

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



## **FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

“Sistema Experto para el Diagnóstico y control de la contaminación de un tramo del cauce de un río.”

### **TESINA DE SEMINARIO**

Previa la obtención del Título de:

## **INGENIERO EN CIENCIAS COMPUTACIONALES ESPECIALIZACION SISTEMAS DE INFORMACION**

Presentado por:

José Roberto Muñoz Alvarado

Ángela Mercedes Yance Saltos

Wendy Tatiana Rojas Delgado

GUAYAQUIL – ECUADOR

2012

# AGRADECIMIENTO

A Dios, porque Él nos ha prestado salud e inteligencia necesaria para lograr tan grande empresa, luego a nuestros guías a lo largo de este proceso de grado, La Dra. Indira Nolivos Álvarez, al Ing. Carlos Jordán Villamar, al Dr. David Matamoros, al Dr. Vicente Riofrío, al Dr. Justo Huayamabe, y al Dr. Luis Domínguez; con su colaboración, obtuvimos información relevante para la elaboración del presente proyecto. A nuestros padres, por alentarnos de una manera incondicional, día y noche. A nuestros maestros por impartirnos los conocimientos necesarios para llegar hasta el nivel académico actual, y por último, pero sin restarle la importancia que se merece, a esta prestigiosa universidad a la que pertenecemos y que ha sido nuestro segundo hogar.

**José Roberto Muñoz Alvarado**  
**Ángela Mercedes Yance Saltos**  
**Wendy Tatiana Rojas Delgado**

# DEDICATORIA

Dedicamos la realización entera del presente trabajo en primera instancia a Dios, porque Él nos ha prestado la vida, salud y fuerza de voluntad necesarias para salir adelante; a todos nuestros familiares, en especial a nuestros muy apreciados y estimados padres, quienes siempre han estado allí, siendo nuestros pilares al apoyarnos moralmente, lo que nos ha dado energía para seguir en cada reto que se ha presentado.

A nuestros compañeros, los que compartiendo experiencias a lo largo de este periodo educativo, aparte de establecer lazos fraternos, han sido colegas leales y amigos sinceros.

Sinceramente, muchísimas gracias a todos.

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Dra. Indira Nolivos

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN

---

Ing. Carlos Jordán

PROFESOR DELEGADO POR EL DECANO DE LA FACULTAD

# DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

---

José Roberto Muñoz Alvarado

---

Ángela Mercedes Yance Saltos

---

Wendy Tatiana Rojas Delgado

# RESUMEN

El propósito del siguiente proyecto es el de desarrollar e implementar una aplicación que haciendo uso del conocimiento experto permita a un usuario interactuar con un ambiente natural a lo largo de un tramo de río, definiendo diferentes tipos de uso de suelo y evaluar las consecuencias que conlleve cada arreglo de usos de suelo escogidos en el nivel de contaminación generado por un compuesto en el agua, y las posibles medidas correctivas que se puedan tomar para reducir los niveles de contaminación en el cauce.

El presente trabajo incluye el desarrollo de una aplicación web de fácil acceso y manejo en la que se ilustre de forma interactiva los diferentes escenarios de dicha problemática, en los que el usuario podrá tener una interfaz amigable para la administración de los datos y la ejecución del modelo de la solución.

El conocimiento acerca de la dinámica del sistema natural en mención se encuentra estructurado en un modelo experto utilizando la técnica de árboles de decisión. Mediante dicho modelo se consolidó la información empírica recopilada para la construcción del sistema; y en donde se analizaron, evaluaron los datos para obtener los resultados por medio de las simulaciones.

Se espera que esta aplicación sirva como una herramienta de concienciación y transmisión de conocimientos de tal forma que contribuya a una mejor cultura ambiental.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ABREVIATURAS .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	XV
CAPÍTULO 1.....	1
1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.6 ALCANCE .....	4
CAPÍTULO 2.....	6
2. ANÁLISIS CONCEPTUAL .....	6
2.1 CONOCIMIENTOS BÁSICOS REFERENTES A LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL DE UN RIO: .....	6
2.2 CONCEPTOS DE CALIDAD DEL AGUA DE UN RIO: .....	9
2.2.1 MÉTRICAS PARA CALIDAD DE AGUA.....	9
2.2.2 NORMAS DE CRITERIO DE CALIDAD PARA USO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES, SUBTERRÁNEAS, MARÍTIMAS Y DE ESTUARIO	10
2.2.3 MODELO DE DECAIMIENTO EXPONENCIAL DE UN CONTAMINANTE.....	14
2.3 IMPACTO DEL USO DEL SUELO EN LA CALIDAD DEL AGUA .....	15
2.3.1 CONTAMINACIÓN PUNTUAL: .....	17

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	17
AGUAS RESIDUALES .....	17
2.3.2 CONTAMINACIÓN NO PUNTUAL: .....	18
2.3.2.1 ACTIVIDAD AGRÍCOLA.....	19
2.3.2.2 ACTIVIDAD GANADERA.....	19
2.3.3 RESERVAS ECOLÓGICAS .....	20
2.4 CONOCIMIENTOS REFERENTES A I.A. ....	24
2.4.1 SISTEMAS DE SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES (SSTD).....	24
2.4.2 ARBOLES DE DECISIÓN.....	26
2.4.3 SISTEMAS EXPERTOS .....	27
2.4.4 SISTEMAS EXPERTOS BASADOS EN REGLAS .....	28
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>29</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
3.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS FUNCIONALES Y NO FUNCIONALES.....	30
3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EXPERTO. ....	32
3.2.1 INGENIERÍA DEL CONOCIMIENTO. ....	32
3.3 MODELO CONCEPTUAL.....	36
3.3.1 DISEÑO DEL ÁRBOL DE DECISIÓN .....	40
3.3.2 MEDIDAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS .....	45
3.4 METODOLOGÍA DE RECOPIACIÓN DE CONOCIMIENTO .....	48
3.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	49
3.5.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL DESARROLLO DEL PROGRAMA.....	49
3.5.2 INTERFAZ GRÁFICA DE LA APLICACIÓN.....	50
3.5.3 DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DE OBJETOS.....	55
3.6 METODOLOGÍA DE LA ENCUESTA .....	59
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>



<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
4.1 VALIDACIÓN DE LA INTERFAZ DE LA APLICACIÓN “RIO LIMPIO” Y DEL MODELO EXPERTO QUE LA SUSTENTA CON EL EXPERTO.	63
4.2 PRUEBAS DEL SISTEMA CON USUARIOS.....	66
4.2.1 DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	67
4.2.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA ELABORADA .....	70
4.3 ESPECIFICACIÓN DE CASOS DE USO DEL SISTEMA.....	71

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **ANEXOS**

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Esquema para la circulación de las aguas superficiales y el flujo de las aguas subterráneas.....	18
Figura 2.- Fuentes puntuales y difusas de la contaminación de las aguas.....	20
Figura 3.- Esquema ilustrativo de los diversos usos de suelo del sistema.....	21
Figura 4.- Representación visual de los usos de suelo de la aplicación.....	22
Figura 5.- Esquema de un árbol de decisiones.....	27
Figura 6.- Esquema de funcionamiento de un Sistema Experto.....	28
Figura 7.- Diagrama de secuencia de pasos al elaborar el software.....	30
Figura 8.- Gráfico general del modelo conceptual del diseño del sistema.....	37
Figura 9.- Área del ramal principal del modelo conceptual.....	37
Figura 10.- Área del gráfico de la Carga ganadera.....	38
Figura 11.- Área del gráfico de la Carga urbana.....	38
Figura 12.- Área del gráfico de la Carga agrícola.....	39
Figura 13.- Sección principal del árbol de decisiones.....	41
Figura 14.- Ramal de uso de suelo agrícola.....	42
Figura 15.- Ramal de uso de suelo urbano.....	43

Figura 16.- Ramal de uso de suelo ganadero.....	44
Figura 17.- Medios de tratamiento residual para cada tipo de carga.....	45
Figura 18.- Planta de tratamiento de aguas residuales.....	47
Figura 19.- Esquema de protección de riberas.....	47
Figura 20.- Ventana de inicio del sitio web Rio Limpio.....	50
Figura 21.- Ventana inicial del applet.....	51
Figura 22.- Selección uso de suelo ganadero.....	52
Figura 23.- Selección uso de suelo agrícola.....	52
Figura 24.- Selección uso de suelo comunal.....	53
Figura 25.- Selección de los tres usos de suelo.....	53
Figura 26.- Validación del sistema referente al uso de suelo agrícola. ....	54
Figura 27.- Vista del panel de medidas posibles a tomar.....	55
Figura 28.- Resultados respecto a la facilidad de uso del sistema.....	67
Figura 29.- Resultados respecto al aspecto visual del mismo.....	67
Figura 30.- Resultados respecto a la memorabilidad del software.....	68
Figura 31.- Resultados respecto a utilidad de ayudas visuales del programa.....	68
Figura 32.- Especificación de los casos de uso mediante diagrama.....	71

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Límites permisibles para la interpretación de la calidad de las aguas. ....	11
Tabla 2.- Límites de acuerdo a la Normativa INEN de Ecuador.....	13
Tabla 3.- Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional .....	14
Tabla 4.- Lista de variables globales del sistema.....	32
Tabla 5.- Lista de variables del sistema clasificadas por uso de suelo .....	33
Tabla 6.- Descripción de escenarios utilizados en la evaluación de validación del Modelo experto con el Experto. ....	61
Tabla 7.-Resultados de la evaluación al experto respecto a diseño de interfaz.....	64
Tabla 8.- Resultados de la evaluación al experto respecto a la validez de dicho Modelo. ....	65
Tabla 9.- Resultados de la evaluación a un grupo de treinta encuestados respecto a interfaz. ....	66
Tabla 10.- Resultados de la evaluación a treinta usuarios respecto a Conocimientos de hidrología previo al uso del sistema .....	69
Tabla 11.- Resultados de la evaluación a treinta usuarios respecto a Conocimientos de hidrología luego del uso del sistema.....	69

Tabla 12.- Caso de uso 1.....	72
Tabla 13.- Caso de uso 2.....	72
Tabla 14.- Caso de uso 3.....	73

# ABREVIATURAS

**APP.**- Aplicación.

**CSS.**- Cascade Style Sheet (Hoja de estilo de cascada)

**D.B. O.**- Demanda bioquímica de Oxígeno

**GUI.**- Interfaz Gráfica de Usuario.

**I.A.**- Inteligencia Artificial.

**K.**- Potasio.

**N.**- Nitrógeno.

**O.M.S.**- Organización Mundial de la Salud.

**O.N.U.**- Organización de las Naciones Unidas.

**P.**- Fósforo.

**Q.**- Carga contaminante

**S.E.**- Sistema Experto.

**SSTD.**- Sistema de soporte a la toma de decisiones

# INTRODUCCIÓN

En nuestros días, la contaminación de los ríos por agentes químicos se ha convertido en uno de los problemas más graves para la ecología, cada vez materias extrañas tales como microorganismos, aguas residuales, desechos orgánicos producidos por los sectores Industriales, Agrícola, Pecuarios, y Comunitarios, afectan de manera negativa los caudales de los ríos.

Uno de los principales contaminantes químicos son los NITRATOS, constituyen uno de los grandes causantes de la contaminación de los ríos. La mayoría de los nitratos proceden de la urea y de otros fertilizantes, los que se filtran hacia los acuíferos y contaminan el agua, deben ser controlados debido a que su exceso produce daños a la salud de quienes los consuman.[1]

Por este motivo hemos desarrollado un Sistema Experto el cual permite encontrar cuales son los factores decisivos que conllevan a dicha contaminación para llegar a nuestro objetivo que es el de encontrar la solución más eficiente dentro de un conjunto de varias alternativas óptimas, considerando el impacto colateral en los sectores agrícola, pecuario y comunitario ubicados en las cercanías de dicho tramo hidrográfico y la costo-efectividad de dichas propuestas para lograr disminuir así la concentración de NITRATOS presentes en el agua, conservando así el cuidado de los recursos naturales de estos sectores.

Actualmente, existen pocas herramientas digitales interactivas, simuladores, tales como el juego “Civilization Simulator” de la Compañía TICALC [2], Freeciv [3], o los ya

conocidos Sims [4], que permiten el diagnóstico y la recomendación de soluciones para este tipo de problemas, de tal manera que los usuarios puedan aprender sobre buenas prácticas ambientales.

Este sistema realiza funciones similares a otros ya existentes, tales como el programa BioControl-Security [5], este tiene una gran importancia para sus usuarios finales, los que pueden ser: expertos en el tema, o personas en general que tengan algún interés en ésta problemática, porque así le permitirá a ellos realizar un análisis de posibles escenarios de contaminación fluvial sin tener que recurrir a expertos en el tema ni de realizar pruebas de campo ya que nuestro sistema tiene el conocimiento del Experto y de datos científicos recopilados de diversas publicaciones.

Para una mayor y mejor comprensión de nuestro sistema web, hemos estructurado a nuestro documento en capítulos:

En el Capítulo 1 detallamos de una manera explícita la problemática a tratar, así como alcances de nuestro producto, el Sistema Web Rio Limpio. En el capítulo 2 se realiza un recuento de tipo teórico acerca de herramientas usadas y detalles técnicos respecto a conocimientos usados en nuestro sistema. En el capítulo 3 se explica acerca del uso de las herramientas del conocimiento empleadas en la gestión de los datos usados para obtener las posibles soluciones a las situaciones planteadas al recopilar la información proporcionada por el usuario, y los diferentes métodos de representación del conocimiento y la manera en que se usan en nuestro sistema. En el capítulo 4 contiene el análisis de resultados, en la que se muestran valores obtenidos luego de haber empleado como soluciones las ofrecidas por la aplicación, luego de haber realizado un análisis y pruebas de los diversos escenarios de la misma. Luego



de esta sección se presentan las respectivas conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos relacionados a la presente temática.

# CAPÍTULO 1

## ANÁLISIS DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

Como sabemos, el agua es el elemento más fundamental del planeta, y hoy en día vemos que la contaminación fluvial está atentando no solo contra la supervivencia de los seres que habitan en el río y sus riveras, sino también a todos aquellos que beben de estas aguas, sean estos seres humanos, animales o plantas.

Se han realizado varios análisis a lo largo de estos últimos años para determinar cuáles son los contaminantes más nocivos que afectan a este frágil entorno ecológico; gracias a estos estudios podemos concluir que los nitratos actualmente constituyen la principal fuente de contaminación difusa de las aguas (superficiales y subterráneas). [6]

## **1.2 Definición del Problema**

Se entiende por contaminación del agua o contaminación del medio hídrico a la acción de introducir algún material o inducir condiciones sobre el agua que, de modo directo o indirecto, implique una alteración perjudicial a su calidad en relación a sus usos posteriores o servicios ambientales. [7]

Actualmente hay un tipo de contaminación, el cual ha empezado a cobrar una alta importancia, es el de "la contaminación de aguas por nitrato". Estos compuestos son una de las principales fuentes de polución a nivel de aguas superficiales y subterráneas. Dicha situación es un problema generalizado y que va en aumento que afecta a la calidad del agua. Los excesos de abonado con abonos nitrogenados, y su posterior arrastre, por las aguas de lluvia o riegos, están provocando concentraciones, elevadas de nitratos, en aguas superficiales y subterráneas. [8]

Las aguas con dosis de nitrato altas, pueden alterar la salud del ser humano.

Además pueden producir el crecimiento de las plantas acuáticas, que habitan en aguas, con elevadas dosis de nitrato.

## **1.3 Objetivo General**

La presente tesis tiene como objetivo proporcionar al usuario una herramienta gráfica que simule la dinámica de la calidad del agua de un río permitiéndole experimentar con diferentes arreglos de uso del suelo y medidas correctivas (plantas de tratamiento de agua, protección de riberas, etc) para encontrar la solución más óptima que disminuya la concentración de un determinado

contaminante presente en un tramo del caudal bajo una norma de calidad establecida, de acuerdo a valores de permisibilidad de dicho contaminante considerando la influencia de áreas agrícolas, pecuarias y de las poblaciones cercanas al río y la costo-efectividad de dichas soluciones, y así salvaguardar y preservar la integridad del ecosistema.

#### **1.4 Objetivos Específicos**

Para llegar al objetivo general se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar un modelo de decisión basado en el conocimiento del Experto del tema para presentar de una manera más realista las soluciones de dichas situaciones que el usuario provea.
- Integrar el sistema experto aplicando los métodos respectivos para el análisis de la solución.
- Proporcionar al usuario una interfaz web gráfica interactiva amigable que simule situaciones familiares a las q él observa en el entorno natural, como por ejemplo, una población con un extenso número de habitantes, o una granja con una cantidad reducida de animales, entre otras, que permita la visualización de diferentes escenarios de uso del suelo.

#### **1.5 Justificación**

El obtener una buena calidad de agua para la sostenibilidad del entorno ambiental es de suma importancia para los seres vivos, para su conservación y desarrollo; esto hace que nos veamos en la necesidad de elaborar un medio de control de

dicha calidad, en este caso, una herramienta interactiva digital, la cual sea de fácil aprendizaje y manejo.

Es por dicha necesidad existente que nosotros planteamos la alternativa de nuestro sistema, una aplicación que permita procesar información acerca de un contaminante (Nitrato) que afecta en el tramo de un río, causados por los residuos del mismo debido a diferentes usos de suelo.

Después de dicho proceso, con los datos obtenidos se podrán obtener diferentes alternativas de selección para el tratamiento del agua en dicho tramo y así disminuir los niveles de contaminación que lleguen a una reserva natural.

## **1.6 Alcance**

Como alcance de nuestro sistema de software, está el poder realizar análisis cercanos a situaciones más cotidianas y realistas, y así poder brindar posibles soluciones acordes a dichos datos, los que pueden servir de ilustración para usarse en un ambiente real, y no solamente en situaciones simuladas con variables controladas, como se realiza en esta fase de la aplicación.

Otro planteamiento de alcance es el de crear una conciencia social y ecológica entre los usuarios del mismo, a través de la información que se les provee a estos en la página web de la aplicación, respecto a contaminantes, terminología empleada, y medidas para solucionar esta situación que aqueja a muchas comunidades en diversas partes de nuestro país y muchos otros.

Este proyecto básicamente muestra diferentes alternativas de soluciones para disminuir el nivel de contaminación de un tramo de un río con el objetivo de

mantener un balance ecológico con los niveles de contaminación tolerables por una reserva natural ubicado en el tramo final de análisis.

Por otra parte, durante el proceso de desarrollo de la aplicación, se pudieron observar algunas limitaciones. Como una de ellas puede mencionarse la gran cantidad de conocimientos acerca de temas relativos a hidrología y ciencias afines, los cuales son requeridos para una correcta elaboración de la aplicación, y por cuestiones de tiempo no han podido ser analizados a cabalidad.

Debido a ello, y al gran número de variables que se requeriría analizar en el caso de plantear la observación en un entorno real, no hacemos mención a variables que serán revisadas conceptualmente a lo largo de los capítulos siguientes del presente documento, como nivel del caudal, modo de transporte y transformación del contaminante, para efectos prácticos y para mayor comprensión y facilidad de análisis por parte de los usuarios del mismo.

# CAPÍTULO 2

## **ANÁLISIS CONCEPTUAL**

En esta sección del documento mencionaremos algunas definiciones importantes respecto a conceptos acerca de los temas abarcados a lo largo del desarrollo de nuestro sistema de software, así como una descripción de las herramientas usadas en la elaboración de nuestra aplicación web, clasificándolas en herramientas de desarrollo de software, y de conocimiento, para de esta manera familiarizarnos con cada uno de ellos.

### **2.1 Conocimientos básicos referentes a la hidrología superficial de un río:**

Se entiende por contaminación del agua o contaminación del medio hídrico a la acción de introducir algún material químico o biológico nocivo e inducir

condiciones sobre el agua que, de modo directo o indirecto, implique una alteración perjudicial a su calidad en relación a sus usos posteriores o servicios ambientales.

Actualmente hay un tipo de contaminación, que ha empezado a cobrar una alta importancia, es el caso de "la contaminación de aguas por nitrato". Los excesos de abonado con abonos nitrogenados, y su posterior arrastre, por las aguas de lluvia o riegos, están provocando concentraciones, elevadas de nitratos, en **aguas superficiales<sup>1</sup> y subterráneas.<sup>2</sup>**

Aunque pueden ser muy diversas, se asocian mayoritariamente a actividades agrícolas y ganaderas, aunque en determinadas áreas, también pueden aparecer asociadas a ciertas actividades industriales, especialmente las relacionadas con el sector agrícola. Las posibles fuentes para contaminación por nitratos incluyen las aguas de alcantarilla y desechos de animales, fertilizantes, nitrógeno natural desde escorrentías del suelo, y algunas prácticas industriales. Los nitratos pueden ingresar a un ecosistema acuático

---

<sup>1</sup> Es toda agua del subsuelo, que se encuentra en la zona de saturación (se sitúa debajo del nivel freático donde todos los espacios abiertos están llenos con agua, con una presión igual o mayor que la atmosférica).

<sup>2</sup> Toda aquella agua que fluye o almacena en la superficie de un terreno.



desde plantas dañadas de tratamiento de aguas servidas, tanques sépticos mal contruidos, esorrentías de áreas para la alimentación animal, esorrentías de granjas fertilizadas y áreas de cultivo, descargas industriales que contienen inhibidores de corrosión, y esorrentías de suelos erosionados. No obstante, también existe una contaminación por nitratos de tipo puntual. En este caso la fuente de contaminación es más fácil de identificar ya que se suelen localizar en zonas de extensión restringida y frecuentemente se asocian con vertidos urbanos o industriales. [9]

En estos últimos tiempos, las personas han incrementado el uso de los nitratos en su vida cotidiana, lo cual ha ido generado diversos efectos, la mayor parte de estos adversos en la salud y el ambiente.

Se ha aumentado el uso de nitritos y nitratos en la industria alimenticia, como agentes conservantes en la comida; esto causa un aumento considerable en su concentración en dichos elementos, afectando de algún modo a quienes consuman estos productos. La comida rica en compuestos de nitrógeno usualmente puede causar una pérdida en el transporte de oxígeno en la sangre, lo que es causante de serios problemas en el sector ganadero, ya que usualmente las vacas son alimentadas con estos productos.

Las aguas con dosis de nitrato altas, pueden alterar la salud del ser humano.

En estas, el consumo de concentraciones elevadas de Nitrógeno afecta a la glándula tiroidea creando un déficit en el almacenamiento de vitamina A, la cual ayuda a la formación y mantenimiento de dientes y tejidos blandos. [10]

Sin la cantidad adecuada de dicha vitamina, las personas son más propensas a tener problemas visuales e infecciosos. [11, 12]

Además pueden producir el crecimiento de las plantas acuáticas, que habitan en aguas, con elevadas dosis de nitrato.

## **2.2 Conceptos de calidad del agua de un río:**

### **2.2.1 Métricas para calidad de agua**

#### **Carga promedio**

Es el producto de la concentración promedio por el caudal promedio, determinados en el mismo sitio.

#### **Carga máxima permisible**

Es el límite de carga que puede ser aceptado en la descarga a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado.

#### **Carga contaminante**

Cantidad de un contaminante aportada en una descarga de aguas residuales, expresada en unidades de masa por unidad de tiempo.

## 2.2.2 Normas de Criterio de Calidad para uso de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y de estuario

Los criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, aguas marinas y de estuario, se presentan a continuación:

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	
		Agua Marina	Agua Dulce
Clorobenceno (2-)	µg/l		15
Clorofenol (2-)	µg/l	30	7
Diclorobenceno	µg/l	2	2.5
Diclorobenceno (1,4-)	µg/l		4
Dicloroetano (1,2-)	µg/l	113	200
Dicloetilenos	µg/l	224	12
Dicloropropanos	µg/l	31	57
Dicloropropenos	µg/l	0.8	2
Difenil Hidrazina (1,2)	µg/l		0.3
Dimetilfenol (2,4-)	µg/l		2
Dodecacloro + Nonacloro	µg/l	0.001	
Etilbenceno	µg/l	0.4	700
Fluoruro total	µg/l	1400	4
Hexaclorociclopentadieno	µg/l	0.03	0.1
Hexaclorociclopentadieno	µg/l	0.007	0.05
Naftaleno	µg/l	2	6
Nitritos	µg/l	1000	60
Nitrobenceno	µg/l	7	27
Nitrobenceno	µg/l	5	0.2

<b>PCB (total)</b>	µg/l	0.03	0.001
<b>Pentaclorobenceno</b>	µg/l		0.03
<b>Pentacloroetano</b>	µg/l	3	4
<b>P-clorometacresol</b>	µg/l		0.03
<b>Talio (total)</b>	µg/l	2	0.4
<b>Tetraclorobenceno (1,2,3,4-)</b>			
	µg/l		0.1
<b>Tetraclorobenceno (1,2,4,5-)</b>	µg/l		0.15
<b>Tetracloroetano (1,1,2,2-)</b>	µg/l	9	24
<b>Tetracloroetileno</b>	µg/l	5	260
<b>Tetraclorofenoles</b>	µg/l	0.5	1
<b>Tetracloruro de carbono</b>	µg/l	50	35
<b>Tolueno</b>	µg/l	50	300
<b>Toxafeno</b>	µg/l	0.005	0
<b>Tricloroetano (1,1,1)</b>	µg/l	31	18
<b>Tricloroetano (1,1,2)</b>	µg/l		94
<b>Tricloroetileno</b>	µg/l	2	45
<b>Uranio (total)</b>	µg/l	500	20
<b>Vanadio (total)</b>	µg/l		100

**Tabla 1.- Límites permisibles para la interpretación de la calidad de las aguas.**

Otra normativa que tiene relación al control de agua, es la normativa INEN (Instituto Nacional de Normalización), que es una norma técnica obligatoria ecuatoriana, la cual establece los requisitos que debe cumplir el agua para consumo humano que se consume en el Ecuador, con el propósito de prevenir riesgos para la salud, la vida, la seguridad, el medio ambiente y las prácticas que puedan inducir a error a los usuarios.

A continuación se presentan algunos de los requisitos que se establecen en dicha norma:

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límites Máximos Permisibles</b>
<b>Inorganicos</b>		
<b>Manganeso, Mn</b>	Mg/l	0.1
<b>Hierro, Fe</b>	Mg/l	0.3
<b>Sulfatos, SO<sub>4</sub></b>	Mg/l	200
<b>Cloruros, Cl</b>	Mg/l	250
<b>Nitratos, N-NO<sub>2</sub></b>	Mg/l	10
<b>Dureza total, CaCO<sub>3</sub></b>	Mg/l	0
<b>Arsénico, As</b>	Mg/l	300
<b>Cromo, Cr cromo hexavalente</b>	Mg/l	0.01
<b>Cobre, Cu</b>	Mg/l	0.003
<b>Cianuros, CN</b>	Mg/l	0.05
<b>Plomo, Pb</b>	Mg/l	1
<b>Mercurio, Hg</b>	Mg/l	0
<b>Selenio, Se</b>	Mg/l	0.01
<b>Cloro libre residual *</b>	Mg/l	0.3-1.5
<b>Aluminio, Al</b>	Mg/l	0.25
<b>Aluminio, (N-NH<sub>3</sub>)</b>	Mg/l	1
<b>Antimonio, Sb</b>	Mg/l	0.005
<b>Bario, Ba</b>	Mg/l	0.7
<b>Boro, B</b>	Mg/l	0.3
<b>Cobalto, Co</b>	Mg/l	0.2
<b>Estaño, Sn</b>	Mg/l	0.1
<b>Fosforo, (P-PO<sub>4</sub>)</b>	Mg/l	0.1

<b>Litio, Li</b>	Mg/l	0.2
<b>Molibdeno, MO</b>	Mg/l	0.07
<b>Niquel, Ni</b>	Mg/l	0.02
<b>Plata, Ag</b>	Mg/l	0.13
<b>Potasio, K</b>	Mg/l	20
<b>Sodio, Na</b>	Mg/l	200
<b>Vanadio, V</b>	Mg/l	6
<b>Zinc, Zn</b>	Mg/l	3
<b>Fluor, F</b>	Mg/l	1.5

**Tabla 2.- Límites de acuerdo a la Normativa INEN de Ecuador**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración PCBs totales	µg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural + 0 – 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Productos para la desinfección		mg/l	0,1
Hidrocarburos aromáticos			
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	µg/l	10,0
Benzo(a) pireno		µg/l	0,01
Etilbenceno		µg/l	700
Estireno		µg/l	100
Tolueno		µg/l	1 000

**Tabla 3.- Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional [13]**

### 2.2.3 Modelo de decaimiento exponencial de un contaminante

Para el cálculo de algunas operaciones en el sistema se usaron algunos procedimientos matemáticos con el objetivo de lograr resultados más precisos. Uno de los modelos usados es el de decaimiento de la concentración de un agente químico a través del cauce de un río.

$$C_f = C_o e^{-Kt}$$

Donde las variables en esta ecuación tienen la siguiente denominación:

Cf representa el nivel de contaminación final después de haber fluido entre dos tramos de río.

Co es el valor de concentración del contaminante que se pudo medir al inicio de dicho tramo de río.

K es un valor el cual es una constante y se regula por medio de instituciones de control ambiental, este parámetro tiene como factores de influencia el tipo de suelo, la temperatura del agua, entre otros

T es el valor de la temperatura que se puede medir en dicho tramo de río. [14]

### **2.3 Impacto del uso del suelo en la calidad del agua**

La máxima preocupación en torno a la contaminación del agua por nitratos estriba en el efecto que puede tener sobre la salud humana la ingesta de dicho químico, disueltos en el agua o bien en los alimentos. Aunque los nitratos son un producto normal del metabolismo humano, el agua con altas concentraciones en nitratos representa un riesgo para la salud, especialmente en los niños. Si se bebe agua con elevadas concentraciones de nitratos la acción de determinados microorganismos en el estómago puede transformar los nitratos en nitritos, que al ser absorbido en la sangre convierte a la



hemoglobina en metahemoglobina<sup>3</sup>. Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible, si puede llegar a provocar la muerte, especialmente en niños ("síndrome del bebé azul"). Pero también los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas<sup>4</sup> compuestos que pueden ser cancerígenos. [10]

La Organización Mundial de la Salud (OMS) fija el límite de nitrato en el agua de consumo humano en 50 mg/l de nitrato (como N). [11] En cambio, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente Norteamérica (EPA) sitúa este límite en 10 mg/l de nitrato. [12] Por su parte, la Comunidad Europea y siguiendo sus directrices, el Ministerio de Sanidad español fijan los niveles máximos permitidos de nitratos en 50mg/l de N. [9]

La contaminación de los ríos puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre.

Es importante mencionar las actividades principales humanas que generan contaminación de las aguas subterráneas, en este caso se citan las

---

<sup>3</sup> Es una sustancia que se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre.

<sup>4</sup> Son compuestos orgánicos que generalmente se originan debido a la reacción de una amina secundaria con nitritos en un medio muy ácido (por ejemplo, dentro del estómago).

actividades agrícola, urbana y ganadera, clasificándolas por tipo: puntual y no puntual.

### **2.3.1 Contaminación Puntual:**

#### **Residuos sólidos urbanos**

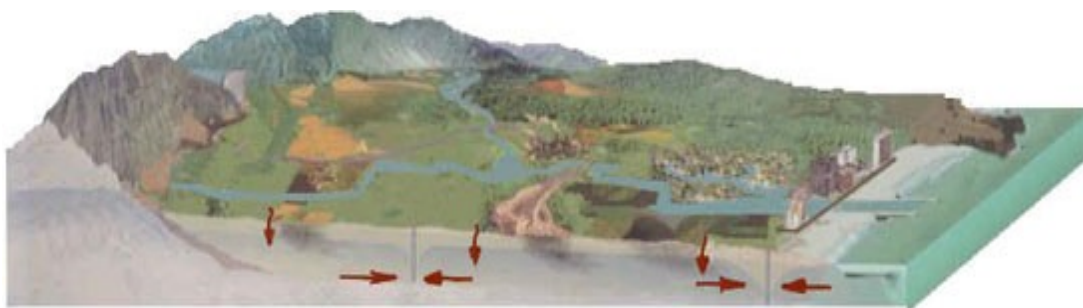
Normalmente depositados en superficie, donde el estrato se encuentra bajo tierra y no permite filtrar el agua y arrastra todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

#### **Aguas residuales**

Son las que se vierten a cauces superficiales o en fosas sépticas. Aportan diversas sustancias contaminantes: Detergentes, Nitratos, Bacterias y virus, materia orgánica disuelta.

### 2.3.2 Contaminación no puntual:

La **contaminación no puntual o difusa**<sup>5</sup> tiende a adquirir cada vez mayor protagonismo en la degradación de los recursos hídricos, ya que cuanto mayor es el grado de depuración y limitación de los vertidos puntuales, mayor es el peso relativo de este tipo de contaminación, sobre todo si se tiene en cuenta que en determinadas cuencas hidrográficas la aportación de nitrógeno de origen difuso representa más del 50% del total de la cuenca, como puede ser observado en la Figura. [15]



**Figura 1.- Esquema para la circulación de las aguas superficiales y el flujo de las aguas subterráneas**

---

<sup>5</sup> Cuando existe una multiplicidad de pequeñas fuentes de descargas, cuyos aportes no son localizados ni continuos, y cuyo acceso a los cursos o cuerpos de agua es por derrame o filtración a través de los suelos.

### 2.3.2.1 Actividad agrícola

Muy difíciles de controlar al tratarse de contaminación difusa sobre grandes extensiones.

Esta contribuye a sumar contaminantes por medio de agentes tales como:

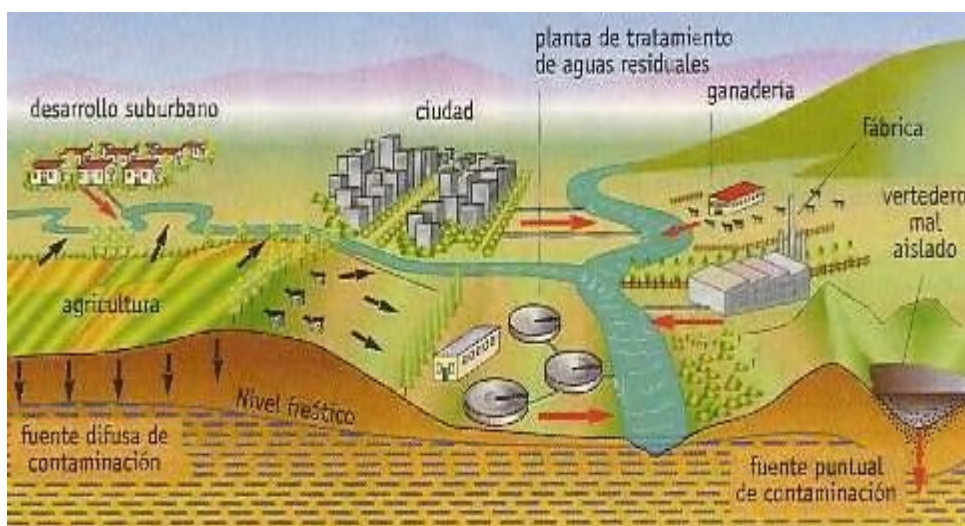
**Fertilizantes:** Aportan al agua compuesto de N, P y K. En algunos casos, se ha calculado que hasta 50% de los nitratos usados como fertilizantes llega al acuífero por infiltración.

**Plaguicidas:** Incluyen insecticidas, fungicidas, acaricidas, nematocidas, rodenticidas, bactericidas, herbicidas. Se han estudiado distintos tipos de absorción, de degradación y la vida media de diversos pesticidas orgánicos. La persistencia oscila de una semana a varios años.

### 2.3.2.2 Actividad Ganadera

De los residuos de los animales proceden compuestos nitrogenados, que normalmente ocasionan problemas importantes. Siendo uno de las más graves los generados por las granjas pecuarias. Estos afectan a la calidad de las aguas subterráneas, las

cuales son usadas para fines domésticos y riego en muchas partes del mundo. [16]

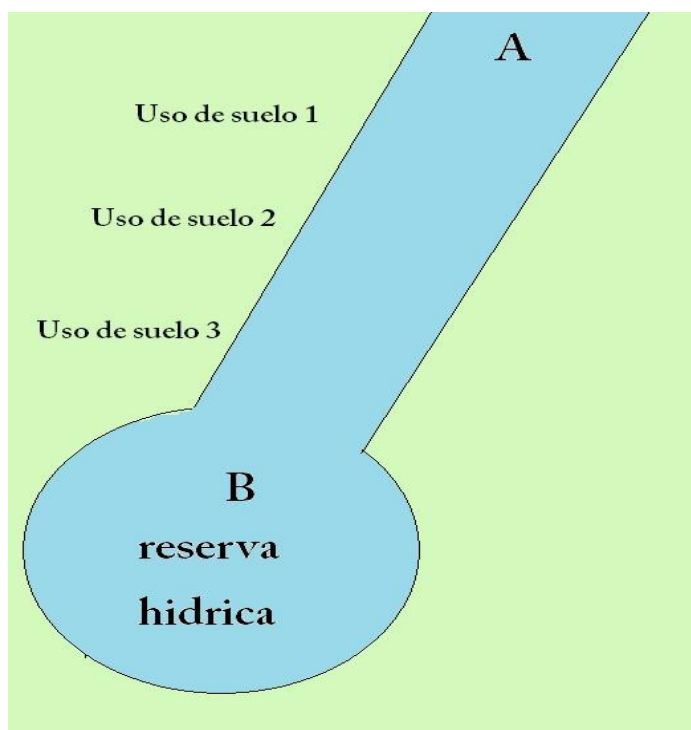


**Figura 2.- Fuentes puntuales y difusas de la contaminación de las aguas.**

### 2.3.3 Reservas Ecológicas

Se entiende por uso del agua para la preservación de flora y fauna, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.

El proceso de estudio de las consecuencias de la contaminación para nuestra aplicación inicia en un tramo de río que enmarca dos puntos que hemos llamado A y B.

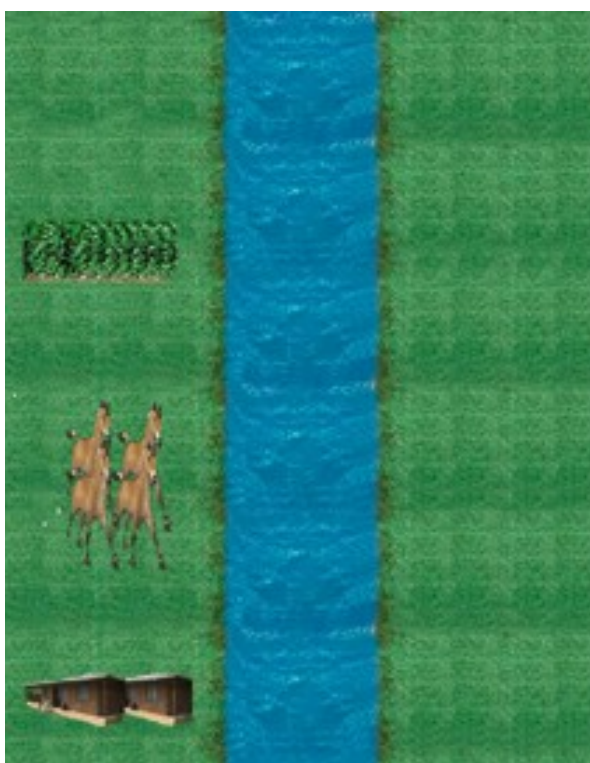


**Figura 3.- Esquema ilustrativo de los diversos usos de suelo del sistema.**

Entre estos dos existen diferentes usos de suelo, es decir, la tierra de las riveras de dicho río se utilizan con diferentes propósitos.

Un uso de suelo se define como cualquier clase de utilización por parte de las personas de una extensión determinada de terreno, tomando en cuenta también al subsuelo del mismo. [17]

Cada uso de suelo que se expone en nuestro planteamiento situacional trae consigo diversos agentes contaminantes, los cuales afectan en una cantidad menor o mayor a la integridad química de la composición del agua del cauce mencionado.



**Figura 4.- Representación visual de los usos de suelo de la aplicación**

En nuestro análisis, para fines demostrativos, hemos considerado el uso de tres posibles escenarios:

Uno de ellos es el uso de suelo ganadero, que involucra granjas pecuarias; de animales tales como ganado bovino, ovino, aviar, entre otros.

Otro uso de suelo considerado para el estudio realizado es el suelo agrícola, y para realizar un análisis un poco más coherente, hemos decidido agregar a los procesos de obtención de datos un factor importante que normalmente afecta a los cultivos en una zona, tal como lo es el tipo de suelo de cultivo, que para nuestro caso son arcilloso, limoso y arenoso.

De la misma forma se ha tomado en cuenta la contaminación que podría generar un asentamiento poblacional en el borde de nuestro río hipotético y los diversos niveles de polución que se producirían dependiendo del tamaño de la población analizada.

En el entorno de la herramienta digital se tiene como objetivo analizar toda la carga contaminante posiblemente generada a lo largo de este trayecto del río, la cual va a desembocar en una reserva hidrológica hipotética, ubicada en el punto B.

En las reservas naturales, debido al exceso de nitratos, se suelen dar comúnmente problemas como el de la eutrofización, la cual consiste en la proliferación excesiva de algas, lechuguines y más especies de flora



acuática, las cuales se nutren de este compuesto y a su vez, consumen el oxígeno del agua, con lo que afectan al desarrollo de las demás especies de dicho ecosistema, y de este modo merman las cantidades de este elemento necesario para la vida en dicho entorno.

## **2.4 Conocimientos referentes a I.A.**

### **2.4.1 Sistemas de soporte a la Toma de decisiones (SSTD)**

Para poder entender la importancia de la aplicación que desarrollamos, es necesario tener una noción de su definición.

En términos generales, se puede decir que un sistema de apoyo a la toma de decisiones es una herramienta o grupo de herramientas, las cuales están diseñadas con el objeto de recopilar de una forma oportuna y eficiente la información que sea requerida en el proceso de la toma de decisiones, las que generalmente son no estructuradas y repetitivas bajo un ambiente de incertidumbre y la limitante del tiempo para tomar la misma.

En este grupo de sistemas se pueden mencionar algunas características generales:

La información que se obtiene como resultado se usa como apoyo a las decisiones a tomarse en los mandos intermedios y a nivel administrativo en las compañías.

Suelen ser implementados después de la implantación en la compañía de los sistemas transaccionales de mayor importancia de la misma, debido a que estos últimamente mencionados constituyen la fuente de datos para los SSTD.

Realizan gran cantidad de cálculos, en contraste a las pocas variables de entrada que requieren y a las pocas salidas que generan.

No significan un ahorro sustancial en mano de obra, por lo que en términos económicos, es a veces difícil justificar su implementación.

Son sistemas inteligentes dirigidos a usuarios finales, y debido a esto, están diseñados de una manera sencilla de usar y con interfaces graficas amigables, simples y fáciles de aprender.

El proceso de toma de decisiones.- Este proceso es la secuencia de pasos que realiza cada SSTD para encontrar las soluciones dadas las premisas y la situación:

- Análisis e identificación de restricciones

- Análisis e identificación de las posibles alternativas de solución al problema.
- Recopilación de datos importantes.
- Calculo de las alternativas a seguir.
- Evaluación de dichas alternativas.
- Selección de la alternativa más eficiente y la consiguiente toma de la decisión.[18]

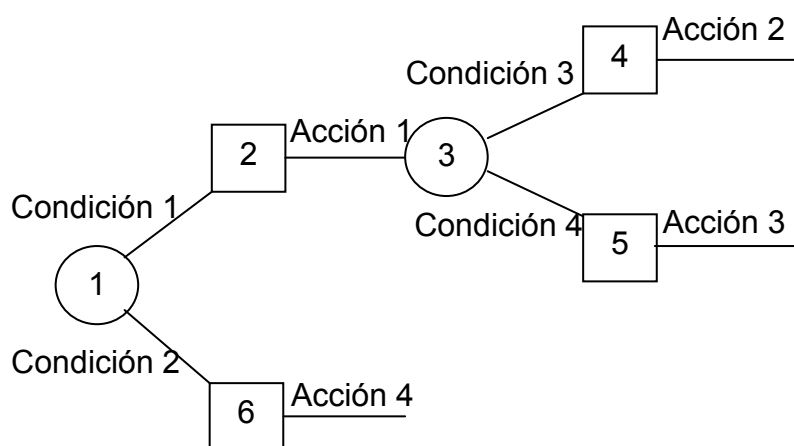
#### **2.4.2 Árboles de decisión**

El árbol de decisión es una manera gráfica de representar de una manera estructurada y secuencial las condiciones y acciones en un problema dado, basadas en el uso de resultados y probabilidades asociadas a las mismas; en este se muestra qué condiciones se toman en cuenta en primer lugar, en segundo lugar y así. Este método permite mostrar la relación existente entre cada condición propuesta y el grupo de posibles acciones aceptables asociadas a cada una de dichas condiciones. [19, 20]

Un árbol de decisiones es generalmente una estructura binaria, sin querer decir que no puede haber árboles que permitan tomar una entre tres o más decisiones. [21]

Entre las ventajas de usar este sistema se pueden mencionar:

- Facilita la interpretación de la decisión que se tome.
- Brinda un alto grado de comprensión del conocimiento que se utilice al tomar la decisión.
- Explica el comportamiento referente a una tarea de decisión en particular.
- Acorta la cantidad de variables independientes en el proceso de la toma de decisión.



**Figura 5.- Esquema de un árbol de decisiones**

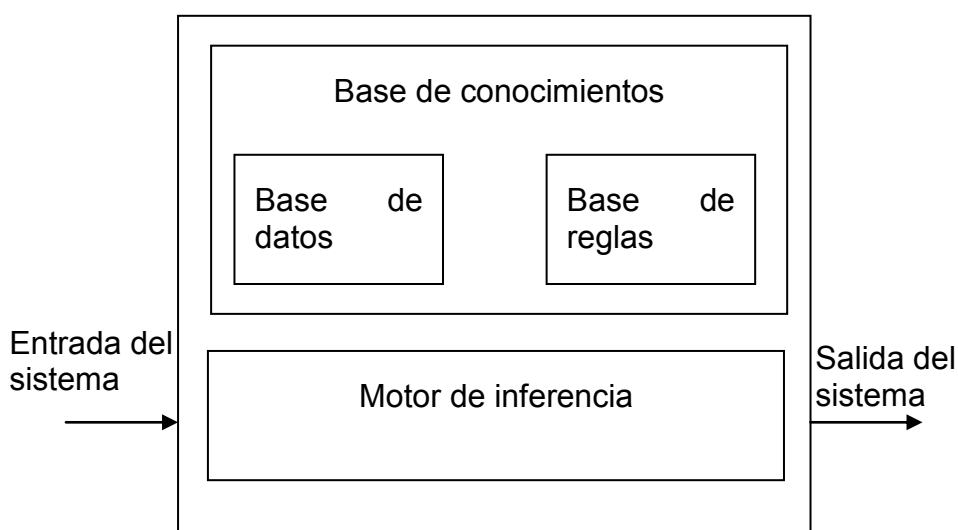
### 2.4.3 Sistemas expertos

Un sistema experto (S.E) es aquel que está en la capacidad de imitar al comportamiento de un experto en una determinada área de conocimiento, con el objetivo de mejorar la calidad y la eficiencia en las respuestas obtenidas y mejorar la productividad del experto. [22]

#### 2.4.4 Sistemas expertos basados en reglas

Este modelo de representación de conocimientos es muy ampliamente usado por ser apropiado en situaciones en las que el conocimiento a representarse surge de modo natural y estructurado a manera de reglas.

Estos sistemas reciben el conocimiento de los factores que originan una problemática para luego de pasar por un análisis el cual lo realiza un motor de inferencia, obtener una posible solución a dicha situación.



**Figura 6.- Esquema de funcionamiento de un Sistema Experto**

Dicho sistema de resolución de problemas tiene los siguientes elementos:

- Una base de hechos.
- Una base de reglas o conocimiento del sistema
- Una máquina deductiva llamada también conocida como motor de inferencia, el cual procede a tomar las premisas. [23]

# CAPÍTULO 3

## **3 METODOLOGIA**

En esta sección nos referimos a los elementos y medios utilizados a lo largo del proceso de elaboración de software para lograr la consecución del fin requerido. Hemos usado para ello diversas herramientas orientadas al desarrollo de la interfaz y otras dedicadas a la obtención del conocimiento, las que serán mencionadas en el transcurso de la presente sección.

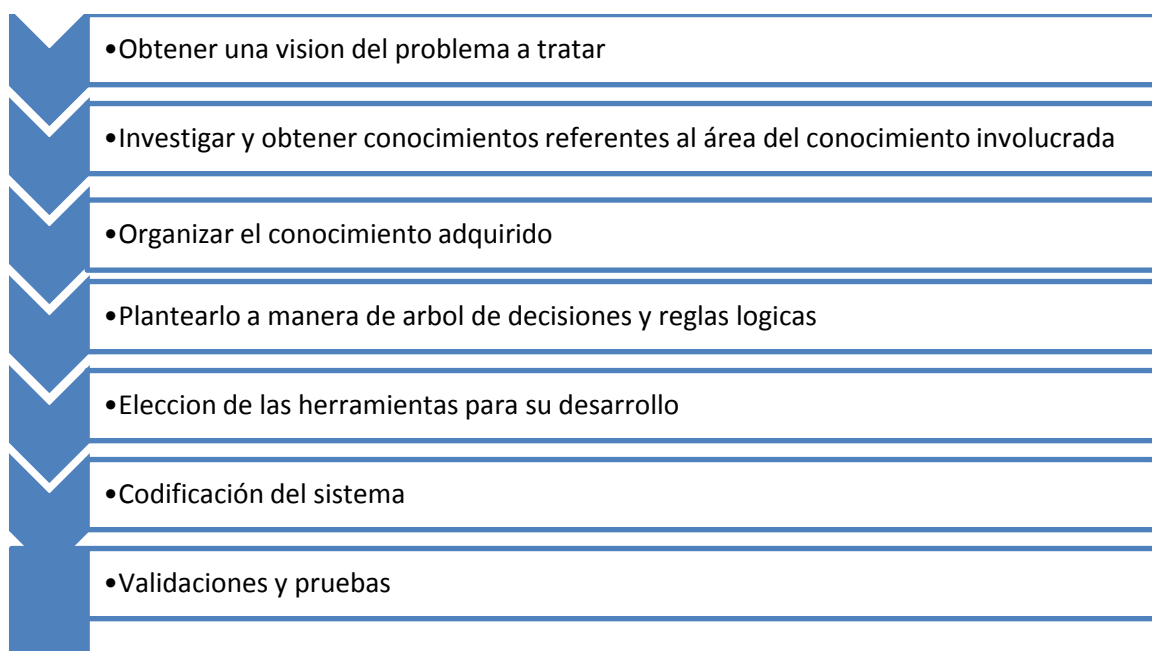
En nuestro sistema experto necesitamos evaluar de una manera eficiente cuan efectivo es el mismo respecto al tema en cuestión.

Es por ello que usamos herramientas de análisis para lograr este objetivo, y así, dados los resultados, poder llegar a soluciones eficientes tomando las medidas más acertadas para cada situación posible.

### 3.1 Análisis de requerimientos funcionales y no funcionales

Como una definición previa podemos citar la de requerimiento: “Un requerimiento es una característica la cual el sistema debe tener o una restricción la que el mismo debe satisfacer para ser aceptada por el usuario final”. [24]

Como primer paso en la construcción de nuestro programa, se requirió el estructurar una secuencia ordenada de procesos a seguir con el objetivo de llevar una agenda clara de planes a cumplir en cada etapa desde la concepción de la idea hasta el desarrollo de pruebas del sistema.



**Figura 7.- Diagrama de secuencia de pasos al elaborar el software**

Para poder elaborar de una manera adecuada el mismo, organizamos estos requerimientos en dos categorías, los funcionales y los no funcionales:

**Requisitos funcionales:**

- Poder ingresar los parámetros adecuados para realizar los cálculos pertinentes respecto a los niveles de concentración y carga en cada uso de suelo.
- Poder representar visualmente dicha toma de datos y el diagnóstico dado por la aplicación.
- Elegir la alternativa más viable, basada en las sugerencias del sistema.

**Requisitos no funcionales:**

- Diseñar e implementar una interfaz gráfica amigable al usuario.
- Contar con un tamaño y diseño estandarizado para todas las ventanas de interacción.
- Utilizar un motor de inferencia para la auto alimentación del sistema experto.



## 3.2 Construcción del modelo experto.

### 3.2.1 Ingeniería del conocimiento.

#### Identificación de variables y métodos

Al realizar un análisis detallado a la problemática dada, pudimos observar cuales eran las variables las cuales nos ayudaron a recopilar la información requerida para efectos de realizar todos los cálculos pertinentes y así dar posibles soluciones a tomarse para la resolución del problema dado.

Se pudieron notar variables generales para todos los usos de suelo, y así mismo, variables específicas para cada uno de los mismos.

Entre las variables de tipo global podemos mencionar:

Variable	Unidades	Descripción general
<b>Tipo de suelo</b>		Las condiciones físicas de la estructura del suelo, en nuestro caso puede ser arcilloso, arenoso o limoso
<b>Temperatura del agua</b>	Grados centígrado	
<b>Caudal hídrico</b>	Metro cubico/segundo	La cantidad de volumen de agua que pasa por un punto en un determinado intervalo de tiempo
<b>Presupuesto</b>	dólares	La cantidad de dinero que se dispone para poder tomar medidas pertinentes en caso sea necesario

**Tabla 4.- Lista de variables globales del sistema**

Vale acotar que para nuestro caso específico, tomamos valores referenciales de caudal de ríos de la provincia del Guayas. [25]

A su vez, por cada uso de suelo podemos reconocer y citar sus respectivas variables de entrada:

Variable	Uso de suelo	Unidades	Descripción general
<b>Tipo de cultivo</b>	Agrícola		Variedad de planta a sembrarse de acuerdo al tipo de terreno
<b>Área de siembra total</b>	Agrícola	Metro cuadrado	La máxima cantidad de terreno disponible para la siembra.
<b>Área neta de cultivo</b>	Agrícola	Metro cuadrado	La cantidad neta de dicha área, que se utilice para la siembra.
<b>Tipo de ganado criarse</b>	Ganadero		Variedad de animal a criarse.
<b>Área de granja total</b>	Ganadero	Metro cuadrado	La máxima cantidad de terreno de crianza.
<b>Área neta de crianza</b>	Ganadero	Metro cuadrado	La cantidad neta de dicha área, que se utilice para la crianza.
<b>Animales por granja</b>	Ganadero		La cantidad de animales que se pueden mantener en una granja.
<b>Granjas en terreno</b>	Ganadero		Numero de granjas que se pueden ubicar en la extensión de terreno.
<b>Habitantes</b>	Urbano		Cantidad de personas que pueden habitar un terreno dado.
<b>Área poblacional</b>	Urbano	Metro cuadrado	Extensión de terreno en el que se asienta la población.

**Tabla 5.- Lista de variables del sistema clasificadas por uso de suelo**

Del mismo modo hay variables internas las cuales son inherentes de la aplicación, como por ejemplo el valor de permisibilidad de la carga del contaminante, dato dado por el Estándar de Calidad INEN, y cuyo valor es de diez miligramos sobre litro.

Dados dichos valores, se procedió a realizar el cálculo de los valores de concentración en cada uno de los diferentes usos de suelo, para en lo siguiente obtener los valores de carga por cada uno de los mismos, usando la ecuación:

$$\textit{Carga} = \textit{Caudal} * \textit{Concentración}$$

Para en este modo realizar nuestro análisis basados en las cargas contaminantes.

En el modelo expuesto en nuestro sistema, evaluamos las cargas que se obtengan de cada uso de suelo diferente, tomando en cuenta las concentraciones que se generen en los previamente mencionados.

Para calcular el valor de la concentración en cada uso de suelo nos basamos en los parámetros pedidos como datos de entrada en la ventana de nuestro sistema.

Para el caso del uso de suelo agrícola, se debe tener en cuenta el tipo de cultivo y la cantidad de terreno en la que se vaya a realizar el sembrío, con estos datos calculamos el ya mencionado dato de la concentración.

En lo referente al uso de suelo comunal, nos basamos en la cantidad de personas por hectárea, las cuales van a generar una cierta concentración

de dicho contaminante, lo que será nuestro dato para los cálculos pertinentes.

Acerca del uso de suelo ganadero, se procedió analizando el tipo de animal elegido en la aplicación y la cantidad de estos especímenes por granja, y la cantidad de granjas en el terreno analizado, el que, de acuerdo a tablas de datos previamente obtenidos, va a estar asociado a un valor de concentración del contaminante en cuestión.

Con estos datos, y teniendo como otra variable de entrada el caudal, procedemos al cálculo de las diversas cargas, las que se utilizan para determinar un valor total, el cual es comparado al valor de permisibilidad máximo de contaminante para áreas de reserva natural, dado por estándares de calidad, mencionados con anterioridad.

De presentarse alguna anomalía en estos valores, es decir, si el valor calculado por el software es mayor al del estándar, el programa le ofrecerá al usuario la posibilidad de atenuar dicha situación, mostrándole diversas alternativas de solución, dependiendo del uso de suelo seleccionado para la prueba, y del presupuesto, datos seleccionados al inicio del uso del sistema.

Luego de tomarse las medidas sugeridas, el programa recalcula los valores de carga con los nuevos datos para realizar nuevamente la

comparación a fin de averiguar si con estos nuevos valores se puede lograr una mejoría representativa en la calidad del recurso en cuestión.

De ser este el caso, la aplicación informará al usuario acerca de esta mejoría, de no poder mejorarse dicha situación hasta ubicar los niveles de contaminación en un nivel aceptable, nuestro programa le informará al usuario acerca de ello, y le permitirá volver a realizar el ingreso de valores para ejecutar una nueva simulación.

### **3.3 Modelo Conceptual**

Es una explicación resumida y gráfica del análisis de una situación planteada, con la cual se pueden mostrar parámetros utilizados, y categorizarlos para mejor comprensión de quien lo analice posteriormente

En los siguientes gráficos se esquematiza las circunstancias a darse durante los procesos a analizar en el entorno situacional de la aplicación.

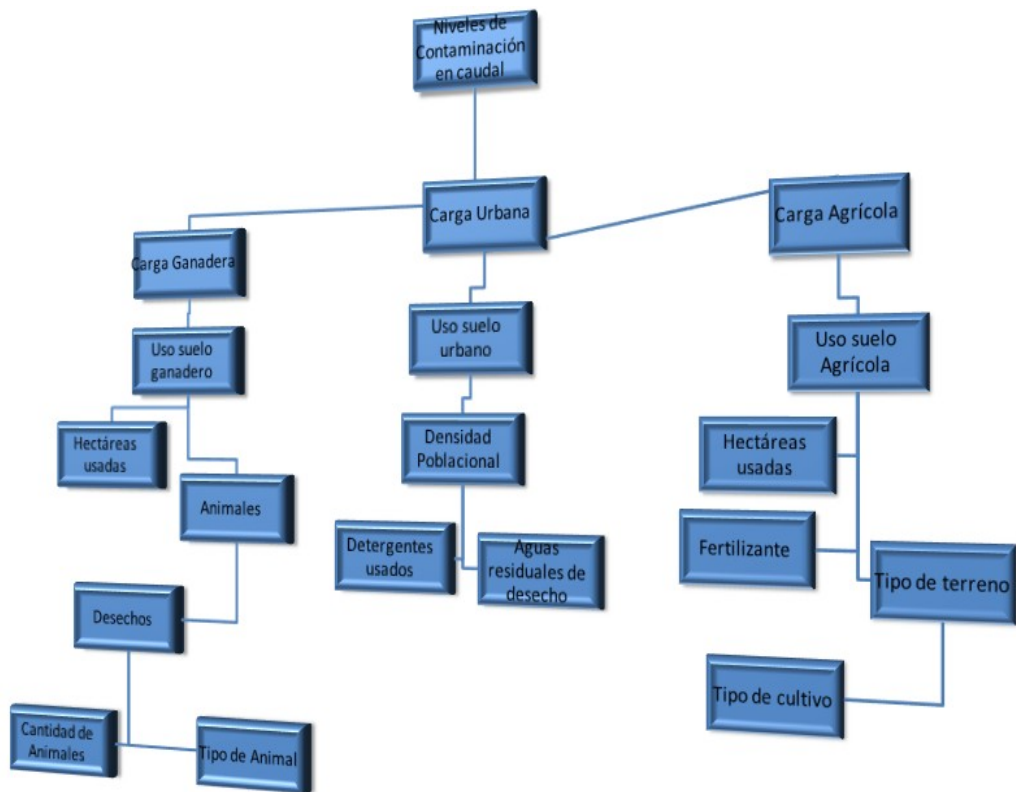


Figura 8.- Gráfico general del modelo conceptual del diseño del sistema.



Figura 9.- Área del ramal principal del modelo conceptual

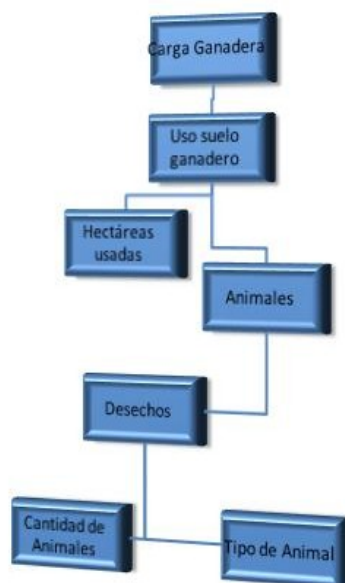


Figura 10.- Área del gráfico de la Carga ganadera



Figura 11.- Área del gráfico de la Carga urbana



**Figura 12.- Área del gráfico de la Carga agrícola**

**Análisis del gráfico.-** La contaminación en el caudal hídrico es básicamente generada por tres usos tipos de cargas, ya mencionados, la ganadera, la urbana y la agrícola. Cada uno de estos factores tiene una dependencia de otras variables.

El uso de suelo ganadero es la utilización de las zonas aledañas al río para diversas actividades pecuarias, como granjas de aves, cerdos, entre otros animales. Dependiendo de la cantidad de animales y el tipo de estos, se va a crear diversos niveles de contaminación la cual va a parar al río en cuestión, alterando su composición natural.

La carga contaminante urbana es generada por el uso de suelo urbano, esto es, la suma de los distintos asentamientos poblacionales que puedan habitar a

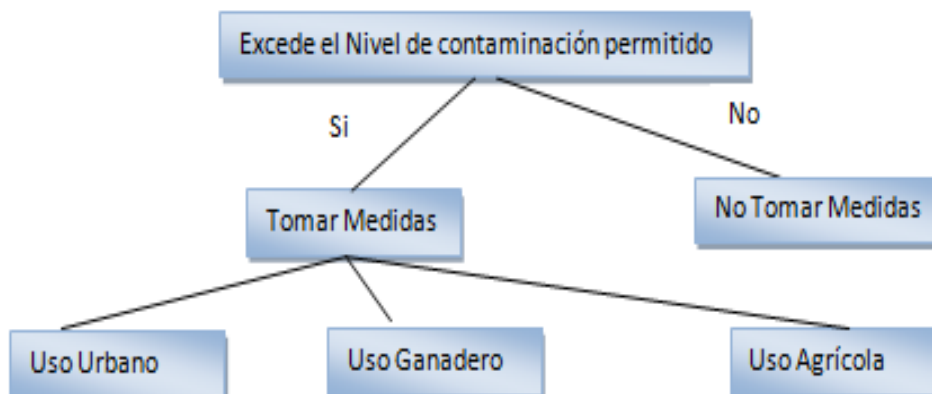


lo largo del cauce del río. La densidad poblacional, es decir, la cantidad de personas por metro cuadrado, va a afectar los niveles de desperdicios generados, por residuos de químicos como detergentes, entre otros, y aguas residuales de desecho que dichos habitantes puedan producir.

Como un último punto que se debe mencionar en esta sección es la carga de tipo agrícola, es decir, la producida por el uso de suelo agrícola, las granjas de cultivos varios, sean estos arbóreos o fructíferos, los cuales requieren el uso de productos como fertilizantes y plaguicidas, los que contienen derivados de fosfatos, los que por absorción del terreno van a filtrarse en él y a terminar en el cauce de los ríos cercanos. La cantidad de fluidos residuales que se sumarán a la corriente van a tener una relación con el tipo de fertilizante usado, a la vez del tipo de terreno en el que se vaya a utilizar, y del tipo de cultivo sembrado en dicha extensión de tierra.

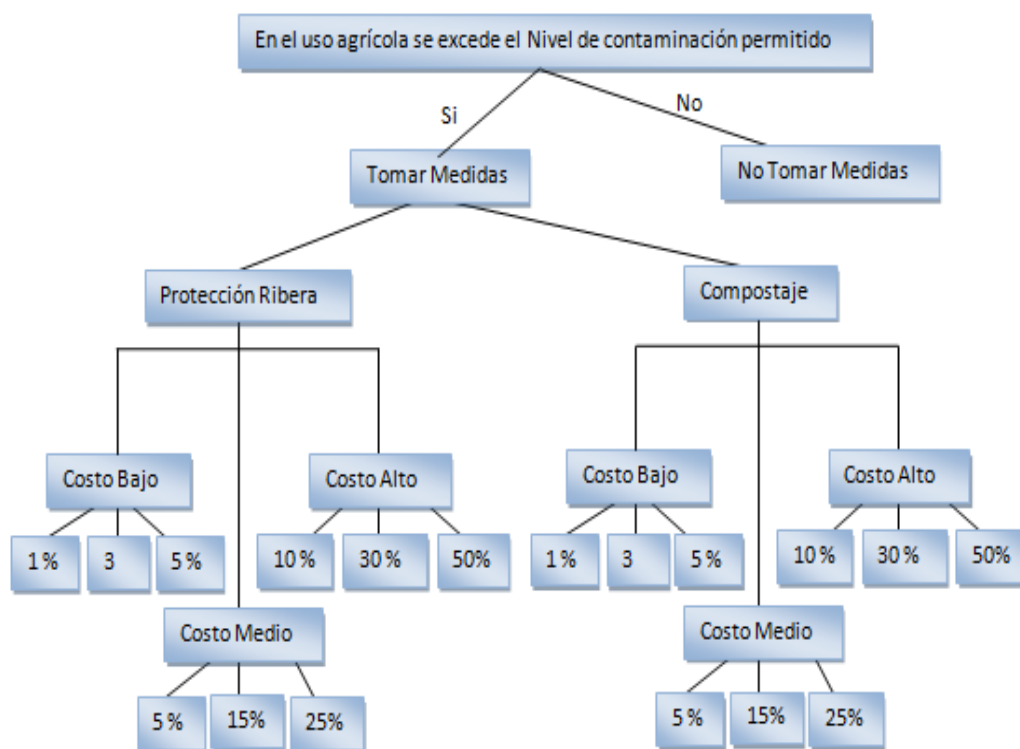
### **3.3.1 Diseño del árbol de decisión**

En el caso del sistema web Río limpio se planteó el siguiente árbol de decisiones, el cual será explicado a continuación:



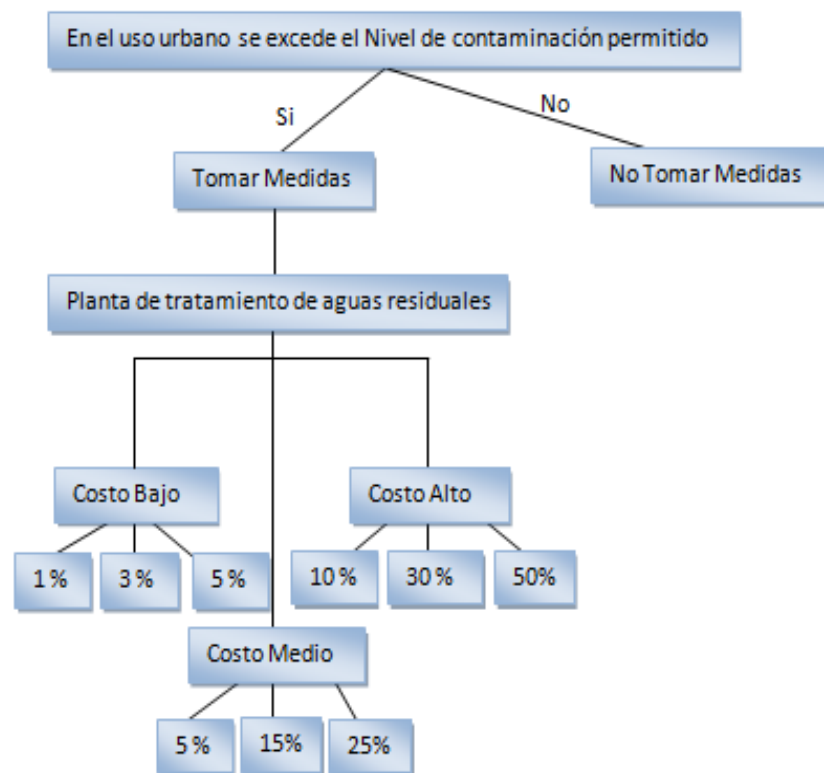
**Figura 13.- Sección principal del árbol de decisiones**

Luego de recibir los parámetros ingresados por el usuario, el sistema realiza los respectivos cálculos para la posterior evaluación respecto a si se debe considerar el tomar alguna medida en caso el nivel de contaminación permitido sea excedido por los niveles que indiquen dichos datos suministrados, y estas medidas planteadas serán puestas a consideración del usuario, siendo estas referentes a los tres usos de suelo ya mencionados previamente, el urbano, el agrícola y el ganadero. Cabe recalcar que la decisión a tomar dependerá del presupuesto con el que se cuente para dichas posibles inversiones.



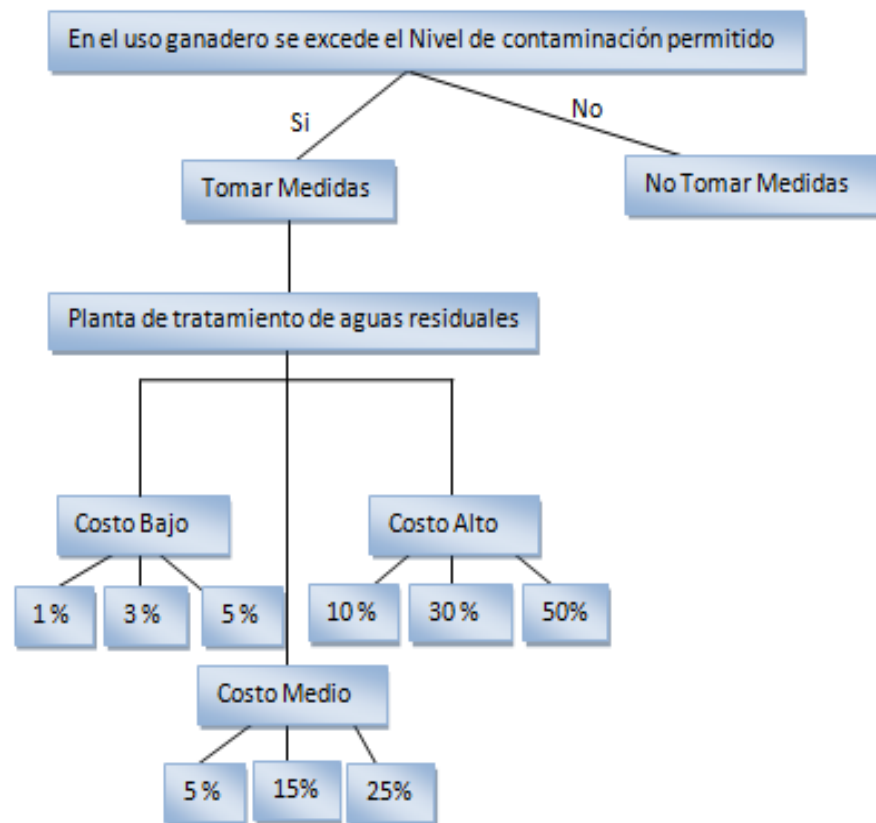
**Figura 14.- Ramal de uso de suelo agrícola**

Si el usuario ha optado por buscar alternativas de solución a su situación mediante la toma de medidas en el uso de suelo agrícola, este podrá elegir entre dos posibilidades, la de protección de riberas, y la de variación en producto fertilizante, también llamada compostaje.



**Figura 15.- Ramal de uso de suelo urbano**

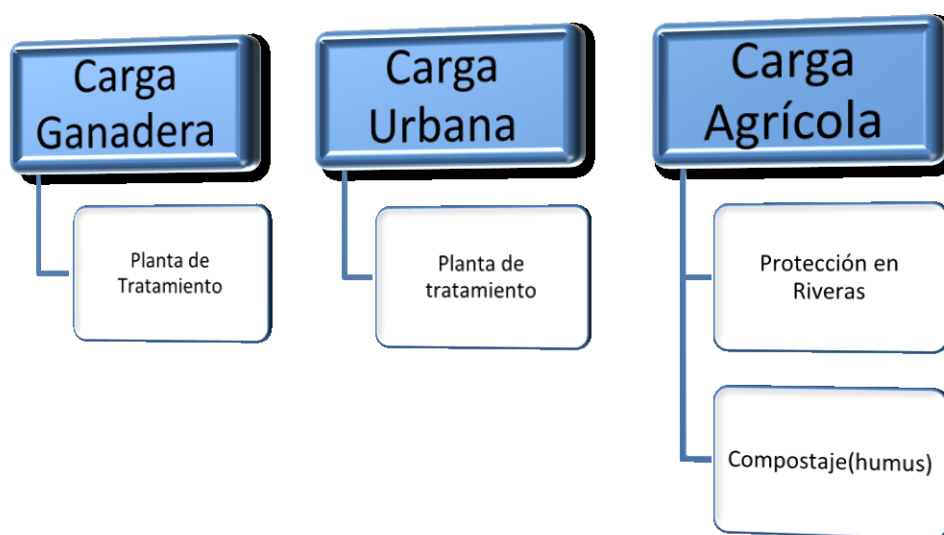
Si se opta por reducir los niveles de contaminación en este uso de suelo, se puede tomar como solución la implantación de una planta de tratamiento de aguas residuales.



**Figura 16.- Ramal de uso de suelo ganadero**

En el caso de haber excedido el límite de contaminación permitido en este uso de suelo, el ganadero, se puede optar por la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales.

### 3.3.2 Medidas de tratamiento de residuos



**Figura 17.- Medios de tratamiento residual para cada tipo de carga**

En esta sección se describen posibles modos para solucionar la problemática dada, es decir, las medidas que podrían ser tomadas para reducir los niveles de contaminación en las aguas del río, para con ello lograr mantener el equilibrio entre las sustancias que contenga el río a su llegada a la reserva natural ubicada al extremo final del tramo en análisis.

Para cada uso de suelo se pueden tomar alternativas diferentes para conseguir la reducción de producción de agentes nocivos para el agua y quienes la consuman. Estas alternativas tendrán una viabilidad dependiendo de la cantidad de recursos económicos de los que disponga la comunidad o conjunto de comunidades que decidan tomar esta opción. [26]

Para la carga ganadera se ha tomado en cuenta una posible solución, optar por la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en las cercanías de dichas granjas ganaderas, con lo que se puede depurar en algún porcentaje las aguas que salgan de los complejos ganaderos, y con esto mejorar de alguna manera la calidad del agua que luego irá a la reserva ecológica.

En lo referente a la situación de la carga urbana podemos citar como una medida la creación de plantas de tratamiento de aguas residuales, de la misma manera que se planteó para la situación de la carga ganadera, con la espera de lograr resultados similares.



**Figura 18.- Planta de tratamiento de aguas residuales**

Por último, en lo referente al tipo de carga agrícola, podemos citar dos opciones que podrían reducir de un modo sustancial la cantidad de agentes contaminantes del agua. Estos son la protección de riberas, y el cambio de fertilización química por compostaje.

La protección de riberas se refiere a reducir en un porcentaje la cantidad de terreno destinado a la siembra, este terreno libre por lo general se ubica en las riberas de los ríos. [27]



**Figura 2.- Esquema de protección de riberas**



Otra técnica utilizada con este fin, es el llamado compostaje, que se trata de remplazar en lo posible el uso de productos químicos en los cultivos por productos orgánicos, como abonos naturales y humus; estos, al ser de origen natural, van a causar menos estragos a la composición química del agua del río y esto va a ser de gran ayuda al entorno natural

### **3.4 Metodología de Recopilación de conocimiento**

Para poder elaborar la aplicación, se requirió el conocer acerca de conceptos esenciales en el área de la hidrología y manejo de recursos ambientales, para lo cual contamos con la asesoría de personas expertas en el tema, como lo son el Director del Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales (ICQA) , un renombrado Catedrático en el área de química, el Director del CADS, y el Director del Laboratorio de Investigación de Aguas del ICQA, todos Docentes pertenecientes a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Las entrevistas con dichos eruditos fueron llevadas a cabo en sus respectivas oficinas y la toma de la información pertinente fue efectuada por medio de grabaciones de audio y apuntes de las explicaciones y aclaraciones que los mismos realizaban, luego de la exposición de nuestras dudas.

### **3.5 Implementación del sistema**

En esta sección del documento describimos la secuencia de pasos que conllevaron a la elaboración del entorno web de la aplicación de software “Rio Limpio”.

#### **3.5.1 Herramientas utilizadas en el desarrollo del programa**

##### **Netbeans 7.0.1**

Es un entorno de desarrollo creado para que los programadores puedan escribir, compilar, depurar y ejecutar programas. A pesar que está escrito en java, puede ser utilizado para cualquier otro lenguaje de programación, es una herramienta de software libre.

El código fuente de nuestra aplicación se encuentra desarrollado en lenguaje Java debido a la facilidad de la interacción entre objetos que dicho lenguaje brinda, y a la fácil mantenibilidad del código fuente basado en esta metodología de programación.[28]

##### **Adobe DreamWeaver CS4**

Herramienta para la elaboración y edición de páginas web de diversos tipos, brinda al usuario la capacidad y facilidad de uso de múltiples herramientas gráficas, así como capacidad de edición de código fuente y css (hojas de estilo en cascada)

### 3.5.2 Interfaz gráfica de la aplicación

Aquí se hace una breve descripción de los elementos del entorno gráfico del sistema en el cual el usuario va a desenvolverse. Esta fue desarrollada usando los IDE Netbeans y Dreamweaver, debido a la flexibilidad del lenguaje Java y la facilidad de uso de ambas.

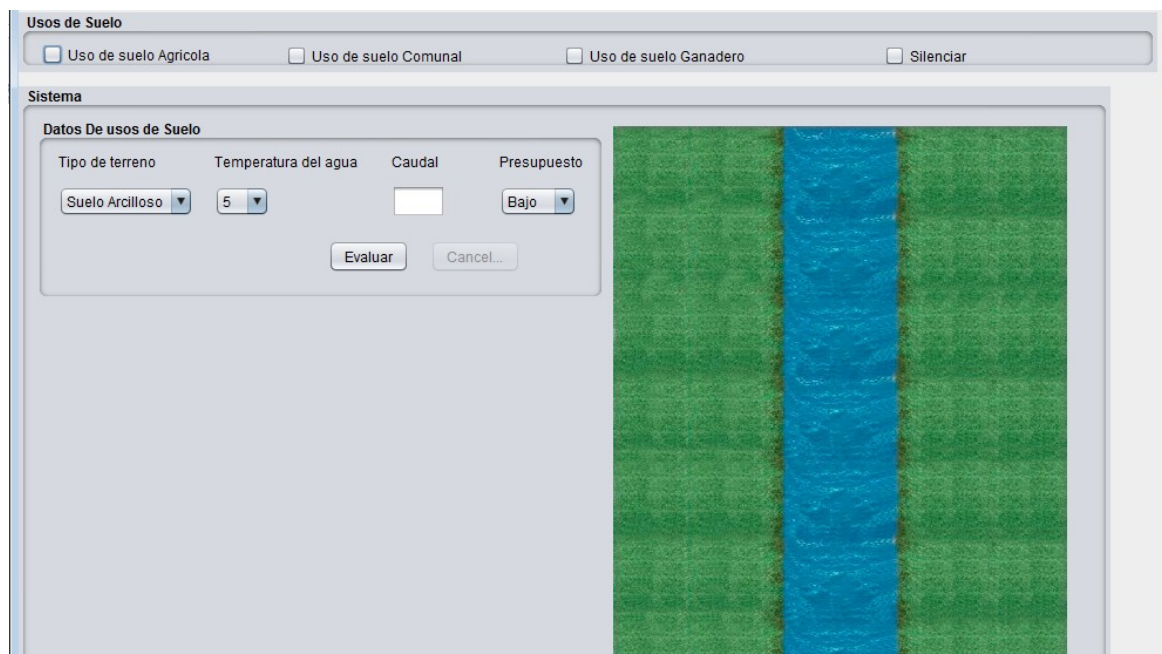
El sistema en conjunto se compone de una serie de páginas web y un applet; el mencionado applet está anexado a una de dichas páginas del sitio, y la principal función de las mismas es la de informar al usuario acerca de algunos temas referentes a hidrología, para que tenga nociones acerca de esta ciencia y la importancia del cuidado de los recursos hídricos.

La interfaz web se ha diseñado de una manera sencilla de usar, con imágenes alusivas al tema, para hacerla más amigable al usuario.



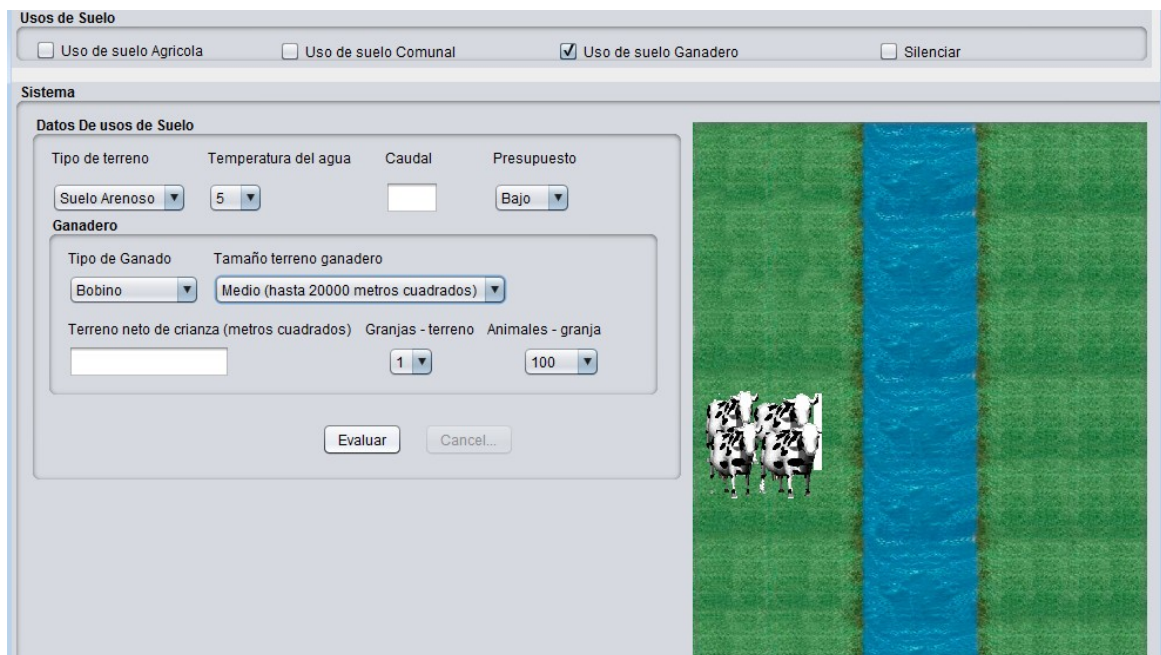
Figura 20.- Ventana de inicio del sitio web Río Limpio

En la sección destinada a mostrar el applet, se puede observar la siguiente ventana, en la que el usuario podrá trabajar.



**Figura 21.- Ventana inicial del applet**

Aquí, quien use este applet podrá elegir entre los distintos usos de suelo y otros parámetros tales como el tipo de terreno, temperatura del agua del río y el presupuesto para los distintos asentamientos a lo largo de la ribera del río, pudiendo seleccionar al menos uno de estos, o todos.



**Figura 22.- Selección uso de suelo ganadero**

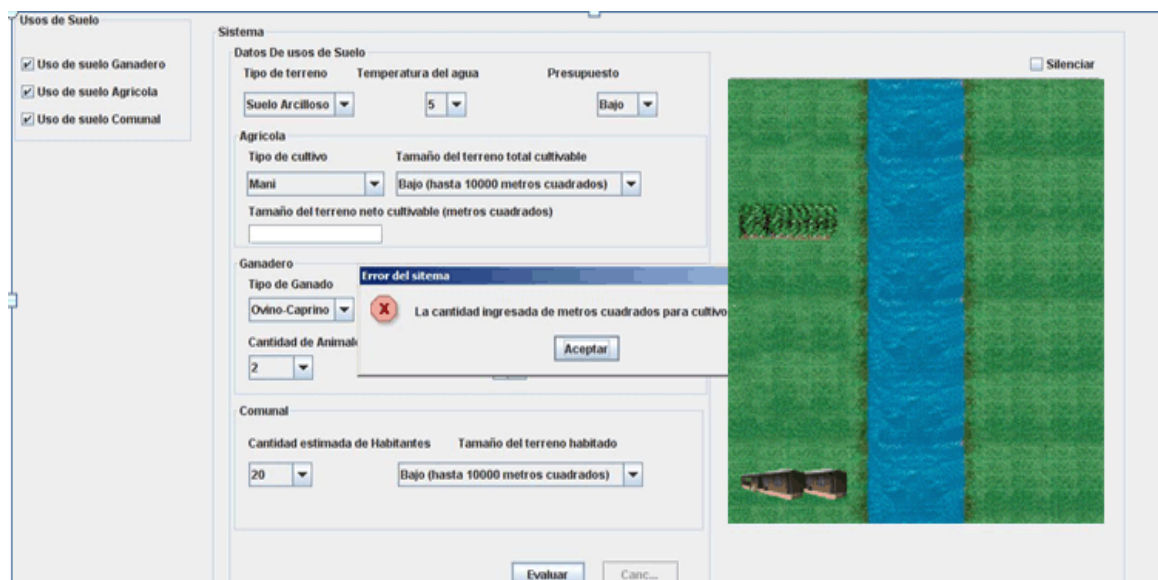


**Figura 23.- Selección uso de suelo agrícola**

**Figura 24.- Selección uso de suelo comunal**

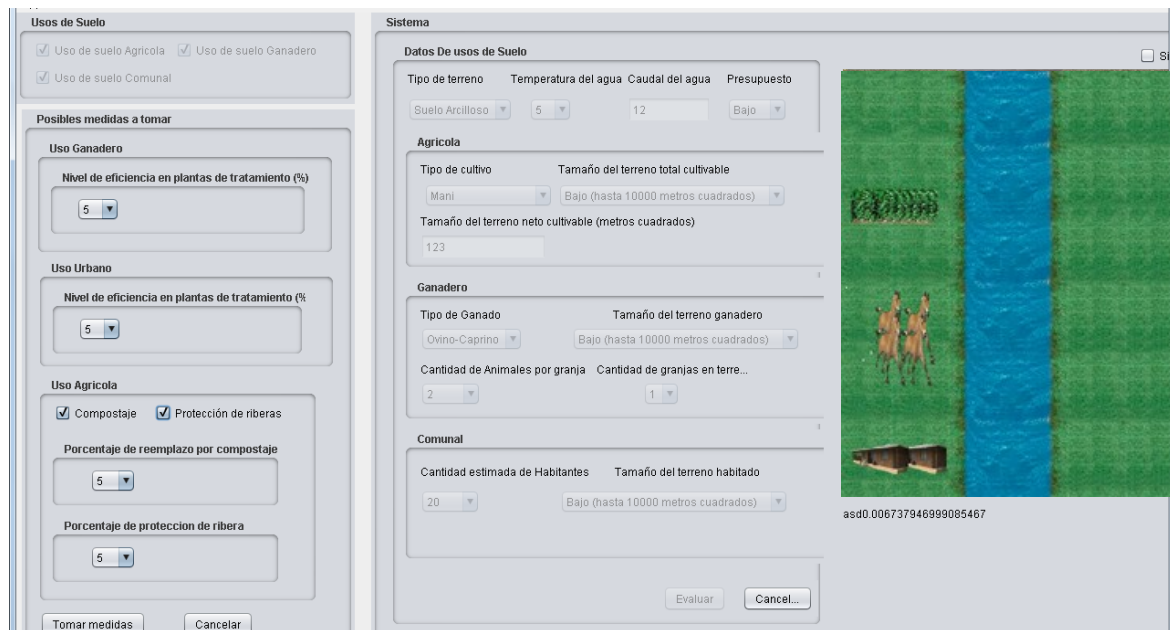
**Figura 25.- Selección de los tres usos de suelo**

De la misma forma, el sistema valida el ingreso correcto de información para proceder al cálculo respectivo.



**Figura 26.- Validación del sistema referente al uso de suelo agrícola.**

Luego de haber realizado de una manera correcta el ingreso de los parámetros para realizar la consulta respectiva, el sistema, dependiendo de lo que se haya ingresado, determinará posibles alternativas de soluciones a tomar, y las mostrará en la interfaz, dejando inhabilitada la sección previa de la aplicación en la que se agregaban los datos usados de parámetros.



**Figura 27.- Vista del panel de medidas posibles a tomar**

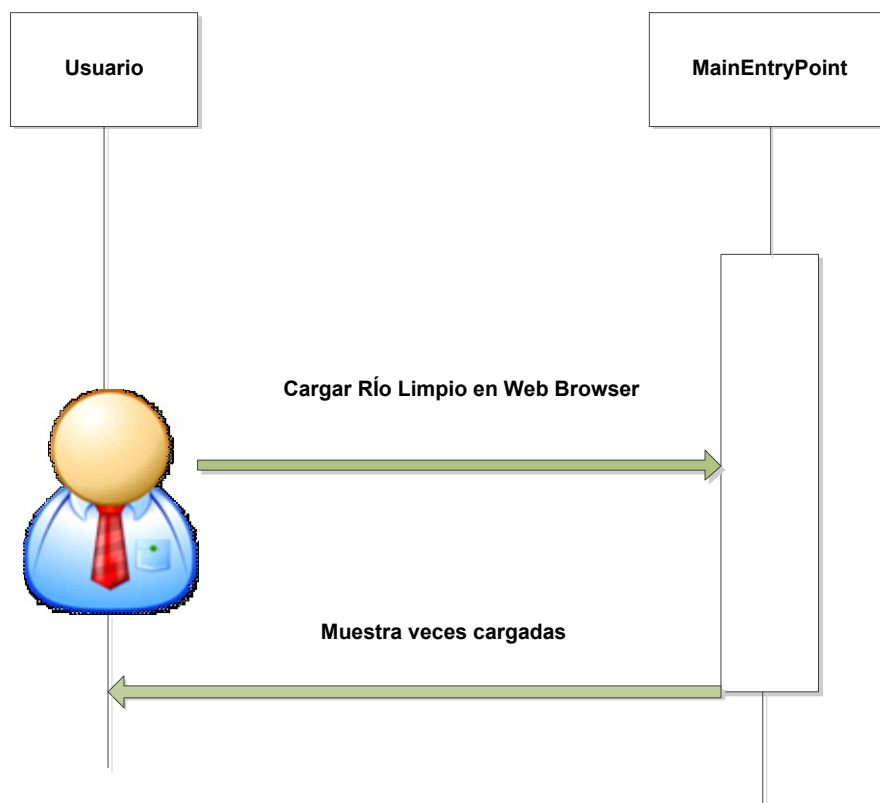
### 3.5.3 Diagrama de Interacción de Objetos

Mediante este tipo de diagramas podemos visualizar la interacción de los objetos a través del tiempo de un contexto de dato, que métodos son utilizados, los parámetros de envío, mensajes entre objetos, así como la respuestas de los mismos.

A continuación mostramos los Diagramas de Interacción de Objeto de los escenarios más representativos de la aplicación:

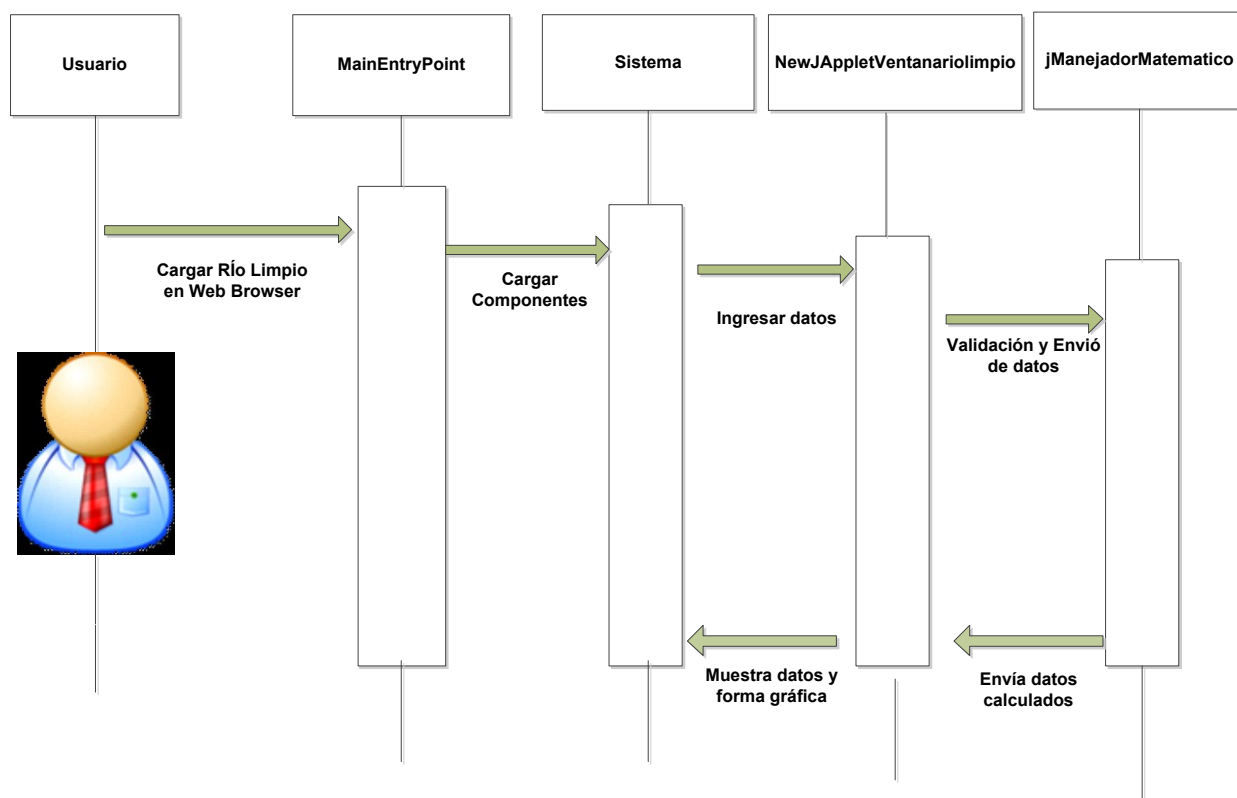


### Escenario 1: Ingreso al sistema



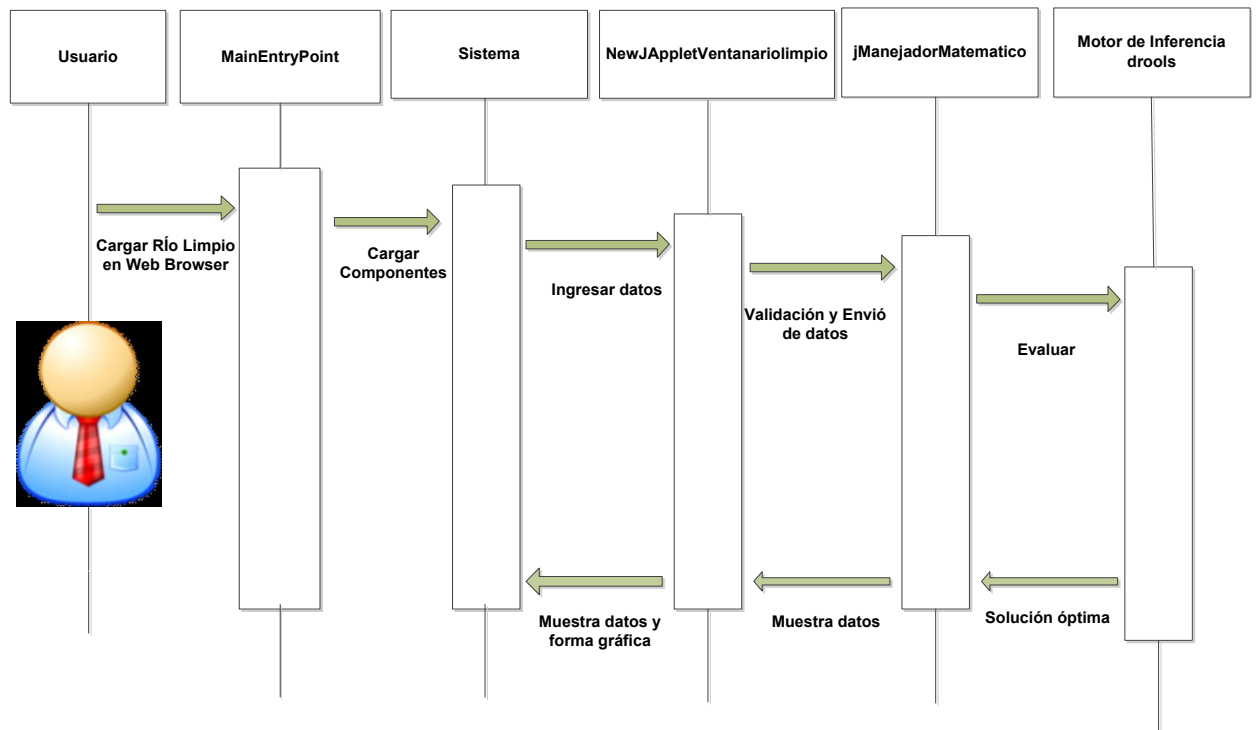
Se describe el Diagrama Interacción Objeto del escenario ingreso exitoso al sistema. El usuario carga la página donde se encuentra el sistema web Río Limpio.

## Escenario 2: Ingreso variables de entrada



Se describe el Diagrama Interacción Objeto del escenario ingreso de variables de entrada, donde el usuario debe situarse en la pestaña de la opción Sistema y seleccionar e ingresar los parámetros de acuerdo a lo requerido para luego hacer un previo cálculo matemático.

### Escenario 3: Evaluación de Alternativas



Se describe el Diagrama Interacción Objeto del escenario Evaluación de Alternativas, donde el motor de inferencia procesa los datos dados por el usuario y presenta la mejor solución.

### **3.6 Metodología de la Encuesta**

Posterior a la elaboración del producto, y para evaluar cuan satisfechos quedaron los usuarios y cuánto pudieron asimilar acerca del tema luego de utilizar el programa, se decidió llevar a cabo una encuesta para obtener dicha información, ésta nos provee un mecanismo muy práctico y fácil de comprender al momento de interpretar sus resultados.

La misma se realizó de manera presencial a una muestra de 30 personas cuyas edades fluctuaban entre 17 y 35 años, y de nivel de conocimiento intermedio en relación al uso del computador, también se la llevó a cabo con dos expertos en hidrología y calidad ambiental, con la finalidad de validar la precisión del modelo experto planteado en el mismo.

Lo primero que se tuvo que definir fue una lista de preguntas que iban a conformar la encuesta, con la finalidad de consultar los niveles de satisfacción ya mencionados.

Todo el proceso tuvo como resultado tres grupos de preguntas, las que se clasificaron luego en dos tipos de encuesta, la encuesta general y la encuesta de validación del modelo experto.

Respecto a la encuesta general, subdividió en preguntas relacionadas a aspectos visuales del software, y el segundo fue respecto a conocimientos

básicos que se podían obtener del uso de nuestra aplicación, para evaluar cuanto de estos conocimientos pudo ser asimilado por los participantes.

La encuesta de validación del modelo experto fue realizada con el objeto de comprobar o refutar la concordancia de las soluciones mostradas en el producto de software respecto a las soluciones que un experto en el tema pudiera brindar.

El número de opciones del primer cuestionario fue de 4 preguntas, referentes a temas como el diseño, la memorabilidad, ayudas visuales al manejar el producto, y facilidad de uso, las cuales fueron calificadas con una ponderación establecida en un rango de 1 a 5; siendo 5 la máxima y 1 la mínima.

En lo referente al segundo cuestionario, se les expuso a los participantes ciertos términos relativos a conceptos básicos de hidrología, preguntándoles cuanto entendían o cuanto conocimiento tenían respecto a dicha terminología, la evaluación con este formulario se la desarrolló dos veces, antes de mostrarles la aplicación y otra posterior a la misma.

En lo referente al cuestionario de validación del modelo experto, este se realizó planteando cinco diferentes escenarios en la aplicación, y posterior al ingreso de variables al sistema, el mismo realizaba los cálculos pertinentes, mostrando posibles alternativas de solución a cada una de las situaciones definidas. Entonces, el Experto daba su calificación respecto a qué tan

acertada era la alternativa dada como posible solución con respecto al modelo expuesto, dicho valor estaba comprendido en un rango de uno a cinco, donde cinco era un total acuerdo y uno era un total desacuerdo.

Se tomaron en cuenta los siguientes valores como datos de variables globales de la aplicación:

Todos los escenarios se llevaron a cabo bajo las condiciones de terreno arcilloso, a 10 grados, caudal de 1500 y un presupuesto bajo.

Escenario	Descripción de variables definidas
1	Uso de suelo agrícola, cultivo de maní, extensión de terreno de cinco mil metros cuadrados.
2	Uso de suelo comunal, tamaño de terreno de cuatro hectáreas, cien habitantes.
3	Uso de suelo ganadero, ganado de pastoreo ovino, diez animales por granja, en diez granjas distribuidas en dos hectáreas de terreno.
4	Usos de suelo comunal y agrícola, para el uso comunal, cien habitantes en una extensión de cuatro hectáreas, para el uso agrícola, cultivo de maní, en una extensión de siete mil metros cuadrados.
5	Usos de suelo ganadero y agrícola, respecto al uso agrícola, extensión de doce mil metros cuadrados, cultivo de maní; referente al uso ganadero, ganado ovino, tamaño de área de cuatro hectáreas, diez animales por granja, en diez granjas.

**Tabla 6.- Descripción de escenarios utilizados en la evaluación de validación del Modelo experto con el Experto.**

En la tabla previa se explica cada uno de los escenarios utilizados para la prueba del modelo con el experto. Adicionalmente se ingresaron como variables generales al sistema: un caudal de mil quinientos metros cúbicos sobre segundo, tipo de terreno arcilloso, y un presupuesto bajo.

A los Usuarios Expertos y a los 30 participantes encuestados se les proporcionaron dichos formularios impresos (ver sección anexos) para que sean llenados, como ya se mencionó, el de interfaz mientras usaban el sistema, y el de conocimientos adquiridos antes y después, para en este modo tener certeza mediante un registro escrito, de la veracidad de los datos arrojados por su experiencia al probar el software y reflejados en dichas Hojas Evaluativas.

# CAPÍTULO 4

## RESULTADOS

Posteriormente a la implementación del sistema, se procedió a la evaluación de su desempeño, mediante la herramienta de la encuesta, dividida en dos secciones (ver en anexos el diseño de la misma).

Esta se realizó como ya fue mencionado previamente a una muestra de treinta usuarios típicos y a expertos en el tema hídrico.

### **4.1 Validación de la interfaz de la aplicación “Rio Limpio” y del Modelo experto que la sustenta con el Experto**

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la evaluación respecto al diseño de la interfaz gráfica del software Rio Limpio realizada a dos expertos en el tema de Hidrología, un renombrado Catedrático del área de Química de



la Escuela Superior Politécnica del Litoral, y el Director del Laboratorio de Investigaciones de Aguas del ICQA de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

	5	4	3	2	1
Facilidad de uso	2	0	0	0	0
Aspecto visual (Combinación de colores, imágenes y diseño de la ventana de la aplicación).	0	2	0	0	0
Memorabilidad (si el usuario puede recordar la ubicación de elementos de la ventana luego de usarlos)	1	1	0	0	0
Utilidad de herramientas de ayuda visual (avisos de información y alerta, mensajes del sistema)	2	0	0	0	0

**Tabla 7.-Resultados de la evaluación al experto respecto a diseño de interfaz.**

Esta tabla muestra que respecto a la facilidad de uso de nuestra aplicación, efectivamente se pudo crear una sistema de fácil manejo, de aspecto entendible y amigable, a criterio de los expertos, al referirnos al aspecto visual, a los expertos les pareció novedoso el detalle de la incorporación de sonido e imágenes utilizadas en el programa, lo cual es de ayuda y lo hace más dinámico, aunque, en lo referente al manejo de colores, los expertos encuestados nos sugirieron probar una mejor combinación de colores, ya que, por defecto, las aplicaciones desarrolladas con las herramientas de desarrollo

utilizadas por nuestro grupo de trabajo son creadas con colores grises y similares.

Escenario	Medidas planteadas por el sistema	Calificación
1	Compostaje y protección de ribera	5
2	Planta de tratamiento	4
3	Planta de tratamiento	5
4	Planta de tratamiento	5
5	Planta de tratamiento, compostaje, protección de ribera	5

**Tabla 8.- Resultados de la evaluación al experto respecto a la validez de dicho Modelo.**

En la misma forma se realizó una evaluación respecto a la validez de las alternativas que nuestro sistema plantea como solución al problema de contaminación en el tramo de río respecto al modelo planteado por el experto, usando como referencia los conocimientos adquiridos de los mismos, en la cual la persona entrevistada daba su opinión a la vez que ideas para mejorar nuestro producto de software. Luego de la misma se pudo constatar la concordancia entre los criterios que un experto esperaría recibir de un colega en su área de conocimiento, el manejo y control ambiental, y las opciones mostradas por nuestro sistema como alternativas al problema inicialmente citado, con lo que se corrobora la validez del modelo conceptual representado en la aplicación presentada. Los detalles de la definición de los escenarios

utilizados para la prueba están detallados en la sección de metodología del presente documento.

Vale recalcar que ellos sugirieron para futuras ocasiones la implementación de diferentes modelos teóricos con el objeto de poder hacer cálculos de una mayor precisión, tomando en cuenta a su vez diferentes variables las cuales pudieran afectar los niveles de concentración de contaminantes, y así mismo, la opción de poder cambiar el tipo de contaminante usado como objeto de estudio.

#### 4.2 Pruebas del sistema con Usuarios

Los resultados de la misma se muestran bosquejados a nivel general en una tabla, y a su vez los resultados de cada pregunta se observan a continuación:

	5	4	3	2	1
Facilidad de uso	14	11	4	1	0
Aspecto visual (Combinación de colores, imágenes y diseño de la ventana de la aplicación).	18	11	9	2	0
Memorabilidad (si el usuario puede recordar la ubicación de elementos de la ventana luego de usarlos)	11	10	7	2	0
Utilidad de herramientas de ayuda visual (avisos de información y alerta, mensajes del sistema)	23	5	2	0	0

**Tabla 9.- Resultados de la evaluación a un grupo de treinta encuestados respecto a interfaz.**

#### 4.2.1 Descripción estadística de la información recopilada

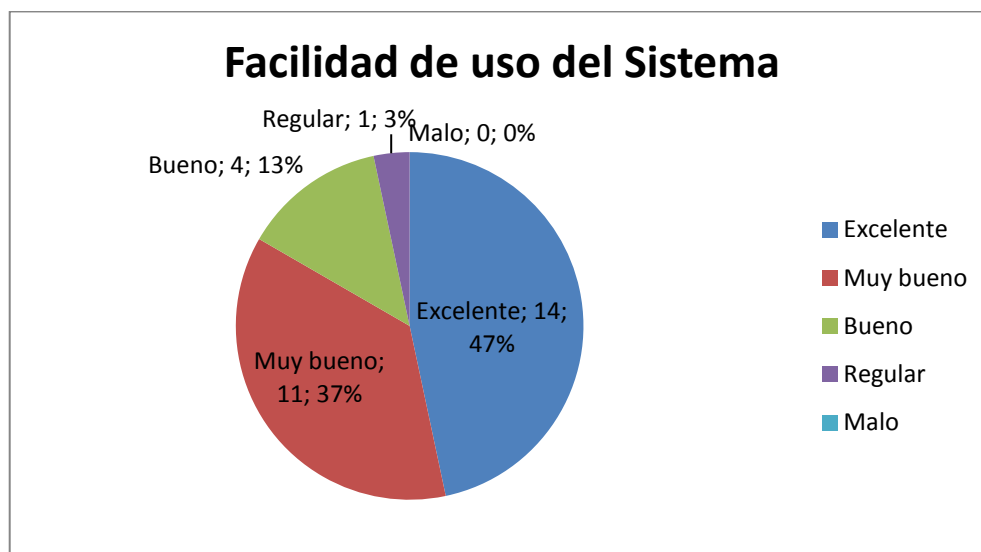


Figura 28.- Resultados respecto a la facilidad de uso del sistema

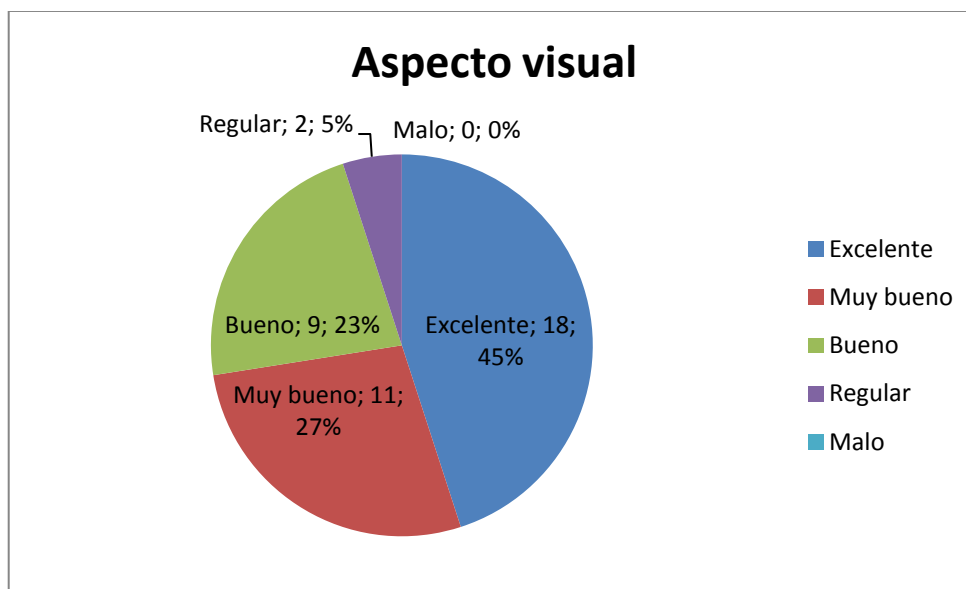
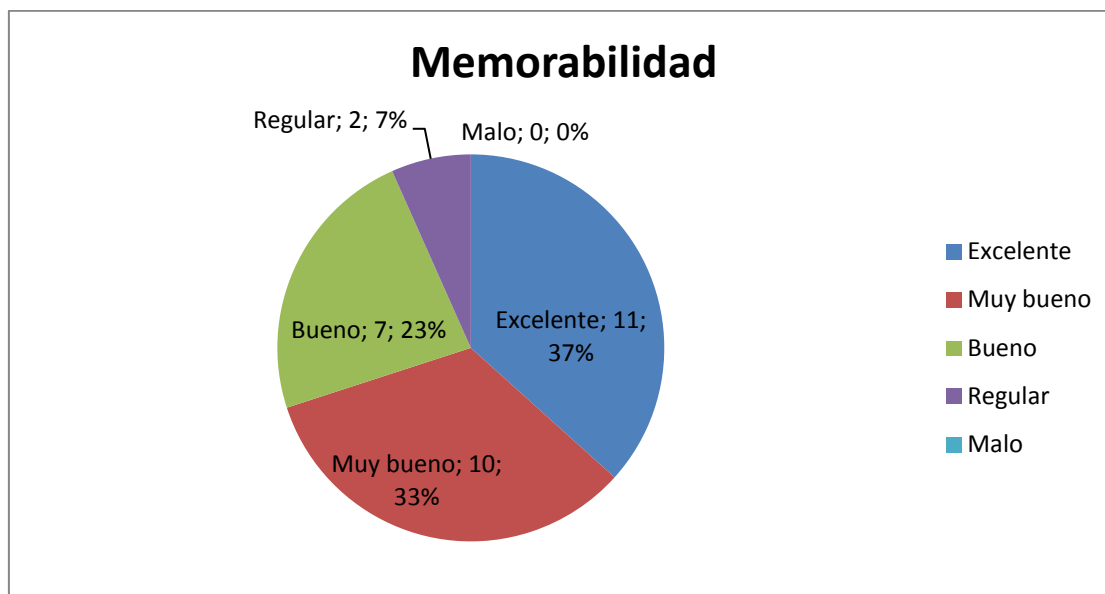
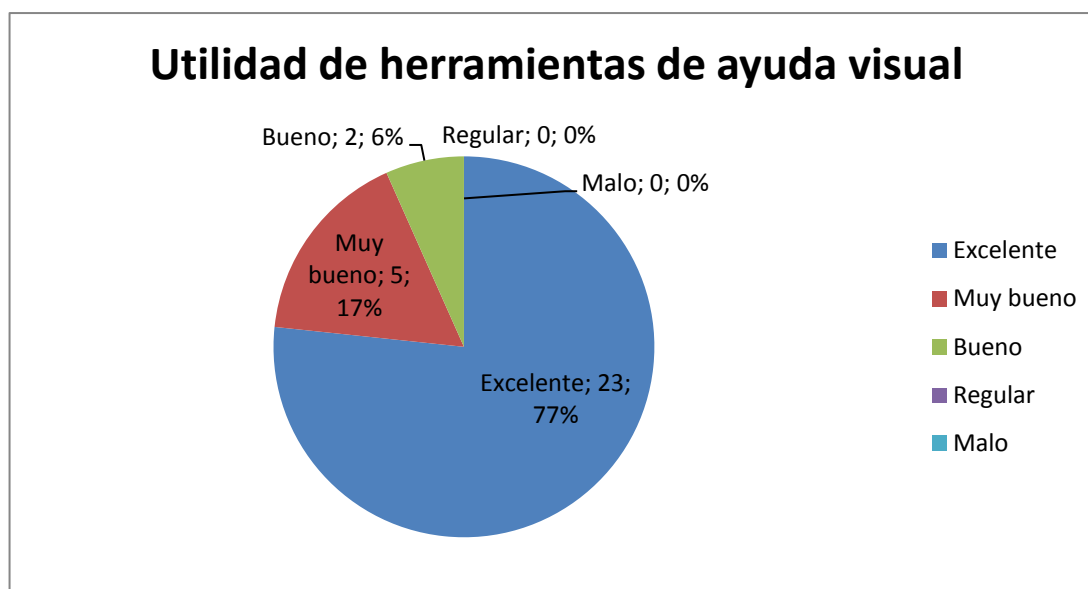


Figura 29.- Resultados respecto al aspecto visual del mismo



**Figura 30.- Resultados respecto a la memorabilidad del software**



**Figura 31.- Resultados respecto a utilidad de ayudas visuales del programa**

	5	4	3	2	1
Concentración y carga contaminante	0	0	1	4	25
Compostaje	0	0	0	0	30
Uso de suelo	0	0	0	4	26
Caudal	0	0	9	20	1
Protección de Riberas	0	0	0	2	28

**Tabla 10.- Resultados de la evaluación a treinta usuarios respecto a Conocimientos de hidrología previo al uso del sistema**

	5	4	3	2	1
Concentración y carga contaminante	5	21	3	1	0
Compostaje	7	20	3	0	0
Uso de suelo	14	15	1	0	0
Caudal	16	12	2	0	0
Protección de Riberas	10	14	6	0	0

**Tabla 11.- Resultados de la evaluación a treinta usuarios respecto a Conocimientos de hidrología luego del uso del sistema.**

#### **4.2.2 Análisis de los resultados de la encuesta elaborada**

Al interpretar los datos obtenidos en la encuesta de diseño de interfaz se notó que en lo referente a la primera pregunta, casi la mitad de los encuestados coincidió en que la aplicación es de fácil manejo, es decir, de uso intuitivo y amigable a los mismos.

Respecto a la segunda pregunta, más de la mitad de los encuestados quedó satisfecho con el aspecto de la interfaz grafica de nuestra herramienta de software.

Acerca de la tercera pregunta, menos de la mitad de la muestra dijo que la aplicación daba una capacidad de memorabilidad al usuario, es decir, facilidad de recordar los componentes de la misma.

Y en relación a la cuarta pregunta evaluada en la presente, se pudo confirmar que nuestro producto de software brinda ayuda al usuario al momento de utilizarlo, con mensajes de ayuda, como tooltips, entre otros.

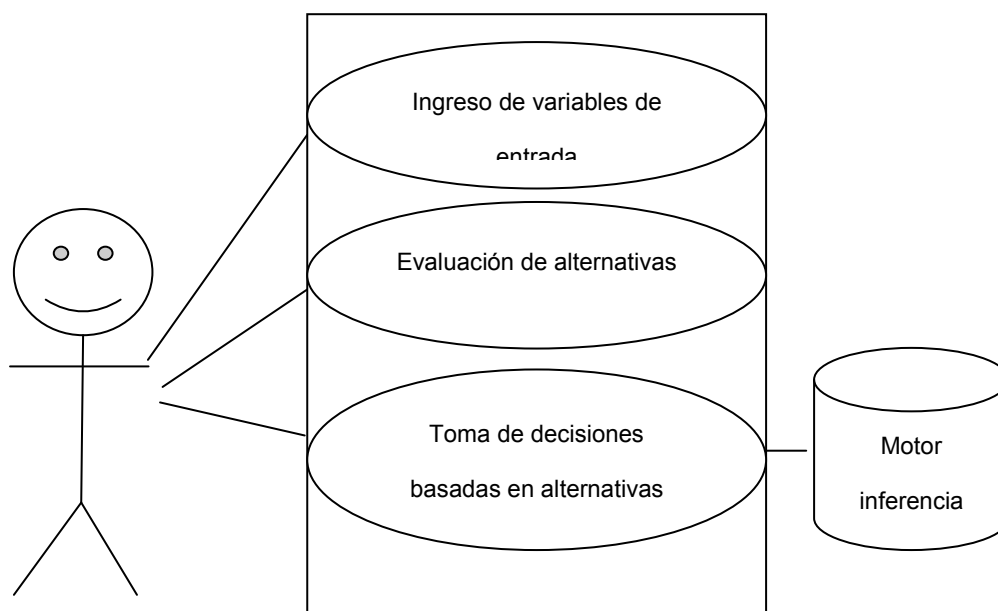
En lo que respecta a la segunda parte de la evaluación, la orientada a constatar la capacidad de nuestra aplicación para enseñar al público que la utilice, observando los datos obtenidos, se pudo notar una variación positiva entre las pruebas tomadas antes y después de la prueba del sistema por parte de los encuestados, ya que la gran

mayoría no tenía idea del tema en cuestión, sin embargo, luego de la utilización del software ellos adquirieron nociones respecto a la terminología de hidrología que se les mostró en la hoja evaluativa.

Eso deja demostrada la efectividad del programa desarrollado en transmitir el conocimiento del modelo experto al usuario común.

#### 4.3 Especificación de casos de uso del sistema

En la siguiente sección del documento mostramos las interacciones que se llevan a cabo entre el usuario y nuestro sistema, de una manera breve a través de un diagrama de casos de uso, y la posterior explicación de dichos casos.



**Figura 32.- Especificación de los casos de uso mediante diagrama**



<b>Caso 1</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Ingreso variables de entrada</b>
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Secuencia de eventos</b>	El usuario debe situarse en la pestaña “Sistema” de la aplicación web, luego seleccionar los parámetros que el considere apropiados
<b>Condición de entrada</b>	El usuario debe ingresar la información apropiada
<b>Condición de salida</b>	En la interfaz se verá reflejados los datos ingresados

**Tabla 12.- Caso de uso 1**

<b>Caso 2</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Evaluación de alternativas</b>
<b>Actores</b>	Motor
<b>Secuencia de eventos</b>	El motor de inferencia procesa los datos dados por el usuario
<b>Condición de entrada</b>	Los datos a procesarse deben ser adecuados
<b>Condición de salida</b>	El panel de soluciones se habilitará para elección

**Tabla 13.- Caso de uso 2**

<b>Caso 3</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Tomar decisiones basadas en alternativas</b>
<b>Actores</b>	Usuario
<b>Secuencia de eventos</b>	El usuario puede decidir tomar una acción para atenuar los efectos de la contaminación del río
<b>Condición de entrada</b>	El usuario debe situarse en el panel de soluciones.
<b>Condición de salida</b>	El usuario toma la decisión que él crea conveniente.

**Tabla 14.- Caso de uso 3**

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

En esta sección se presentan las principales conclusiones obtenidas en base a las pruebas realizadas con la aplicación “Sistema Web Rio Limpio”.

Como se detalló en el capítulo previo, estas pruebas se realizaron con los datos obtenidos de expertos, utilizados para poder utilizar nuestro sistema, y en las experiencias adquiridas en cada etapa, desde el desarrollo a la puesta en marcha de nuestro sistema web.

- 1) El diseño de la aplicación probó ser intuitivo y se pudo comprobar que la aplicación desarrollada tiene la capacidad de enseñar a personas con un variado nivel de conocimiento respecto al uso de las computadoras, en una forma didáctica, acerca de conceptos básicos de

- 2) hidrología, cuidado ecológico y concientización acerca de este tema, mediante una interfaz amigable al usuario.
- 3) El uso de herramientas como el lenguaje Java, y en este caso el IDE Netbeans, y el motor de inferencia basado en reglas Drolls, probaron ser una solución óptima para cumplir el objetivo esperado en este proyecto, en el primer caso, dada la facilidad que brinda el IDE respecto al manejo de componentes gráficos, manejo intuitivo y flexibilidad respecto a codificación y diseño de interfaces gráficas, y en lo referente al motor, porque la codificación del conocimiento en reglas lógicas fue intuitiva y entendible tanto para el experto como para los desarrolladores.
- 4) En base a los resultados obtenidos para la validación del modelo experto se concluye que este simula bastante bien el razonamiento de un experto para el diagnóstico y control de la contaminación ambiental en un río.

## **RECOMENDACIONES**

A continuación se presentan algunas recomendaciones que han sido identificadas para ser implementadas en trabajos futuros:

- 1) Implementar un módulo de administrador, que le permita a un usuario experto administrar la aplicación, pudiendo agregar/ reducir el número de variables y/o parámetros del sistema, el tipo de contaminante a ser analizado, y las medidas para el control de la contaminación, entre otros.
- 2) Desarrollar una versión del sistema que pueda trabajar en otras plataformas, para en este modo aumentar su portabilidad, por ejemplo, aplicaciones para celulares o PDA's.

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

### **Drools, Conceptos Iniciales**

#### **Introducción.**

Drools es un sistema de gestión de reglas de negocio (BRMS, business rule management system) con un motor de reglas (desarrollado en java) basado en inferencia de encadenamiento hacia adelante (forward chaining), usando una implementación avanzada del algoritmo Rete, el cual cumple con la especificación de la JSR-94 (Java Rule Engine API, que permite escribir aplicaciones que sean independientes del motor de reglas que utilicemos).

Drools usa JCR (JackRabbit) para gestionar el repositorio de reglas, y el estándar JAAS para la autorización y autenticación.

Actualmente pertenece a la agrupación JBoss con licencia ASF (El producto también es conocido como “JBoss Rules”). (1)

### **Características**

Programación Declarativa: Fácil de expresar

La lógica y la separación de datos: Los datos están en los objetos de dominio, y la lógica está en las reglas.

La velocidad y la escalabilidad: Muy Eficaz ya que posee el algoritmo Rete, y sus descendientes como ReteOO Drools.

La centralización del Conocimiento: Mediante el uso de normas, se crea un repositorio de conocimiento (una base de conocimiento), que es ejecutable.

Herramienta de integración: Las herramientas como Eclipse (y en el futuro, las interfaces de usuario basadas en Web).

Explicación Fondo: Registra las decisiones tomadas por el motor de reglas.

## **Descripción del sistema**

El esquema con el cual trabaja el motor se divide en dos memorias de trabajo: *Memoria de Producción*<sup>6</sup> y *Memoria de Trabajo*<sup>7</sup>.

En la memoria de producción se ubican las reglas especificadas en el dominio de trabajo. Sobre la memoria de trabajo se encuentran los datos o hechos que serán utilizados junto con las reglas por el motor de inferencias.

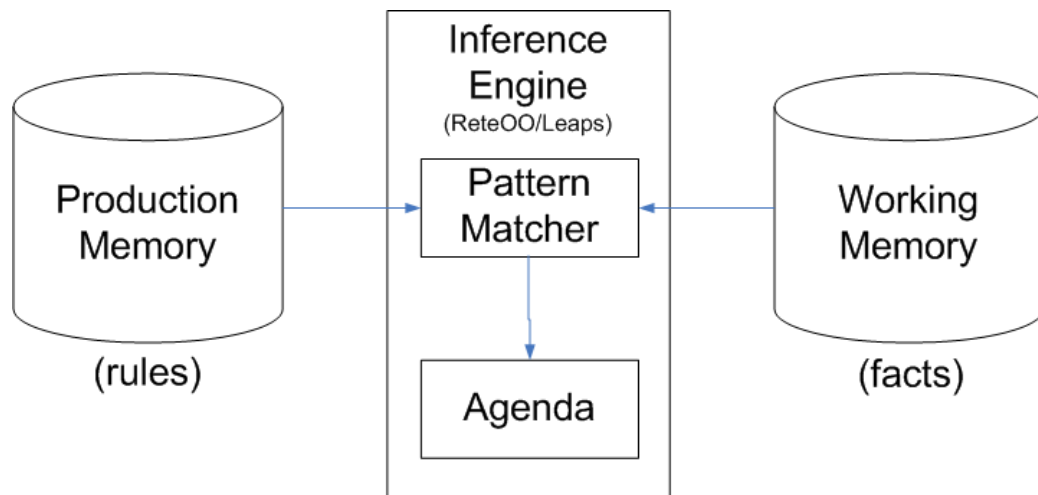
Vale destacar que el sistema separa la evaluación de los hechos y sus posibles reglas con la ejecución de las mismas lo cual permite postergar las consecuencias de los hechos cargados en el sistema hasta que el usuario indique el momento donde se deben disparar las reglas sobre los hechos cargados en el domino.

---

<sup>6</sup> Production Memory

<sup>7</sup> Working Memory





### Esquema básico de trabajo de Drools

- Carga de reglas
- Las reglas pueden ser definidas de dos formas distintas:
- A través de archivos DRL
- A través de archivos XML

Los archivos DRL definen las reglas en el lenguaje “nativo” definido por Drools. La idea de estos archivos es separar las capas de programación sobre el dominio o aplicación y las reglas definidas sobre el mismo. De esta manera se permite definir comportamientos genéricos según estados de los hechos presentes en el dominio sin definir explícitamente condiciones sobre los mismos. Esto último agrega mayor escalabilidad al programa desarrollado, dado que si cambian las reglas de negocio prácticamente no se debe corregir código sobre la aplicación sino, modificar las reglas con las que está trabajando la misma.

Como opción, Drools también soporta que las reglas sean definidas en archivos XML como alternativa a los DRL.

El IDE Drools se presenta como un plug-in Eclipse, que le permite crear y gestionar las reglas desde dentro de Eclipse, así como integrar las reglas con su solicitud. Esta es una herramienta opcional, y no todos los componentes son necesarios para ser utilizado, se puede utilizar los componentes que son relevantes para el programador. El IDE Drools es también una parte del Estudio de Red Hat Developer (anteriormente conocido como JBoss IDE).(2)

### **Interfaces**

Al cumplir con la especificación JSR-94, deja libre la posibilidad de, a futuro, migrar las reglas y el engine por algún otro del amplio abanico disponible en el mercado (Siempre que sea JSR-94 compliant), sin que esto afecte seriamente a la estructura de la aplicación.

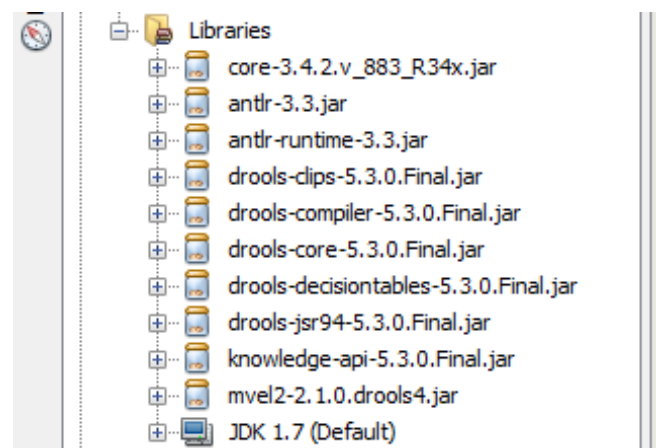
## ANEXO 2

### Configuración para la Integración de Drools en Netbeans

Dar clic derecho sobre el proyecto e ir a Propiedades- Librerías.

Agregar las siguientes librerías al proyecto, que se encuentran dentro del carpeta de drools, de la que se bajó del sgt link.

<http://www.jboss.org/drools/downloads.html> (La version 5.3.0)



Como estamos trabajando con el IDE NETBEANS, fuera del ambiente de ECLIPSE, hay q agregar el archivo core, que es un jar, en donde lo hemos bajado del sgt link :

[http://dist.wso2.org/maven2/org/eclipse/jdt/core/3.4.2.v\\_883\\_R34x/](http://dist.wso2.org/maven2/org/eclipse/jdt/core/3.4.2.v_883_R34x/)

Luego de agregar las librerías al proyecto podemos empezar a usar Drools dentro del ambiente de NETBEANS.

### ANEXO 3

Formato de Encuesta de Satisfacción de Usuarios respecto a Interfaz de sistema

Califique marcando con una x de acuerdo a la escala mostrada los siguientes literales puestos a consideración:

**5: Excelente, 4: Muy bueno, 3: Bueno, 2: Regular, 1: Malo**

	5	4	3	2	1
Facilidad de uso					
Combinación de colores, imágenes y diseño de la ventana de la aplicación.					
Memorabilidad (si el usuario puede recordar la ubicación de elementos de la ventana luego de usarlos)					
Herramientas de ayuda visual (avisos de información y alerta, mensajes del sistema)					

## ANEXO 4

Formato de encuesta de medición de conocimientos respecto al tema hidrológico

Marque del 1 al 5 con una x según considere respecto a la familiaridad que usted tiene acerca de los temas y términos citados, siendo 5 el nivel más alto y 1 el nivel más bajo.

	5	4	3	2	1
Concentración y carga contaminante					
Compostaje					
Uso de suelo					
Caudal					
Protección de Riberas					

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Lenntech, Nitratos, <http://www.lenntech.es/nitratos.htm>, fecha de consulta noviembre 2011

[2] Ticalc.org, Civilization Simulator, <http://www.ticalc.org/archives/news/articles/10/104/104103.html> , fecha de consulta noviembre 2011

[3] Dube, Ryan, Play the Civilization Game for free with FreeCiv, <http://www.makeuseof.com/tag/play-civilization-free-freeciv/> , fecha de consulta noviembre 2011

[4] The Sims, What is the Sims? [http://thesims.com/en\\_us/home](http://thesims.com/en_us/home) , fecha de consulta noviembre 2011

[5] Agedum Sistemas de Información, BioControl-Security, <http://www.agedum.com/> , fecha de consulta noviembre 2011

[6] Galeon.com, Efectos Nocivos De la Contaminacion Del Agua sobre los Vegetales y Animales, <http://ambienteolmeca.galeon.com/enlaces1638689.html> , fecha de consulta noviembre 2011.

[7] Wikipedia.org, Contaminación Hídrica,  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n\\_h%C3%ADdrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_h%C3%ADdrica), fecha de  
consulta noviembre 2011

[8] Aguado Alonso, Jose, La contaminación del as aguas subterráneas por  
nitratos, <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2006/07/12/35033> , fecha de  
consulta noviembre 2011

[9] Saavedra, Luis Ángel, Estudio comparado de Derecho Ambiental,  
[http://www.inredh.org/archivos/libros/estudio\\_comparado\\_derecho\\_ambiental.pdf](http://www.inredh.org/archivos/libros/estudio_comparado_derecho_ambiental.pdf)  
, fecha de consulta noviembre 2011

[10] Wikipedia.org, Vitamina A, [http://es.wikipedia.org/wiki/Vitamina\\_A](http://es.wikipedia.org/wiki/Vitamina_A) , fecha de  
consulta noviembre 2011

[11] Medline Plus, Vitamina A,  
<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002400.htm> , fecha de  
consulta noviembre 2011

[12] Lenntech, Nitrógeno y sus efectos sobre la salud,  
<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/n.htm> , fecha de consulta noviembre  
2011

[13] Presidencia de la República del Ecuador, Norma de la Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, [faolex.fao.org/docs/texts/ecu39849-VIa.doc](http://faolex.fao.org/docs/texts/ecu39849-VIa.doc) , fecha de consulta noviembre 2011

[14] migv20043607, Algunas aplicaciones de la Exponencial y los Logaritmos, <http://www.scribd.com/doc/14237870/Aplicaciones-de-La-Exponencial-Y-Los-Logaritmos>, fecha de consulta diciembre 2011

[15] Milliarium.com, Contaminación del Agua por Nitratos, <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Nitratos/Welcome.asp>

[16] Libro Electrónico Ciencias de la tierra y el medio ambiente, Contaminación de las aguas subterráneas, <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/170AgSub.htm#Por%20agotamiento%20del%20acu%C3%ADfero> , fecha de consulta diciembre 2011

[17] Wikipedia.org, Uso de suelo, [http://es.wikipedia.org/wiki/Usos\\_del\\_suelo](http://es.wikipedia.org/wiki/Usos_del_suelo) , fecha de consulta diciembre 2011

[18] Soto, Lauro, Arboles de Decisión, <http://www.mitecnologico.com/Main/SistemasDeApoyoTomaDeDecisiones> , fecha de consulta diciembre 2011



[19] Soto, Lauro, Arboles de Decisión,

<http://www.mitecnologico.com/Main/ArbolesDeDecision> , fecha de consulta diciembre 2011

[20] Instituto Tecnológico de La Paz, México, Sistemas,

<http://sistemas.itlp.edu.mx/tutoriales/analisis/54.htm> , fecha de consulta diciembre 2011

[21] Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), Árbol de Decisiones,

<http://www.utm.mx/~jahdezp/archivos%20estructuras/DESICION.pdf> , fecha de consulta diciembre 2011

[22] Alegsa- Diccionario de Informatica, Definición de Sistema Experto,

<http://www.alegsa.com.ar/Dic/sistema%20experto.php> , fecha de consulta diciembre 2011

[23] Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, Sistemas basados en Reglas,

[http://ai.frm.utn.edu.ar/micesari//files/SISTEMAS\\_BASADOS\\_REGLAS.pdf](http://ai.frm.utn.edu.ar/micesari//files/SISTEMAS_BASADOS_REGLAS.pdf) , fecha de consulta diciembre 2011

[24] Quiroga, Juan Pablo, Requerimientos funcionales y no funcionales,

<http://sistemas.uniandes.edu.co/~csof5101/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=principal:csof5101-requerimientos.pdf> , fecha de consulta diciembre 2011.

[25] Montaña Armijos, Mariano de Jesús, Sanfeliu Montolío, Teófilo, Ecosistema Guayas (Ecuador). Medio Ambiente Y Sostenibilidad, <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6705> , fecha de consulta diciembre 2011

[26] Rodriguez, Edwin, Tecnorevista, Lg revela su primera solución para el tratamiento de aguas residuales, <http://tecnorevista.com/lg-revela-su-primera-solucion-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/> , fecha de consulta diciembre 2011

[27] Gorbatt, Alberto, Proyecto Protección de Riberas, Tartagal (Salta, Argentina), <http://arqa.com/index.php/esc/colaboraciones/proyecto-proteccion-de-riberas-tartagal.html> , fecha de consulta diciembre 2011

[28] Todoprogramas, NetBeans 7.0.1, <http://www.todoprogramas.com/macintosh/netbeans> , fecha de consulta diciembre 2011.