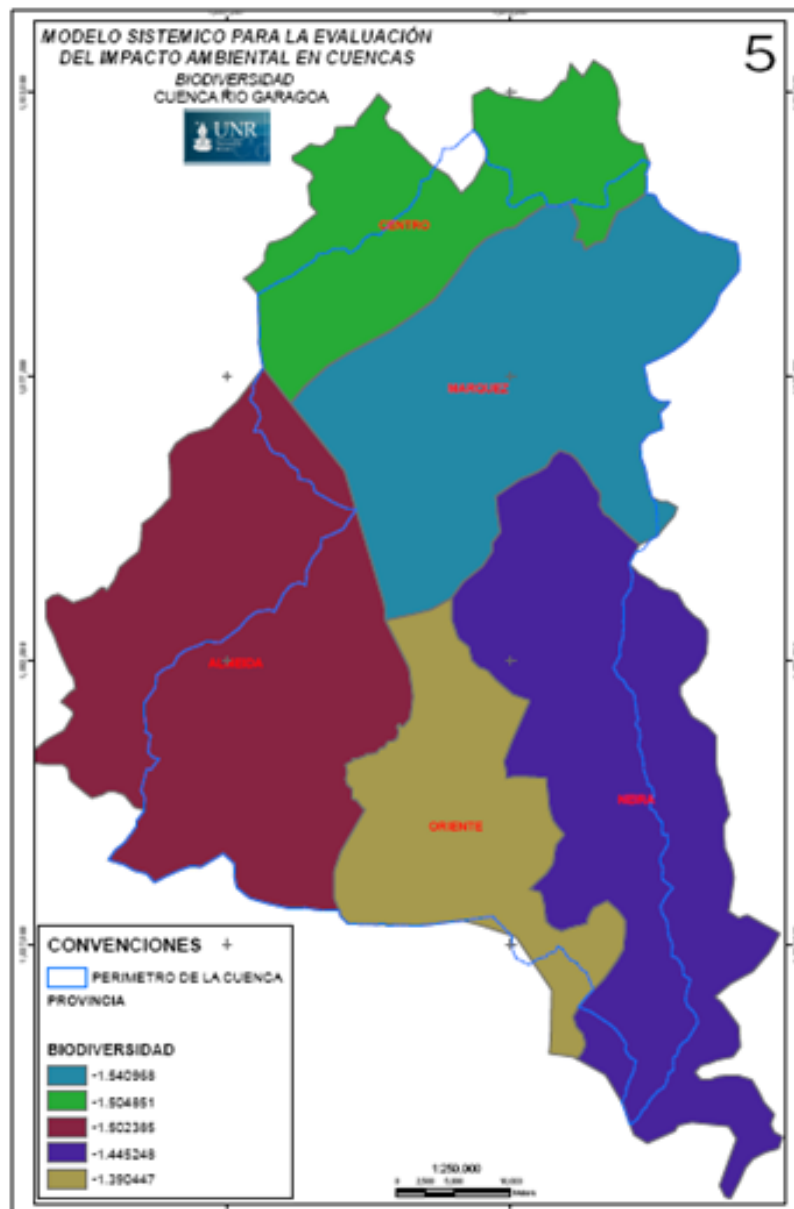


Figura 4.8. Actividades totales vs Biodiversidad

La provincia de Márquez es la de mayor impacto a consecuencia de todas las actividades sobre el factor biodiversidad.

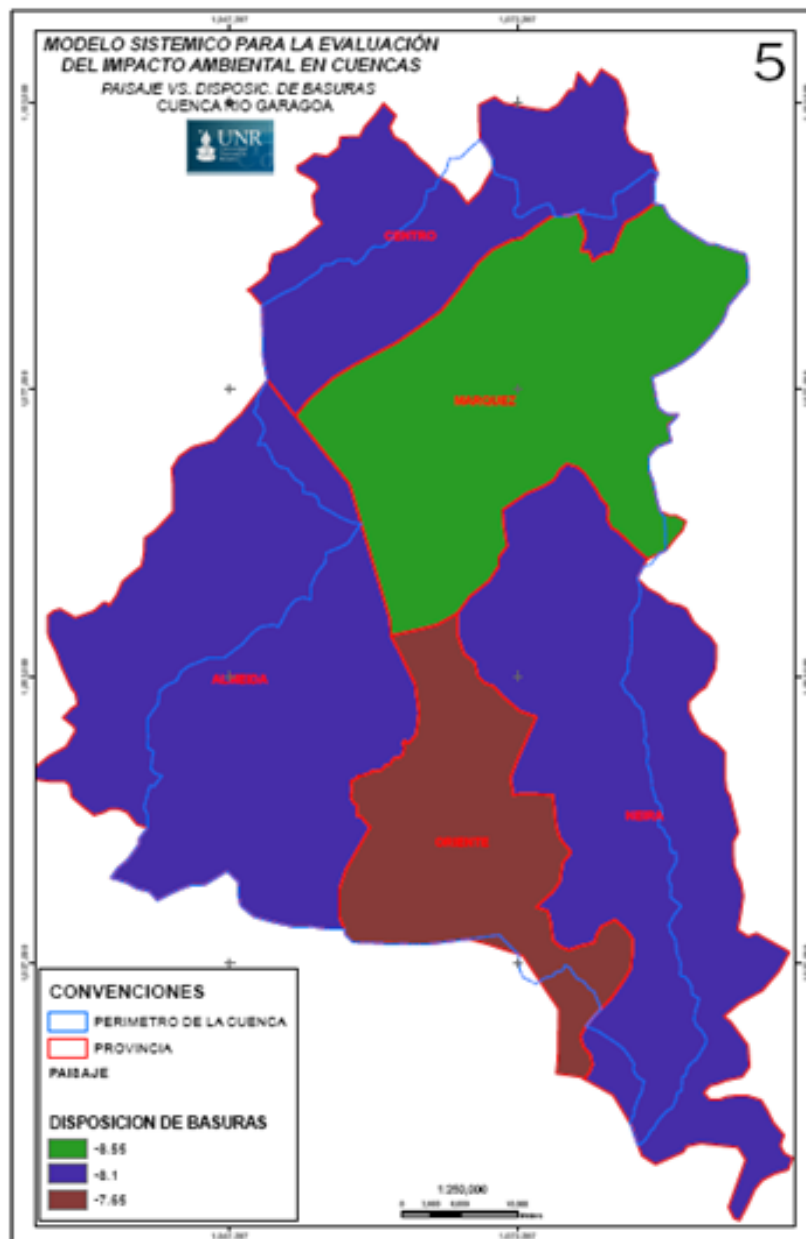


Figura 4.9. Paisaje vs Disposición de basuras

En la provincia de Márquez y Neira la disposición de basuras es la que más impacta al factor paisaje.

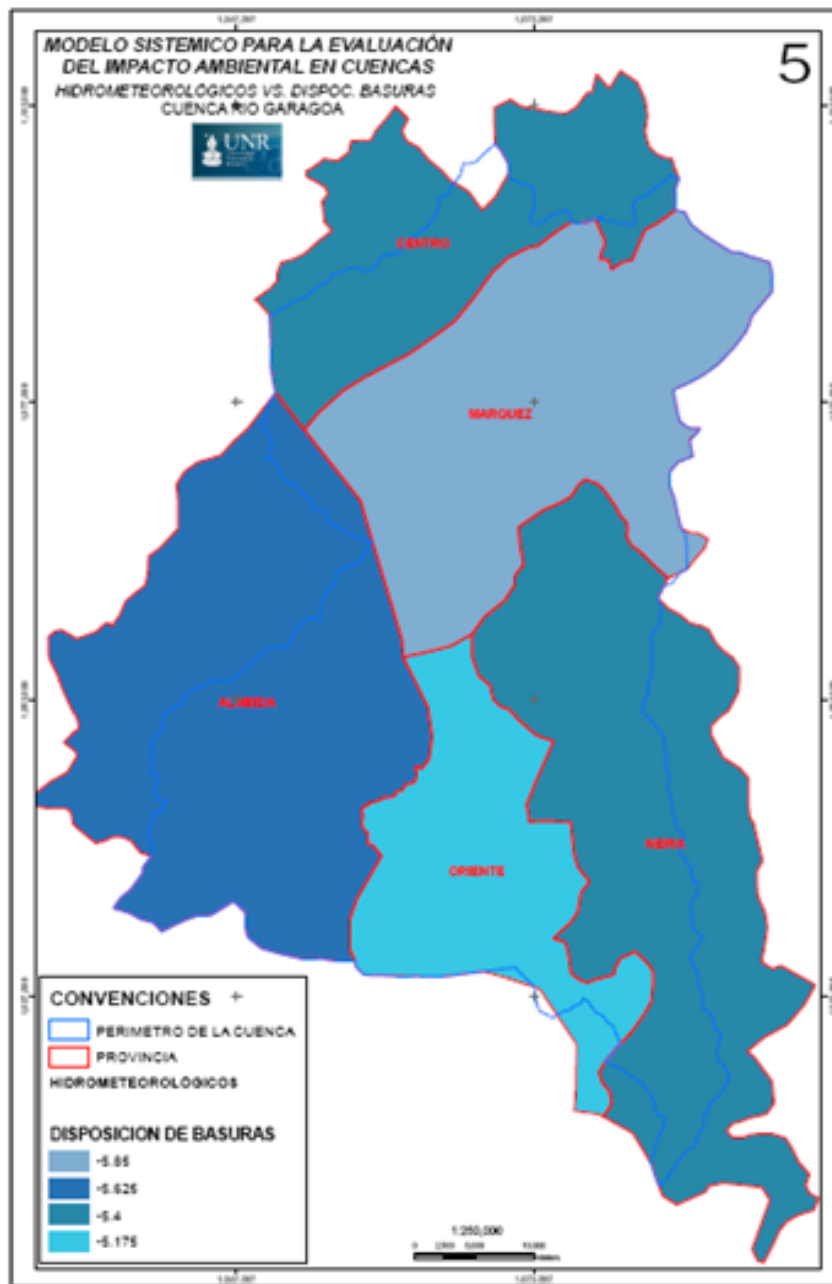


Figura 4.10. Hidrometeorológicos vs Disposición de basuras

En la provincia de Márquez la disposición de basuras es la que más impacta al factor hidrometeorológico.

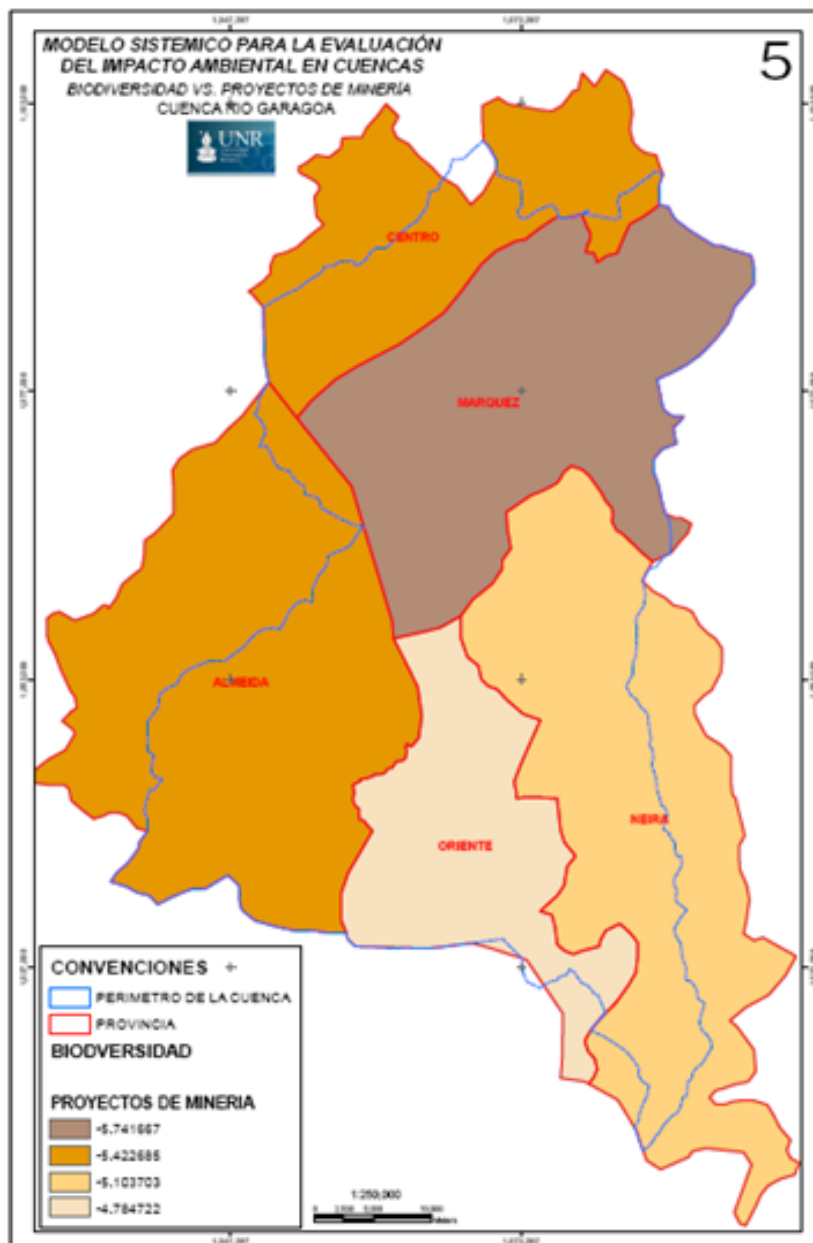


Figura 4.11. Biodiversidad vs Proyectos de minería

En la provincia de Márquez los proyectos de minería es la que más impacta al factor biodiversidad.

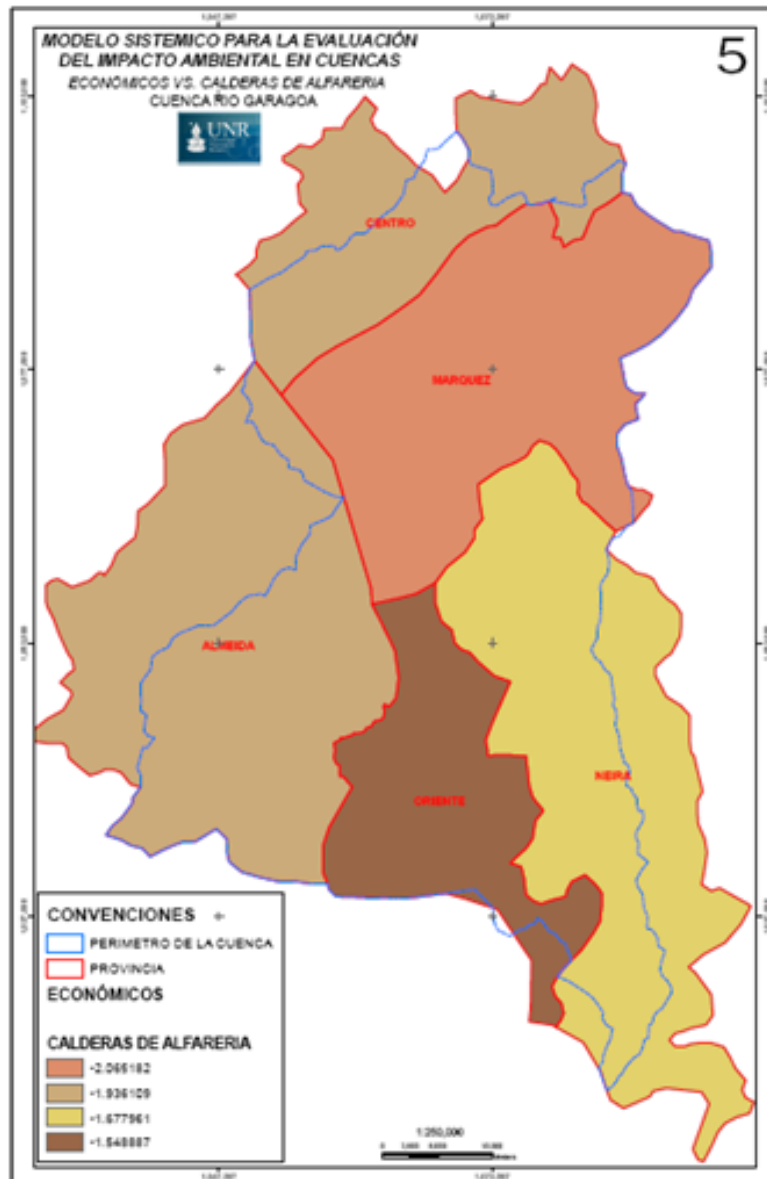


Figura 4.12. Económicos vs Calderas de alfarería

En la provincia de Márquez calderas de alfarería es la que más impacta al factor económico.

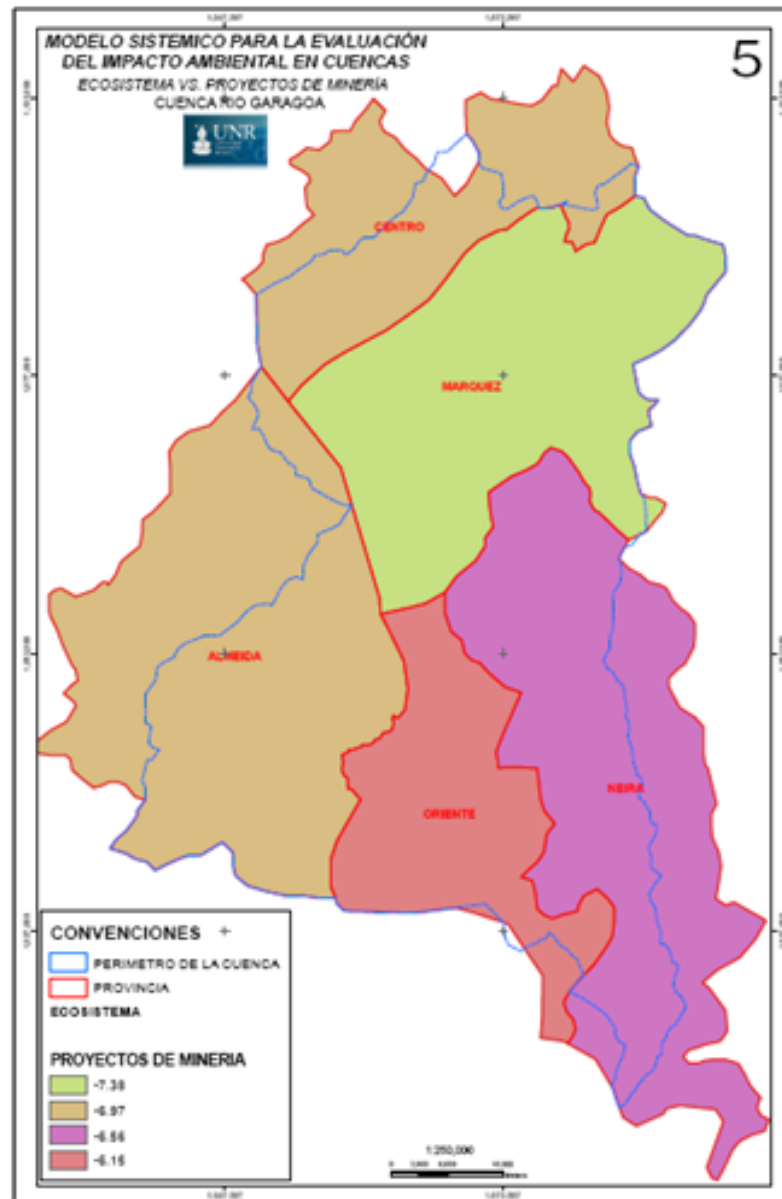


Figura 4.13. Ecosistemas vs Proyectos de minería

En la provincia de Márquez los proyectos de minería son la que más impacta al factor ecosistema.

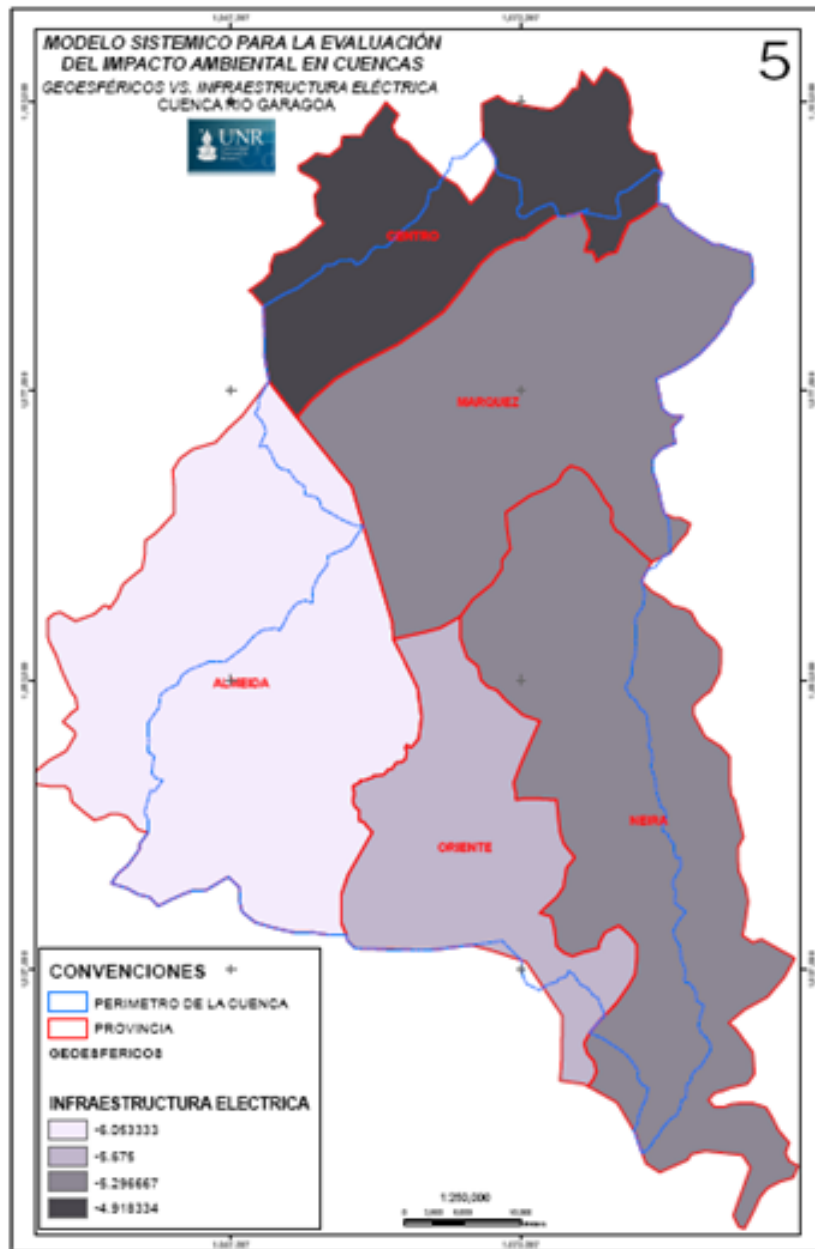


Figura 4.14. Geoesféricos vs Infraestructura Eléctrica

En la provincia de Almeida la infraestructura eléctrica es la que más impacta al factor geoesféricos.

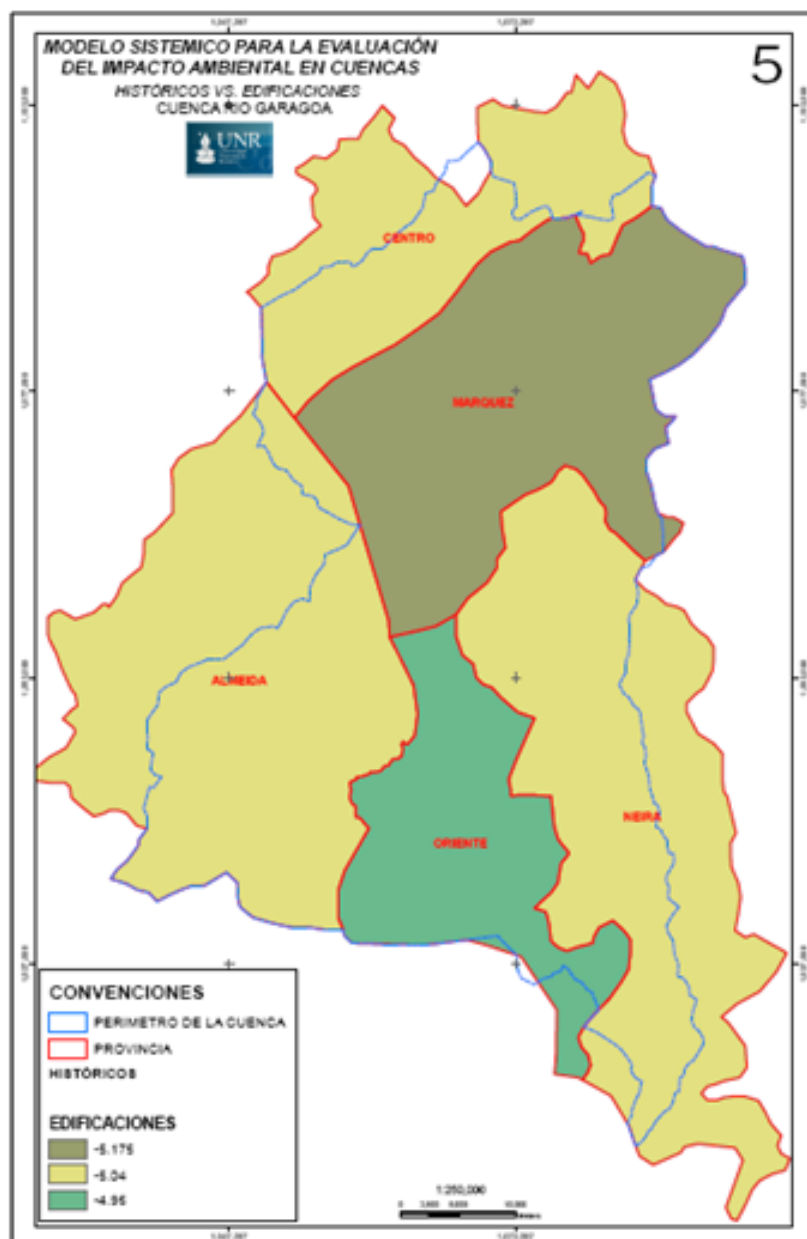


Figura 4.15. Históricos vs Edificaciones

En la provincia de Márquez las edificaciones son las que más impactan al factor histórico.

#### 4.5. APLICACIÓN DEL MODELO IVAFIC (FASE 2 – ANÁLISIS IVA)

Para el análisis del Indicador de Valor Ambiental (IVA), se han establecido tres variables económicas de interés y el Factor de Impacto (Fic) como los elementos funcionales del sistema de inferencia difusa. Las funciones de membresía seleccionadas para el estudio son de tipo trapezoidal y/o triangular, dada su estructura simple y de fácil definición.

Para el índice de crecimiento económico PIB el universo de discurso es definido entre -1% y 15%, y compuesto por tres funciones de membresía (e.g., Bajo, Medio, Alto) en donde los indicadores se caracterizan así: i) “bajo” entre -1% y 3%, ii) “medio” entre 2.5% y 6%, y iii) “alto” entre 5% y 15%.

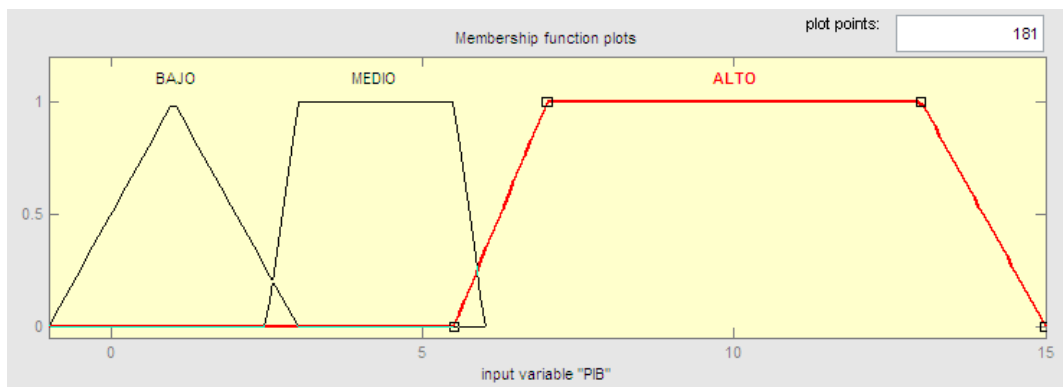


Figura 4.16. Funciones de membresía del conjunto difuso definido por el PIB.

Para la tasa de crecimiento poblacional el universo de discurso es definido entre -1% y 15%, y compuesto por tres funciones de membrecía (e.g., Bajo, Medio, Alto) en donde los indicadores se caracterizan así: i) “bajo” entre -1% y 2%, ii) “medio” entre 1.5% y 5%, y iii) “alto” entre 4.5% y 15%.

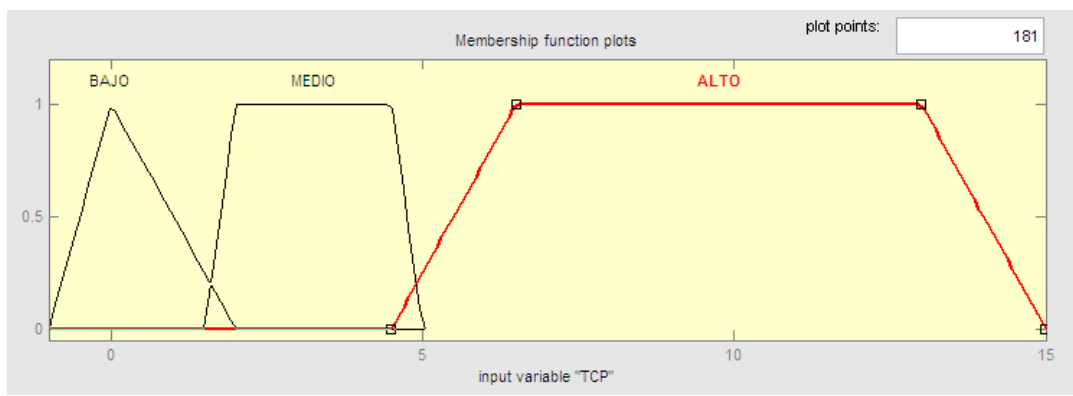


Figura 4.17. Funciones de membrecía del conjunto difuso definido por la TCP.

Para el índice de GINI el universo de discurso es definido entre 0 y 1, y compuesto por tres funciones de membrecía (e.g., Bajo, Medio, Alto) en donde los indicadores se caracterizan así: i) “bajo” entre 0 y 0.15, ii) “medio” entre 0.10 y 0.45, y iii) “alto” entre 0.42 y 1.

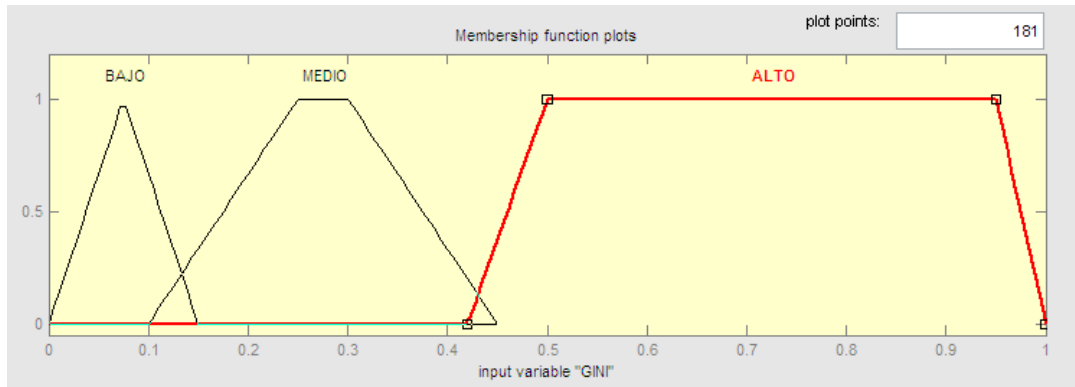


Figura 4.18. Funciones de membrecía del conjunto difuso definido por el índice de GINI.

Para el Factor de Impacto (Fic) el universo de discurso es definido entre -12 y 12, y compuesto por seis funciones de membrecía en donde los indicadores se caracterizan así: i) “alto negativo” entre -12 y -9, ii) “medio negativo” entre -9 y -5, iii) “bajo negativo” entre -5 y 0, iv) “bajo positivo” entre 0 y 5, v) “medio positivo” entre 5 y 9, y vi) “alto positivo” entre 9 y 12.

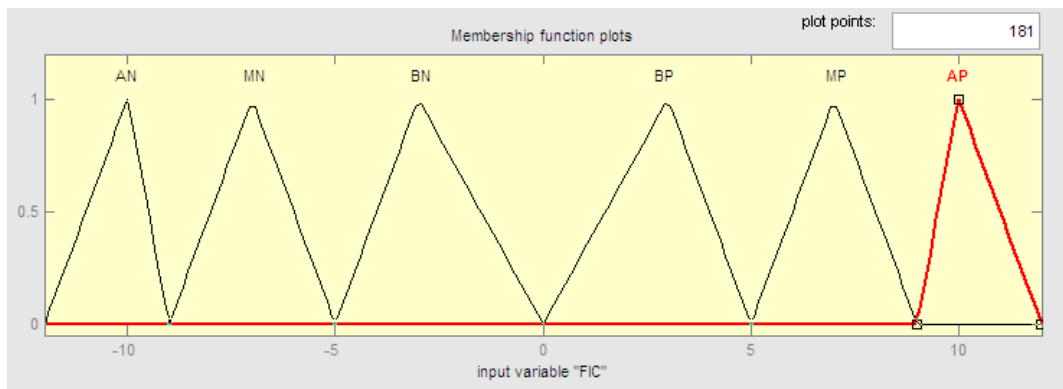


Figura 4.19. Funciones de membrecía del conjunto difuso definido por el FIC

Para la salida del sistema, el Indicador de Valor Ambiental, el universo de discurso es definido entre 0 y 0.4, y compuesto por cinco funciones de membrecía en donde los indicadores se caracterizan así: i) “bajo” entre 0 y 0.05 ii) “medio bajo” entre 0.045 y 0.185, iii) “medio” entre 0.18 y 0.24, iv) “medio alto” entre 0.225 y 0.31, y v) “alto” entre 0.3 y 0.4.

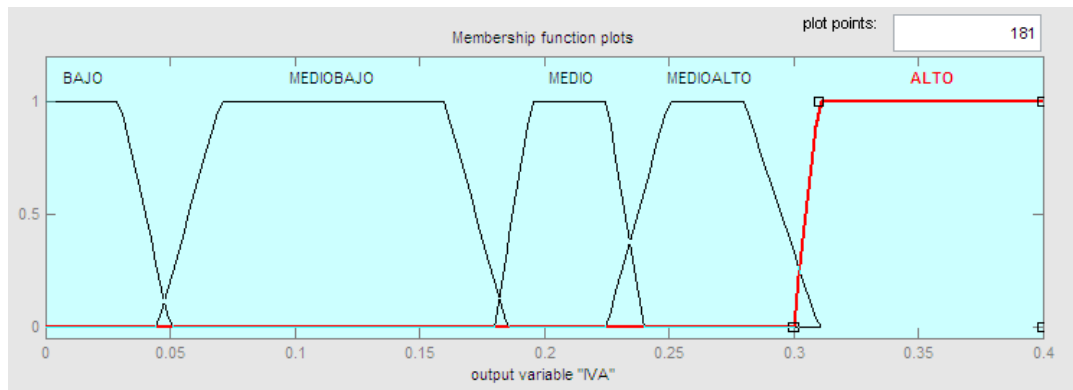


Figura 4.20. Funciones de membrecía del conjunto difuso de salida que define el IVA.

En el análisis del IVA se han establecido 23 reglas, las cuales se prescriben a continuación:

Tabla 4.4. Composición de reglas de operación del Modelo IVAFIC

Regla No.	Premisa		Antecedente	
1	Si	Fic = “alto negativo”	entonces	IVA = “alto”
2		Fic = “medio negativo”		IVA = “medio alto”
3		Fic = “bajo negativo”		IVA = “medio”

<b>Regla No.</b>	<b>Premisa</b>	<b>Antecedente</b>
4	Fic = "bajo positivo"	IVA = "medio bajo"
5	Fic = "alto positivo"	IVA = "bajo"
6	PIB = "bajo"	IVA = "bajo"
7	PIB = "medio"	IVA = "medio"
8	PIB = "alto"	IVA = "alto"
9	TCP = "bajo"	IVA = "bajo"
10	TCP = "medio"	IVA = "medio alto"
11	TCP = "alto"	IVA = "alto"
12	GINI = "bajo"	IVA = "bajo"
13	GINI = "medio"	IVA = "medio"
14	GINI = "alto"	IVA = "alto"
15	Fic = "medio positivo"	IVA = "bajo"
16	PIB = "bajo" y Fic = "alto negativo"	IVA = "medio alto"
17	PIB = "medio" y Fic = "alto negativo"	IVA = "medio alto"
18	PIB = "alto" y Fic = "alto positivo"	IVA = "medio bajo"
19	TCP = "bajo" y	IVA = "medio alto"

Regla No.	Premisa	Antecedente
	Fic = "alto negativo"	
20	TCP = "medio" y Fic = "alto negativo"	IVA = "medio alto"
21	TCP = "alto" y Fic = "alto positivo"	IVA = "medio bajo"
22	GINI = "bajo" y Fic = "alto negativo"	IVA = "medio alto"
23	GINI = "alto" y Fic = "alto positivo"	IVA = "medio bajo"

En la Figura 4.21 se puede apreciar el resultado del proceso de agregación para las 23 reglas definidas en el análisis del IVA, las cuales fueron procesadas en el "Toolbox" de lógica difusa de la herramienta "MATLAB versión 7.5".

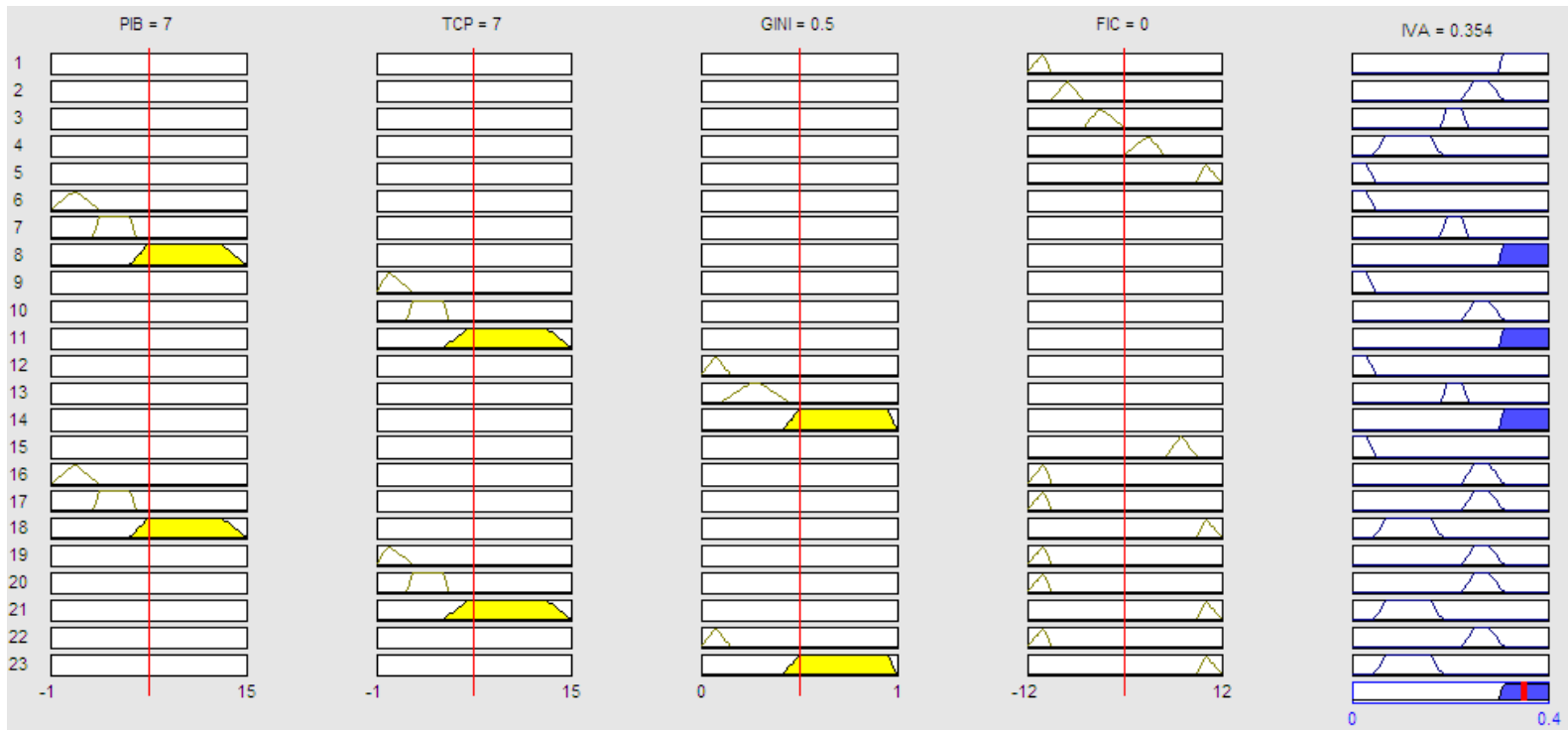


Figura 4.21. Proceso de agregación de las 23 reglas del sistema de inferencia difusa para el análisis del IVA.



## **CAPITULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1. PROBLEMÁTICA DE LA CUENCA DEL RÍO GARAGOA**

Del ejercicio cualitativo realizado con los expertos y la comunidad a través de la participación ciudadana en la evaluación del impacto ambiental por medio de la EIA, se pueden resaltar algunos resultados a saber:

#### **5.1.1. Conflictos por uso del agua**

En los meses de verano los caudales se ven notoriamente disminuidos, especialmente en las zonas media y baja de las cuencas, en esta época las comunidades reportan escasez de agua para el consumo humano, agrícola y pecuario, en algunos municipios llega a ser necesario programar racionamientos y asignar turnos para la distribución del recurso (microcuencas de la quebrada la Guaya, municipios La Capilla y Tenza).

En general, no existen sistemas de control de caudal en las captaciones existentes para los acueductos ni en las derivaciones a lo largo de las fuentes, la ausencia de medición y de control en las concesiones otorgadas

permite un consumo mayor del autorizado especialmente en los habitantes de las zonas altas de las cuencas, lo que repercute en la notoria disminución de cantidad y calidad de agua disponible para los pobladores de las partes bajas, y que a su vez, tienen impacto directo en la disminución de sus ingresos. (Cuenca de la Quebrada la Quinua, Garagoa).

De otro lado, la tala indiscriminada de bosques en quebradas y nacimientos, así como las prácticas inapropiadas de uso del bosque en zonas montañosas afecta los regímenes de captación, infiltración, escurrimiento y evaporación así como el régimen climático, lo que genera repercusiones importantes en la disponibilidad de agua y por ende en los niveles y rendimientos de la producción.

Es así como, en Chinavita y Pachavita con frecuencia se dan quemas y talas de bosque, no existiendo entonces protección y aislamiento alguno de las fuentes hídricas, este problema lo reportan Ciénega y Chinavita.

Ello da origen a conflictos entre municipios por uso del agua, algunos de ellos son los enfrentamientos que se presentan entre Ventaquemada y Samacá, tales inconvenientes están ocasionados por el manejo del recurso hídrico y del suelo en el límite del páramo y con Tunja por manejo del recurso hídrico de la represa Teatinos; Guateque y Tibirita tienen conflictos por la quebrada

la Tocola que abastece el acueducto de Tibirita; Ramiriquí y Jenesano también hacen parte de ese listado por cuanto han mantenido discusiones, por aprovechamiento de agua en el sector la Chorrera (en Jenesano), que abastece el área urbana de Ramiriquí. En Manta existe déficit de agua en varias épocas del año y La Capilla tiene conflictos por recursos Hídricos con Sutatenza.

#### **5.1.2. Problemas por prácticas agropecuarias inadecuadas**

En la mayoría de los municipios se reportan problemas erosivos en las principales cuencas causados por el modelo de ganadería basado en pastoreo extensivo, especialmente en las zonas altas, lo que genera carga permanente y excesiva sobre el suelo, debido a la falta de rotación de potreros, sobrepastoreo y otras prácticas pecuarias inadecuadas. Este problema es especialmente importante en la microcuenca de la quebrada La Guaya, que atraviesa los municipios la Capilla y Tenza.

De otro lado, el sistema de producción papa - ganado constituye uno de los principales problemas de las cuencas ubicadas en los municipios productores, el problema más grave está relacionado con el avance progresivo de este cultivo sobre la vegetación de páramo aún existente,

seguido por los altos niveles de contaminación de suelos y aguas con los productos y empaques de agroquímicos de intenso uso y los problemas de compactación del suelo causados por los tractores y el pisoteo de ganado que agudizan la problemática referente a la erosión y producción de sedimentos. (municipios Villapinzón, Ventaquemada, Samacá, Boyacá, Chocontá, Jenesano, Tibaná, nuevo Colón y Ramiriquí).

La ampliación de la frontera agropecuaria en las partes altas y las rondas de las fuentes hídricas así como la remoción de taludes para dedicar a la agricultura y pastoreo han contribuido a disminuir la capacidad de amortiguación y almacenamiento de agua de los suelos, convirtiéndose estas áreas en zonas de erosión y riesgo. (Microcuenca de la quebrada la Guaya).

### **5.1.3. Contaminación de agua y suelo**

La descarga directa de las aguas residuales domésticas y agroindustriales, residuos agrícolas de agroquímicos, fertilizantes y pesticidas, residuos sólidos y aguas residuales de mataderos y lavados de carros, afecta la mayoría de los cuerpos de agua principales de la cuenca, que en general presentan problemas de contaminación.

En cuanto a la cobertura del servicio de acueducto, alcantarillado y saneamiento básico, la misma es deficiente en las áreas rurales, así mismo, los sistemas de acueducto presentan problemas de fugas y mantenimiento lo que repercute en la disminución de la calidad y cantidad de agua que es llevada a los usuarios.

Con excepción de Tenza, Chocontá, Almeida, Guateque y Santa María, en los municipios no existen plantas de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas y menos aún en áreas rurales, y la disposición de basuras se realiza a cielo abierto y se utilizan quemas.

Aparece así entonces, la ausencia de regulación y control de vertimientos de porcícolas que depositan aguas residuales y manejo de excretas directamente a pastos sin ningún tratamiento previo. De las porcícolas también se derivan problemas de contaminación por olores y disposición de residuos. Los municipios y cuerpos de agua de la cuenca que resultan ser más afectados por la producción Porcícola son: Viracachá (Q. Chuscal), Ciénega (Q. Cebadal), Ramiriquí y Tibaná (Nacimientos de agua y río Garagoa), Nuevo Colón y Turmequé (Río Albarracín, Q. Zorrera), Chinavita, Somondoco, Guateque (vierten sobre el río Súnuba) y Macanal (Q. Curos).

La producción avícola también genera problemas importantes de contaminación por vertimientos sobre los cuerpos de agua. La gallinaza es vendida a los cultivadores de tomate bajo cubierta, para la fertilización agrícola, estos la utilizan sin ningún tipo de control, ni tratamiento, lo que ha afectado las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo.

Otro de los problemas de mayor importancia es el manejo de la mortalidad; pocas avícolas utilizan sistemas de enterramiento de huevos no eclosionados, cáscaras y cadáveres. Generalmente, las aves muertas se utilizan para alimentar cerdos y por malos manejos se generan en las porquerizas problemas de contaminación por desechos orgánicos, malos olores e incremento de insectos y roedores. Los Municipios que presentan alta producción avícola son: Pachavita, Tenza, Guateque y Sutatenza.

#### **5.1.4. Conflictos por fraccionamiento de la propiedad**

Un problema de tipo estructural es la excesiva fragmentación de la propiedad rural lo que genera riesgos económicos y pobreza. En general, en los municipios de la cuenca predomina una estructura agraria basada en minifundios y microfundios, razón por la cual los procesos de producción son de pequeña escala, es decir no incluyen procesos de transformación o de

mejora de suelos o tecnología. Los niveles de pobreza de muchos municipios además de estar sustentados en las limitaciones tecnológicas, también se explican por el limitado acceso a la tierra que no les permite a los pobladores desarrollar sus actividades a una escala adecuada. Por ejemplo en la provincia de Oriente el 49% del área productiva se encuentra en predios de menos de tres hectáreas, lo que hace demasiado costosa la producción y la hace menos competitiva.

Es urgente buscar estrategias para fortalecer la mediana propiedad frente a la grande y sacar la pequeña de la fragmentación minifundista, con el fin de tener propiedades con unas condiciones sociales y económicas sostenibles en el largo plazo.

#### **5.1.5. Problemas de tipo tecnológico**

En general, el nivel tecnológico de los municipios de la cuenca es precario, se practica la agricultura tradicional y la ganadería extensiva y de subsistencia; existe baja rotación de cultivos, se utiliza mano de obra familiar y se usan intensivamente agroquímicos; estos aspectos repercuten en los costos de producción y no permiten el fortalecimiento de la actividad agropecuaria para competir en los mercados regionales.

Existen productos específicos como el tomate de invernadero y la papa en cuya producción se utiliza un mayor grado de tecnificación lo que se evidencia en sus altos rendimientos.

Sin embargo, en el caso de la papa, tanto los factores fitosanitarios como la inestabilidad en el precio han llevado a disminuir la producción en los últimos años y a aumentar notablemente los costos de producción.

Frente a los recursos hídricos y suelo son estos insumos fundamentales para la actividad agrícola, en algunos municipios de la cuenca, su escasez se ha convertido en un limitante importante para la producción. Es el caso de la provincia de Neira donde los cultivos semestrales han presentado una leve disminución que se atribuye a la escasez de agua, lo que ha sacado del mercado a los productores más ineficientes en el manejo del recurso. (Conflictos por disponibilidad y uso del agua).

#### **5.1.6. Los mercados de insumos y productos**

Los desarrollos de mercados de insumos y productos para los bienes agropecuarios es uno de los principales desafíos que enfrentan los

municipios de la cuenca. La comercialización de los productos es un tema crucial y el mayor reto para garantizar la estabilidad económica en especial de los pequeños y medianos productores.

Uno de los impedimentos del desarrollo regional lo constituye la precaria infraestructura vial existente, las vías que conectan las veredas con las cabeceras municipales en su mayoría presentan deficiencias técnicas y mal estado de mantenimiento, en épocas lluviosas la situación se torna especialmente crítica, llegando en ocasiones a interrumpirse el tráfico normal. Cabe resaltar el mal estado de las vías veredales de los municipios de Chinavita, Tenza y Turmequé.

#### **5.1.7. El acceso a recursos financieros**

Los recursos de capital de trabajo e inversión para los pequeños productores generalmente provienen del mercado financiero informal y de las instituciones públicas, dado que las instituciones privadas encuentran poco atractivo realizar pequeños créditos con altos costos de transacción y sin suficientes garantías, lo cual lleva a concluir que el sistema financiero en el sector rural se ha desarrollado para medianos y grandes productores.

### **5.1.8. Altos niveles de desempleo urbano y rural**

Aunque no se cuenta con cifras actualizadas sobre los niveles de desempleo a nivel municipal y mucho menos veredal, de acuerdo a la información reportada en los esquemas de ordenamiento municipal se observa que los sectores servicios y agricultura son los que más mano de obra involucran en la mayoría de los municipios, aunque la ganadería se constituye en una de las principales actividades productivas de las provincias de Neira y Márquez, sin generar el mayor volumen de empleo.

Es el sector comercio el cual se constituye en el segundo reglón de ocupación para los habitantes que se ubican en los centros urbanos de Garagoa, Guateque y Ramiriquí. Los municipios que presentan las más altas tasas de desempleo son Ramiriquí (81%), Almeida (76%) y Macanal (67%).

Sea hace entonces indispensable, el fomento de la asesoría técnica para difundir opciones tecnológicas de bajo impacto ambiental como pueden ser: la labranza mínima, la siembra directa, la implementación de arreglos agroforestales las alternativas para reducir el uso de agroquímicos, minimizar el uso de agua y realizar control biológico de plagas. En el caso de los pequeños productores el acceso a la tecnología se facilita a través de centros

de servicios ubicados para coberturas más locales y cuyos alcances superen la unidad productiva y se planteen en términos de las dinámicas locales y regionales de los mercados. El servicio de asesoría tecnológica debe ser diferenciado según las condiciones de los productores respecto al mercado, la propiedad de los recursos y la capacitación recibida por el productor.

Se deben mantener las líneas de crédito especiales de FINAGRO, si embargo debe fortalecerse el sector cooperativo como una vía de desarrollo de los mercados financieros rurales, esto requiere de un sólido proceso de organización de la pequeña producción en cooperativas de tamaño apreciable que tengan capacidad de articular los intereses de pequeños, medianos y grandes productores alrededor de un producto o una cadena agroindustrial competitiva y eficiente.

De igual forma, el planteamiento de proyectos de desarrollo regional es vital para que se generen oportunidades de empleo por fuera de las fincas y con permanencia de los productores en el área rural, la propuesta es combinar la agricultura y ganadería con otros ingresos extra-prediales, ingresos que pueden provenir de actividades de diversa índole: agroturismo, microempresas, agroindustria y la venta de servicios ambientales, entre otros.

Los incentivos económicos para la conservación ambiental deben extenderse a otras alternativas con las cuales se obtengan resultados similares a los que se obtienen mediante la reforestación. Entre las opciones de nuevas alternativas que generan gran incentivo se encuentran los sistemas integrales sostenibles que contemplan la planificación total o parcial de una finca, en donde se proyectan cambios en los cultivos, en los pastos, en el manejo del ganado, etc. que corrijan la producción de sedimentos y la desregulación hídrica, también se debe incentivar la regeneración natural y la reconversión ganadera y por supuesto aquellos incentivos dirigidos a la reforestación.

En cuanto al fortalecimiento institucional de las corporaciones autónomas regionales que tiene jurisdicción en los municipios de la cuenca este es trascendental, así mismo, este debe reflejarse en la consolidación de un sistema de información de los usuarios del agua, que permita ordenar, registrar y controlar las concesiones de agua otorgadas para los diferentes usos. De otro lado, es urgente mejorar la capacidad de medición, control y monitoreo de la contaminación ambiental, así como actualizar los sistemas de información, facturación y cobro, de tal forma que las corporaciones logren de manera efectiva y eficiente implementar en todos los municipios de la cuenca el cobro de las tasas retributivas y de las tasas por uso de agua. Los recursos recaudados por estos conceptos se constituyen en aportes

fundamentales para implementar los proyectos y programas que surjan del Plan de ordenamiento.

Las fortalezas regionales que deben ser fomentadas son, en los municipios de la Provincia de Márquez el cultivo de los caducifolios tiene expectativas interesantes de desarrollo al contar con mercados potenciales importantes (capitales de departamento), sin embargo, exige mayor grado de tecnificación para fortalecer su competitividad en el ámbito regional. El municipio de Ciénega tiene un importante potencial en la producción de arepas a nivel regional. Sin embargo, requiere de asesoría técnica para que los productores sustituyan la leña por gas o cualquier otro combustible que impacte menos las existencias de bosque.

Chinavita tiene potencialidad en la elaboración de artesanías y proyección del turismo religioso, gracias al fervor que se tiene en la región por la Virgen del Amparo y la presencia de aguas termales en el municipio. Ramiriquí tiene potencial turístico y agroindustrial.

En general, existe gran receptividad por parte de los productores hacia la implementación de la agricultura orgánica y en varios municipios como Chinavita, Pachavita, Tenza y Garagoa existe gran interés en implementar a futuro este tipo de agricultura. La Provincia de Neira en general, tiene una

ventaja regional para desarrollar el ecoturismo y actividades recreativas no convencionales como el montañismo, que le otorgan posibilidades importantes en el campo del turismo, dada su proximidad con un mercado tan importante como lo es Bogotá. Tenza tiene proyección en la agroindustria avícola y en la producción de artesanías.

## **5.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO IVAFIC**

### **5.2.1. Diseño experimental**

Una vez calculado la matriz EIA, FI y FIC, por el método descrito en los capítulos anteriores, se procede a hacer un análisis de sensibilidad del modelo planteado, para lo cual se recrean diversos escenarios aleatoriamente, eliminando actividades y factores y recalculando los distintos valores de FI y FIC. La construcción de un escenario estima la eliminación de actividades y factores en la matriz EIA, para luego exportarlo a la herramienta de cálculo matemático MATLAB, siguiendo el procedimiento descrito para la obtención del FI. Realizado este ejercicio, se procede a ajustar las matrices de extensión E, eliminando de la misma forma que en la matriz EIA, las actividades y factores de dicho escenario. A continuación, se exportan dichas

matrices a la herramienta de cálculo matemático MATLAB, hasta obtener la matriz FIC del escenario planteado.

Un análisis de sensibilidad, requiere de la recreación de varios escenarios en el sentido de poder estimar tendencias, fronteras, máximos, mínimos, etc; validándose para el ejercicio de este trabajo, la construcción de 220 escenarios (Ver Apéndice 2).

### **5.2.2. Visualización gráfica del comportamiento del FIC.**

Como respuesta al análisis de sensibilidad el factor de impacto y su consecuente codificación de componentes en su matriz intrínseca se pueden apreciar a continuación un espectro gráfico que representa el comportamiento de estos indicadores bajo la alteración u omisión de algunos componentes del estudio. Puede verse en el diagrama un panorama normalizado provisto de picos en los extremos próximos al inicio del dominio del campo de diagramación consecuencia de la carencia de componentes principales que deben incorporarse en cualquier estudio de impacto ambiental. Así mismo, se puede destacar que una representación de múltiples componentes no necesariamente conlleva al mejor resultado y la

respuesta final está supeditada a una interpretación estadística tal como se indicará en secciones posteriores.

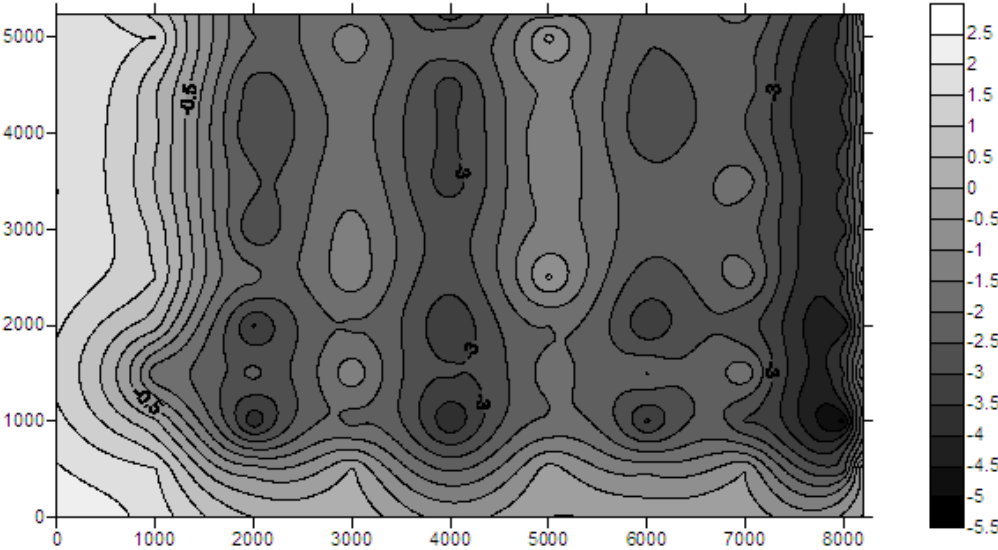


Figura 5.1. Gráfico de contorno del FI

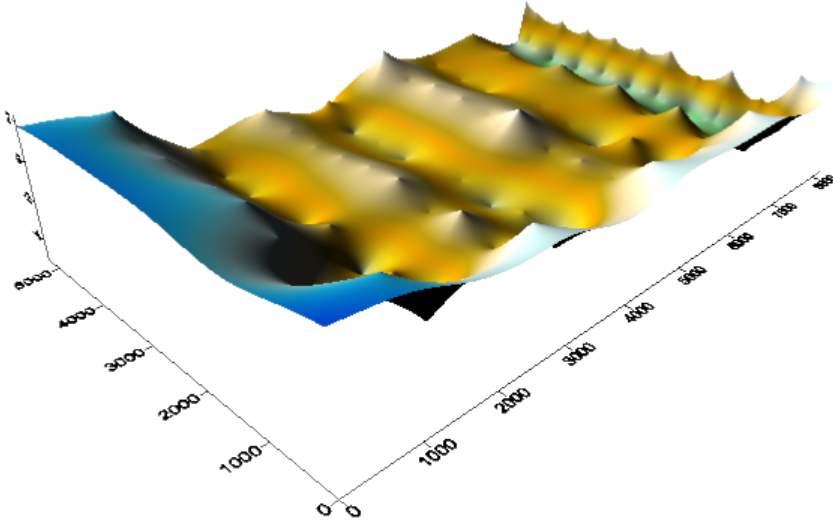


Figura 5.2. Vista Tridimensional de FI

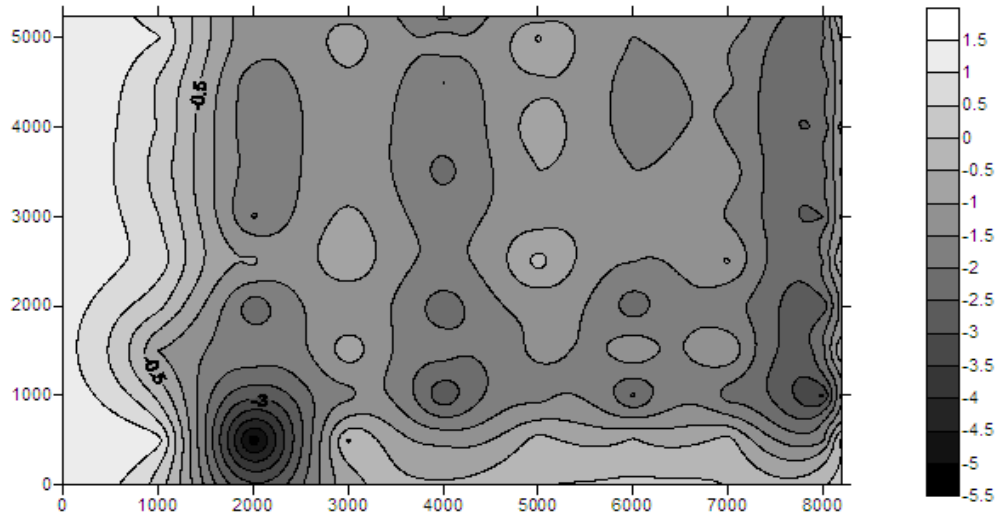


Figura 5.3. Gráfico de comportamiento del FIC

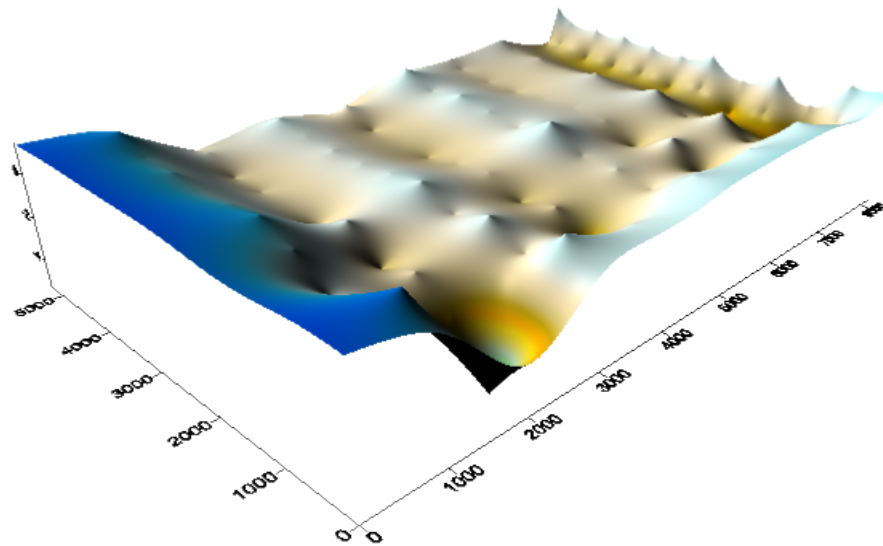


Figura 5.4. Vista Tridimensional de FIC

### **5.2.3. Estadística descriptiva de los resultados**

Tukey (1977) desarrolló un procedimiento que denominó EDA: Análisis Exploratorio de Datos, que representa un enfoque y no un conjunto de técnicas, es decir, una actitud o filosofía acerca de cómo un análisis de los datos debe llevarse a cabo. La finalidad de este enfoque es:

- ❖ Maximizar la penetración en un conjunto de datos;
- ❖ Descubrir la estructura subyacente;
- ❖ Extracto de variables importantes;
- ❖ Detección de valores atípicos y anomalías;
- ❖ Prueba las hipótesis;
- ❖ Desarrollar modelos parsimoniosos y
- ❖ Determinar la configuración óptima de los factores.

#### **5.2.3.1. Histograma – Análisis FI**

Un recurso común e importante para presentar datos es el histograma, el cual consiste en una escala horizontal para valores de los datos que se están representando, una escala vertical para las frecuencias, y barras que representan la frecuencia de cada frecuencia de valores (Triola, 2000).

Un histograma se construye siguiendo un orden estándar: una línea de base horizontal o eje X a lo largo de la cual se marcan los valores de los puntajes o categorías y una línea vertical eje Y que representa las frecuencias por cada puntaje o categoría. En el caso de datos agrupados, los puntos medios de los intervalos de clase se ordenan a lo largo de la línea base horizontal. Las barras rectangulares dan las frecuencias para la amplitud de los valores de los porcentajes. Mientras más alta es la barra, mayor es la frecuencia de ocurrencia. Para construir el histograma para valores de FI, se elabora la tabla de frecuencia que se muestra a continuación.

Tabla 5.1. Valores de frecuencia FI

Clase	Frecuencia	% acumulado
-5.09	1	1.01%
-4.36	1	2.02%
-3.62	5	7.07%
-2.88	19	26.26%
-2.15	17	43.43%
-1.41	29	72.73%
-0.68	11	83.84%
0.06	6	89.90%
0.80	6	95.96%
y mayor...	4	100.00%

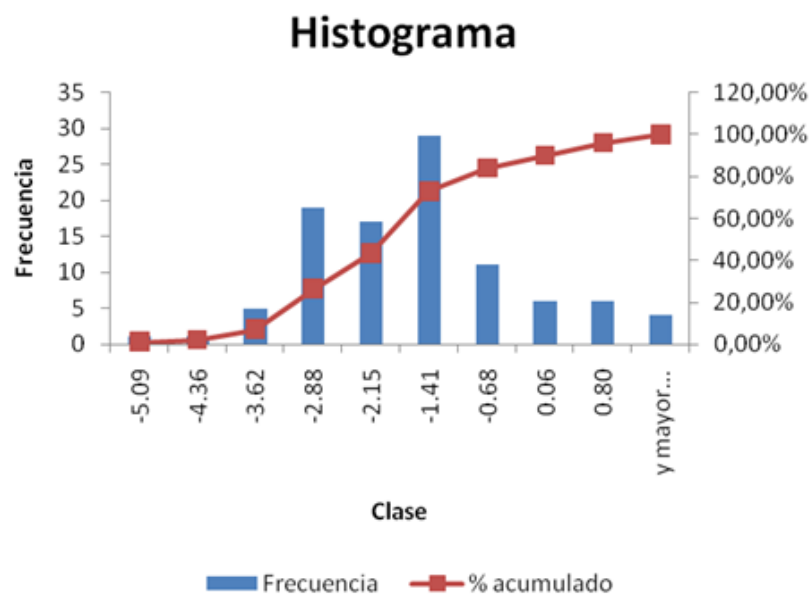


Figura 5.5. Histograma FI.

### 5.2.3.2. Cuartiles – Análisis FI

La escala de rangos percentiles consta de cien unidades, algunos de ellos a lo largo de la escala tienen nombres específicos. Los deciles dividen la escala de rangos percentiles entre diez. Los rangos percentiles que dividen la escala en cuatro partes se conocen como cuartiles. Si un puntaje está localizado en el primer cuartil (rango percentil = 25), sabemos que el 25% de los casos caen debajo de él (Levin y Levin 1999).

Tabla 5.2. De los percentiles (Media ponderada a  $x(N_p)$ ):

Percentil	Valor	Límite inferior	Límite superior
Máximo 100%	1.516		
99%	1.022	0.762	1.516

Percentil	Valor	Límite inferior	Límite superior
95%	0.586	0.050	1.012
90%	-0.068	-1.054	0.647
3° Cuartil 75%	-1.238	-1.573	-1.054
Mediana 50%	-2.020	-2.299	-1.740
1° Cuartil 25%	-2.913	-3.409	-2.476
10%	-3.550	-3.875	-3.409
5%	-3.871	-5.093	-3.557
1%	-4.418	-5.093	-3.994
Mínimo 0%	-5.093		

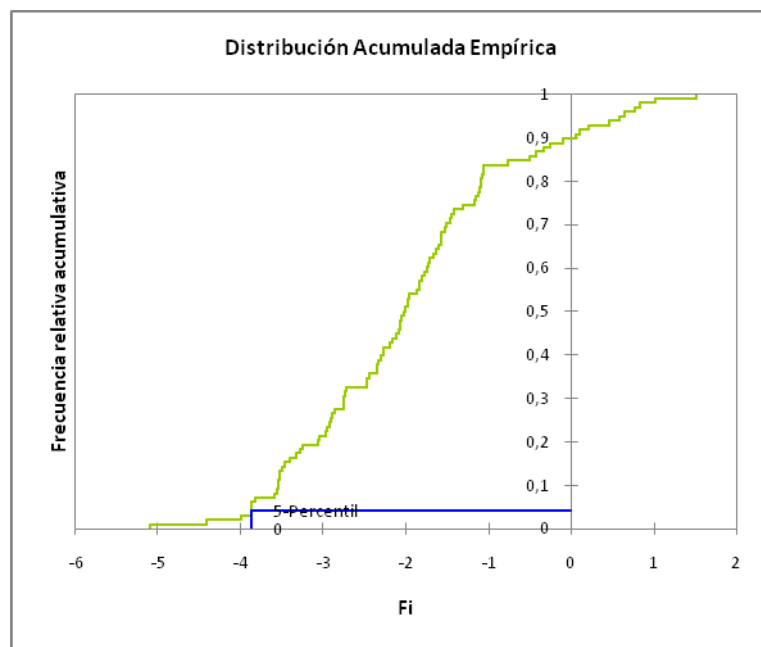


Figura 5.6. Distribución acumulada empírica

### 5.2.3.3. Diagrama de caja – Análisis FI

Es una gráfica de datos que consiste en una línea que se extiende del puntaje más bajo hasta el más alto y un rectángulo con líneas trazadas en el

primer cuartil, la mediana y el tercer cuartil. Se usa la mediana para revelar la tendencia central y los cuartiles para revelar la dispersión de los datos. Este tipo de graficas tiene la ventaja de no ser tan sensible a valores extremos (Triola, 2000.)

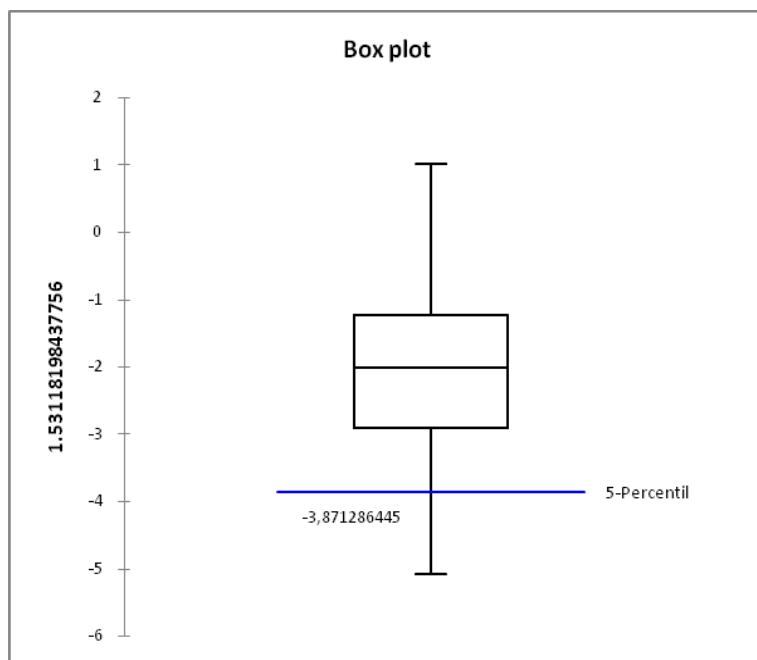


Figura 5.7. Diagrama de Caja – Valores estimados de Fi

A partir de la distribución de los datos en sus respectivos cuartiles y analizando el diagrama de caja de la Figura 5.7, se puede inferir que la mayoría de los mismos se encuentra en la zona intercuartil, lo que sugiere que los datos están bien agrupados, minimizando así la dispersión de los mismos.

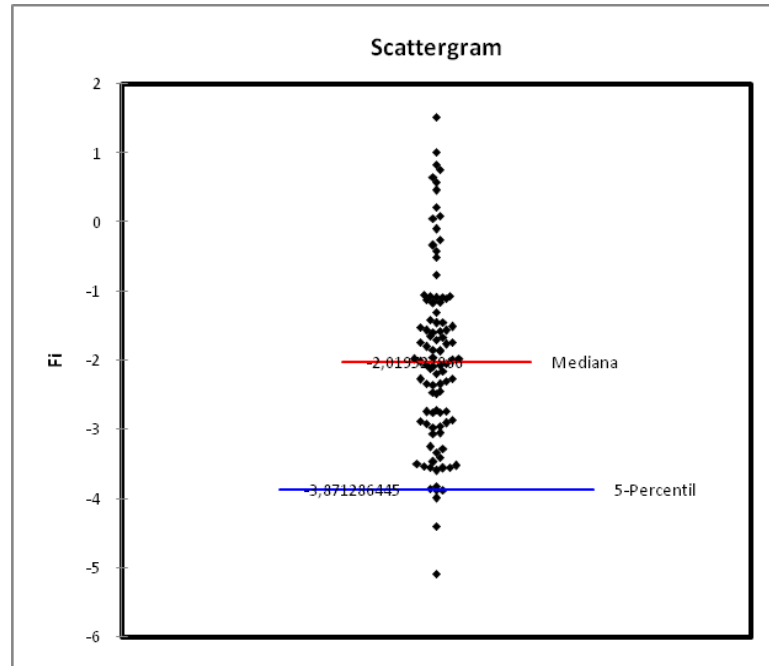


Figura 5.8. Diagrama de Dispersión

#### 5.2.3.4. Ajuste de los datos FI y FIC a una función de densidad de probabilidad

A partir del resultado obtenido del histograma mostrado en la Figura 5.9, se procede a realizar un ajuste de distribución mediante la prueba de hipótesis Chi-cuadrado y Kolmogorov-Smirnov. El objetivo de las pruebas de hipótesis es comprobar si son verdaderas las afirmaciones sobre los parámetros de una afirmación. En cualquier prueba existen dos hipótesis: la hipótesis nula  $H_0$  y la hipótesis alternativa  $H_1$ . La hipótesis nula representa el status Quo, es decir, la circunstancia que está siendo examinada, y el objetivo de las pruebas de hipótesis es siempre tratar de rechazar la hipótesis nula. La

hipótesis alternativa representa lo que se desea probar o establecer, siendo formulada para contradecir la hipótesis nula (López, 2000).

Cuando no se puede emplear una prueba paramétrica, esto es, que, o no se puede suponer honestamente la normalidad o cuyos datos no se ajustan a una medida de nivel por intervalos, se puede utilizar pruebas no paramétricas de significancia, cuya lista de requisitos no incluye una distribución normal o el nivel de medición por intervalos. Para comprobar la importancia de una prueba no paramétrica es relevante entender el concepto estadístico de potencia. La potencia de una prueba es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando esta es realmente falsa y debe ser rechazada. La potencia varía de una prueba a otra. Las pruebas más poderosas son las que tienen los requisitos más fuertes o los más difíciles de satisfacer (Levin y Levin, 1999).

La prueba de significancia no paramétrica más popular se conoce como Chi-cuadrada. Esta prueba se emplea para hacer comparaciones entre frecuencias. Tiene que ver esencialmente con la distinción entre las frecuencias esperadas y las frecuencias obtenidas. Las frecuencias esperadas se refieren a los términos de la hipótesis nula, y en contraste, las frecuencias obtenidas se refieren a los resultados que se obtienen generalmente al realizar un estudio. Sólo si la diferencia entre las frecuencias

esperadas y obtenidas es lo suficientemente grande, se rechaza la hipótesis nula y se decide que hay una diferencia poblacional verdadera (Levin y Levin 1999).

Otra prueba no paramétrica es la Kolmogórov-Smirnov, la cual es utilizada para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí.

Bien vale la pena aclarar, que para los ajustes a distribuciones log normal y gama, fue necesario realizar una transformación de datos de tipo box cox, en virtud a que estos métodos no trabajan con valores negativos. No obstante, los valores resultantes no se ven perturbados en su valor estadístico real.

- ***Ajuste del factor FI a una distribución normal***

Tabla 5.3. Estadísticas descriptivas:

Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
98	-5.093	1.516	-1.963	1.310

Tabla 5.4. Parámetros estimados::

Parámetro	Valor
$\mu$	-1.963
sigma	1.310

Tabla 5.5. Estadísticas estimadas sobre los datos

Estadística	Datos	Parámetros
Media	-1.963	-1.963
Varianza	1.716	1.716
Asimetría (Pearson)	0.386	0.000
Curtosis (Pearson)	-0.098	0.000

Tabla 5.6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

D	0.081
p-valor	0.530
alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 53.02%. Teniendo en cuenta que, el nivel de significancia es del 5% lo que indica asegurar un grado de confiabilidad del 95% en los resultados, de la prueba realizada se observa que el valor de frecuencias observadas  $F_I$  (D) es menor que el p-valor y a su vez se aproxima a cero, se puede concluir que la curva observada  $F_I$  se ajusta a una distribución normal.

Tabla 5.7. Prueba del Chi-cuadrado:

Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	9.999
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	14.067
alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 18.86%. Efectuada la prueba de Chi-cuadrado, se concluye que el valor observado es menor al crítico, lo que nos conduce a estimar que la curva de frecuencias  $F_I$  observada se ajusta a una distribución normal. Entre tanto más se acerque es valor observado a cero, la curva de frecuencias se ajustará a una distribución normal.

Tabla 5.8. Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas:

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
1	-6.000	-5.238	0	0.507	0.507
2	-5.238	-4.477	1	2.087	0.566
3	-4.477	-3.715	6	6.176	0.005
4	-3.715	-2.954	15	13.156	0.258
5	-2.954	-2.192	19	20.172	0.068
6	-2.192	-1.431	30	22.267	2.685
7	-1.431	-0.669	12	17.696	1.834
8	-0.669	0.093	6	10.124	1.680
9	0.093	0.854	7	4.169	1.922

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
10	0.854	1.616	2	1.235	0.473

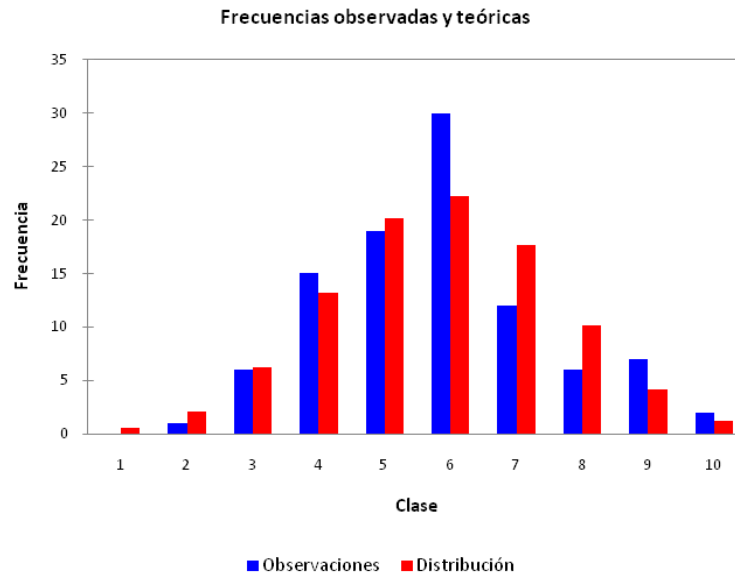


Figura 5.9. Frecuencias observadas y teóricas

- **Ajuste de datos FI a una Distribución Gamma**

Tabla 5.9. Parámetros estimados.

Parámetro	Valor
k	5.708
beta	0.548

Tabla 5.10. Estadísticas estimadas sobre los datos

Estadística	Datos	Parámetros
Media	3.130	3.130

Estadística	Datos	Parámetros
Varianza	1.716	1.716
Asimetría (Pearson)	0.386	0.837
Curtosis (Pearson)	-0.098	1.051

Tabla 5.11. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

D	0.077
p-valor	0.585
alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 58.49%. Teniendo en cuenta que el nivel de significancia es del 5% lo que indica asegurar un grado de confiabilidad del 95% en los resultados, de la prueba realizada se observa que el valor de frecuencias observadas  $F_I$  (D) es menor que el p-valor y a su vez se aproxima a cero, se puede concluir que la curva observada  $F_I$  se ajusta a una distribución Gama.

Tabla 5.12. Prueba del Chi-cuadrado

Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	10.506
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	14.067
Alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 16.17%. Efectuada la prueba de Chi-cuadrado, se concluye que el valor observado es menor al crítico, lo que nos conduce a estimar que la curva de frecuencias FI observada se ajusta a una distribución Gama. Entre tanto más se acerque es valor observado a cero, la curva de frecuencias se ajustará a una distribución Gama.

Tabla 5.13. Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
1	0.000	0.671	1	0.264	2.048
2	0.671	1.342	6	4.829	0.284
3	1.342	2.013	12	14.606	0.465
4	2.013	2.683	16	20.897	1.148
5	2.683	3.354	24	20.211	0.710
6	3.354	4.025	21	15.409	2.029
7	4.025	4.696	5	10.019	2.515
8	4.696	5.367	6	5.814	0.006
9	5.367	6.038	5	3.098	1.168
10	6.038	6.709	2	1.545	0.134

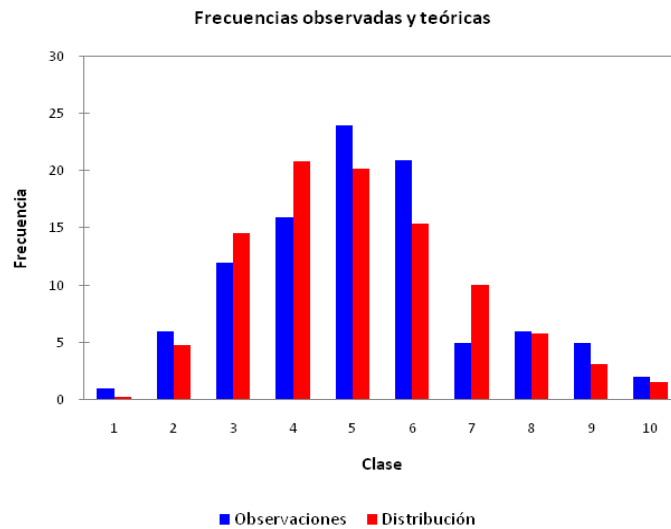


Figura 5.10. Frecuencias observadas y teóricas

- ***Ajuste de datos FI a una Distribución Log-Normal***

Tabla 5.14. Parámetros estimados

Parámetro	Valor
$\mu$	1.063
sigma	0.440

Tabla 5.15. Estadísticas estimadas sobre los datos

Estadística	Datos	Parámetros
Media	3.162	3.607
Varianza	1.631	2.778
Asimetría (Pearson)	0.497	1.485
Curtosis (Pearson)	-0.179	4.160

Tabla 5.16. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

D	0.101
p-valor	0.258
alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 25.81%. Teniendo en cuenta que el nivel de significancia es del 5% lo que indica asegurar un grado de confiabilidad del 95% en los resultados, de la prueba realizada se observa que el valor de frecuencias observadas FI (D) es menor que el p-valor y a su vez se aproxima a cero, se puede concluir que la curva observada FI se ajusta a una distribución Log-normal.

Tabla 5.17. Prueba del Chi-cuadrado

Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	11.518
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	14.067
alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 11.76%. De la prueba efectuada podemos evidenciar que la curva de frecuencias observadas FI se ajusta a una distribución log-normal en la medida que el valor observado es inferior al valor crítico.

Tabla 5.18. Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
1	0.000	0.671	0	0.043	0.043
2	0.671	1.342	6	3.857	1.191
3	1.342	2.013	12	15.911	0.961
4	2.013	2.683	16	22.042	1.656
5	2.683	3.354	24	19.359	1.113
6	3.354	4.025	21	13.779	3.784
7	4.025	4.696	5	8.839	1.668
8	4.696	5.367	6	5.381	0.071
9	5.367	6.038	5	3.193	1.022
10	6.038	6.709	2	1.875	0.008

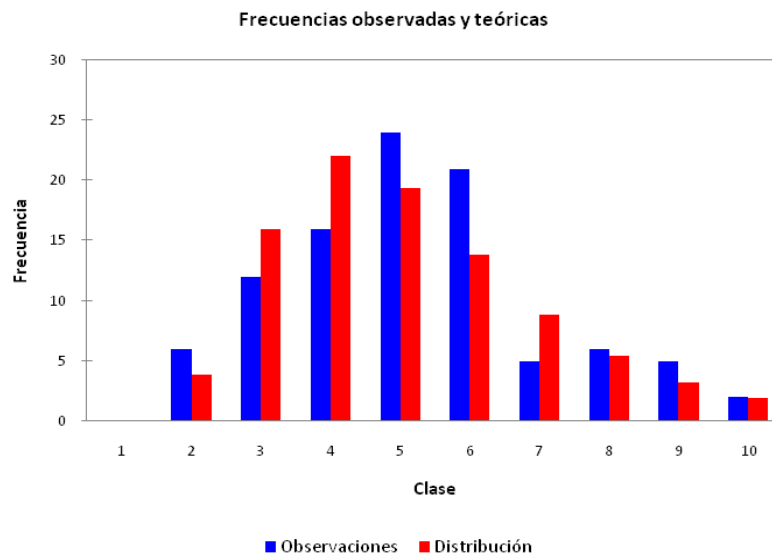


Figura 5.11. Frecuencias observadas y teóricas

El mismo procedimiento aplicado para FI utilizamos para FIC

➤ **Histograma – Análisis FIC**

Tabla 5.19. Valores de frecuencia FIC

Clase	Frecuencia	% acumulado
-5.30	1	1.01%
-4.58	0	1.01%
-3.86	0	1.01%
-3.15	1	2.02%
-2.43	5	7.07%
-1.71	21	28.28%
-0.99	39	67.68%
-0.27	20	87.88%
0.45	5	92.93%
y mayor...	7	100.00%

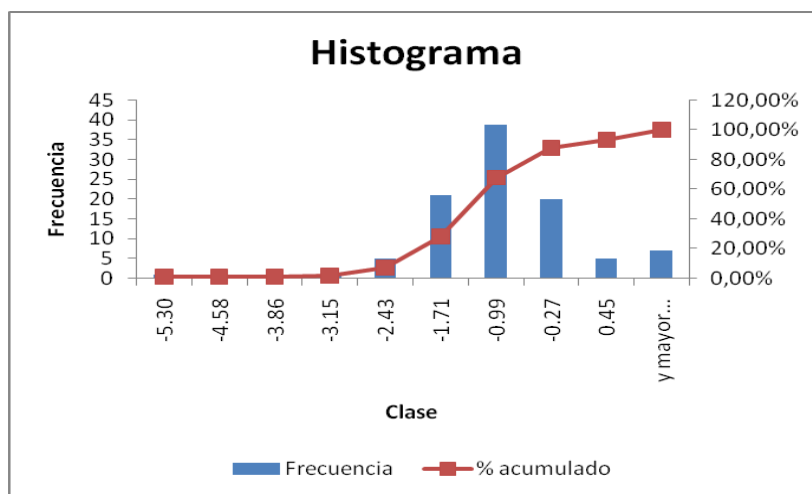


Figura 5.12. Frecuencias observadas y teóricas

- **Ajuste de datos FIC a una Distribución Normal**

Tabla 5.20. Estadísticas descriptivas

Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
98	0.000	6.331	3.996	0.965

Tabla 5.21. Parámetros estimados

Parámetro	Valor
$\mu$	3.996
sigma	0.965

Tabla 5.22. Estadísticas estimadas sobre los datos

Estadística	Datos	Parámetros
Media	3.996	3.996
Varianza	0.930	0.930
Asimetría (Pearson)	-0.391	0.000
Curtosis (Pearson)	2.160	0.000

Tabla 5.23. Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

D	0.093
p-valor	0.348
alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 34.80%. Teniendo en cuenta que el nivel de significancia es del 5% lo que indica asegurar un grado de confiabilidad del 95% en los resultados, de la prueba realizada se observa que el valor de frecuencias observadas FIC (D) es menor que el p-valor y a su vez se aproxima a cero, se puede concluir que la curva observada FIC se ajusta a una distribución normal.

Tabla 5.24. Prueba del Chi-cuadrado

Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	47.500
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	14.067
alfa	0.05

Efectuada la prueba de chi-cuadrada, se concluye que el valor observado es mayor al crítico, lo que nos conduce a estimar que la curva de frecuencias FIC observada no se ajusta a una distribución normal.

Tabla 5.25. Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
1	0.000	0.643	1	0.023	41.082
2	0.643	1.286	0	0.218	0.218
3	1.286	1.929	1	1.331	0.082

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
4	1.929	2.572	3	5.282	0.986
5	2.572	3.216	13	13.642	0.030
6	3.216	3.859	25	22.948	0.184
7	3.859	4.502	32	25.148	1.867
8	4.502	5.145	12	17.957	1.976
9	5.145	5.788	7	8.352	0.219
10	5.788	6.431	4	2.529	0.855

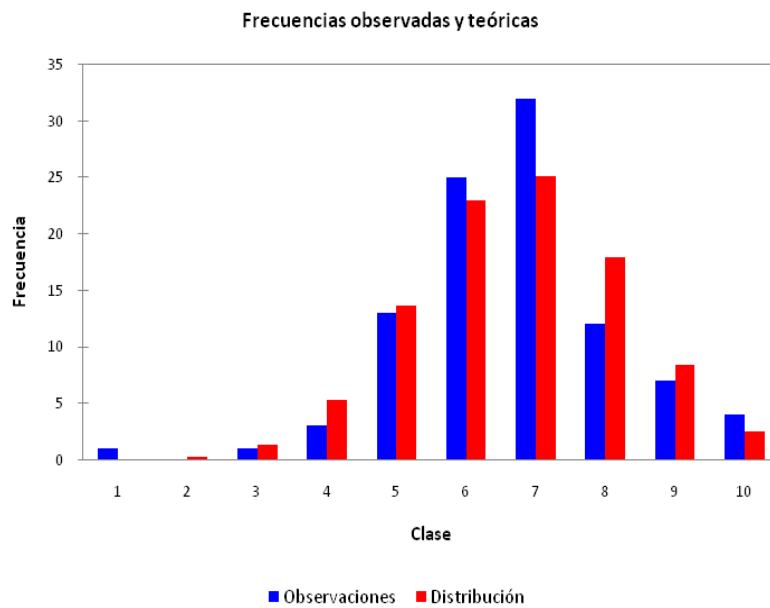


Figura 5.13. Frecuencias observadas y teóricas.

- ***Ajuste de datos FIC a una Distribución Gamma***

Tabla 5.26. Estadísticas descriptivas

Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
98	0.000	6.331	3.996	0.965

Tabla 5.27. Parámetros estimados

Parámetro	Valor
k	17.166
beta	0.233

Tabla 5.28. Estadísticas estimadas sobre los datos

Estadística	Datos	Parámetros
Media	3.996	3.996
Varianza	0.930	0.930
Asimetría (Pearson)	-0.391	0.483
Curtosis (Pearson)	2.160	0.350

Tabla 5.29. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

D	0.079
p-valor	0.564
alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 56.45%. Teniendo en cuenta que el nivel de significancia es del 5% lo que indica asegurar un grado de confiabilidad del 95% en los resultados, de la prueba realizada se observa que el valor de frecuencias observadas FIC (D) es menor que el p-valor y a su vez se aproxima a cero, se puede concluir que la curva observada FIC se ajusta a una distribución Gama.

Tabla 5.30. Prueba del Chi-cuadrado

Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	2087745.861
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	14.067
Alfa	0.05

Efectuada la prueba de chi-cuadrada, se concluye que el valor observado es mayor al crítico, lo que nos conduce a estimar que la curva de frecuencias FIC observada no se ajusta a una distribución Gama. Entre tanto más se acerque es valor observado a cero, la curva de frecuencias se ajustará a una distribución Gama.

Tabla 5.31. Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
1	0.000	0.643	1	0.000	2087740.088

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
2	0.643	1.286	0	0.005	0.005
3	1.286	1.929	1	0.443	0.701
4	1.929	2.572	3	4.740	0.639
5	2.572	3.216	13	15.945	0.544
6	3.216	3.859	25	25.390	0.006
7	3.859	4.502	32	24.055	2.624
8	4.502	5.145	12	15.597	0.830
9	5.145	5.788	7	7.582	0.045

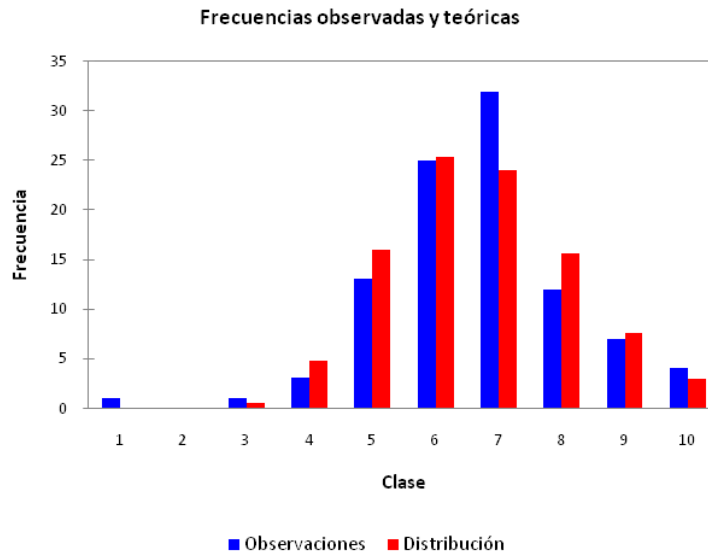


Figura 5.14. Frecuencias observadas y teóricas

- **Ajuste de datos FIC a una Distribución Log-Normal**

Tabla 5.32. Estadísticas descriptivas

Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
97	1.745	6.331	4.037	0.879

Tabla 5.33. Parámetros estimados

Parámetro	Valor
$\mu$	1.371
sigma	0.225

Tabla 5.34. Estadísticas estimadas sobre los datos

Estadística	Datos	Parámetros
Media	4.037	4.409
Varianza	0.772	1.007
Asimetría (Pearson)	0.308	0.695
Curtosis (Pearson)	0.089	0.870

Tabla 5.35. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

D	0.065
p-valor	0.798
alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 79.80%. Teniendo en cuenta que el nivel de significancia es del 5% lo que

indica asegurar un grado de confiabilidad del 95% en los resultados, de la prueba realizada se observa que el valor de frecuencias observadas FIC (D) es menor que el p-valor y a su vez se aproxima a cero, se puede concluir que la curva observada FIC se ajusta a una distribución Log-normal.

Tabla 5.36. Prueba del Chi-cuadrado

Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	7.091
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	14.067
Alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  cuando es verdadera es de 41.95%. De la prueba efectuada podemos evidenciar que la curva de frecuencias observadas FIC se ajusta a una distribución log-normal en la medida que el valor observado es inferior al valor crítico.

Tabla 5.37. Comparación entre las frecuencias observadas y teóricas

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
1	1.000	1.543	0	0.001	0.001
2	1.543	2.086	1	0.224	2.683
3	2.086	2.629	3	3.256	0.020
4	2.629	3.172	13	12.744	0.005
5	3.172	3.716	17	22.256	1.241

Clase	Límite inferior [	Límite superior [	Frecuencia (Datos)	Frecuencia (Distribución)	Chi-cuadrado ajustado
6	3.716	4.259	29	23.115	1.498
7	4.259	4.802	16	17.009	0.060
8	4.802	5.345	8	9.903	0.366
9	5.345	5.888	7	4.903	0.897
10	5.888	6.431	3	2.167	0.320

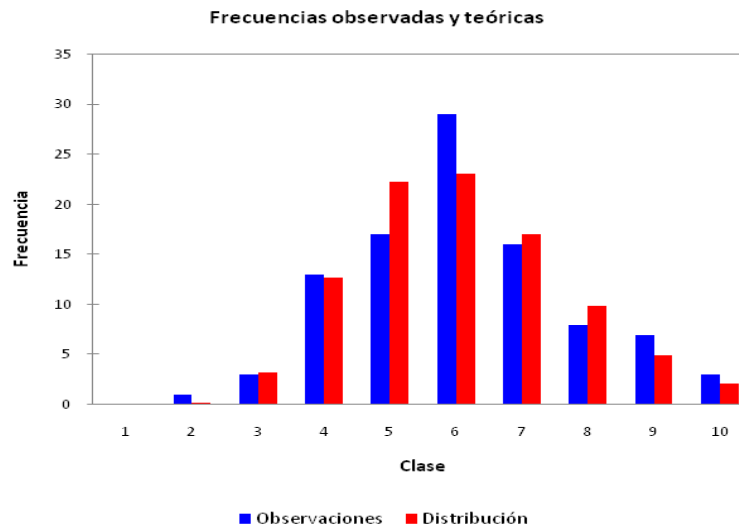


Figura 5.15. Frecuencias observadas y teóricas

#### 5.2.4. Conclusiones del análisis estadístico de datos

Para la curva de frecuencias de FI: una vez practicadas las pruebas de ajuste no paramétricas puede observarse que, la curva de frecuencia dada FI se

ajusta mejor a una distribución normal, toda vez, que el mayor porcentaje de probabilidad, 18.86% de rechazo de la hipótesis nula se dio para este tipo de distribución por lo cual se adopta esta distribución como la particular de los datos de estudios.

Para la curva de frecuencias de FIC: una vez practicadas las pruebas de ajuste no paramétricas podemos observar que la curva de frecuencia dada FIC se ajusta mejor a una distribución Log-normal, toda vez, que el mayor porcentaje de probabilidad, 41.95% de rechazo de la hipótesis nula se dio para este tipo de distribución por lo cual se adopta esta distribución como la particular de los datos de estudios.

Vale la pena destacar que, los factores de área producen una perturbación estadística en la distribución de los datos de FI de tal forma que la estructura matemática operacional para la determinación del FIC ha transitado los datos de una distribución normal a una log normal.

Puede verificarse en los ajustes de distribución normal y log-normal adoptados, que el dato de simetría para FI de 0.386 y 0.308 para FIC, son positivos lo que nos conduce a interpretar que existe un sesgo hacia la izquierda en la forma como se distribuyen los datos es decir, está

positivamente sesgada y la tendencia de los datos se direcciona hacia los valores más pequeños.

La curtosis definida también como puntiagudez, (Levin y Levin, 1999), para este análisis nos arroja un valor tendiente a cero, lo que nos lleva a definir la curva como platocúrtica (plana). Para el escenario de estudio y siguiendo el teorema del límite central a medida que se aumenta el tamaño de la muestra la distribución de las medias de la muestra se acerca a una distribución normal con media de -1.963 y desviación estándar de 0.131.

#### **5.2.5. Indicador del nivel de confianza en la respuesta del FI y FIC.**

Hecho el análisis estadístico para los datos de FI y FIC, puede observarse cómo, al presentarse un comportamiento de distribución normal, el valor de la media corresponde al resultado que más se aproxima al comportamiento general y real. En ese orden de ideas, el valor de FI y FIC respectivamente son -1.96 y -1.928. En el apartado siguiente se mostrarán los escenarios para FIC que, se aproximan con un nivel de confianza del 95% del valor dado por la media correspondiente a FIC igual a -1.928. Este nivel de confianza esta dado por la expresión:

$$X = \bar{X} + \frac{\sigma}{8} \quad (5.1)$$

Donde:

X= valor de FIC a calcular

$\bar{X}$  = valor de la media

$\sigma$  = desviación estándar

En conclusión, las actividades y factores pertenecientes a cada uno de los escenarios que se mostrarán en el ítem siguiente, garantizan un valor de FIC en un grado de confianza del 95%, para el desarrollo de esta investigación. En virtud de lo anterior, se sugiere al usuario cualquiera de los catorce escenarios que, resultan del ejercicio de sensibilidad aclarando no obstante, que sólo hasta tanto se desarrolle el ejercicio para varias cuencas, se ajustará el modelo en la búsqueda de la precisión y certeza propia de todo modelo.

### **5.3. ESCENARIOS FINALES DE ANÁLISIS**

Teniendo en cuenta la caracterización estadística hecha en secciones anteriores, y aprovechando la aproximación que se tiene de la matriz de impactos a una Distribución Normal, discriminando la perturbación dada por

la matriz de extensión Ec, se recomienda en el grado de confiabilidad expresado, la utilización de los siguientes escenarios para FI y FIC así:

❖ **Escenario 1.**

Factores: Hidrometeorológicos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Calderas de alfarería, Mataderos, Hidroeléctrica, industrias avícolas.

❖ **Escenario 2.**

Factores: Hidrometeorológicos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Sistemas de riego, Edificaciones, Calderas de alfarería, Mataderos, Disposición de basuras. Hidroeléctrica, Agroindustria, Industrias avícolas. Industrias porcícolas, Proyectos de minería, Educación, Salud, Proyectos de comercio, Cultura recreación y turismo, Seguridad ciudadana.

❖ **Escenario 3.**

Factores: del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, Socioculturales, Históricos.

Actividades: Obras de acueducto, Sistemas de riego, Mataderos, Agroindustria, Industrias avícolas. Industrias porcícolas, Proyectos de minería, Educación.

❖ **Escenario 4.**

Factores: Suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, del paisaje.

Actividades: Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Sistemas de riego, Calderas de alfarería, Industrias avícolas, Educación.

❖ **Escenario 5.**

Factores: Geosféricos, Hidrometeorológicos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Económicos, del Paisaje, Históricos.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Sistemas de riego, Edificaciones, Calderas de alfarería, Mataderos, Disposición de basuras. Hidroeléctrica, Agroindustria, Industrias avícolas. Industrias porcícolas, Proyectos de minería, Educación, Salud, Proyectos de comercio, Cultura recreación y turismo, Seguridad ciudadana.

❖ **Escenario 6.**

Factores: Geosféricos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Históricos.

Actividades: Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Disposición de basuras. Hidroeléctrica, Industrias avícolas, Proyectos de minería.

❖ **Escenario 7.**

Factores: Suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, del Paisaje.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Edificaciones, Agroindustria, Proyectos de minería.

❖ **Escenario 8.**

Factores: Geosféricos, Suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Económicos, Socioculturales, Paisaje.

Actividades: Obras de acueducto, Sistemas de riego, Mataderos, Agroindustria, Industrias avícolas. Industrias porcícolas, Proyectos de minería, Educación.

❖ **Escenario 9.**

Factores: Geosféricos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Históricos.

Actividades: Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Mataderos, Basuras, Agroindustria, Industrias porcícolas.

❖ **Escenario 10.**

Factores: Hidrometeorológicos, Suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Edificaciones, Agroindustria, Proyectos de minería.

❖ **Escenario 11.**

Factores: Geosféricos, Hidrometeorológicos, suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos. Hidrológicos y de calidad del agua, Calidad de aire y la atmósfera, de Salud.

Actividades: Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Mataderos, Disposición de basuras, Agroindustria, Industrias porcícolas.

❖ **Escenario: 12**

Factores: Hidrometeorológicos, suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales.

Actividades: Infraestructura eléctrica, Sistemas de riego, Hidroeléctrica, Agroindustria, Industrias porcícolas. Educación.

❖ **Escenario: 13**

Factores: Hidrometeorológicos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos.

Actividades: Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Mataderos, Disposición de basuras, Agroindustria, Industrias porcícolas.

❖ **Escenario: 14**

Factores: Geosféricos, Hidrometeorológicos, suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos. Hidrológicos y de calidad del agua, Calidad de aire y la atmósfera, de Salud.

Actividades: Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Disposición de basuras. Hidroeléctrica, Industrias avícolas, Proyectos de minería.

#### **5.4. COMPOSICIÓN ESPACIAL DE VALORES DE ISOFIC**

Se ha generado curvas de ISO datos que, en este trabajo denominaremos ISOFIC, con el objeto de construir mapas con distintas combinaciones de actividades y factores en aras de facilitar la obtención de cualquier Fic a nivel de municipio, lo que indudablemente redundará en beneficio de la realización de un estudio de impacto a nivel municipal para esta zona de estudio, toda vez, que se con ello aumentan la certeza y la celeridad en el cálculo de los resultados (ver Anexo 4).

Este mapa de ISOFIC, construido a partir del uso de los Sistemas de Información Geográfica SIG, muestra los factores de impacto totales FIC de toda la Cuenca asociados a la unidad básica territorial, denominada en este trabajo el municipio así:

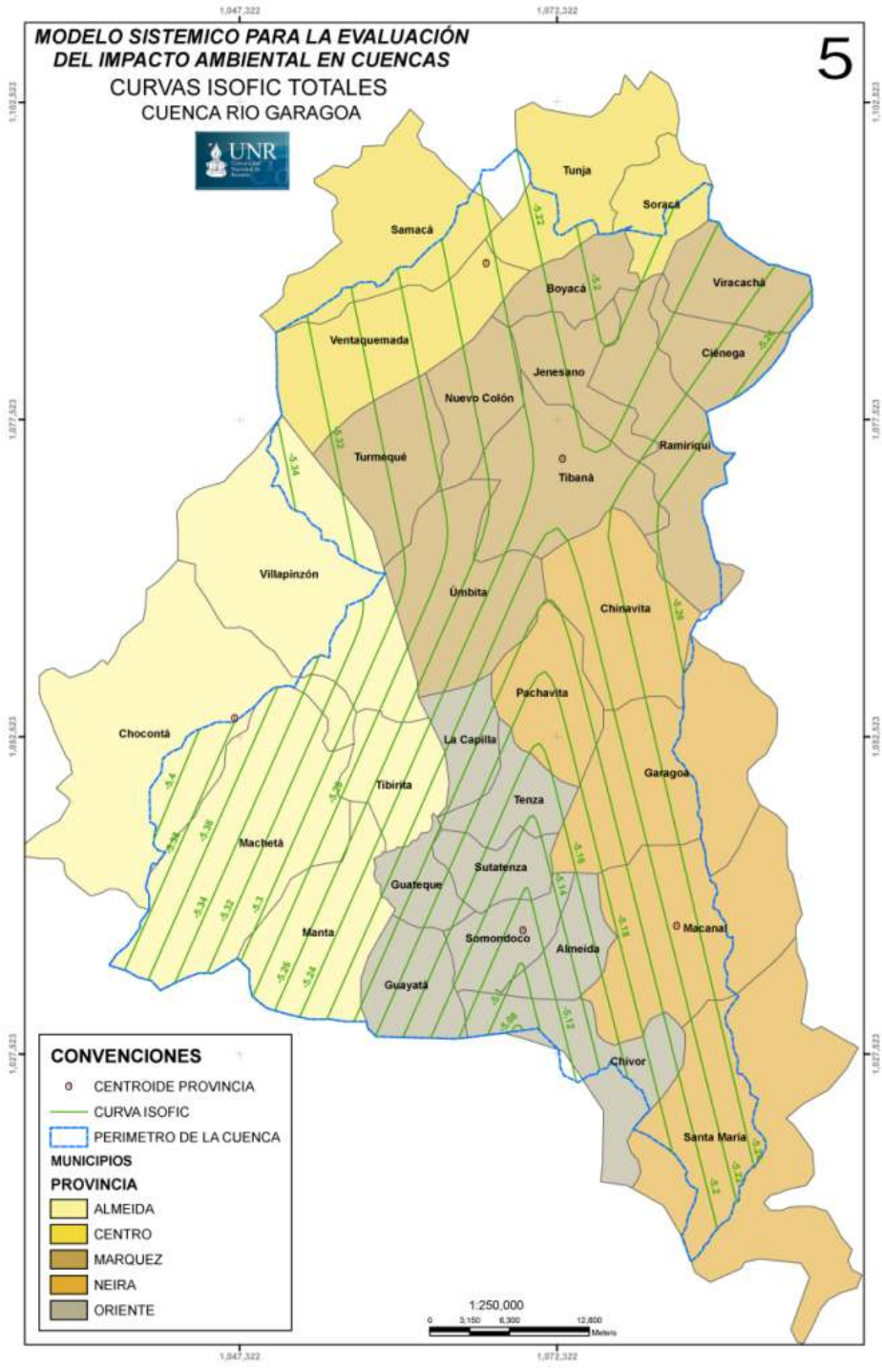


Figura 5.16. Mapa de ISOFIC para las provincias de la cuenca del Río Garagoa

## 5.5. ESCENARIOS DE ANÁLISIS DEL MODELO IVA

Para evaluar las bondades de la metodología aquí propuesta para el análisis del Indicador de Valor Ambiental IVA, se ha realizado el análisis de algunos escenarios característicos propios del desarrollo de un país y se presentará un resumen de los resultados del modelo (ver Tabla 5.38) y una descripción del evento (o escenario) estudiado, la cual se apoya en una conceptualización socioeconómica clara que valida el resultado del modelo.

Tabla 5.38. Escenarios de estudio para el análisis del Modelo IVAFIC.

<b>Escenario de Estudio</b>	<b>PIB</b>	<b>TCP</b>	<b>GINI</b>	<b>FIC</b>	<b>Resultado Obtenido</b>
País desarrollado (condición americana)	8%	1%	0.15	-1.92	Medio Alto IVA = 0.272
País en vía de desarrollo	2%	4%	0.55	-1.92	Medio IVA = 0.271
Colombia 2007	3.5%	2.5%	0.58	-1.92	Alto IVA = 0.297
País en transición (e.g., Vietnam)	10%	2.0%	0.38	1.00	Medio Alto IVA = 0.269
Colombia (condiciones esperadas)	10%	4%	0.55	-7.00	Alto IVA = 0.321

<b>Escenario de Estudio</b>	<b>PIB</b>	<b>TCP</b>	<b>GINI</b>	<b>FIC</b>	<b>Resultado Obtenido</b>
País desarrollado (Luxemburgo)	10%	0%	0.05	3.00	Medio Bajo IVA = 0.190
Sierra Leona	0%	8%	0.79	-10.00	Medio Alto IVA = 0.283

De acuerdo con los resultados obtenidos por modelo de inferencia difusa, se presenta a continuación las siguientes observaciones:

Se ha considerado un comportamiento normal característico de los países que manifiestan diferentes condiciones económicas. Los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la cual está conformada por los países más desarrollados del mundo. Entre tanto, los países en vía de desarrollo son considerados como pobres. Como países emergentes (e.g. ver escenario 4) son catalogados aquellos que históricamente han estado en constante desarrollo, pero que, en los últimos años manifiestan unas características económicas tan favorables que los ubica en un lugar mejor, que el que se tenía anteriormente.

Los indicadores que arrojan estos países en los últimos años, manifiestan que las variables elegidas tienen afectaciones diferentes en la variable dependiente, que se estima en el IVA. Por ejemplo el PIB afecta directamente las condiciones de la cuenca. Sin embargo, los países del

primer mundo (e.g. ver escenarios 1 y 6), tienen un compromiso ambiental diferente, debido a que ellos usan tecnologías limpias y aplican modelos ambientales más favorables, lo que no sucede en el tercer mundo (e.g. ver escenarios 3, 5 y 7), donde la apropiación del capital natural es el factor más característico como soporte para niveles de crecimiento superiores. En los dos casos, ambos niveles afectan a la cuenca, pero el impacto no es el mismo.

De otro lado, los niveles de crecimiento poblacional se han comportado de diferente forma en la historia de los pueblos, los países del primer mundo no crecen de manera significativa y los países en vía de desarrollo se caracterizan lo contrario.

En cuanto a la población, entre más esta aumente será mayor el deterioro ambiental. La pobreza y los elementos asociados al Gini, presentan diferencias sustanciales en sus estimaciones para los países ilustrados. La pobreza y la inequidad social son una característica de la condición humana; su relación con ecosistemas se evidencia por ser el proveedor de bienes y servicios, a una población con precariedad en el ingreso.

La sensibilidad de las variables y su grado de afectación se valida en el resultado que da el uso del modelo como reflejo colectivo en la construcción del indicador final. Por obvias razones, el comportamiento

de la población (TCP) y el Gini, si se considera una economía pobre tendrá mayor consideración y afectación. Sin embargo los países OCDE (e.g. ver escenario 1) no presentan un deterioro tan grande en comparación con otro grupo de países cuando se trata de medir el incremento porcentual del PIB para el caso de la cuenca. Sin olvidar que toda participación antrópica genera y generará conflictos en el soporte que representa el medio ambiente para la sociedad y la economía.

A mayor crecimiento económico y poblacional y con mayores niveles de pobreza los conflictos ambientales tendrán una mayor dimensión; si las variables se comportan de manera inversa la situación será más favorable. Sin embargo, cada país y condición, reflejan resultados diferentes, aunque el objetivo final no se orienta a la condición económica y social del país, sino a la afectación o deterioro ambiental del ecosistema ilustrado y objeto a medir.

## **5.6. ESQUEMA CONCEPTUAL DE USUARIO DEL MODELO IVAFIC**

La guía o esquema metodológico que debe seguir un usuario para practicar este modelo se presenta a continuación, el cual consiste en una versión justa, resumida y precisa del ejercicio de esta investigación, para su aplicación a otro escenario de cuenca:

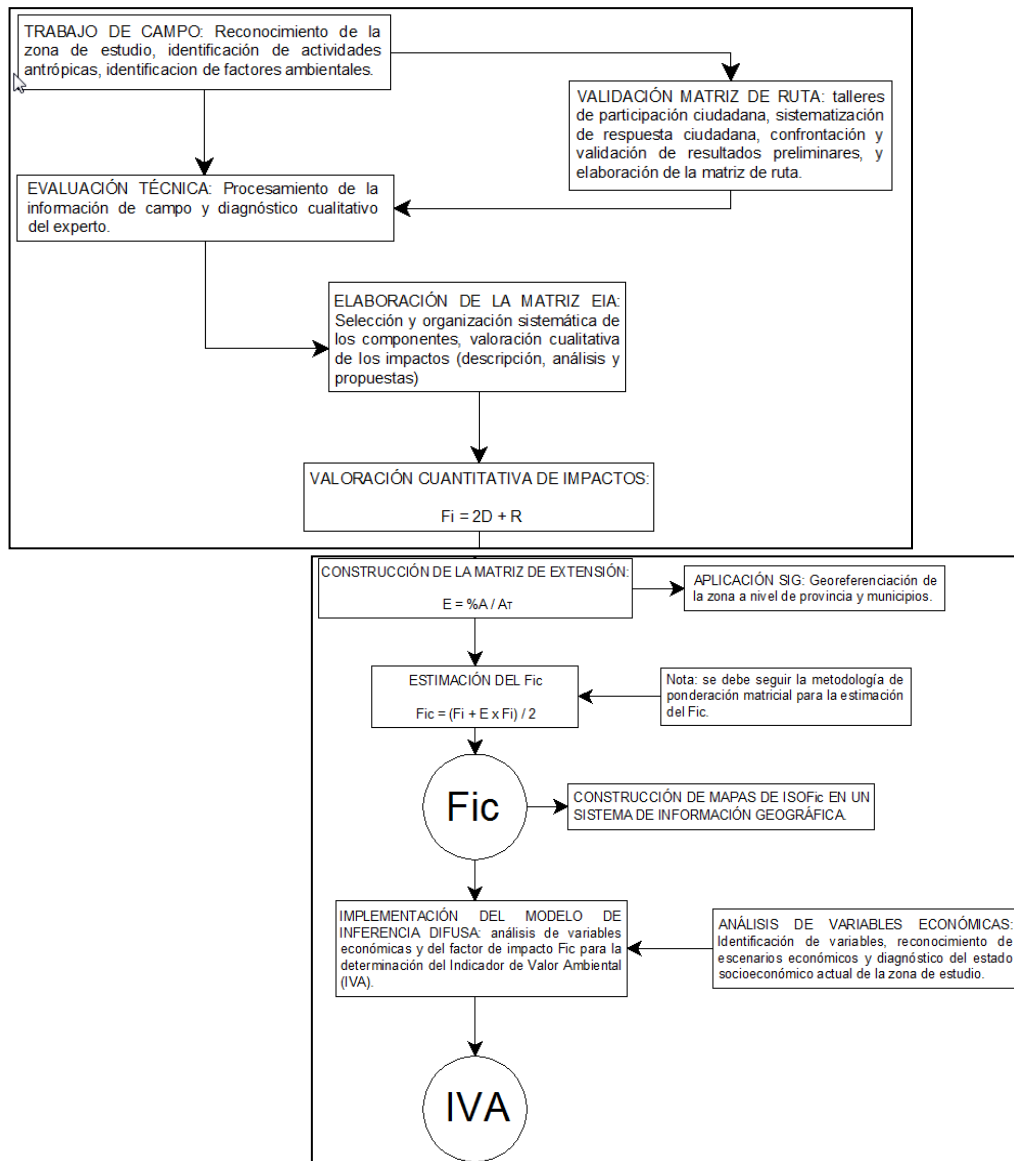


Figura 5.17. Diagrama de flujo del modelo IVAFIC para el usuario.

## **CAPITULO 6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, APORTES Y FUTUROS TRABAJOS**

### **6.1. CONCLUSIONES**

En consideración a que el modelo planteado como IVAFIC es de tipo Meta Heurístico, es fundamental que el trabajo de campo para la elaboración de la EIA, surta un desarrollo serio y dedicado que asocie la partición de expertos, trabajo de campo y participación ciudadana, toda vez que es a partir de esta matriz que se integra o parte el modelo planteado, siendo esta evaluación cualitativa inicial, el sustento de validación de los resultados numéricos que se obtengan del desarrollo del modelo.

De otro lado, los atributos de cuantificación dados por el autor, responden a los interrogantes necesarios que al nivel de escala trabajado como lo es el de una Cuenca resulta suficiente, surgen en el sentido de valorar la naturaleza, durabilidad y reversibilidad de un impacto, que para los efectos de la formulación de un Plan de Manejo y Protección de Cuencas, constituyen un elemento de partida que diagnostica, aproximando a un orden de magnitud, el estado en el que se puede encontrar una Cuenca.

Debe reconocerse que la aplicación del modelo es permisiva para cualquier tipo de Cuenca, toda vez que el modelo planteado, no limita la cantidad de actividades y factores a evaluar, que indiscutiblemente pueden variar de una Cuenca a otra.

Realizar el ejercicio de evaluación a través del modelo sistémico propuesto, sin una herramienta de tipo computacional estructural como, sin duda entorpecería la aplicación del mismo para el usuario final, toda vez que la cantidad de información y operaciones a realizar que pueden extraerse para la Evaluación del Impacto de una Cuenca, puede ser tan extensa, que el desarrollo entraría en una fase de error, extralimitación de tiempo, costos y demás; situación compleja, que con esta propuesta se reduce ostensiblemente, convirtiéndose así, en un modelo ágil, útil, confiable, sistémico , económico y de sencillo manejo.

El citado modelo IVAFIC en su fase 1, puede extraerse para evaluar impactos ambientales a niveles más pequeños, ya sea de proyecto y extensión de área, e igualmente, la variable tiempo no es problema en la medida que pueden obtenerse valores de FIC actuales y futuros, desarrollándolos independientemente.

La calibración del modelo IVAFIC, en su fase 1, correspondiente a la obtención del factor de impacto corregido FIC, a través del análisis de sensibilidad que requirió la modelación de cientos de escenarios probables para la Cuenca de Estudio, que a su vez pueden ser escenarios equivalentes a otra Cuenca, arrojaron después de hacer el análisis estadístico, una aproximación a una Distribución Normal, lo que sustenta un ejercicio aún más sencillo y dinámico, en virtud de la propuesta de escenarios de matriz EIA a evaluar, que pueden conducirnos a estimar un valor en orden de magnitud confiable de FIC para una Cuenca.

El modelo propuesto resulta bondadoso a partir de la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica, en la medida que se puede generar un mapa de valores parciales o totales de FIC a nivel de Municipio, lo que favorece adoptar decisiones de tipo político, administrativo, económico, y ambiental a nivel local, cuando hay ausencia de información y/o se carece del capital para generar un estudio de esta envergadura.

El Modelo IVAFIC en su fase 2, a partir del desarrollo de un modelo de Lógica Difusa, proporciona un ejercicio sencillo para la estimación de un Indicador económico Ambiental denominado: Indicador de Valor Ambiental

(IVA), que para los fines prácticos, refleja la condición ambiental de una Cuenca.

El modelo IVAFIC en su fase 2, proporciona una herramienta de tipo Indicador (IVA) que asocia variables de tipo económico y ambiental, en este caso el Factor de Impacto Corregido FIC, y que para la autoridad ejecutiva o legislativa, resulta de gran validez para la comprensión del comportamiento económico ambiental de una Cuenca y su consecuente formulación de decisiones, ya sea a través de acuerdos, ordenanzas, leyes, o a niveles locales, planes de Manejo y Protección de Cuencas.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

La aplicación completa del Modelo IVAFIC para una Cuenca determinada, implica que el usuario tenga bases suficientes en el manejo de las herramientas computacionales estructural de MATLAB, Sistemas de Información Geográfica SIG, y Lógica Difusa,

### **6.3. NUEVOS APORTES**

El modelo formulado denominado IVAFIC, responde al cuestionamiento y problema planteado al inicio de este trabajo en el sentido de aportar un modelo sistémico que permite cuantificar el impacto ambiental ( Parcial y Total ) de una Cuenca como a su vez, estimar un Indicador de tipo económico ambiental, que refleje rápida y claramente las condiciones dadas en la misma.

### **6.4. FUTUROS TRABAJOS**

Básicamente a partir del desarrollo de este trabajo se pueden generar investigaciones en dos sentidos:

La primera, validar el modelo en su aproximación de Distribución Normal para el cálculo del Factor de Impacto Corregido FIC, a partir de la calibración del mismo, lo cual sugiere abordar nuevos escenarios de cuencas, hasta encontrar el valor de Función de probabilidad propio de este tipo de Distribución estadística, que reduzca el escenario de repuesta a su expresión.

En segundo lugar, ajustar las funciones de membresía dadas para el cálculo del indicador IVA a partir del modelo de Lógica Difusa, así como sus relaciones y combinaciones, entendiendo que la combinación de dichas funciones, después de múltiples validaciones, pueden hacer más sensible el resultado en función de las condiciones propias de cada variable.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1.] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos / Comisión Nacional del Medio Ambiente. 1993. Principios de Evaluación de Impacto Ambiental. AlfaBeta Impresores. Santiago, Chile.
- [2.] Aguiló M., Ramos, A. 1991. Directrices y Técnicas para la Estimación de Impactos. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- [3.] Aguiló, M., et al. 1991. Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico: Contenidos y metodologías. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Tercera edición. Madrid.
- [4.] Ascher, W. 1992. Coping with the Disappointing Rates of Return on Development Projects that Affect the Environment. World Bank, Washington, D.C.
- [5.] Afonso Lopes Paulo. 2000. Probabilidad y estadística. Editorial Prentice Hall Segunda Edición.
- [6.] Ávila García Patria. 2005. Agua, Medio Ambiente y Desarrollo en el Siglo XXI. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- [7.] Azuero García. 2003. Gestión Integral de Recursos Naturales a Escala de Paisaje. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza.
- [8.] Bacci Livi Massimo. 1999. La Europa de la revolución geodemográfica. Localización: Sistema: Revista de ciencias sociales. Pag. 25-34
- [9.] Bojórquez – Tapia, L.A. y E. Orgay- Delhumeau. 1992. “International lending and resource development in Mexico: Can environmental quality be assured”, Ecological Economics, Amsterdam, vol. 5, 1992, pp 197 – 211.
- [10.] Bojórquez - Tapia, S Díaz, R Saunier. 1997. Ordenamiento ecológico de la Costa Norte de Nayarit. Organización de Estados Americanos y Universidad Nacional Autónoma de México D.F.
- [11.] Bosh, Pujol, Serra, Valles Pinos. 1998. Turismo y Medio Ambiente. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.

- [12.] B. Ramakrishna. 1997. Estrategias de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas.
- [13.] Brent M. Swallow, Dennis P. Garrity and Meine van Noordwijk. 2002. The effects of scales, flows and filters on property rights and collective action in watershed management. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor. Indonesia
- [14.] Burbano Ruiz Jorge E. Presupuestos: Enfoque de gestión, planeación y control de recursos. Tercera Edición. Mc Graw Hill.
- [15.] Burrough, Ripple. 1989. Sistemas de Información Geográfica para la Gestión del Agua. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. Peru.
- [16.] Burgos, J.D. y Moreno-Tovar, P. 1996. Zipf-scaling behavior in the immune system. BioSystems 39: 227-232.
- [17.] CAR. 2003. Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2001-2010. Documento electrónico. Tomado de: [http://www.car.gov.co/PGAR\\_2003.htm](http://www.car.gov.co/PGAR_2003.htm). Agosto de 2003.
- [18.] CORPOBOYACÁ. 2004. Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2001-2006. Documento electrónico. Tomado de <http://www.corpoboyaca.gov.co/infoNoticia.asp?IdNot=18&IdCatmostrar=18>. Junio de 2004.
- [19.] CORPOCHIVOR. 2000. Caracterización de humedales y lagunas del Macizo de Bijagual. CORPOCHIVOR, Programa Ecosistemas estratégicos - Consultor Nelson Vélez. Contrato 131-99.
- [20.] CORPOCHIVOR. 2002. Diagnóstico y evaluación de las actividades y creencias en la comunidad frente al uso, conservación y disposición del recurso hídrico en los municipios de Guateque, Guayatá, Somondoco y Sutatenza. Informe final. CORPOCHIVOR – Consultora Claudia Inés Bonilla. Contrato 113-01. 179pp.
- [21.] CORPOCHIVOR. 2004. Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2001-2006. Documento electrónico. Tomado de: <http://www.corpochivor.gov.co/pgar.htm>. Marzo de 2004.
- [22.] Conceptos y Experiencias. Instituto Interamericano para la de cooperación para la Agricultura (IICA).

- [23.] Cogalton y Green 1992. Environmental Modeling with GIS. Oxford University USA.
- [24.] Constitución Española. 1978. Modificada por Reforma de 27 de agosto de 1992.
- [25.] Conesa Fernández – Vitoria y Colaboradores. 1995. Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid.
- [26.] Conesa, Vicente. 1995. Auditorías Medioambientales: guía metodológica. Ed. Mundi-prensa. Madrid
- [27.] Council on Environmental Quality. 1992. Regulations for Implementing the Procedural Provisions of the National Environmental Policy Act. Washington, D.C.
- [28.] Cousillas, Marcelo J. 1994. Evaluación del Impacto Ambiental, análisis de la Ley 16.466 del 19 de Enero de 1994. Instituto de Estudios Empresariales, Montevideo.
- [29.] Cowles, R.V. 1990. Environmental Impact Assessment in the Planning Process for Mining Projects. Energy Law 90: Changing Energy Markets, The Legal Consequences. International Bar Association Series. London.
- [30.] CHIVOR. 1997. Proceso de sedimentación Embalse La Esmeralda. Período 1975-1996. CHIVOR, Gerencia de Producción, dirección ambiental y de recursos energéticos. 40pp.
- [31.] C. Santhia, R. Srinivasana, J.G. Arnoldb, and J.R. Williamsa. 2005. A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas. Texas A&M University. USA
- [32.] David E. Davis.2003. GIS for Everyone; ESRI Press; California University USA.
- [33.] De Miguel, M. Piattini.1999. “Geodesia Geométrica”. Instituto Vasco de Administración Pública. Madrid España.
- [34.] Dinerstein, E; D.M. Olson; D.J. Graham; A.L.Webster; S.A. Primm; M.P. Bookbinder y G.Ledec. (1995): Una Evaluación del Estado de Conservación de las eco-regiones terrestres de América Latina y el Caribe. Banco Mundial en colaboración con el Fondo Mundial para la Naturaleza, Washington, D.C.

- [35.] Dixon J. A; R. A. Carpenter, L. A. Fallon, P. B. Sherman and S. Manipomoke. 1988. Economic Analysis of the Environmental Impacts of Development Projects. Earthscan Publications, London UK.
- [36.] Dubois, D. y Prade, H. Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications, Academic Press, New York, 1980.
- [37.] Echavarría, M y Granizo, T. 2000. Valoración del Agua en los Páramos. En: J. Recharte, J. Torres y G. Medina. II Conferencia electrónica sobre usos sostenibles y conservación del ecosistema páramo en los Andes. CONDESAN, Mountain Forum. Pp.174-175.
- [38.] Echavarría, M., Vogel, J., Albán, M. y Meneses, F. 2002. Impact assessment of watershed environmental services: emerging lessons from Pimampiro and Cuenca in Ecuador. Quito: EcoDecisión, IIED.
- [39.] Eastman, J.R.. 2003. Guía del usuario digital. IDRISI Kilimanjaro. Clarks Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University. USA.
- [40.] E. I. Hamilton. 2003. Applied environmental geochemistry. Plymouth, United Kingdom
- [41.] Environmental Law Institute. 1991. Environmental Impact Assessment: Integrating Environmental Protection and Development Planning. Washington, D.C.
- [42.] Escribano, B., et al. 1991. El Paisaje. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 117 pp., Madrid.
- [43.] Espinoza, G.A. 1998. Informe de Consultoría: Políticas y Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental para el Perú. Santiago, Chile.
- [44.] Espinoza, G.A. 1997. Informe de Consultoría: Diseño Conceptual y Operativo del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Uruguay. BID.
- [45.] Espinoza, G.A. 1996. Experiencia Internacional en EIA. Informe preparado como parte del programa de fortalecimiento institucional. DINAMA/Dames & Moore. Montevideo.

- [46.] Espinoza, G.A., et al. 1995. Manual de Participación Ciudadana en el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental. Participa, Casa de la Paz, Práctica. Santiago, Chile.
- [47.] Espinoza, G.A., S. Garcia, F. Valenzuela Y J. Jure, 1997. Algunas Experiencias Derivadas de la Aplicación del Sistema Voluntario de Evaluación de Impacto Ambiental en Chile. Documento de Trabajo N°35 de octubre de 1997. Comisión de Medio Ambiente, Centro de Estudios para el Desarrollo - CED. Santiago, Chile.
- [48.] Espinoza, G., X, Abogabir, O Salazar. 1998. Instrumentos de Gestión Ambiental y Participación Ciudadana. Casa de la Paz. Santiago, Chile.
- [49.] Espinoza, G. y O. Salazar. 1998. Participación Ciudadana en el Sistema Voluntario de Evaluación de Impacto Ambiental en Chile (Período 1994-1997). Casa de la Paz. Santiago, Chile.
- [50.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Almeida. Boyacá. Colombia.
- [51.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Chivor. Boyacá. Colombia
- [52.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Boyacá. Boyacá. Colombia
- [53.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Ciénega. Boyacá. Colombia
- [54.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de La Capilla. Boyacá. Colombia.
- [55.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Guayatá. Boyacá. Colombia
- [56.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Jenesano. Boyacá. Colombia
- [57.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Tenza. Boyacá. Colombia
- [58.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Tibaná. Boyacá. Colombia

- [59.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Turmequé, Boyacá. Colombia
- [60.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Chinavita. Boyacá. Colombia
- [61.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Sutatenza. Boyacá. Colombia
- [62.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Macanal. Boyacá. Colombia
- [63.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Úmbita. Boyacá. Colombia
- [64.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Ventaquemada. Boyacá. Colombia
- [65.] Esquema de Ordenamiento Territorial. 2002. Municipio de Somondoco. Boyacá. Colombia
- [66.] Faustino Jorge. 1996. Gestión Ambiental para el Manejo de Cuencas Municipales. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza
- [67.] Faustino J., Kass D, Tineo Alex. 2002. Relación entre Programas de Nacionales de Manejo Cuencas y de Conservación. Caracas, Venezuela.
- [68.] F. Goodchild Michael. 1997. What is Geographic Information Science, NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science. Recuperado el 23 de Julio de 2009 en <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u002/u002.html>
- [69.] Friede Juan. 1974. Los chibchas bajo la dominación española. Bogotá D.C. Colombia.
- [70.] F. Triola Mario. 2000. Estadística Elemental. Editorial Pearson Educación Séptima Edición.
- [71.] Fikir Alemayehu, Nurhussen Taha, Jan Nyssen, Atkilt Girma, Amanuel Zenebe, Mintesinot Behailu, Seppe Deckers and Jean Poesen. 2007. The impacts of watershed management on land use and land cover dynamics in Eastern Tigray (Ethiopia). Ghent University. Belgium.

- [72.] Galo. Medina y Robert Hofstede. 2001. Los páramos del Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas. Editorial Abya Yala/Proyecto Páramo.
- [73.] García de Jalón Javier, Rodríguez José Ignacio, Vidal Jesús. 2001. Aprenda Matlab 7.0. Madrid España.
- [74.] Garcia, M.P. 1990. Hacia una matriz integral de impactos: Aproximación metodológica a proyectos de desarrollo minero-industrial latinoamericanos. En: CANALES, J. (ed.) Efectos Demográficos de Grandes Proyectos de Desarrollo. NU/CEPAL/CELADE. CELADE, San José.
- [75.] Gómez Orea Domingo. 1989. Ordenación Territorial. Mundi-Prensa Libros.
- [76.] Gómez Orea, Domingo, 1994. Evaluación de Impacto Ambiental. Editorial Agrícola Española S.A., Madrid.
- [77.] Gómez Orea Domingo. 1999. Evaluación de Impacto Ambiental. Editorial Agrícola Española.
- [78.] Guihua Wang, Qinhua Fangb, Luoping Zhanga, Weiqi Chena, Zhenming Chene and Huasheng Honga. 2009. Valuing the effects of hydropower development on watershed ecosystem services: Case studies in the Jiulong River Watershed, Fujian Province, China. Xiamen University. China.
- [79.] Gutiérrez Puebla J. y Gould M. 1994. "SIG: Sistemas de Información Geográfica". Editorial Sítesis, Madrid, España.
- [80.] Griselda Elena Carñel y Valeria Andrea Belmonte. 2004. monitoreo y sistematización de datos tendientes a identificar intervenciones antrópicas con riesgo de contaminación significativa en el arroyo de la china. Universidad Nacional de Entre Ríos Argentina.
- [81.] Gross, C.M.F. 1992. Una aproximación a la problemática de los impactos: Los impactos de obras hidroeléctricas. Revista Interamericana de Planificación Vol. 25, No. 98.
- [82.] Hagan J. E, Eastman J. R.Y Auble J. 1998. "Carta Linx The Spatial Data Builder User's Guide" Clark Labs, Clark University, Worcester, MA USA.

- [83.] Heras Rafael. 1972. Manual de Hidrología: Métodos prácticos para el estudio de aguas superficiales y subterráneas. Centro de Estudios Hidrográficos.
- [84.] Hernández-Camacho, Jorge, Adriana Hurtado G., Rosario Ortiz Q., Thomas Walschburger. 1992. Unidades biogeográficas de Colombia. pp.: 105-151.
- [85.] Halldór Ármannssona and Hrefna Kristmannsdóttira. 2003. Geothermal Environmental. Orkustofnun, Grensásvegur.
- [86.] Hurlbut, C.S. Y Klein, C. (1982). Manual De Mineralogía De Dana. 19 Ed. Reverte. Barcelona España.
- [87.] Idrisi Kilimanjaro. 2003. Guide to GIS and image processing, users guide (Ver. 14). Clark University. USA.
- [88.] Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 1966. Reconocimiento de Suelos del Suroriente del Departamento de Cundinamarca, Municipios de Gama Gacheta, Gachalá, Junín, Machetá, Manta, Medina, Tibirita y Ubalá.
- [89.] Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 1968. Estudio Detallado de Suelos de la Parte Plana y General del Sector Quebrado de los Municipios de Tunja y Siachoque Para Fines Agrícolas (Departamento de Boyacá).
- [90.] Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 1973. Estudio detallado de Suelos y Clasificación de Tierras Para Riego. Valles de Samacá, Cucaita y Sora (departamento de Boyacá).
- [91.] Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"..1978. Estudio General de Suelos de los Municipios de Viracachá, Ciénega, Ramiriquí, Boyacá, Jenesano, Nuevo Colón, Tibaná, Turmequé y Ventaquemada (Departamento de Cundinamarca).
- [92.] Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 1985. Estudio General de Suelos del Oriente de Cundinamarca y Municipio de Úmbita (Boyacá).
- [93.] Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 1997. Estudio General de Suelos del Valle de Tenza, Región de Lengupá y municipio de Pesca (Departamento de Boyacá).
- [94.] Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". ORSTOM.1984. Estudio integrado de usos del suelo del Altiplano Cundiboyacense.

- [95.] Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”. UPTC. 1988. La Modernización Entre Campesinos Parcelarios, el Caso de Tenza Boyacá.
- [96.] IDEAM. 2004. Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia (Decreto 1729 de 2002). Bogotá. 100pp.
- [97.] James David. 1993. The application of Economic Techniques in Environmental Impact Assessment. Kluwer Academic Publishers.
- [98.] James Cooper. 1991. Innovation in Logistics: The Impact on Transport and the Environment. Polytechnic of Central London. United Kingdom.
- [99.] Jernelov, A. y Marinov, U. 1990. Un enfoque de la evaluación del impacto ambiental de proyectos que afecten al medio ambiente marino y costero. Oceans and Coastal Areas Programme Activity Centre. PNUMA. Nairobi.
- [100.] JICA. 1990. Environmental Guidelines for Dam Construction Projects. Japan.
- [101.] Jiliberto, R. Y Manuel Alvarez-Arenas, Ed. 2000. Evaluación Ambiental Estratégica de Política, Planes y Programas: una aproximación analítica. Talleres BORPISA, Madrid.
- [102.] Jiménez Cisneros Blanca E. 2002. La contaminación ambiental en México. Causas, efecto y tecnología apropiada. Noriega Editores. México D.F.
- [103.] Jouravlev A. (2000) “Administración del agua en América Latina y el Caribe en el umbral del siglo XXI” serie Recursos naturales e infraestructura, N° 27 (LC/L.1564-P), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas.
- [104.] Jordán, J.M. 1992. Evaluación del Impacto Ambiental. EIA. Valparaíso, Chile.
- [105.] J. Gordon Milliken. 1989. Water Resources management in arid climates. Milliken Chapman Research Group, Inc. Littleton, Colorado, U.S.A.

- [106.] Kiely Gerard. 1999. Ingeniera ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, volumen III. Editorial Mc Graw Hill.
- [107.] Kosko, B. Fuzzy systems as universal approximators, IEEE Trans. Comput., Vol. 43. No. 11. 1994.
- [108.] Leal, J. 1997. Guías para la Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos de Desarrollo Local. ILPES. Santiago, Chile.
- [109.] Levin Jack, William C. Levin. 1999. Fundamentos de estadística en la investigación social. Editorial Alfaomega segunda edición. Oxford University.
- [110.] Losilla P. Marcelino, Arias Luis, Portilla B. Luis E. 1987. Diagnostico y Acciones Propuestas para la Protección de Cuencas de Acueductos Municipales. Proyecto Regional de Manejo de Cuencas. Costa Rica.
- [111.] Llamas Ramón. 1998. Cambios en el paisaje e impactos ecológicos causados por la explotación de aguas subterráneas en la Cuenca Alta del río Guadiana. Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas (Zaragoza España).
- [112.] Márquez, G. 2001. De la abundancia a la escasez: La transformación de los ecosistemas en Colombia. En: Palacios, G (ed.). 2001. La naturaleza en disputa: Ensayos de historia ambiental 1850-1995. Universidad Nacional de Colombia. Unibiblos. Bogotá.
- [113.] Márquez, G. y Guillot, G. 2001. Ecología y efecto ambiental de embalses: Aproximación con casos colombianos. Serie de publicaciones del Posgrado en Gestión ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- [114.] Márquez, G. 2003a. Colombia un país irrepetible: Introducción a los ecosistemas tropicales. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales IDEA y Departamento de Biología. CD-ROM.
- [115.] Márquez, G. 2003b. Ecosistemas estratégicos de Colombia. Revista de la Sociedad Geográfica de Colombia 133: 87-103.
- [116.] Manteiga Lola. 2000. Los Indicadores Ambientales como Instrumento para el Desarrollo de la Política Ambiental y su

Integración en otras Políticas. Instituto de Estadística de Andalucía. Sevilla. pp: 75-87.

- [117.] Mansoor Ahmed Baloch and Ayşegül Tanık. 2008. Development of an Integrated Watershed Management strategy for Resource Conservation in Balochistan Province of Pakistan. Istanbul Technical University. Turkey.
- [118.] Marín E. 2000. Plan Básico de Ordenamiento Territorial – Municipio de Ramiriquí. Componente Geológico.
- [119.] Martínez, B. R. 1973. Plan integral de desarrollo Urbano, Garagoa (Departamento de Boyacá).
- [120.] Miguel A. Altieria, b, and Omar Masera. 1993. Sustainable rural development in Latin America. University of California at Berkeley, Albany, CA, USA.
- [121.] Mclaughlin, D. H. y Arce, M. 1975: Mapa Geológico del Cuadrángulo K-11, Zipaquirá. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), Bogotá, Colombia.
- [122.] Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 1989. Guías Metodológicas para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. 2, Grandes Presas. Madrid.
- [123.] Montico Sergio, Pouey Nora. 2001. Cuencas Rurales. Pautas criterios para su ordenamiento. UNR EDITORA pp:167. Rosario, Argentina. 2001
- [124.] M. Rahman and I. Salbe. 2000. Modelling impacts of diffuse and point source nutrients on the water quality of South Creek catchment. Water Resources Planning Branch, Sydney Water, Sydney, Australia.
- [125.] MOPT. 1990. Guías Metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental: repoblaciones forestales. Tercera edición. Madrid, España.
- [126.] MOPT. 1991. Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico: Contenidos y metodologías. Tercera Edición. Madrid, España.
- [127.] MOPT. 1991. Guía Metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental: Carreteras y Ferrocarriles. Madrid, España.

- [128.] Nancy Johnson, Helle Munk Ravnborg, Olaf Westermann, a and Kirsten Probst. 2002. User participation in watershed management and research. Centre for Development Research, Gammel Konge. Copenhagen V, Denmark.
- [129.] NU/ECE. 1990. Post-project Analysis in Environmental Impact Assessment. United Nations. New York.
- [130.] NU/ECE. 1991. Policies and Systems of Environmental Impact Assessment. United Nations. Environmental Series No. 4. New York.
- [131.] Ongay Enrique y Buroz Castillo Eduardo.1998. La gestión ambiental: marco de referencia para las evaluaciones de impacto ambiental. Editorial fundación polar. Caracas Venezuela.
- [132.] Parra, S. W. 1986. Zonificación Ambiental de la Microcuenca Las Moyas, Municipio de Garagoa (Departamento de Boyacá).
- [133.] Paez, J.C. 1996. Introducción a la Evaluación de Impacto Ambiental. CAAM, Ecuador
- [134.] Pardo Buendía Mercedes. 1997. Evaluación del Impacto Ambiental y social para el Siglo XXI: Teorías, procesos, metodología.
- [135.] Parfit M. 1993. Pollution: Troubled waters run deep. National Geographic Special Edition.
- [136.] Patridge, William. 1994. Participación Popular en Evaluación Ambiental en América Latina. Nota de Divulgación N° 11. Departamento Técnico para América Latina, Banco Mundial, Washington D. C.
- [137.] Pisani, P. y G.A. Espinoza. 1994. Breve descripción de los Aspectos Básicos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en Chile. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. VI Simposio sobre Contaminación Ambiental: Impacto Ambiental de Metales Pesados, pp. 176-185.
- [138.] Pimentel, G., Pires, S.H. 1992. Metodologías de avaliação de impacto ambiental: aplicações e seus limites. Revista de Administração Publica, Vol. 26, N° 1.
- [139.] Pouey, N. 1998. Erosión hídrica en cursos de llanura sobre lechos cohesivos. UNR editora.  
<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/erosion/>.

- [140.] Pouey, N. and M. Portapila. 1995. Contribution to "Integrated River Basin Development". Ed. Wiley. Wallingford. England.
- [141.] Pouey, N. and M. Portapila. 1995. "Environmental Impact Evaluation Model for Dredging Activities." Fourteenth World Dredging Congress. Proceeding WODA Amsterdam.
- [142.] Pouey, N. E. 1997. "Erosión hídrica en suelos cohesivos". Tesis Doctoral. FCEIA. Universidad Nacional de Rosario. Argentina.
- [143.] Pouey Nora, Portapila Margarita. 1999. An environmental impact assessment matrix model for embankments in flatland landscapes. Journal of Environmental hydrology, 7.
- [144.] Prasad Modak and Asit K. Biswas. Conducting Environmental Impact Assessment in Developing Countries (UNU, 1999, 375 pages).
- [145.] Ramos Castellanos Pedro. 1997. Avances en Calidad Ambiental. Ediciones Universidad de Salamanca. España.
- [146.] Renato A.M. Silvano, Shana Udvardy, Marta Ceroni and Joshua Farley. 2004. An ecological integrity assessment of a Brazilian Atlantic Forest watershed based on surveys of stream health and local farmers' perceptions: implications for management. Porto Alegre, Brazil.
- [147.] Riebsame, W. 1990. Evaluación de las implicaciones sociales de las fluctuaciones del clima: Guía para los estudios de los impactos del clima. Comisión Permanente del Pacífico Sur; PNUMA. Oceans and Coastal Areas Programme Activity Centre. CPPS/PNUMA. Nairobi.
- [148.] Richard S. Mbatu. 2007. Forest policy analysis praxis. Bowling Green State University.
- [149.] Rodrigo Patricio. 1988. El Desarrollo Integral de Cuencas Hidrográficas y la Participación de la Comunidad Rural. Turrialba. Costa Rica.
- [150.] Romer David. 2002. Macroeconomía Avanzada. Editorial Mc Graw Hill. Segunda Edición. Universidad de California Berkeley.
- [151.] Romaggi, M. 1992. Metodologías para la Gestión Ambiental: Evaluación de impacto ambiental, planificación física integrada,

cuentas patrimoniales. Documento MAM-72. Programa de Capacitación ILPES/CEPAL. Santiago.

- [152.] R. E. Hester, Roy M. Harrison. 1999. Environmental Impact of Power Generation. Issues in Environmental Science and Technology.
- [153.] Ross, Timothy J. Fuzzy Logic with engineering application. Segunda Edición. Editorial John Wiley & Sons. UK. 2004
- [154.] Sala Sanjaume María y Batalla Villanueva. 1996. Cobertura vegetal y respuesta hidrológica: ejemplo de las Cordilleras Costeras Catalanas. Universidad de Bcelona. España.
- [155.] Seyhan (1975)- En: Guía para la elaboración de estudios del medio de físico. Contenido y metodología. Serie Monografías. Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Transporte – España, 1991.
- [156.] Suroswski, A. 1992. La Variable Población en la Gestión Ambiental: Un Ejemplo de Evaluación de Impacto Ambiental. CELADE. Santiago.
- [157.] Sugeno, M., “Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey,” (M.M. Gupta, G. N. Saridis, and B.R. Gaines, editors) Fuzzy Automata and Decision Processes, North-Holland, New York, 1977. p. 89-102
- [158.] T.C. Sheng. 1992. Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas: Estudio y Planificación de Cuencas hidrográficas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- [159.] Timothy O. Randhir, Robert O’Connorb, Paul R. Pennerc and David W. Goodwina. 2001. University of Massachusetts, Amherst, US.
- [160.] Tesam S.A. 1996. Preparación y Publicación de Metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental. Informe Borrador Final. CONAMA. Chile.
- [161.] Tukey, John W. 1977. Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley. Wadsworth & Brooks/Cole. Statistics Probability Series.
- [162.] Ulloa M, C. E. y Rodríguez M, E. (1978): Geología de la Plancha 190 - Chiquinquirá. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), Bogotá, Colombia.

- [163.] Ulloa M, C. E.; Camacho G, R. y Escovar R, R. (1975): Mapa Geológico del Cuadrángulo K-12, Guateque. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), Bogotá, Colombia.
- [164.] Ulloa m, c. E. Y Rodríguez, e. (1976): Geología del Cuadrángulo K-12, Guateque. Informe 1701. Boletín Geológico. Vol. 22. No. 1. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), Bogotá, Colombia.
- [165.] Van der Hammen y Andrade. 2.003. Estructura Ecológica Principal de Colombia. IDEAM.
- [166.] Way. 1978. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Secretaria de Estado para las Políticas del Agua y el Medio. Serie Monografías, España, 1991.
- [167.] Walter Klöpffer. 1996. Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge. C.A.U. GmbH, Daimlerstra. Germany.
- [168.] Weitzenfeld, H. 1996. Manual Básico de Evaluación de Impacto en el Ambiente y la Salud, de acciones proyectadas. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.
- [169.] Organización Panamericana de la Salud, OMS. Metepec. México.
- [170.] Wood, C. 1995. Environmental Impact Assessment, a comparative review. Longman Scientific and Technical, Longman Group Limited. Longman House Burnt Mill, Harlow. England.
- [171.] Wood, C. 1996. Evaluación de Impacto Ambiental: Un análisis comparativo de ocho sistemas de EIA. Centro de Estudios Públicos. Doc de Trabajo N° 247, Abril. Chile.
- [172.] Kil Seong Leea, Eun-Sung Chung, and Young-Oh Kima. 2008. Integrated watershed management for mitigating streamflow depletion in an urbanized watershed in Korea. Seoul National University.
- [173.] Kemp, R. 1990. Environmental Impact Assessment. Theory and practice. Journal of Rural Studies 6:448-449.
- [174.] Yager, R. y Filev D., "Generation of Fuzzy Rules by Mountain Clustering," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, Vol. 2, No. 3, 1994. p. 209-219.

- [175.] Ying, H., Ding, Y., LI, S. y Shao, S. Fuzzy systems as universal approximators. IEEE Trans. Syst., Man, Ciber – Parte A: Syst. Hum., Vol. 29. N. 5. 1999
- [176.] Young, L. 1990. Agricultural Policies in Industrial Countries and their Environmental Impacts: Applicability to and comparisons with developing nations. World Bank, Environment Working Paper No. 25. Washington, D.C.
- [177.] Zadeh, L. Fuzzy Sets. 1965. Inf. Control. Vol. 8. p. 338 – 353.

## **APÉNDICE**

APÉNDICE 1. MATRIZ PRINCIPAL DE IMPACTO DEL ANÁLISIS DEL MODELO IVAFIC FASE 1., Y SUS COMPONENTES DERIVADOS.

APÉNDICE 2. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO IVAFIC FASE 1., PARA LOS ESCENARIOS DE ESTUDIO.

APÉNDICE 3. ALGORITMO MATLAB DEL MODELO IVAFIC FASE 1.

APÉNDICE 4. RESULTADOS DE LA INTERACCIÓN SIG IVAFIC FASE 1., PARA EL ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL RÍO GARAGOA.

APÉNDICE 4.1. MAPA DE BIODIVERSIDAD

APÉNDICE 4.2. MAPA DE CURVAS ISOFIC

APÉNDICE 4.3. MAPA DE DIVISIÓN POLÍTICA

APÉNDICE 4.4. MAPA DE FACTORES ECONÓMICOS

APÉNDICE 4.5. MAPA DE GEOSISTEMAS

APÉNDICE 4.6. MAPA DE GEOFÉRICOS

APÉNDICE 4.7. MAPA DE INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

APÉNDICE 4.8. MAPA DE F. HIDROMETEOROLÓGICOS

APÉNDICE 4.9. MAPA DE FACTORES HISTÓRICOS

## **ANEXOS**

- ANEXO 1. DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO GARAGOA.
- ANEXO 2. FORMATO DE ENCUESTA Y LA REPRESENTACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS – MODELO IVAFIC.

## GLOSARIO

**Análisis físico-químico del agua:** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

**Análisis microbiológico del agua:** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

**Análisis organoléptico:** Se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua.

**AWWA:** Association Water Works American

**Calidad del agua:** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

**Capacidad hidráulica:** Caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.

**Contaminación del agua:** Alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

**EIA:** Evaluación de Impacto Ambiental.

**E:** Factor de extensión resultante del cociente entre el área de provincia sobre área total.

**Ec:** Factor de extensión corregido

**Efluente:** Flujo proveniente de un sistema hidráulico.

**Fuente de abastecimiento de agua:** Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.

**FI:** Factor de Impacto.

**FIC:** Factor de Impacto Corregido que mide cuantitativamente el Impacto Ambiental de una Cuenca.

**Gradiente de velocidad medio:** Raíz cuadrada de la potencia total disipada (P) en la unidad de volumen de una estructura hidráulica (V) dividida por la viscosidad absoluta del agua ( $\mu$ ).

**Impacto ambiental:** Afectación del entorno ocasionada por la realización de una obra.

**IVAFIC:** Modelo Sistémico para Evaluar Cuantitativamente el Impacto Ambiental y Determinar el Indicador de tipo Económico Ambiental.

**IVA:** Indicador de Valor Ambiental que relaciona variable económicas y el FIC.

**I:** Importancia de impacto.

**Lodo:** Contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueve durante los procesos de tratamiento.

**Material flotante:** Aquellos materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

**MATLAB:** Programa computacional de tipo estructural.

**Matriz de Ruta:** Evaluación Ambiental Realizada por la Comunidad

**Muestra compuesta de agua:** Integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, preparadas a partir de mezclas de volúmenes iguales o proporcionales al flujo durante el periodo de toma de muestras.

**Muestra puntual de agua:** Muestra tomada en un punto o lugar en un momento determinado.

**Norma de calidad del agua potable:** Valores de referencia admisibles para algunas características presentes en el agua potable, que proporcionan una base para estimar su calidad.

**ONU:** Organización de Naciones Unidas.

**Parámetros de control de un proceso:** Criterios preestablecidos que se utilizan como base para compararlos con los obtenidos en un proceso, con el fin de controlar o medir la eficiencia del mismo.

**Percepción Ambiental:** Asociado a participación Ciudadana.

**PIB Verde:** Producto Interno Bruto Verde.

**Polución del agua:** Alteración de las características organolépticas, físicas, químicas o microbiológicas del agua como resultado de las actividades humanas o procesos naturales.

**Porosidad:** Relación entre el volumen de los poros formados dentro de un medio filtrante y el volumen total del mismo.

**Pretratamiento:** Proceso previo que tiene como objetivo remover el material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento final.

**Red de distribución:** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.

**Registro de control de calidad:** Recopilación escrita de los resultados de los análisis del agua que se suministra a la población.

**Sedimentación:** Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

**Sensibilidad:** Razón entre el incremento en una lectura y el incremento en la variable que lo ocasiona.

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica.

**Sistema de adquisición de datos:** Conjunto de equipos que se adiciona a un computador con el propósito de permitirle recuperar señales externas convirtiéndolas en números.

**Sistema de control:** El sistema de control permite mantener variables de un proceso dentro de un rango de operación, tomando acciones a partir de comparar el valor deseado con el valor requerido. Un sistema de control está compuesto usualmente por los siguientes elementos Instrumentación de medición-transductor, transmisor, controlador, actuador y sistema de registro.

**Sistemas de control continuos:** Se caracterizan porque el sistema de control se diseña a partir del comportamiento dinámico del proceso. En estos casos la estrategia de control genera una señal que varía en el tiempo dentro de un rango continuo de valores. Ejemplos típicos son el control de una variable física como el cloro residual, utilizando para ello la velocidad de una bomba de dosificación, la cual puede asumir cualquier valor entre el límite inferior y superior de operación. Reguladores PID, algebraicos y redes de compensación son ejemplos típicos de sistemas de control continuos.

**Sistema de suministro de agua potable:** Conjunto de obras, equipos y materiales utilizados para la captación, aducción, conducción, tratamiento y distribución del agua potable para consumo humano.

**Sistema de conducción:** Conjunto de tuberías, ductos o canales que sirven para conducir un fluido.

**Sistema de potabilización:** Conjunto de procesos unitarios para purificar el agua y que tienen por objeto hacerla apta para el consumo humano.

**Sólidos disueltos:** Mezcla de un sólido (soluto) en un líquido solvente en forma homogénea.

**Sólidos suspendidos:** Pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas.

**Solubilidad:** Capacidad de una sustancia o soluto de mezclarse homogéneamente en un solvente para unas condiciones de presión y temperatura específicas.

**Subproductos de la desinfección (SPD):** Compuestos formados por la reacción del desinfectante con la materia orgánica o sustancia química preexistente en el agua.

**Sustancias flotantes:** Materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

**Sustancias húmicas:** Compuestos orgánicos responsables del color natural del agua, producidos por la extracción de sustancias orgánicas provenientes de la vegetación o por la solubilización de la materia orgánica del suelo.

**Tamaño efectivo:** Diámetro por debajo del cual se encuentra el 10% en peso seco del total de las partículas de una distribución granulométrica dada.

**Tanque de almacenamiento:** Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior.

**Tasa de aplicación superficial (carga superficial):** Relación entre el caudal y el área superficial de una determinada estructura hidráulica ( $m^3/m^2.día$ ).

**Tratamiento:** Conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en el Decreto 475 de 1998.

**Turbiedad:** Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

**UNESCO:** Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

**UICN:** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

**Valor admisible:** Valor establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua de consumo humano no representa riesgo para la salud del consumidor.

**Vigilancia de la calidad del agua:** Actividades realizadas por las autoridades competentes para comprobar, examinar e inspeccionar el cumplimiento de las normas de calidad del agua potable establecidas en el Decreto 475 de 1998.

**Zonas muertas:** Sitios en un reactor en donde no hay desplazamiento unidimensional de la masa de agua.

**WWAP:** Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos

**WPCF** : Water Pollution Control Federation