

*Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas*  
*Facultad de Matemática, Física y Computación*  
*Licenciatura en Ciencias de la Computación*



*Trabajo de Diploma*

*Sistema de Información Geográfica para el monitoreo de indicadores de  
desarrollo sostenible en territorios y empresas cubanas.*

*Autor: Asley Lizano Mederos.*

*Tutores: Msc. Saumel Enríquez Caro.*

*Ing. Ramdy Ramírez Leal.*

*Santa Clara 2011*

## *Dedicatoria*

*A la persona que más quiero: mi madre, que ha dado lo mejor de sí y me ha apoyado en todo momento de mis estudios.*

*A mis abuelos, que más que eso son mis padres.*

*A mi hermana que me llena siempre de alegría y para la cual trato de ser el mejor guía posible.*

*A mi tío Jorge que ha sido como un padre para mí.*

*A mi novia por darme la posibilidad de compartir cada uno de estos días junto a ella y darme fuerzas para continuar.*

## *Agradecimientos.*

*A mis tutores Saumel y Randy.*

*A Maibel que fue de gran ayuda en la realización de esta investigación.*

*A Hermes por su ayuda desinteresada.*

*Pensamiento.*

## **RESUMEN**

Los Sistemas de Información geográfica han demostrado ser herramientas muy útiles en el apoyo a la toma de decisiones. En la actualidad, donde la inmediatez de la información puede definir la competitividad de las empresas en el mercado, el uso de este tipo de sistemas, es casi imprescindible. Garantizar la subsistencia de las empresas en el siglo XXI es sinónimo de planificar estrategias que garanticen el desarrollo sostenible. En esta investigación se propone el diseño de un Sistema de Información geográfica que permita mostrar información medioambiental y sea integrable con otros Sistemas de gestión que actúen de forma conjunta como una plataforma de apoyo a la toma de decisiones en empresas y territorios cubanos.

## **ABSTRACT**

Geographic Information Systems have proven to be useful tools to support decision making. At present, where the immediacy of information can define the competitiveness of companies in the market, the use of such systems, it is almost essential. Ensuring the survival of companies in the XXI century is synonymous with planning strategies to ensure sustainable development. This research proposes the design of a Geographic Information System for displaying environmental information and be integrated with other management systems together act as a platform to support decision making in Cuban companies and territories.

<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>1</i>
<i>CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES DE LOS SIG, LAS TECNICAS DE VC Y SU INTEGRACION CON HERRAMIENTAS EMPRESARIALES PARA LA GESTION AMBIENTAL</i> .....	<i>6</i>
1.2 Técnicas de Visualización Científica. ....	8
1.2.1 Técnicas de Visualización basada en escala de colores.....	9
1.3 Integración de Visualización Científica y Sistemas de Información Geográfica. ....	10
1.4 Aplicación de los SIG y su integración con otros sistemas. ....	11
1.4.1 Ejemplos de SIG y CMI.....	12
1.5 Tecnologías de Software Libre para implementar SIG.....	14
1.5.1 Los servidores geográficos. Geoserver 2.0. ....	14
1.5.2 PostgreSQL como gestor de base de datos .....	16
1.5.3 PostGis como extensión georreferencial.....	17
1.5.4 Java como lenguaje de desarrollo. ....	18
1.5.5 Eclipse como IDE de desarrollo. ....	18
1.5.6 GWT y OpenLayers para el entorno visual. ....	18
1.6 Conclusiones parciales. ....	19
<i>CAPÍTULO II. DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA</i> .....	<i>21</i>
2.1 Sobre el SisGIM 2.0.....	21
2.2 Arquitectura del sistema.....	22
2.3 Sistema Información Geográfica y Visualización Científica para el SisGIM (SIG&VC) .....	24
2.4 Estructura del SIG&VC .....	25

2.4.1 Elaboración y contenido. ....	26
2.4.3 Diseño. ....	28
2.6 Conclusiones Parciales .....	33
<i>CAPÍTULO III. Implementación y configuración del MANUAL DE USUARIO .....</i>	<i>34</i>
3.1 Requerimientos de hardware. ....	34
3.2 Implementación y Configuración del SisGIM 2.0 .....	35
3.3 Configuración del entorno de desarrollo .....	36
3.4 Manual de Usuario. ....	42
3.4.1 Vista del Especialista de Mapas. ....	44
3.4.2 Vista del Usuario común.....	48
3.4.2.1 Tematizaciones.....	55
3.4.2.2 Dibujo del comportamiento de los indicadores. ....	57
3.5 Validación del sistema. ....	63
3.6 Conclusiones Parciales. ....	64
<i>CONCLUSIONES .....</i>	<i>65</i>
<i>RECOMENDACIONES.....</i>	<i>66</i>
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i>	<i>67</i>



## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Estructura General del Sistema. ....	23
Figura 2: Diagrama de paquetes del SisGIM 2.0 .....	26
Figura 3: Diagrama de Actores y Casos de Uso .....	28
Figura 4: Diagrama de estado para el caso de uso: Cargar Mapas .....	30
Figura 5: Diagrama de estado para el caso de uso: Mostrar Mapas por capas. ....	31
Figura 6: Diagrama de estado para el caso de uso: Visualizar Indicador.....	31
Figura 7: Diagrama de estado para el caso de uso: Agregar proyecto. ....	32
Figura 8: Diagrama de estado para el caso de uso: Eliminar proyecto. ....	32
Figura 9: Diagrama de despliegue del SisGIM.....	35
Figura 10: Inicio del Eclipse. ....	36
Figura 11: Menú "File" del Eclipse para importar un proyecto. ....	37
Figura 12: Buscar proyecto de Eclipse. ....	38
Figura 13: Opciones necesarias para un buen funcionamiento.....	39
Figura 14: Proyecto ya añadido al Eclipse. ....	40
Figura 15: Opciones para compilar y/o ejecutar el proyecto. ....	41
Figura 16: Ventana del Jetty. ....	42
Figura 17: Inicio de sesión.....	43
Figura 18: Selección de "Tab" de "Mapas" en el SisGIM 2.0 .....	43
Figura 19: Acciones Iniciales del Especialista de mapas en del SisGIM 2.0 .....	45
Figura 20: Agregar Mapa.....	45

Figura 21: Eliminar Mapa.....	47
Figura 22: Otros proyectos para eliminar mapa.....	48
Figura 23: Cargar proyecto.....	49
Figura 24: Ventana de proyectos del SisGIM 2.0.....	50
Figura 25: Ventana de las capas de proyectos del SisGIM 2.0.....	51
Figura 26: Ventana inicial al cargar mapas. ....	52
Figura 27: Trabajo con las marcas. ....	53
Figura 28: Acciones sobre marcas. ....	54
Figura 29: Editar estilo Sostenibilidad. ....	55
Figura 30: Editar estilo Sostenibilidad 2. ....	56
Figura 31: Ventana de selección de capa al dibujar. ....	56
Figura 32: Resultado de capa al dibujar Sostenibilidad. ....	57
Figura 33: Dibujo Indicador-Zona. ....	58
Figura 34: Ventana de selección de Indicadores.....	58
Figura 35: Ventana de selección de Zonas ....	59
Figura 36: Resultado Indicador-Zona.....	60
Figura 37: Botón Zona-Indicador.....	61
Figura 38: Ventana Zonas.....	61
Figura 39: Ventana Indicadores .....	62
Figura 40: Resultado Zona-Indicador.....	63

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la percepción de los recursos naturales del planeta ha cambiado mucho, en muchos casos debido al incremento de los problemas ambientales, por lo que surge la necesidad de incorporar el cuidado del medio ambiente para un desarrollo sostenible.

*“Los primeros síntomas de degradación se relacionan con la pérdida de las funciones ambientales que cumplen los ecosistemas, que constituyen un indicador temprano de disfunciones asociadas a la degradación. Muchos de los cambios no pueden medirse con métodos cuantitativos, por lo que es necesario desarrollar métodos cualitativos que describan la intensidad o la gravedad de tales fenómenos y la amenaza que representan para la integridad de los sistemas naturales y humanos.”(Quezada and Varnero, 2009)*

Un desarrollo sostenible debe promover la conservación de los recursos naturales y ser técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable, de manera tal que permita satisfacer las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de generaciones futuras de satisfacer las suyas propias.(Graf, 2005)

En esta nueva concepción, de un desarrollo sostenible, surge la imperiosa necesidad de un profundo conocimiento de la información medioambiental por parte de los organismos responsables del proceso de toma de decisiones.(Guevara, 2005) Esto también se convierte en un problema ya que la correcta toma de decisiones en periodos cortos de tiempo ha sido un tema primordial en el mundo entero.

### **Planteamiento del Problema Científico.**

Todos estos graves problemas han impulsado el desarrollo de soluciones en varios campos de investigación y se crean innumerables proyectos con el fin de conservar los recursos naturales para lograr un desarrollo sostenible.

Por su parte, Cuba no está ajena a estas necesidades y con el avance de las tecnologías de la información (TICs) desde hace algún tiempo promueve el desarrollo de aplicaciones, desde la perspectiva tecnológica, que contribuyan con el cuidado del medioambiente. Por lo que contar con una herramienta que le permita a los directivos empresariales el control de los indicadores medioambientales facilitando así la toma de decisiones relacionadas con el cuidado, conservación y explotación de los ecosistemas traería como resultado un desarrollo sostenible y un cuidado de forma eficaz y totalmente medible en índices de calidad. Pero a la vez se enfrenta a otros problemas como por ejemplo: el volumen de información almacenada sobre estudios ambientales realizados y la necesidad de extraer y mostrar la información útil y resumida al especialista en el momento oportuno

*“El contar con un sistema de información ambiental, es fundamental para lograr una gestión eficaz y rigurosa. En este sentido los Sistemas de Información Geográfica (SIG), constituyen una opción adecuada de manejo de información, ya que al usar el modelo de base de datos geo-relacional se asocia un conjunto de información gráfica en forma de planos o mapas a bases de datos digitales. La posibilidad de afrontar en forma dinámica y acelerada los fenómenos ambientales se presenta como otro de los importantes desafíos conceptuales y prácticos. La idea de contar con la información pertinente en el momento oportuno y en el lugar indicado constituye otra fuerza vital.”(Reuter, 2006)*

En particular, la Provincia de Villa Clara, cuenta con el sitio oficial de la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) donde se muestran datos importantes referentes al comportamiento económico, social y ambiental. Por otro lado el CESAM ha realizado estudios en diferentes territorios de la provincia con el fin de resaltar características ambientales de la misma. Basándonos en esto podemos decir que la carencia de un sistema de información geográfica que aglutine y represente sobre mapas indicadores económicos, sociales y principalmente ambientales que a su vez permitan medir un índice de sostenibilidad inherente al territorio o zona de estudio limita el espectro de información a considerar en

las decisiones y medidas que los directivos podrían tomar para el cuidado del medio ambiente.

### **Objetivo General.**

Desarrollar un Sistema de Información Geográfica para el monitoreo de información sobre desarrollo sostenible que apoye a la toma de decisiones en territorios y empresas cubanas

### **Objetivos Específicos:**

- Diseñar un sistema de Información Geográfica que permita representar variables e indicadores de sostenibilidad.
- Implementar un prototipo de Sistema de Información Geográfica que apoye a la toma de decisiones en territorios y empresas cubanas.
- Integrar técnicas de visualización científica (VC) con el prototipo implementado.
- Integrar el SIG a un Sistema de Gestión de Indicadores que permita maximizar su aprovechamiento como parte de una plataforma integrada llamada SisGIM 2.0
- Implementar un caso de estudio del a provincia de Villa Clara con datos de la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) y del Centro de Estudios y Servicios Ambientales (CESAM) en la provincia de Villa Clara.

### **Preguntas de investigación:**

- ¿Qué características de los SIG resultan ventajosas para representar información medioambiental?
- ¿Qué técnicas de visualización científica son más apropiadas para representar información medioambiental?
- ¿Resulta ventajoso integrar los Sistemas de Información Geográficas con otros sistemas de gestión como fuentes de datos sobre desarrollo sostenible?

### **Justificación de la investigación**

El laboratorio de Computación Gráfica del Centro de Estudios Informáticos (CEI) de la UCLV de conjunto con el Centro de Desarrollo de Software (CDS-VC) de la Universidad de Ciencias Informáticas (UCI) ha venido, desde hace algún tiempo, desarrollando una plataforma informática para la gestión medioambiental que consiste en el desarrollo de sistemas de información medioambientales para monitorear indicadores y visualizarlos sobre mapas permitiendo así más claridad para el directivo en la toma de decisiones que sean integrables y cooperativos entre sí. Específicamente se desarrolló como parte de este proyecto el SisGIM 1.0 para la Empresa de Proyectos Hidráulicos de Villa Clara con el fin de determinar y monitorear el Índice de Calidad de Agua (ICA) en las cuencas hidrográficas.

Con la experiencia acumulada en este sentido surge entonces la iniciativa de crear un sistema de información geográfica que incluya un módulo de técnicas de visualización científicas integrable a la plataforma (en lo adelante SisGIM 2.0) para monitorear el desempeño de indicadores para el desarrollo que apoye la gestión y toma de decisiones con rapidez y precisión. Esto, a su vez, facilitará la evaluación del impacto ambiental en la ejecución de cualquier proyecto en la zona de estudio y permitirá el análisis en tiempo real de la concentración de contaminantes a fin de tomar las precauciones y medidas pertinentes. También será de fundamental ayuda en trabajos tales como reforestación, explotaciones agrícolas, estudios de representatividad, caracterización de ecosistemas, estudios de fragmentación y estudios de especies. (Armenteras, 2002)

### **Estructura general de la tesis.**

La tesis está compuesta por introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y anexos. El primer capítulo está dedicado a definir características distintivas de los Sistemas de Información Geográfica orientados a datos medioambientales teniendo en cuenta la utilización de técnicas de visualización científica, así como cada uno de las tecnologías de software libre necesarias para lograr el desarrollo de una potente herramienta que

contribuya en la toma de decisiones. En el segundo capítulo se exponen los detalles de diseño e implementación del módulo de Mapas sobre el cual se muestran indicadores económicos, políticos, sociales y se aplican técnicas de visualización científica. El tercer capítulo está reservado para la documentación y escenarios del uso del módulo de mapas dentro del software. En las conclusiones se expresa la medida en que los objetivos fueron cumplidos y al final se anexan algunas tablas y fórmulas utilizadas en el desarrollo de la investigación.

## **CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES DE LOS SIG, LAS TÉCNICAS DE VC Y SU INTEGRACION CON HERRAMIENTAS EMPRESARIALES PARA LA GESTION AMBIENTAL.**

El presente capítulo está dedicado al análisis bibliográfico realizado sobre los Sistemas de Información Geográfica y su utilización en el manejo de la información medioambiental, apoyándose además en el análisis de Técnicas de Visualización Científica que faciliten el proceso de toma de decisiones y la gestión de los datos. También se muestra su posible integración a herramientas empresariales que permitan aprovechar al máximo las bondades de este sistema de información y se analizan las tecnologías de software libre existentes, así como la factibilidad de desarrollar una aplicación web que solucione el problema científico antes indicado.

### **1.1 Aspectos Generales de los Sistemas de Información Geográfica.**

Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial. Estos sistemas surgieron como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato, alcanzando una alta connotación en el mundo de la informática. Su desarrollo en los últimos años evidencia la actividad constante en pos de su mejoramiento, y su estructura perfectamente organizada les permite el protagonismo en una gran cantidad de aplicaciones, convirtiéndose así en un modelo plenamente operativo, haciéndose cada vez más aceptada y más costosa a medida que la tecnología de cómputo se perfecciona (Maniyar and Nabney, 2006).

Existen muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos y otras sus funcionalidades, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, útil para el análisis y apoyo en la toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo empresarial (Hearnshaw and Unwin, 1994).

“Un sistema de ayuda a la decisión que integra datos referenciados espacialmente en un contexto de solución de problemas” (Cowen, 1988).



“Los SIG permiten relacionar información de cualquier tipo (base de datos) con una localización geográfica (mapa)”(Armenteras, 2002)

Resultan evidentes las ventajas que sugiere el uso de sistemas de información que puedan ser referenciados a entidades espaciales, particularmente por la gran utilidad que significa combinar la potencialidad de la parte gráfica del sistema con un banco de datos interactivo y de actualización automática(Velázquez and Solenzal, 2010).

De estas definiciones se puede extraer que la importancia de los SIG radica en que las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de datos que sólo pueden ser relacionados por su posición geográfica o distribución espacial. Sólo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando la geo-referenciación para analizar patrones, relaciones y tendencias en la información, todo con el fin de contribuir a tomar mejores decisiones.

Los SIG que tienen aplicación a los problemas medioambientales con el objetivo de prevenir y detectar afectaciones a los recursos naturales, son considerados Sistemas de Información Geográfica Medioambientales y como su nombre lo indica su principal diferencia del resto de los SIG es el tipo de información que utilizan para la gestión y toma de decisiones. Permiten determinar el impacto ambiental de un proyecto en una región determinada, así como medir el grado de contaminación y los agentes contaminantes de la misma con la mayor exactitud posible. Además son muy importantes en trabajos de explotación agrícola, reforestación y estudio de ecosistemas.(Armenteras, 2002)

Con todo esto, las previsiones para el futuro son esperanzadoras en cuanto a obtener una herramienta de trabajo medioambiental de gran potencia y alcance, más si se tiene en cuenta las posibilidades de consulta que, a través de internet(eduteka, 2011), se podrían realizar a la aplicación. En gran medida el futuro de los recursos naturales de país depende de herramientas que le permitan a los especialistas u organizaciones estudiar, conocer y

evaluar las condiciones de una región determinada y tomar las medidas pertinentes para la preservación de los recursos antes de que sea demasiado tarde.

Entre las aplicaciones principales de los SIG se encuentran la Cartografía Automatizada, Gestión Territorial, Equipamiento Social, Recursos Mineros, Demografía, GeoMarketing, Banca, Planimetría, Cartografía Digital 3D, Medio Ambiente y otros (Carstensen, 1986).

Otra característica poderosa de los SIG es la facilidad para relacionar simultáneamente, por medio de capas, diferentes tipos de información con una localización geográfica. Esto permite comparar y analizar información con el fin de revelar causas y efectos muy difíciles de analizar con métodos cuantitativos tradicionales. Por ejemplo, una capa con información sobre enfermedades en un área particular, se puede comparar con otra capa que muestre los sitios de almacenamiento de productos tóxicos o los sistemas de tratamiento de desechos en la misma área (mundogeo, 2011)

Muchas veces la información a representar es tan complicada que poder detectar a simple vista interacciones entre las variables resulta una tarea imposible. Las técnicas de visualización científica han resultado una tecnología ampliamente utilizada y por demás efectiva para detectar y resaltar esta información subyacente que muchas veces resulta determinante.

## **1.2 Técnicas de Visualización Científica.**

La visualización que proviene desde que el hombre necesitó comunicarse y plasmó en una caverna sus primeras pinturas para mostrar al resto del mundo lo que intentaba decir, ha sido un área de interés creciente en los últimos años, sobre todo con el surgimiento de la informática. El incremento constante del volumen de datos generados en muchos campos de aplicación crea la necesidad de elaborar herramientas que permitan extraer información de estos datos de manera eficiente, así como generar imágenes cada vez más sofisticadas por el aumento sostenido de la potencia de las interfaces gráficas modernas. Junto al desarrollo de nuevas técnicas de visualización se han creado numerosas utilidades que emplean estas técnicas, tanto en forma de bibliotecas como de programas.

Visualizar es crear una representación visible de algo, ya sea un concepto, idea, un grupo de datos o de algún objeto que por pequeño, enorme o distante, no se puede abarcar o alcanzar a ver por métodos comunes. Implica representar de manera gráfica un fenómeno, ya sea estática (como por ejemplo, con una gráfica de barras) o dinámicamente, (por ejemplo, el cubo de Rubick, que fue ideado para representar las soluciones a problemas espaciales), haciendo uso de medios artificiales para representar uno o más comportamientos.

La visualización de información es el estudio interdisciplinario de la representación visual de colecciones a gran escala de información no numérica como archivos y líneas de código en sistemas de software, librerías y bases de datos bibliográficas, redes relacionales en Internet, etcétera (Friendly, 2008).

Muchas son las técnicas de VC existentes y diversos los enfoques que se han empleado para agruparlas y clasificarlas. A continuación se hará un análisis de estas técnicas en el siguiente epígrafe.

### **1.2.1 Técnicas de Visualización basada en escala de colores.**

Existen multitud de problemas en los que las grandes cantidades de datos o la forma en que están expresados los mismos hacen muy difícil la comprensión y toma de decisiones al usuario.

La técnica de visualización científica basada en colores permite agrupar muchos de estos datos y darle un sentido más comprensible asociando un determinado color a diferentes zonas según el comportamiento de los parámetros seleccionados.

En nuestro caso se encuentra implementada en varias formas permitiendo así la tematización de las mapas en cuanto a una o múltiples zonas y basada en uno o varios indicadores.

Su uso resulta de gran apoyo en la toma de decisiones y hace más viable el proceso de comprensión

### **1.3 Integración de Visualización Científica y Sistemas de Información Geográfica.**

En la sociedad de la información y el conocimiento es imprescindible eliminar todos aquellos obstáculos que puedan impedir el acceso de las personas a cualquier tipo de tecnología, Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas informáticas que aúnan los conocimientos geográficos, la cartografía digital y las posibilidades de gestión de la informática para permitir la gestión y el análisis de todas aquellas información con una componente "espacial".

A finales de los años ochenta y principio de los noventa las técnicas de VC y SIG se desarrollaron en paralelo y de forma independiente (Rhyne and MacEachren, 2004). Como resultado de esto surgieron muchas ineficiencias asociadas con la visualización de datos geográficos. Entre estas deficiencias se encontraban las dificultades con el registro de los datos espaciales dentro de los Sistemas de Visualización Científica (SVC), producciones engorrosas de secuencias de animaciones en SIG y quizás la más importante, la falta de conexión entre bases de datos y los ambientes que soportaban la visualización de datos espaciales (Hearnshaw and Unwin, 1994). No fue hasta 1994 que se establecieron un conjunto de métodos de integración entre estas dos disciplinas (Rhyne, 1994).

Un campo de la visualización que relaciona los SIG con la visualización científica y la visualización de información es la Geovisualización. Este es un término que se refiere a un conjunto de herramientas, técnicas y métodos para el análisis de datos geoespaciales apoyándose principalmente en la visualización interactiva.(MacEachren and Menno-Jan, 1997, MacEachren and Menno-Jan, 2001)

En la última década la visualización geográfica o geovisualización ha surgido como un subcampo único con sus propios retos. Sin embargo, en la actualidad los SIG y las herramientas de desarrollo de visualización geográfica han unido esfuerzos para expandir e integrar estos sistemas, (Jiang and Li, 2005). Desde sus inicios en la década del noventa,

los desarrolladores de herramientas de VC y SIG han realizado grandes esfuerzos para extender e integrar sus sistemas (Rhyne, 1994, Rhyne, 2000).

Hoy se trabaja arduamente en la mejora de la visualización de los datos geográficos (cartográficos, meteorológicos, etcétera) para lograr una mejor percepción de estos por parte de los usuarios. En esta área se trabaja con el objetivo de optimizar algoritmos de búsqueda en las bases de datos para minimizar los tiempos de representación visual de los pedidos, en lograr una visualización más entendible de datos complejos para lograr una mejor comprensión de las imágenes dado lo complicado que puede tornarse para el ojo humano distinguir ciertos datos importantes en un conjunto, los esfuerzos se concentran también en hacer un uso más eficiente y racional de las tecnologías existentes.

En materia de integración de la visualización con la computación se trabaja también en adaptar a la representación de datos métodos que permitan incrementar el rango de tareas que los sistemas de geo-visualización pueden o debieran soportar (descubrimiento y construcción de conocimiento y toma de decisiones), además de crear y mejorar tendencias hacia el enfoque visual para el análisis de datos y en especial aplicados a la minería de datos (MacEachren and Menno-Jan, 2001).

#### **1.4 Aplicación de los SIG y su integración con otros sistemas.**

Los SIG son ampliamente difundidos y utilizados como una herramienta de ayuda a la gestión y toma de decisiones en varios sectores y ramas como son: en entidades públicas y Territoriales (cartografías automatizadas), Infraestructura de redes de electricidad y alcantarillado, medio ambiente, Geomarketing.(Elangovan, 2006)

Con un SIG, instituciones gubernamentales o empresas de mercadeo pueden relacionar información demográfica de censos con mapas políticos; médicos y hospitales pueden relacionar mapas de enfermedades con condiciones de salubridad; autoridades y legisladores pueden relacionar mapas de lugares donde se cometieron crímenes con patrones de criminalidad; personal de servicios de emergencia puede relacionar mapas de áreas de riesgo con información sobre inundaciones o incendios forestales. Los ejemplos de

utilización de los SIG son virtualmente ilimitados, como ilimitado es el tipo y cantidad de información que se puede asociar con lugares particulares de la tierra (Davis, 2003).

Así como los SIG se utilizan para diversas aplicaciones en el mundo real, pueden usarse en la escuela como una valiosa herramienta pedagógica.(eduteka, 2011)

Es por ello que en la búsqueda de sistemas para el apoyo a la toma de decisiones los SIG son un elemento importante a considerar(Sánchez, 2009). Según datos extraídos de encuestas realizadas en España demuestran que se ha producido un incremento en el uso de los SIG principalmente en proyectos relacionados al Medio Ambiente y la Gestión de Recursos Naturales y también registran un importante avance en materia de integrar los SIG con otros sistemas corporativos que le ayuden a resaltar sus potencialidades en el análisis de los datos geo-referenciados (mundogeo, 2011)

#### **1.4.1 Ejemplos de SIG y CMI**

No resulta muy difícil imaginar entonces que los SIG y la metodología de Cuadro de Mando Integral (CMI) hayan sido relacionadas entre ellas en la búsqueda de soluciones a problemas medioambientales. Se ha demostrado entonces que ambas tecnologías trabajando de conjunto, constituyen una herramienta poderosa en lo que respecta a gestión y toma de decisiones(Gálvez and Mellado, 2009).

El concepto de Cuadro de Mando Integral “Una herramienta de gestión que traduce la estrategia de la empresa en un conjunto coherente de indicadores” (Acuña, 2008).

En el análisis bibliográfico realizado se encontraron dos ejemplos que por su importancia en el tema de integración de los CMI y los SIG resultan de interés:

#### **1. Sistema de Información Geográfica del Sistema de Información Ambiental Costero (SIAC)**

Es el proceso y los resultados de la implementación de un Sistema de Indicadores de desarrollo sostenible para Uruguay. Se trata de un proyecto pionero para el contexto uruguayo, denominado “Sistema de Monitoreo Socio-Económico, Ambiental y Territorial”.

Se implementó un Sistema de indicadores que permite una variedad de funciones de visualización y combinación de indicadores que sirven como herramienta en la toma de decisiones a diferentes niveles para un desarrollo más sostenible.

El Sistema de Información Ambiental Costero (SIAC) cuenta con un sistema de información geográfico (SIG) en línea, es decir, un visualizador de mapas temáticos en formato digital a través de internet. El SIG ha sido desarrollado como herramienta de apoyo a la gestión integrada de la zona costera (GIZC) uruguaya.

La información presente en el SIAC abarca diferente temática relacionada a la costa como son: fauna, flora, actividades antrópicas, infraestructuras, indicadores sociodemográficos, e imágenes satelitales de alta resolución entre otras.

## **2. Sistema Gerencial para la Información Medioambiental (SisGIM 1.0)**

Está orientado a la web con el objetivo de asistir a los especialistas de la empresa de Recursos Hidráulicos en Villa Clara en la toma de decisiones para el monitoreo eficiente de los recursos hidráulicos en la cuenca hidrográfica de Sagua la Grande.

La implementación de la herramienta se basa principalmente en un Sistema de Información Geográfica que incluye técnicas de Visualización Científica e incorpora un módulo de gestión de indicadores en las estaciones de monitoreo, para esto se apoya en la metodología de Cuadro de Mando Integral.

El SisGIM está compuesto por dos módulos principales, dedicados el primero a la visualización de los datos de forma espacial y la aplicación de técnicas de Visualización Científica para establecer correlaciones entre determinados parámetros, y el segundo a la gestión de indicadores relacionados con la calidad y el saneamiento de las aguas en las cuencas del país. Además posee un módulo más pequeño para la seguridad y el control de los usuarios. Esta aplicación constituye el primer intento del proyecto SisGIM en crear una herramienta gerencial para la información medioambiental y esta investigación es la segunda iteración de este tipo de solución que propone el equipo de desarrollo del SisGIM.

## **1.5 Tecnologías de Software Libre para implementar SIG.**

Como diría Richard M. Stallman, padre del software libre (Stallman, 2006):

*“El software libre construye una sociedad mejor....Con software libre tienes libertad...”*

El software libre es una cuestión de la libertad de los usuarios de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el software. Esta tecnología no sólo ofrece facilidades al programador, significa libertad para cualquier tipo de persona u organización de usarlo en cualquier tipo de sistema de computación, para cualquier trabajo y propósito.

En esta investigación se han utilizado tecnologías de software libre orientadas a la web y relacionadas con los SIG con el objetivo de hacer más viable la misma y de que pueda ser enriquecida con nuevas ideas por personas interesadas en el tema.

### **1.5.1 Los servidores geográficos. Geoserver 2.0.**

Debido a la relación que existe entre la información utilizada en el proceso de toma de decisiones y la posición geográfica donde ésta se produce así como la necesidad de su análisis y representación gráfica en entornos web, el actual empleo y desarrollo de las tecnologías IMS (Internet Map Service), así como el costo económico que implican las soluciones privativas de éstas tecnologías hacen que el estudio del posible empleo y desarrollo de soluciones de código abierto sea una tarea obligatoria, más aún cuando se aboga por una total independencia tecnológica (Velázquez and Solenzal, 2010).

El empleo de soluciones como Geoserver, Degree o MapServer ofrece grandes posibilidades de lograr aplicaciones funcionales y robustas a un costo que muestra un considerable ahorro económico en materia de gastos de licencias y dependencias tecnológicas(Geoserver, Septiembre 2010).

Hoy en día empresas, instituciones y organizaciones han visto los servidores geográficos como una buena opción para generar aplicaciones distribuidas de análisis espacial, siendo



algunas de sus ventajas sobre las aplicaciones tradicionales la visualización a través de internet, el resguardo y análisis de información en sistemas administradores de bases de datos y el acceso remoto de un gran número de usuarios en diversas áreas (SIGTur, Planificación, Reordenamiento, etc.).

Como resultado de las necesidades mencionadas han surgido tecnologías que permiten desarrollar SIG a través de internet con la funcionalidad de los lenguajes de programación y sistemas administradores de bases de datos comerciales y modernos.(Velázquez and Solenzal, 2010)

Existe una gran cantidad de servidores geográficos ya sea de tipo comercial u Open Source, pero los más conocidos en el mercado y en el ambiente de software son: GeomediaWeb, SIAS, MapBender, AutoDesk MapGuideServer, MapServer y Geoserver.

Los servidores de mapas permiten la interacción con la información almacenada en servidores de datos espaciales accesibles vía web. El usuario accede a la información para visualizarla, consultarla, y en función de las características de los servidores y de los servicios prestados, descargarla o realizar análisis espaciales. Es posible acceder a los servicios prestados por estos servidores de mapas a través de clientes tanto ligeros, aplicaciones web que permiten la consulta de estos servidores de mapas desde el navegador, como pesados, aplicaciones SIG de escritorio con módulos que permiten la conexión a servidores de mapas.

En esta investigación se utiliza como servidor geográfico Geoserver 2.0.0. A continuación se abarcarán algunas características esenciales del mismo.

Geoserver es un servidor de código abierto desarrollado en Java, lo que le hace ser multiplataforma, que permite a los usuarios compartir y editar datos geoespaciales. Diseñado para la interoperabilidad, publica información de cualquier fuente de datos espaciales con estándares abiertos.

Está desarrollado sobre la base Geotools, una biblioteca de Sistemas de Información Geográfica. Geoserver lee una variedad de formatos de datos, incluyendo PostGis, Oracle Spatial, ArcSDE, DB2, MySQL, Shapefiles, GeoTIFF, GTOPO30, ECW, MrSID y JPEG2000. A través de protocolos estándares es capaz de generar KML, GML, Shapefile, GeoRSS, PDF, GeoJSON, JPEG, GIF, SVG, PNG y otros. Además, se puede editar datos a través de WFS transaccionales (WFS-T). Geoserver incluye un cliente integrado OpenLayers capaz de visualizar datos para obtener una vista previa.

Permite la publicación eficiente de datos geoespaciales de Google Earth a través de la utilización de enlaces de red, utilizando KML. Permite utilizar las funciones avanzadas de Google Earth para incluir plantillas de salida, pop-ups, el tiempo, altura de visualizaciones, y "super-overlays".

Geoserver es la implementación de referencia del Open Geospatial Consortium (OGC) para las normas Web Feature Service (WFS) y Web Coverage Service (WCS), además está certificado como servidor de alto rendimiento para Web Map Service (WMS) y es un componente básico de la web Geoespacial (Sitio Oficial de Geoserver).

### **1.5.2 PostgreSQL como gestor de base de datos**

El SGBD propuesto es PostgreSQL, es un SGBD de código abierto, relacional, orientado a objeto publicado bajo licencia BSB con una comunidad de desarrollo tan grande como activa que ha demostrado su poderío desde sus propios inicios, siendo adoptado por muchas instituciones gubernamentales y empresas en todo el mundo convirtiéndose en el SGBD libre por excelencia (PostgreSQL, Julio 2009). La versión utilizada en nuestro caso fue la 8.4, entre las mejoras más populares están:

- Restauración la base de datos en paralelo, acelerando la recuperación de copia de seguridad hasta 8 veces.
- Permisos por columna, lo que permite un control más granular de los datos sensibles.
- Soporte de intercalación por base de datos, haciendo a PostgreSQL más útil en entornos multilingües.

- Permite actualizaciones de 8.3 a 8.4 a través de pg\_migrate (beta) sin tiempo de inactividad extenso.
- Nueva herramienta de monitoreo de consultas, dando a los administradores una visión más clara dentro de la actividad de consultas.
- Nuevas herramientas de monitoreo para consultas en curso, carga de consulta y bloqueos.

La versión 8.4 también hace más fácil el análisis de datos a través de las características avanzadas de ANSI SQL2003, las funciones, ventanas, las expresiones de tabla comunes y consultas recursivas. Mejoras a los procedimientos almacenados, tales como los parámetros por defecto y los parámetros variadic<sup>6</sup>, hacen que la programación en el servidor de datos sea más simple y compacta, además de mejoras en el rendimiento.(PostgreSQL, 2009)

### **1.5.3 PostGis como extensión georreferencial.**

PostGis es una extensión al sistema de base de datos PostgreSQL, este le permite almacenar objetos geográficos además implementa diversas funcionalidades topológicas, posibilitando el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG)(Leal et al., 2010).

Siguiendo los estándares del Open Geospatial Consortium, PostGis posee como características:

- Tipos de geometría para puntos, líneas, polígonos, multipuntos, multilíneas, multipolígonos y colección de geometrías.
- Predicados espaciales para determinar las interacciones de las geometrías utilizando la matriz de 3x3 Egenhofer (proporcionado por la librería GEOS).
- Operadores espaciales para determinar las medidas geoespaciales como el área, distancia, longitud y perímetro.
- Operadores espaciales para determinar las operaciones geoespaciales de conjunto, como la unión, diferencia, diferencia simétrica y buffers (proporcionado por GEOS).
- R-tree sobre GIST, los índices espaciales para realizar consultas espaciales de alta velocidad.

- Índice de apoyo a la selectividad, para ofrecer planes de consulta de alto rendimiento para la mezcla de consultas espaciales/no espaciales.

#### **1.5.4 Java como lenguaje de desarrollo.**

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos, multiplataforma y muy fácil de aprender para aquellos que se inician en él, liberado bajo licencia GPL. Actualmente posee una comunidad de más 6,5 millones la mayor y más activa del mundo, encargada de probar, mejorar y ampliar este lenguaje.(Java, 2011)

Entre las características que posee están: Java es compilado, en la medida en que su código fuente se transforma en una especie de código máquina, los bytecodes, semejantes a las instrucciones de ensamblador. Por otra parte, es interpretado, ya que los bytecodes se pueden ejecutar directamente sobre cualquier máquina a la cual se hayan portado el intérprete y el sistema de ejecución en tiempo real (run-time).

#### **1.5.5 Eclipse como IDE de desarrollo.**

Eclipse es un entorno de desarrollo integrado de código abierto multiplataforma que permite el uso de varios lenguajes de programación como java, C/C++ y Python, así como el trabajo con lenguajes para procesamiento de texto como LaTeX, aplicaciones en red como Telnet y Sistema de gestión de base de datos.

Para la integración del IDE de desarrollo Eclipse con GWT existe el plugin gwt-2.1.0 capaz de integrar sin problemas estas dos tecnologías.

#### **1.5.6 GWT y OpenLayers para el entorno visual.**

Google Web Toolkit (GWT) es un framework creado por Google bajo Licencia Apache v2.0 que permite crear aplicaciones AJAX en el lenguaje de programación Java que son compiladas posteriormente por GWT en código JavaScript ejecutable optimizado que funciona automáticamente en los principales navegadores. La utilización de GWT está dada por la fortaleza que posee como tecnología, además de incorporar estilos de organización muy convenientes para el desarrollo (Google, 2010). Sólo se utiliza un

lenguaje de programación, lo que hace que los programadores puedan dominar el trabajo de todas las capas y moverse por las mismas sin necesidad de especializarse en una determinada, algo muy útil cuando el equipo de desarrollo es pequeño. Esto permite que el desarrollo pueda dividirse en módulos de trabajo, según las funcionalidades que se agrupen, en lugar de capas como presentación y negocio; esto representa una ventaja para este tipo de sistemas que poseen varias funciones similares que comúnmente se agrupan en módulos y poder organizar el trabajo con esta filosofía lo agiliza y permite que el conocimiento se encuentre compartido en el equipo, base necesaria para la utilización de una metodología de desarrollo ágil, lo que puede resultar ventajoso considerando la premura de la solución.

OpenLayers hace que sea fácil poner un mapa dinámico en cualquier página web. Se puede mostrar bloques de mapa y marcadores cargados de cualquier fuente (OpenLayers, 2010). OpenLayers se ha desarrollado para promover el uso de la información geográfica de todo tipo. OpenLayers es totalmente gratuito, de código abierto JavaScript, publicada bajo una licencia tipo BSD. Entre las ventajas que posee que fundamentan su uso se encuentran:

- No requiere instalación.
- Menor procesamiento en el servidor.
- Puede ampliar fácilmente el código para su aplicación en particular.
- Puede utilizar múltiples servidores de datos.

Un requisito que puede ser de desventaja en otro ambiente es que el desarrollador necesita de conocimientos de JavaScript, CSS y HTML. Para contrarrestar esto el uso de GWT abstrae al desarrollador de dichos lenguajes encapsulándolos mediante el plugin GWT-OpenLayers en el lenguaje de desarrollo Java creando así una homogeneidad en el proceso de desarrollo.

## **1.6 Conclusiones parciales.**

Después de esta revisión se puede concluir como hipótesis de la investigación que:

El desarrollo de un sistema que permita el análisis de diferentes indicadores representados mediante un sistema de información geográfica y utilizando diferentes técnicas de visualización científica proporciona una mejor vía para mostrar la información, permitiendo así la integración a otros sistemas en una plataforma que facilite la gestión y la toma de decisiones de manera más rápida y eficaz.

Además se arriban a las siguientes conclusiones:

1. Resulta beneficioso el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para poder mostrar gráficamente varios tipos de datos que en muchas ocasiones sólo pueden ser relacionados por su posición geográfica o distribución espacial.
2. El incluir técnicas de Visualización Científica para mostrar los datos almacenados simplifica la comprensión de los mismos y hace al sistema una aplicación más dinámica y compleja.
3. El uso de una aplicación web resulta muy ventajoso debido a que permite el fácil acceso de forma conjunta a varios usuarios mediante el uso de la red.
4. Las diferentes tecnologías elegidas para el desarrollo de la aplicación permiten una muy buena integración y facilidades para su uso.

## **CAPÍTULO II. DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA.**

En este capítulo se exponen los detalles de diseño e implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG&VC) que constituye un subsistema del SisGIM 2.0, se explican brevemente sus funcionalidades a través de modelos de casos de uso y las herramientas utilizadas para su desarrollo.

Además se muestra su integración con el Sistema de Gestión de Indicadores (SGI) en el SisGIM 2.0 y cómo funcionan como un conjunto para lograr hacer más entendible y aprovechable la información almacenada en los indicadores.

En particular se implementa un caso de estudio con datos de la Provincia de Villa Clara.

### **2.1 Sobre el SisGIM 2.0**

El Sistema Gerencial de Información Medioambiental (SisGIM 2.0) fue concebido con la idea de apoyar a los directivos territoriales o gubernamentales en la toma de decisiones relacionadas con el cuidado del medio ambiente. El hecho de ser implementado para la web le permite ser accedida simultáneamente y en tiempo real desde cualquier lugar, reflejando los cambios automáticamente. Este sistema tiene, como ya fue mencionado en el capítulo anterior, el antecedente del SisGIM 1.0 que fue creado únicamente para el monitoreo de las variables que intervienen en el Índice de Calidad del Agua (ICA) y con respecto a él tiene como ventaja que se ha convertido en un sistema genérico, completamente editable y manejable para cualquier problema en específico que maneje índices o indicadores de cualquier clasificación.

El SisGIM 2.0 cuenta, por el momento, con dos subsistemas que de forma integrada contribuyen a mejorar el monitoreo y control de los parámetros evaluados que el directivo considera relevantes. El SGI dedicado a la gestión de indicadores relacionados con el cuidado del medio ambiente y el segundo subsistema SIG&VC dedicado a la visualización de los datos de forma espacial y la aplicación de técnicas de Visualización Científica para establecer correlaciones entre determinados parámetros y es el que da origen a este trabajo. Además posee un módulo más pequeño para la seguridad y el control de los usuarios.

¿Por qué es valioso integrar estas tecnologías?

1. La información referenciada geográficamente y presentada de forma resumida facilita la comprensión del usuario final.
2. El análisis del comportamiento de las variables reflejado en gráficos puede ser un elemento de apoyo, a la gerencia, en la toma de decisiones.
3. En muchos casos se observa una relación directa entre tendencias de las variables y la situación geográfica.

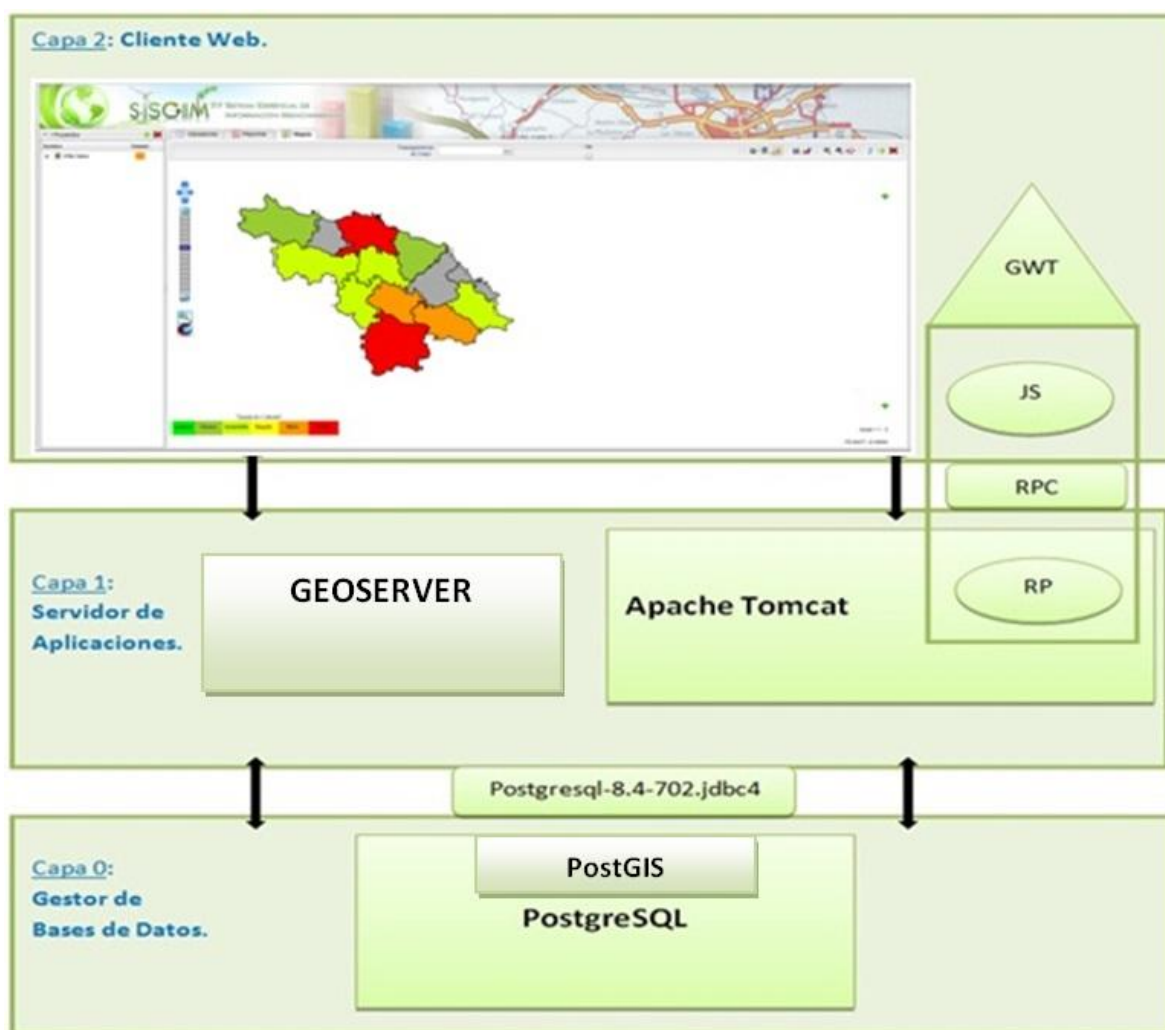
Las especificaciones y funcionalidades del SisGIM 2.0 y principalmente del SIG&VC son expuestas en los siguientes epígrafes.

## **2.2 Arquitectura del sistema.**

El sisGIM2.0 cuenta con una arquitectura de cliente servidor, su implementación se concibió desde un principio con el uso de tecnologías de software libre utilizando las facilidades que brindan las mismas, la falta de restricciones que poseen.

A continuación se muestra en la figura dicha estructura:





**Figura 1: Estructura General del Sistema.**

### El cliente web:

Es el que brinda la interfaz de comunicación con el usuario, de manera que el mismo pueda acceder a cada una de las funcionalidades que ofrece la aplicación para el trabajo con mapas. Para el desarrollo de la aplicación se necesitan integrar las bibliotecas Smart-gwt y OpenLayers.

Smart-gwt: biblioteca desarrollada en JavaScript y utilizada para proveer al sistema de una interfaz con mejor funcionalidad, mejores gráficos y una visualización mucho más rica.

OpenLayers: biblioteca desarrollada en JavaScript y utilizada para lograr la visualización de mapas dentro de la web. Permite una amplia gama de opciones para el trabajo con capas temáticas así como una fácil integración con Java.

**Como se realiza la interacción entre las capas del sistema:**

Cuando el cliente hace una petición para cargar mapas la aplicación hace una petición al PostgreSQL solicitando la información básica sobre los mapas seleccionados, una vez obtenida se convierten los datos al estándar WMS, usando la ayuda de la biblioteca OpenLayers y se hace una petición al servidor Geoserver para obtener el mapa requerido, conjuntamente con toda su información asociada y visualizarlo con OpenLayers. Las operaciones de inserción y eliminación de mapas se realizan directamente con el servidor de bases de datos PostgreSQL utilizando el servicio RPC.

Para la difusión y publicación se seleccionó la modalidad de una plataforma web producto de su dinamismo y el fácil acceso de múltiples usuarios desde lugares remotos.

Los elementos que participaron en la implementación del sistema fueron el gestor de base de datos PostgreSQL 8.4 con la extensión georreferencial de PostGis 1.5.1 como herramienta para incluir los mapas adquiridos dentro de las bases de datos y el servidor de aplicación Apache Tomcat 6.0.18. El lenguaje de desarrollo fue JAVA con el JDK 1.6.0\_12 y se utilizó con la ayuda del IDE Eclipse que provee una manera sencilla de integrar JAVA con las todas las librerías necesarias como fueron “geotools”, “Smart GWT 2.4” y “OpenLayers”, esta ultima muy importante puesto que es la utilizada para lograr la visualización de los mapas que se encuentran publicados dentro del servidor de mapas denominado Geoserver.

## **2.3 Sistema Información Geográfica y Visualización Científica para el SisGIM (SIG&VC)**

El SIG&VC es un sistema dedicado a la gestión y monitoreo de mapas que presenta varias funcionalidades y permite al cliente su uso e interacción a través de un visor de mapas temáticos. La obtención, utilización y visualización de datos es la función central del

sistema. El cliente en general tiene acceso a la visualización de mapas distribuidos en capas y puede agregar nuevas.

Una de las mayores ventajas que ofrece el SIG&VC radica en la posibilidad de integrarse al SGI contenido en el SisGIM 2.0 ya que una parte de los indicadores contenidos en el sistema se encuentran geo-referenciados, esto implica que el usuario puede visualizarlos sobre capas geográficas. Esto resulta de gran ayuda puesto que en muchas ocasiones los indicadores se encuentran almacenados y por si solos no resultan muy entendibles ni relacionables debido a la gran cantidad de datos que muchas veces se acumulan sin embargo el poder ubicarlo geográficamente sobre un territorio y observar su comportamiento dentro de esa zona puede facilitar mucho el trabajo del usuario. También como otra facilidad que brinda el sistema es que están disponibles capas geográficas complementarias a las capas básicas, esto le brinda al usuario la posibilidad de enriquecer el análisis a través de la superposición de capas de indicadores sobre diversas capas geográficas. También este sistema puede ser usado independiente al SGI, esta idea se basa en que los especialistas en mapas, que en muchos casos (como es en la Provincia y en el CESAM) no cuentan con un gestor de mapas web, a partir de ahora podrían acceder a ellos de forma centralizada y simultanea y realizar su trabajo sin impedir el de otros o sobrescribirlo.

## **2.4 Estructura del SIG&VC**

El sistema está compuesto por dos partes importantes. El primero y principal dedicado a la gestión de mapas temáticos y el segundo a la aplicación de técnicas de visualización científica sobre los indicadores georreferenciados en los mapas para poder identificar correlaciones entre ellos y posibles tendencias. Por lo que en el siguiente epígrafe se hará uso de los diagramas que aporta el Unified Modeling Language (UML) para dar una mejor visión de las funcionalidades implementadas. La herramienta “Case” utilizada para la construcción de estos diagramas fue Visual Paradigm Suite 3.0.

Como el SIG&VC es un subsistema integrado al SisGIM 2.0 a continuación se muestra el diagrama de paquetes para que se pueda comprender mejor la interoperabilidad entre sus partes.

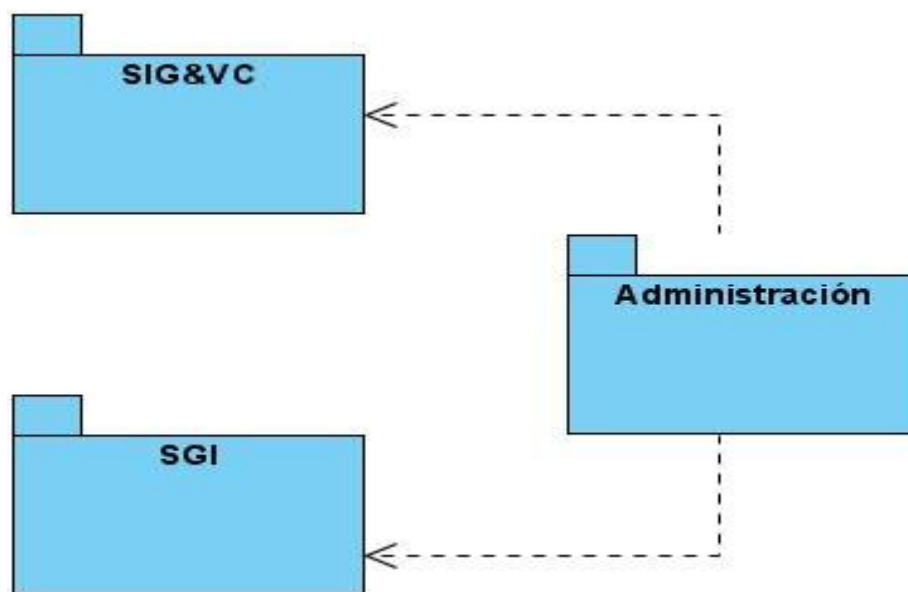


Figura 2: Diagrama de paquetes del SisGIM 2.0

### 2.4.1 Elaboración y contenido.

Lo que se propone es un sistema de información totalmente editable que le permita al usuario escoger su zona de estudio y mostrar un conjunto de mapas digitales que caractericen el lugar de forma que le permita obtener información visual. Además que permita establecer una estructura de capas que refleje relaciones entre las diferentes coberturas que conforman el espacio de trabajo. Los mapas que se muestran en la aplicación pueden ser insertados dinámicamente por el especialista. Cada uno de ellos se almacena dentro de la base de datos y son cargados al servidor geográfico Geoserver para realizarle desde cada una de las peticiones necesarias. También los mapas pueden ser visualizados no solo como unidades independientes sino que se pueden superponer capas aplicando propiedades de transparencia para aumentar la cantidad de información dentro de un área y así poder obtener mejores resultados. Se incluye además dentro de este módulo una importante funcionalidad que permite al cliente la visualización y ubicación de

indicadores sobre las diferentes capas en las que se encuentren geo-referenciados y la posibilidad de aplicar técnicas de visualización científica para facilitar el entendimiento de la información y la obtención de conclusiones sobre el comportamiento de los indicadores dentro de un área específica. Para lograr la visualización de diferentes indicadores sobre el o los mapas en que se encuentran geo-referenciados se utilizó el desarrollo de una funcionalidad que permita realizar la construcción de mapas temáticos a partir de los datos obtenidos sobre la ubicación de cada indicador dentro de la base de datos. La interfaz propone además nuevas características agregadas que permiten realizar acciones tales como aumentar o disminuir el zoom de un mapa, centrarlo en la pantalla y definir estilos a partir de datos específicos, las dos primeras ya existentes dentro de la librería OpenLayers pero en nuestro caso se reimplementaron y se ubicaron en un contexto de más fácil acceso para el cliente que el que proporciona por defecto dicha librería.

### **Desarrollo de las Tematizaciones.**

La funcionalidad que permite las tematizaciones se desarrolló con la ayuda de las librerías OpenLayers y Geotools en estrecho funcionamiento con el servidor de mapas Geoserver.

Para ello se desarrolló un método encargado de construir un estilo de forma dinámica a partir de los datos seleccionados por el cliente desde la aplicación. El método extrae dichos datos y utiliza la librería Geotools para construir el estilo basado en varios parámetros tales como los colores de relleno a utilizar para el mapa, la geo-referencia con la que se asociará cada color y la capa a la que se desea aplicar dicho estilo. A partir de tener confeccionado el estilo, se prepara la petición utilizando el formato de OpenLayers y se realiza la petición a Geoserver de la capa necesaria, pero además con el estilo construido ya dibujado sobre ella, Geoserver realiza la integración de capa y estilo y devuelve una nueva capa modificada la cual está lista para ser mostrada dentro de la aplicación.

### **Desarrollo del módulo de Visualización Científica**

Esta parte del sistema se encuentra estrechamente relacionada al módulo de tematización ya que se utiliza para lograr la técnica de visualización mediante escala de colores. Esta

técnica permite el cliente observar el comportamiento mediante una escala de colores que varía desde verde hasta rojo y muestra el valor de sostenibilidad de un indicador dado dentro de su ubicación espacial.

La principal característica implementada está dada por la creación de un estilo SLD según las normas de la librería “Geotools” que se crea de forma dinámica basado en las especificaciones del usuario y distribuyendo según los datos obtenidos, la escala de colores a utilizar en la tematización de los mapas.

### 2.4.3 Diseño.

El diseño de este módulo se logra siguiendo la implementación de cada uno de los casos de usos necesarios para lograr brindar todas las funcionalidades relacionadas con el trabajo con mapas. A continuación se muestra un diagrama con cada uno de los actores del sistema y las operaciones permitidas a cada uno de ellos.

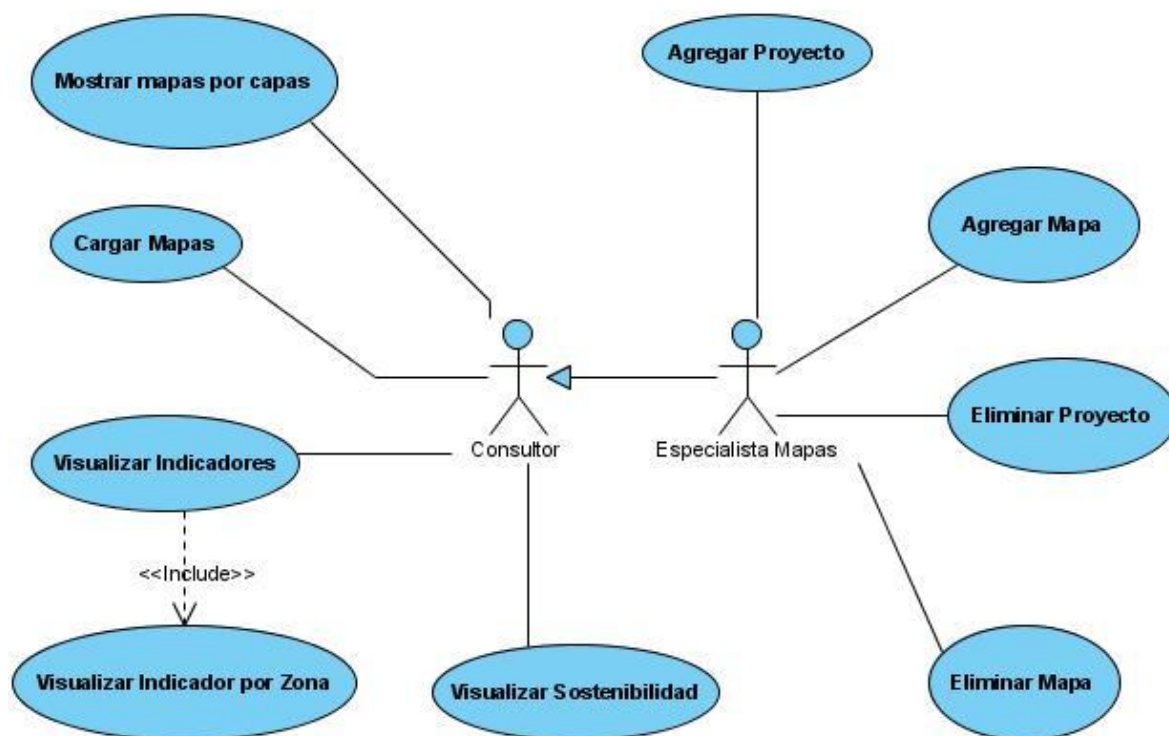


Figura 3: Diagrama de Actores y Casos de Uso

Para un mejor entendimiento de la Figura 3. Se realiza una breve descripción de la misma:

- Cargar mapas: permite al usuario cargar mapas partiendo de un proyecto existente o no para visualizarlos.
- Mostrar Mapas por capas: brinda al usuario la posibilidad de visualizar varios mapas como uno solo logrando una superposición de los mismos en varias capas.
- Visualizar Indicadores: permite al usuario ubicar un indicador geográficamente sobre un mapa.
- Visualizar Sostenibilidad: provee al usuario de la posibilidad de visualizar una capa de colores que muestra la sostenibilidad de un proyecto permitiendo así arribar a conclusiones más robustas.
- Agregar Proyecto: el usuario puede agregar un nuevo proyecto para realizar su trabajo de forma organizada.
- Eliminar Proyecto: permite eliminar un proyecto existente.
- Insertar Mapa: el usuario puede insertar nuevos mapas al sistema pudiendo incluirlos directamente dentro de un proyecto o no.
- Eliminar Mapa: permite eliminar un mapa existente ya sea que se encuentre dentro de un proyecto o no.

Las transiciones de los casos de usos del **SIG&VC** quedan detalladas en los siguientes diagramas que muestran cada uno de los posibles estados donde se encontrará la aplicación cada vez que el usuario ejecute una acción determinada:

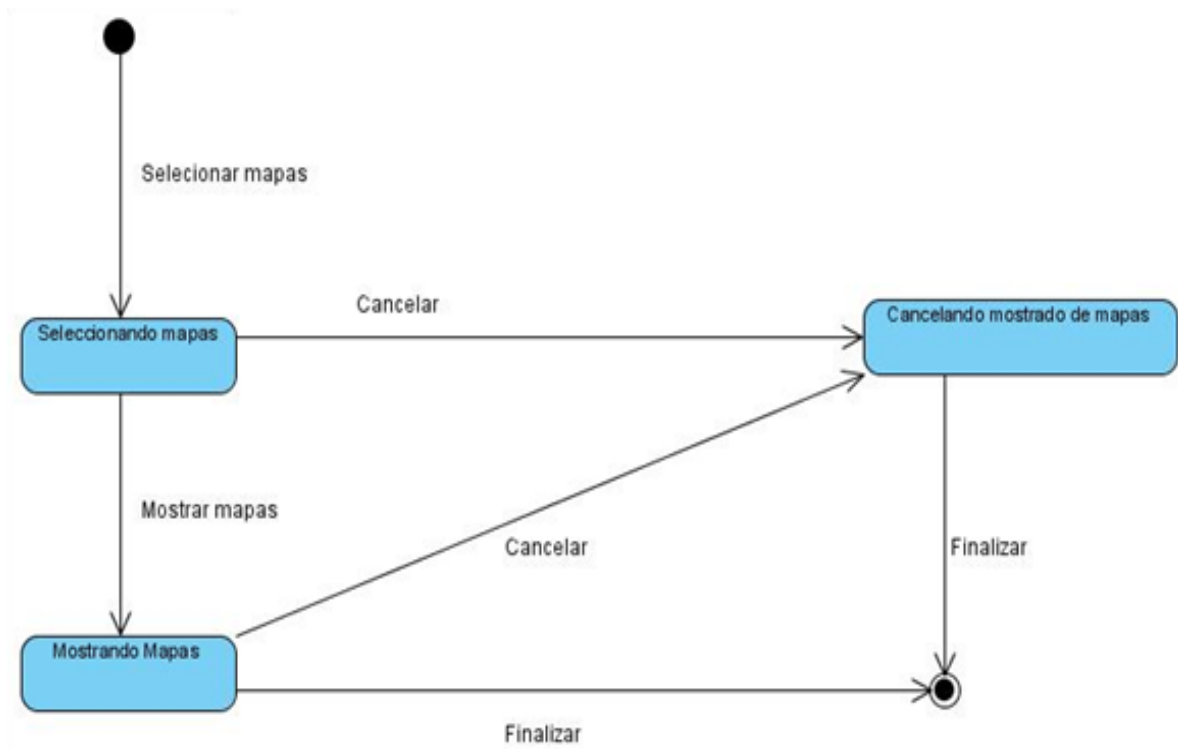


Figura 4: Diagrama de estado para el caso de uso: Cargar Mapas



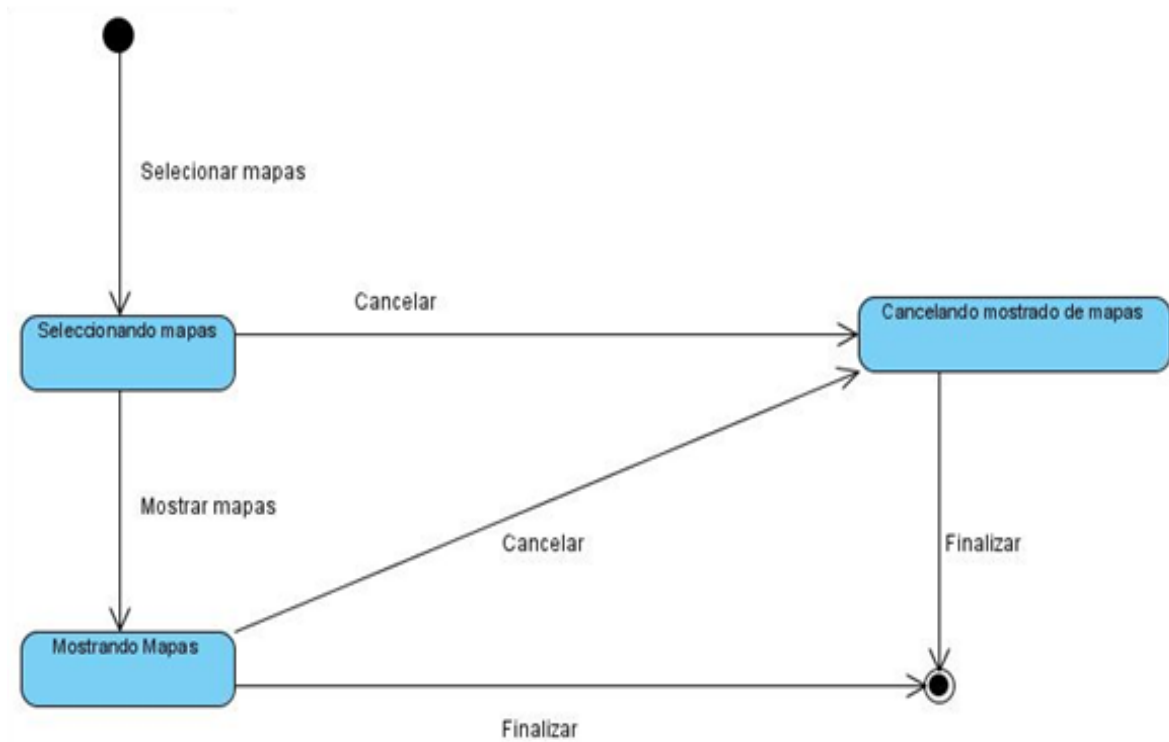


Figura 5: Diagrama de estado para el caso de uso: Mostrar Mapas por capas.

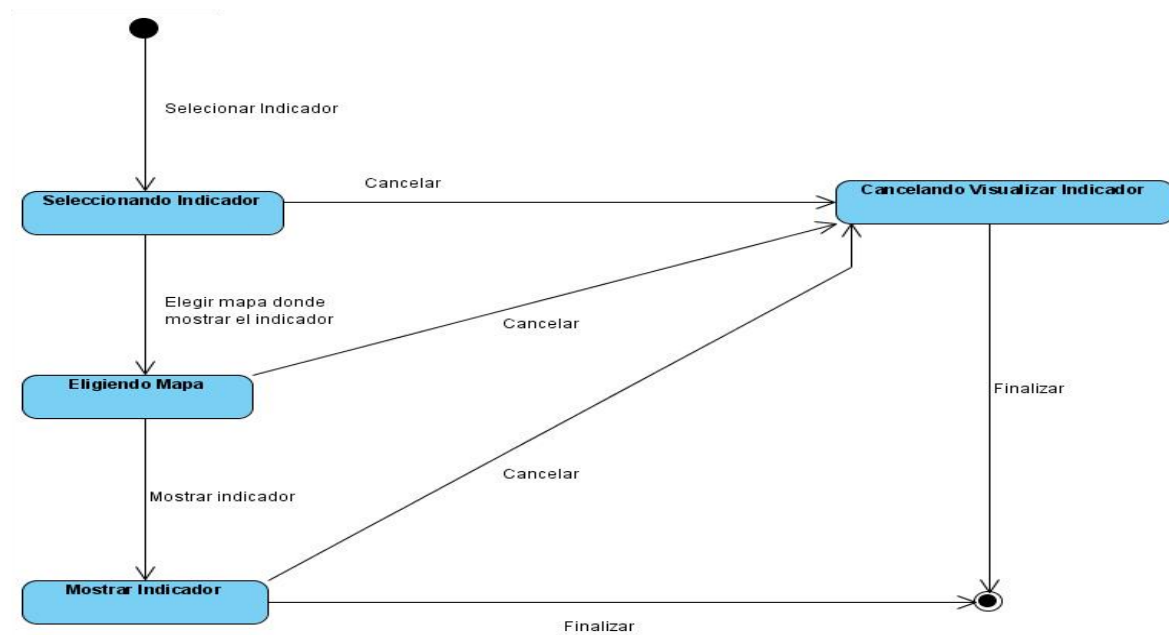


Figura 6: Diagrama de estado para el caso de uso: Visualizar Indicador.

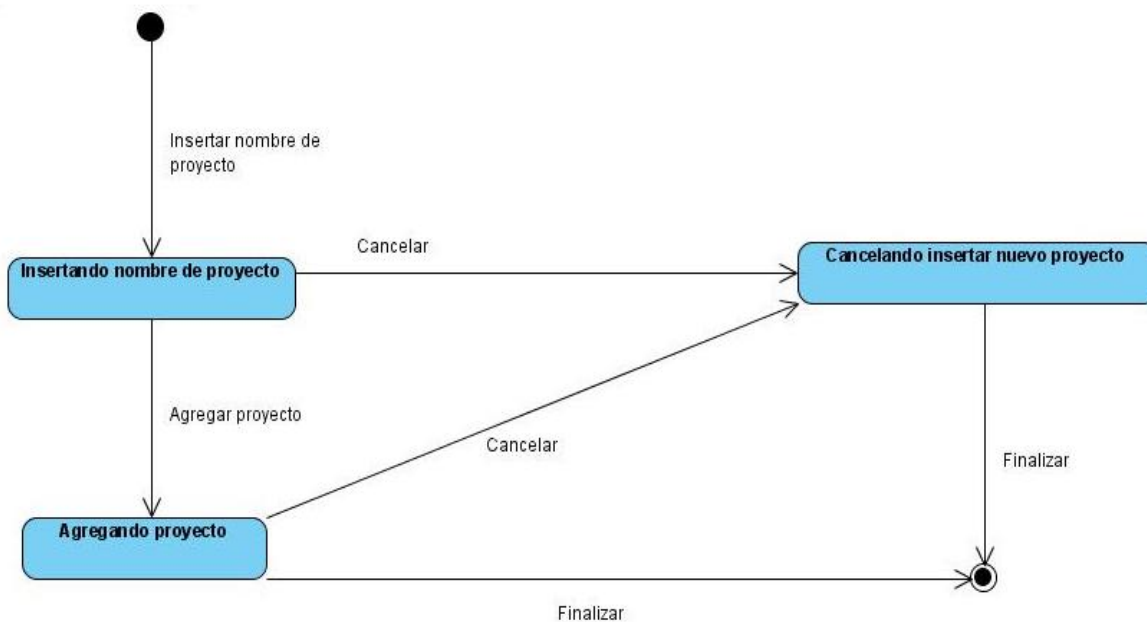


Figura 7: Diagrama de estado para el caso de uso: Agregar proyecto.

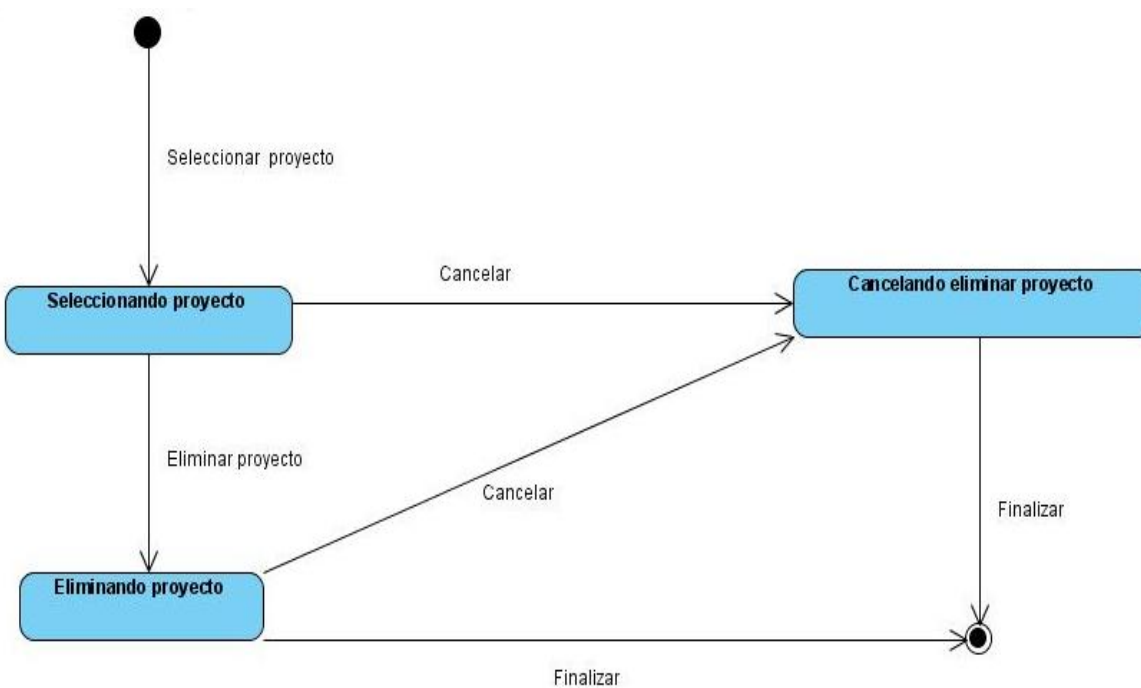


Figura 8: Diagrama de estado para el caso de uso: Eliminar proyecto.

## **2.6 Conclusiones Parciales**

A partir del diseño e implementación del SIG&VC, desarrollado en esta investigación se puede concluir que:

1. El sistema permite la gestión de mapas y de indicadores sobre mapas.
2. La aplicación de técnicas científicas para el monitoreo de indicadores para el desarrollo sostenible de cualquier territorio.
3. La base de datos creada es genérica, y como se muestra en el Caso de Estudio particularizable.
4. Se logró integrar de forma operativa al SGI y a un módulo de Administración convirtiéndose todo en un sistema integrado SisGIM 2.0.
5. El diseño de la aplicación permite a los usuarios acceder a la información de forma sencilla y resumida.

## **CAPÍTULO III. Implementación y configuración del MANUAL DE USUARIO**

En este capítulo se exponen los detalles sobre el manejo general del Sistema de Información Geográfica (SIG&VC) que constituye un subsistema del SisGIM 2.0. Además se presenta cada una de las funcionalidades del sistema y como el usuario logra acceder a las mismas así como los requisitos de hardware para el buen funcionamiento de la aplicación.

### **3.1 Requerimientos de hardware.**

En este epígrafe nos referiremos a los requerimientos de hardware necesarios para que se pueda utilizar el sistema sin complicaciones y aprovechar al máximo todas sus funcionalidades.

Requerimientos mínimos en la parte del cliente:

- Procesador Intel Pentium IV/1.5 GHz o superior.
- 512 Mb de memoria RAM.
- Sistema operativo Windows 95 o superior, Linux.
- Conexión mediante red al servidor de aplicaciones.
- Puede usarse como navegador web Firefox u Opera, se recomienda Firefox instalando el plugin de Macromedia Flash Player 10 y el de Adobe Reader versión 6 o superior.

Requerimientos mínimos en la parte del servidor:

- Procesador Intel Pentium IV/1.5 GHz o superior.
- 1 Gb de memoria RAM o superior.
- Sistema operativo Windows 95 o superior, Linux.
- Conexión mediante red.

Es de vital importancia que el sistema cuente con un hardware de respaldo con todo lo especificado en este material o superior. Los software libres necesarios deben encontrarse instalados en un servidor de aplicaciones seleccionado y son los siguientes:

1. Gestor de base de datos PostgreSQL.
2. PostGis: extensión georreferencial para PostgreSQL.
3. Servidor de aplicación web Apache Tomcat.
4. Servidor Geográfico: Geoserver.

### 3.2 Implementación y Configuración del SisGIM 2.0

Por la importancia que tiene el SisGIM como un sistema integrado se muestra a continuación el diagrama de despliegue, en el cual se identifican las relaciones físicas entre los distintos componentes del sistema. Con esta vista lo que se pretende es modelar la infraestructura utilizada en la implementación.

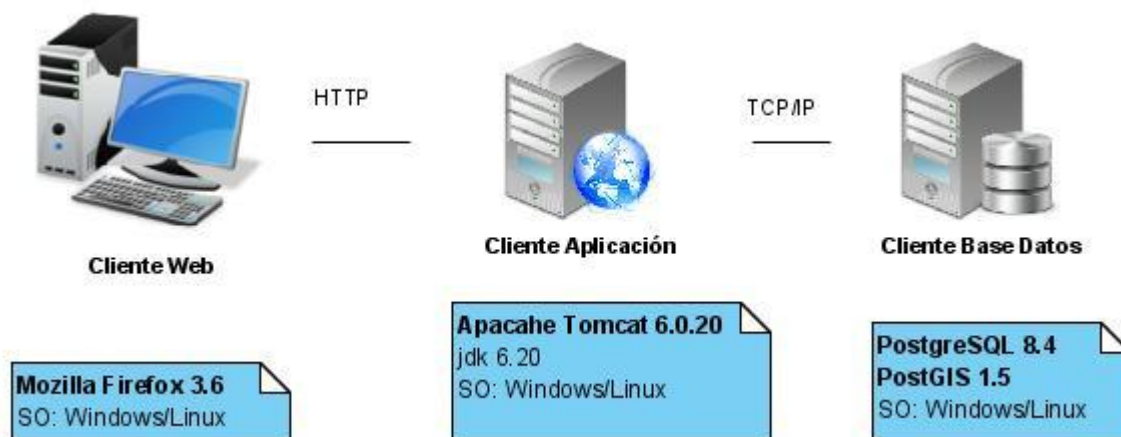
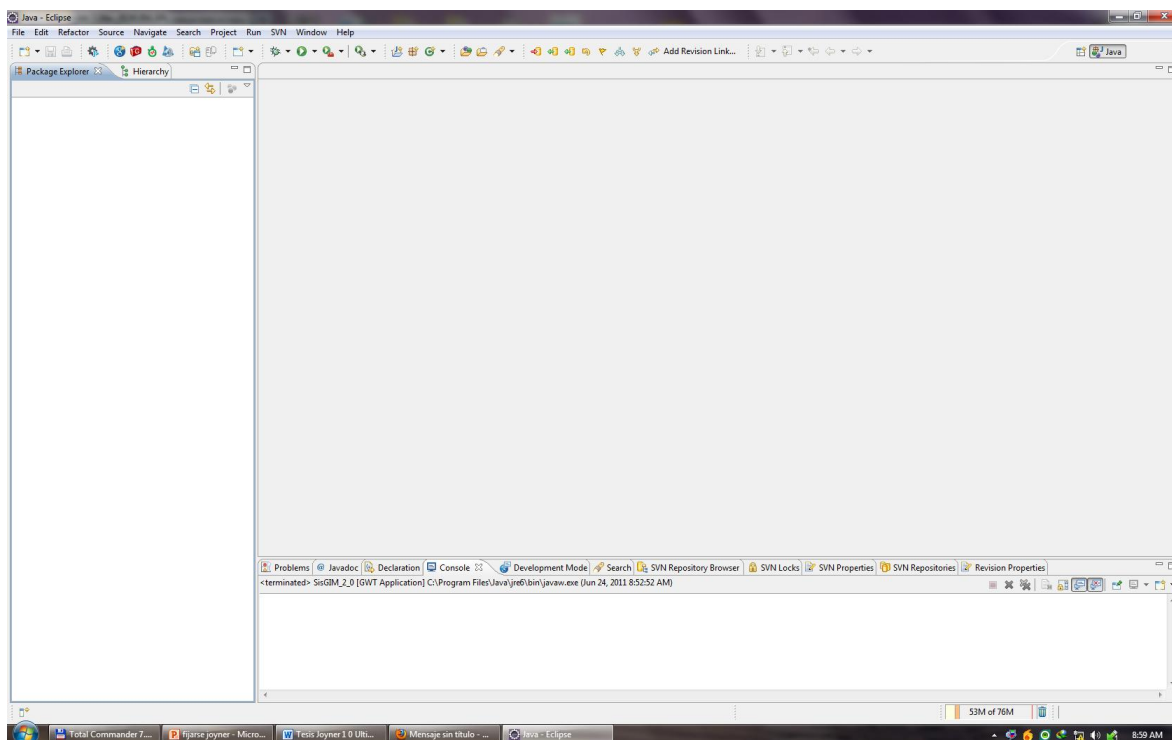


Figura 9: Diagrama de despliegue del SisGIM.

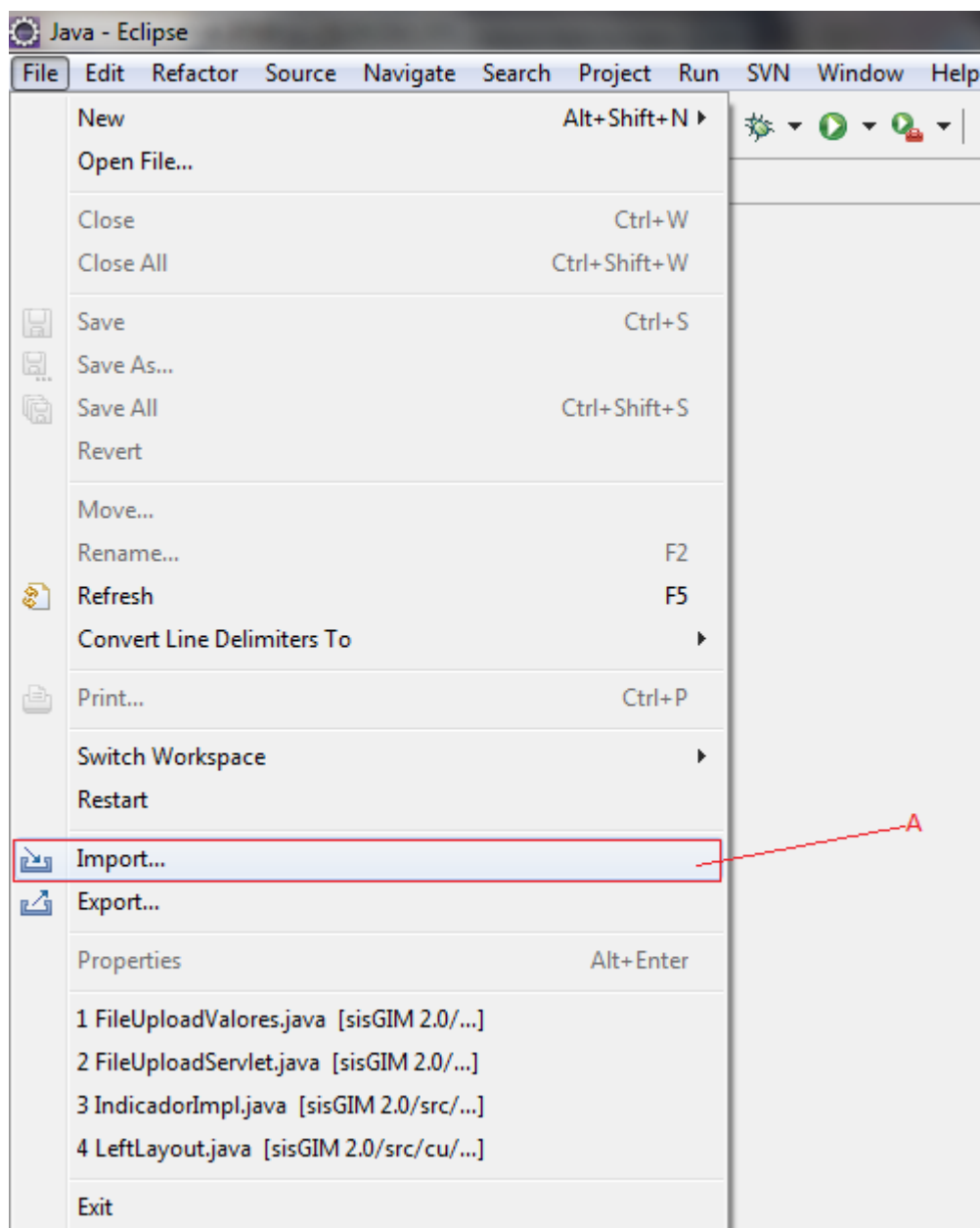
### 3.3 Configuración del entorno de desarrollo

Para el desarrollo del SisGIM 2.0 se utilizó como IDE el “Eclipse Galileo”. La Figura 10 muestra la ventana de inicio de este IDE. También es necesario instalarle al Mozilla Firefox el *Add-on: Google Web Toolkit Developer Plugin for Firefox 1.0.9863* o una versión superior:



**Figura 10: Inicio del Eclipse.**

A continuación se muestra los pasos para importar el proyecto al Eclipse.

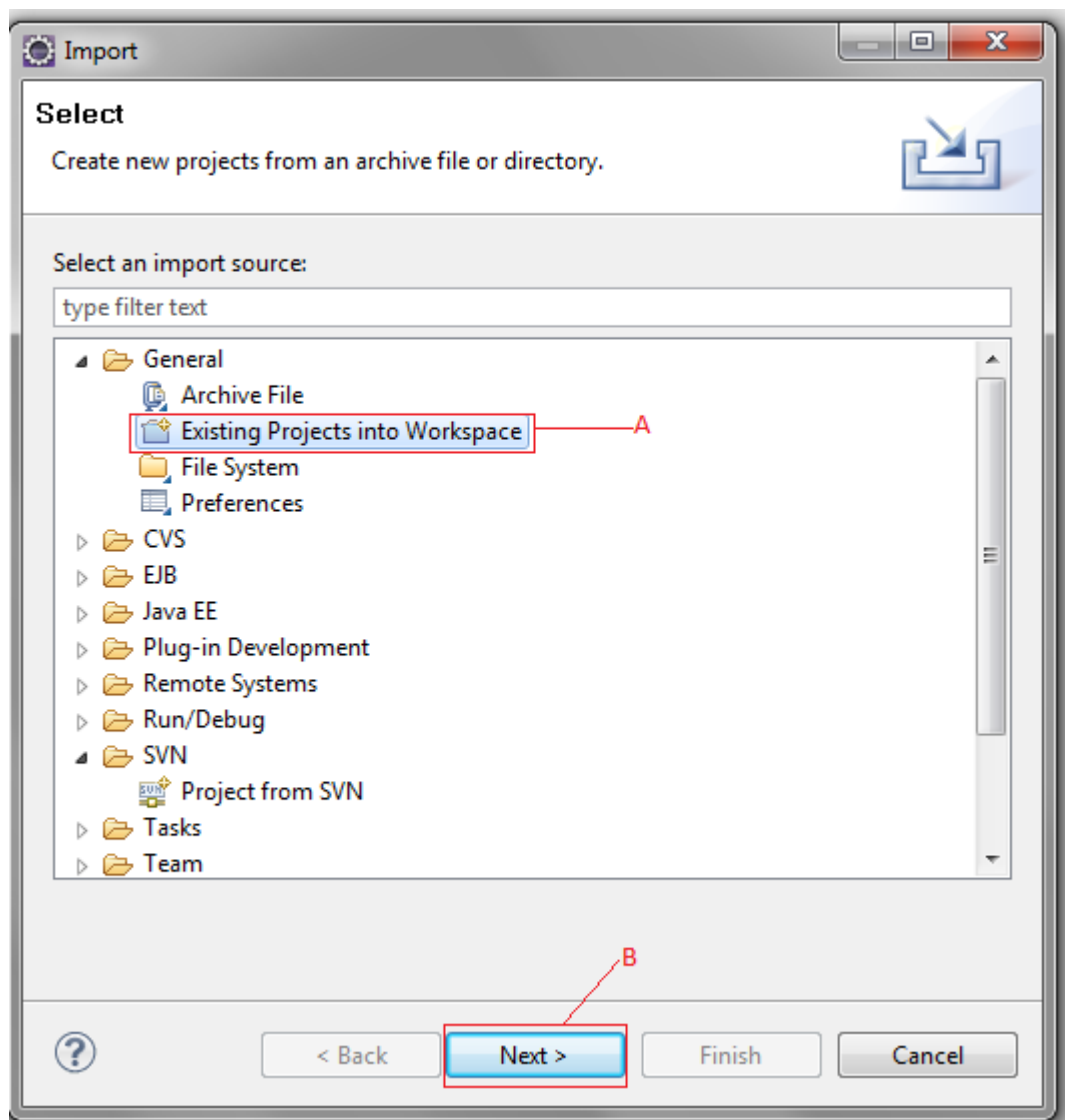


**Figura 11: Menú "File" del Eclipse para importar un proyecto.**

En el menú File se selecciona Import... como se muestra en la Figura 11:

**A:** importar proyecto de Eclipse.

Luego se aparece la siguiente ventana para buscar el proyecto SisGIM 2.0 en la PC donde estemos trabajando:



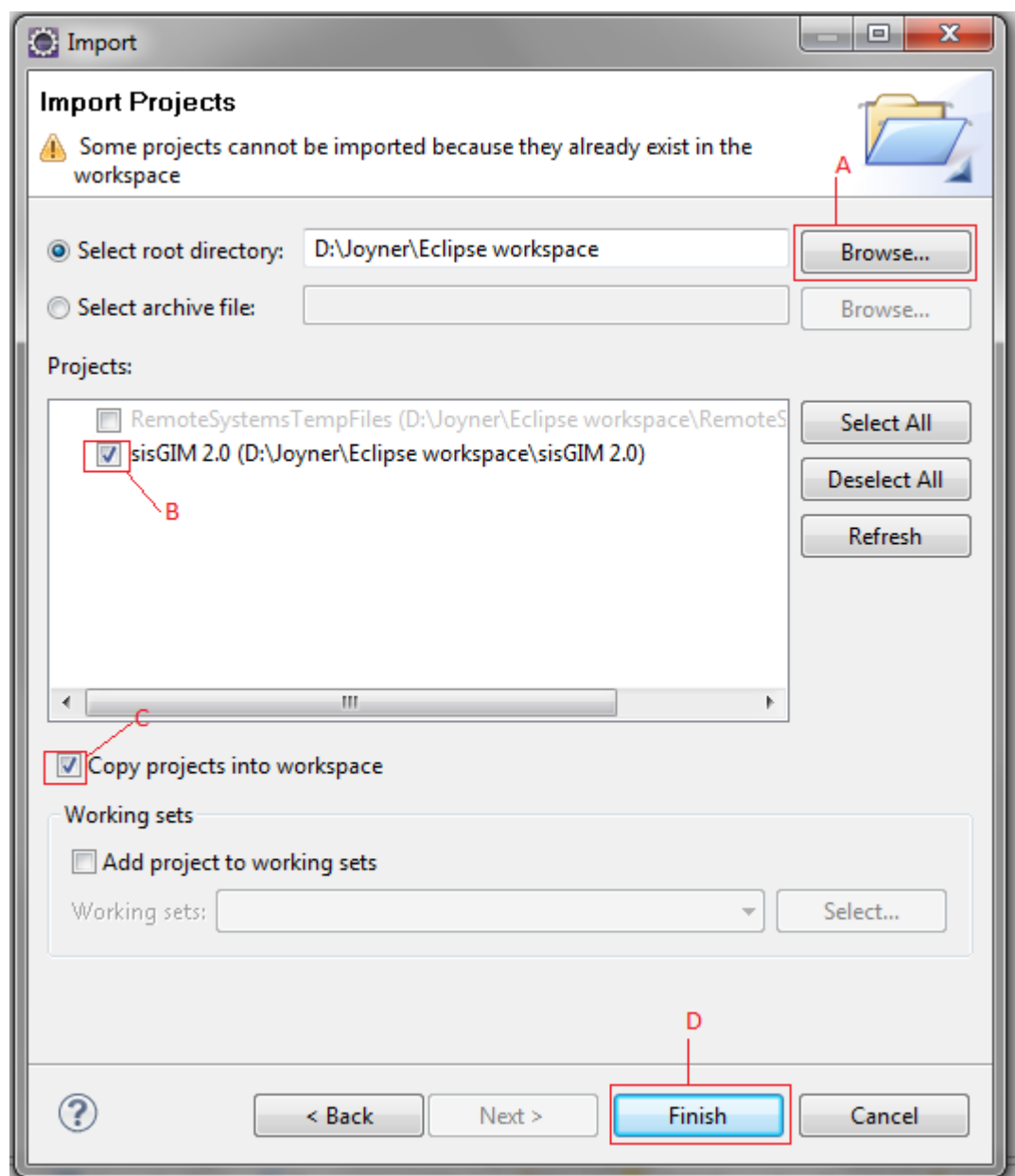
**Figura 12: Buscar proyecto de Eclipse.**

**A:** Buscar un proyecto en el espacio de trabajo del Eclipse o en otra ubicación.

**B:** Continuar y mostrar ventana de la Figura 13.



En esta ventana tenemos que marcar las opciones que vienen señaladas para lograr un correcto funcionamiento.



**Figura 13: Opciones necesarias para un buen funcionamiento.**

A: Seleccionar proyecto.

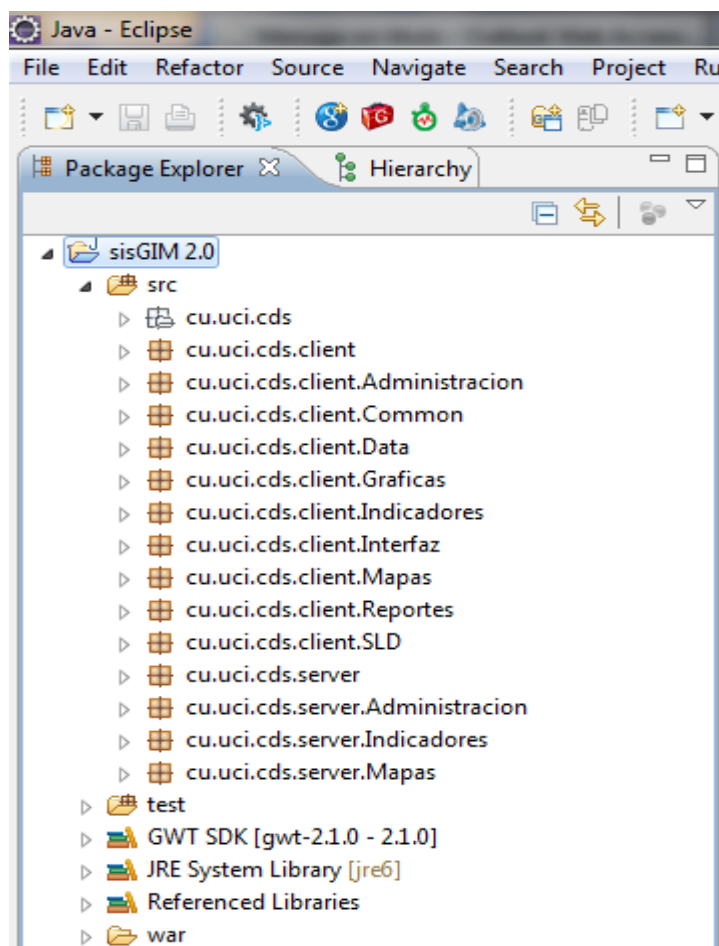
B: Marcar opción.

C: Marcar opción.

**D:** Terminar.

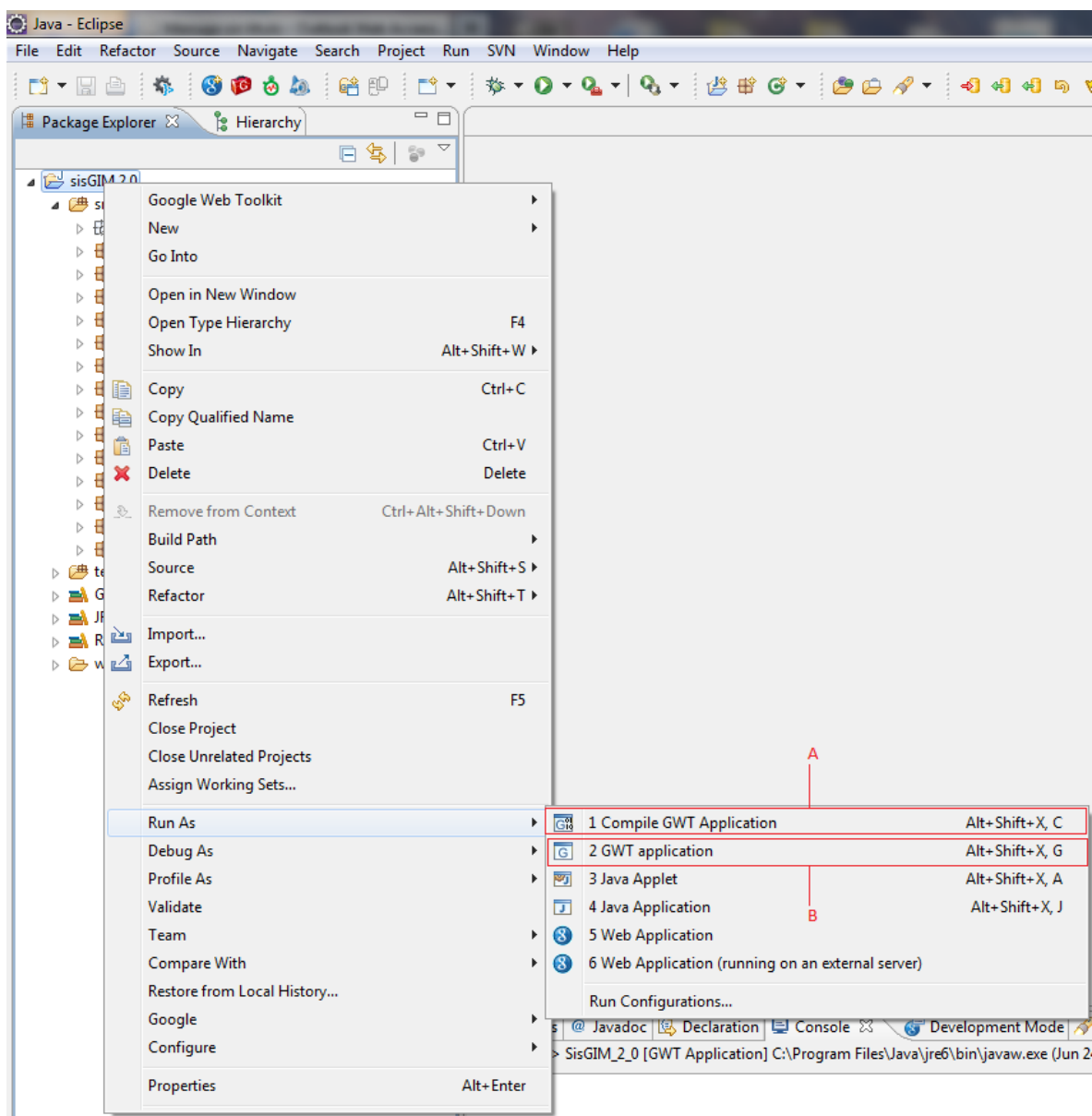
Luego de esto el proyecto ya está listo para usarse como se muestra en la Figura 14.

Los paquetes en los que el desarrollador tiene que trabajar para aumentar las potencialidades y/o mejorar el SIG son los relacionados a Mapas, tanto del lado del cliente como en el lado del servidor y SLD en la zona del cliente.



**Figura 14:** Proyecto ya añadido al Eclipse.

Ahora se muestra como compilar y/o ejecutar la aplicación. En la aplicación siempre que se haga alguna transformación en el lado del servidor se tiene que compilar, es decir la opción A, mientras que en el lado del cliente solo hay que refrescar el navegador, la opción B.



**Figura 15: Opciones para compilar y/o ejecutar el proyecto.**

**A:** Opción para compilar el proyecto.

**B:** Opción para ejecutar la aplicación.

Si se selecciona la opción B aparece la Figura 16 la cual inicia un pequeño servidor llamado *Jetty* el cual nos brinda la posibilidad de poder ejecutar la aplicación en nuestra computadora de forma local.

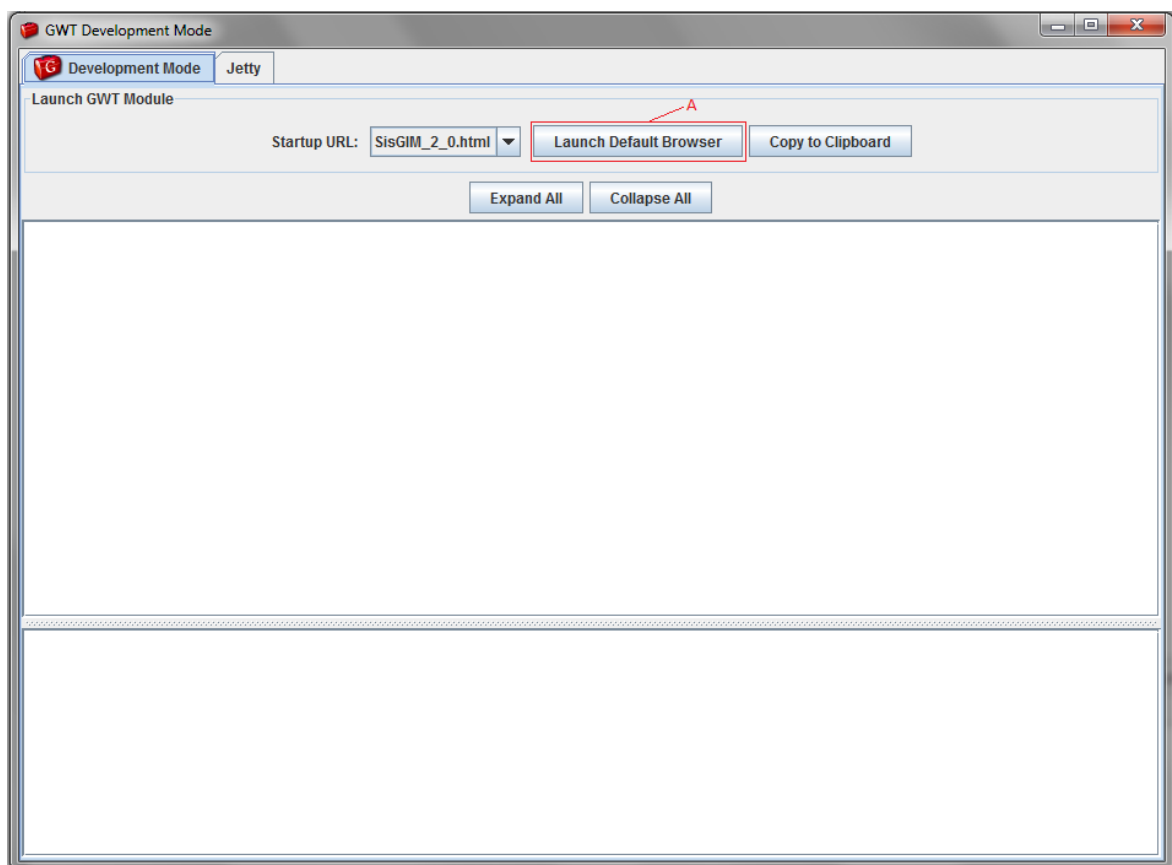


Figura 16: Ventana del Jetty.

A: Mostrar en el navegador por defecto (Se aconseja que sea Mozilla Firefox). Luego de abrir el navegador con el proyecto ejecutándose se empieza a hacer uso del sistema.

### 3.4 Manual de Usuario.

#### Inicio de una sesión de trabajo

La sesión de trabajo del **SisGIM** comienza mostrando su ventana de presentación (véase Figura 17).



**Figura 17: Inicio de sesión.**

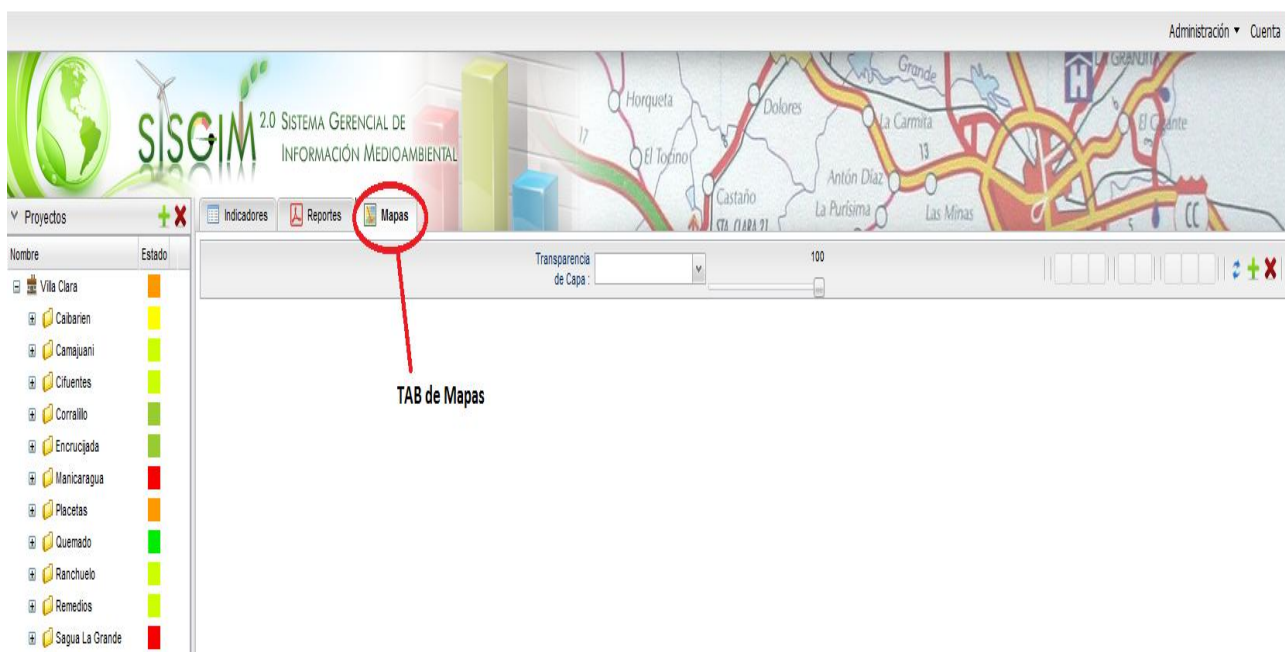
Para acceder a las funcionalidades de la aplicación el usuario necesita identificarse:

**A:** introducir nombre de usuario.

**B:** introducir contraseña.

**C:** opción que permite al usuario entrar a la aplicación. Esta sólo le permitirá interactuar de acuerdo a los permisos asignados previamente al mismo.

Se hace importante destacar que todas las funcionalidades que serán explicadas en el manual de usuario comienzan accediendo luego de la autenticación al “tab” que tiene el nombre “Mapas” dentro del sistema y que se muestra en la figura 18.



**Figura 18: Selección de “Tab” de “Mapas” en el SisGIM 2.0**

A continuación se explican las vistas relacionadas al SIG

### **3.4.1 Vista del Especialista de Mapas.**

El trabajo del especialista de mapas es fundamental para el buen funcionamiento del software, producto de la importancia que revisten en el trabajo del usuario común sus acciones.

Las gráficas que se muestran a continuación permitirán hacer más explícita la explicación sobre todo el trabajo a cargo del mismo.

#### **Acciones Iniciales**

El especialista puede acceder a sus funcionalidades mediante el uso del “click” derecho en cualquier área del “tab” de mapas (Véase la figura 18), lo cual le dará acceso al menú que verá en la figura 19. También puede hacer “click” en las diferentes áreas que se mostrarán a continuación.

A: Permite acceder a la ventana de inserción de mapas.

B: Permite acceder a la ventana de eliminación de mapas.

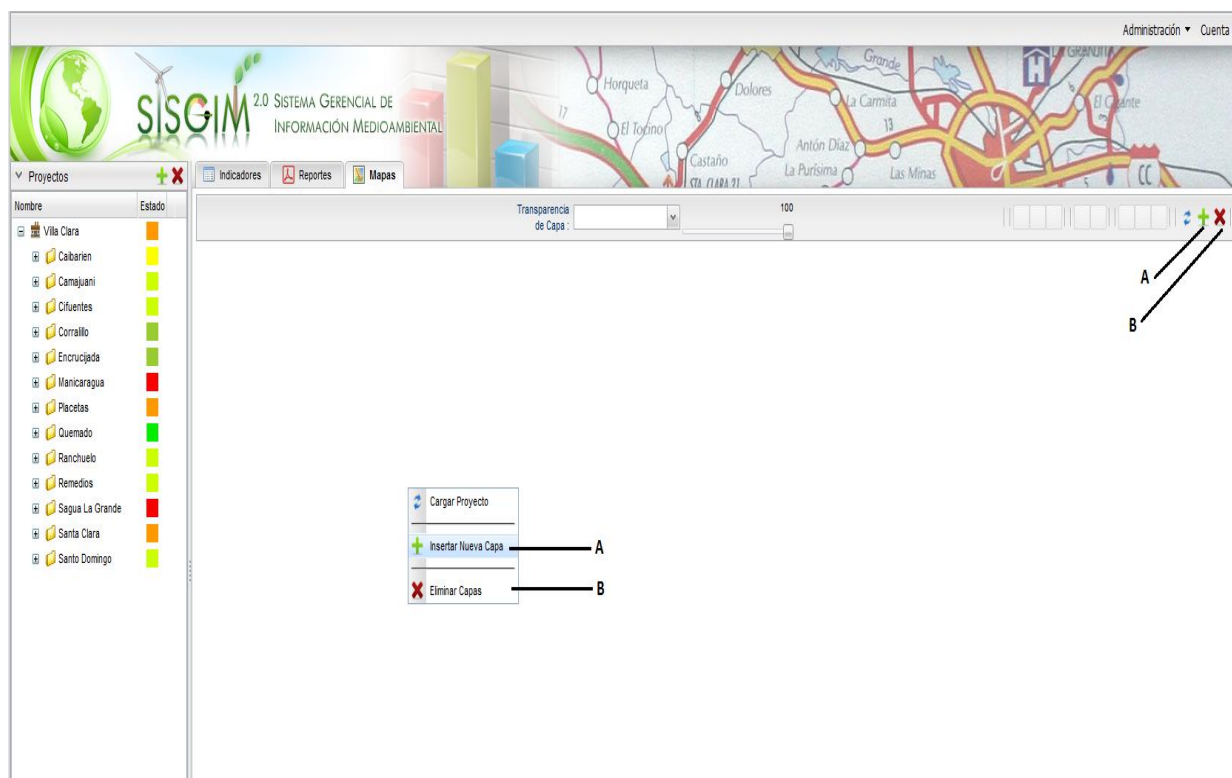


Figura 19: Acciones Iniciales del Especialista de mapas en del SisGIM 2.0

### Ventana de inserción.

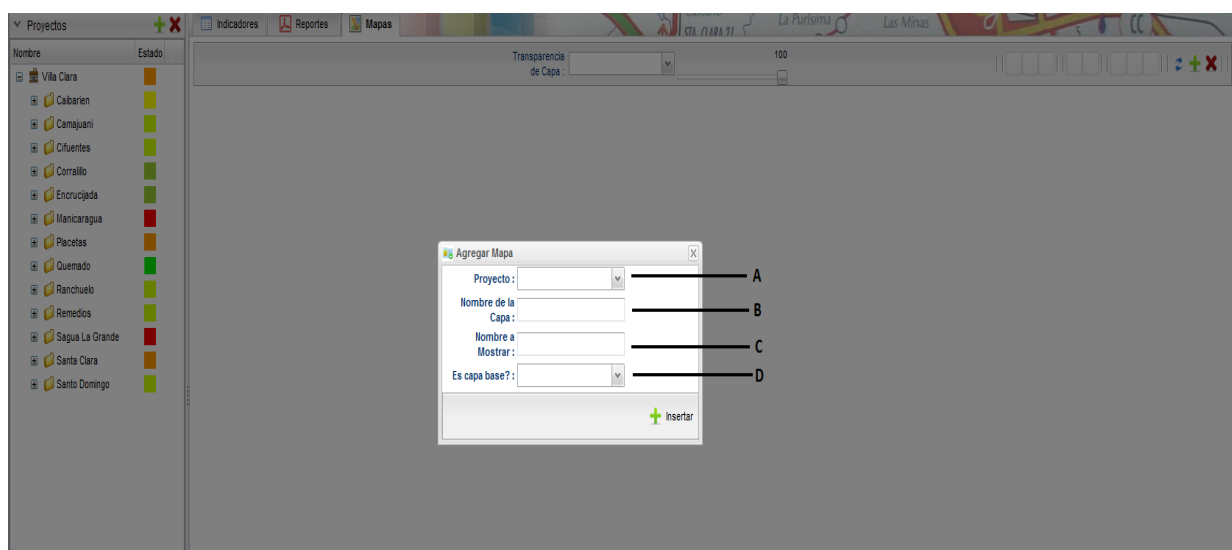


Figura 20: Agregar Mapa

**A:** Se selecciona un proyecto de trabajo entre todos los existentes.

B: Se inserta el nombre de la capa tal y como está definido dentro del servidor de mapas Geoserver.

C: Se inserta el nombre con el que se quiere visualizar dentro del sistema.

D: Se define si el mapa será tratado como una capa base o no.

### **Ventana de Eliminación.**

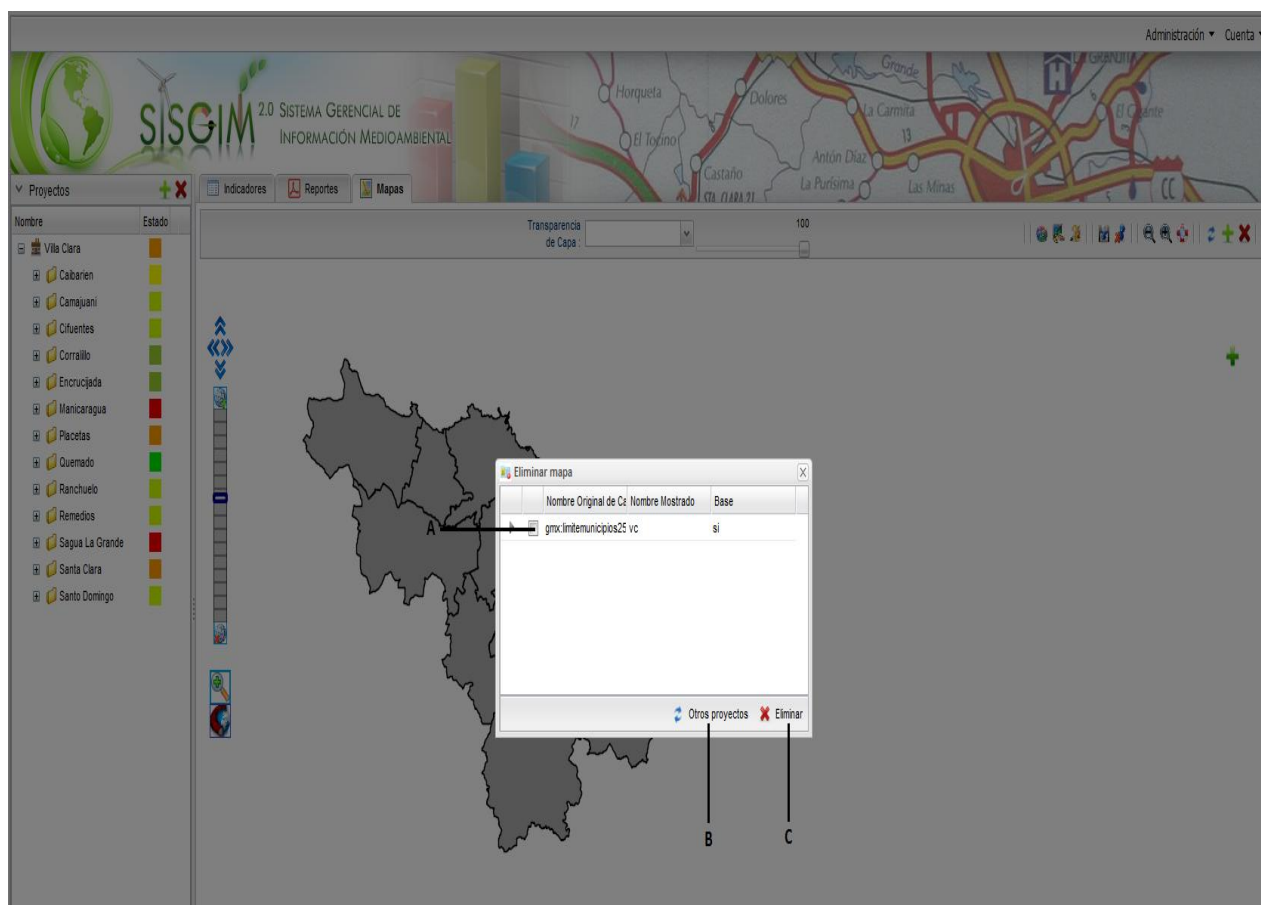
La ventana de eliminación de mapas muestra inicialmente las capas que están actualmente en uso en caso de que se esté trabajando con algún proyecto en ese momento. Si no existe ningún mapa cargado en ese momento entonces aparecerá vacía y permitirá elegir desde cual proyecto se eliminaran los mapas.

A: Permite Seleccionar que capa será eliminada del proyecto.

B: Permite cambiar de proyecto para eliminar capas asociadas a estos.

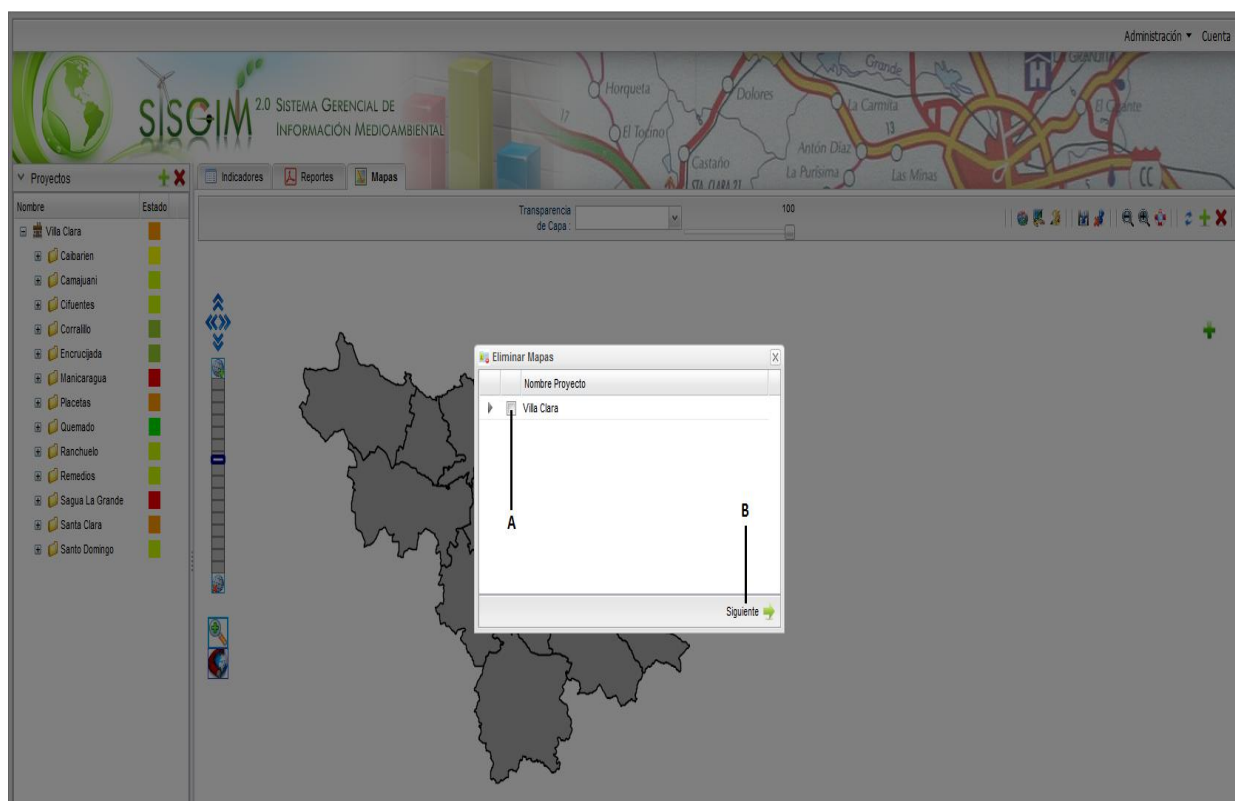
C: Elimina las capas seleccionadas.





**Figura 21: Eliminar Mapa**

La siguiente figura muestra la ventana hacia la que es redirigido el usuario luego de presionar el botón “B” de la figura 21.



**Figura 22: Otros proyectos para eliminar mapa.**

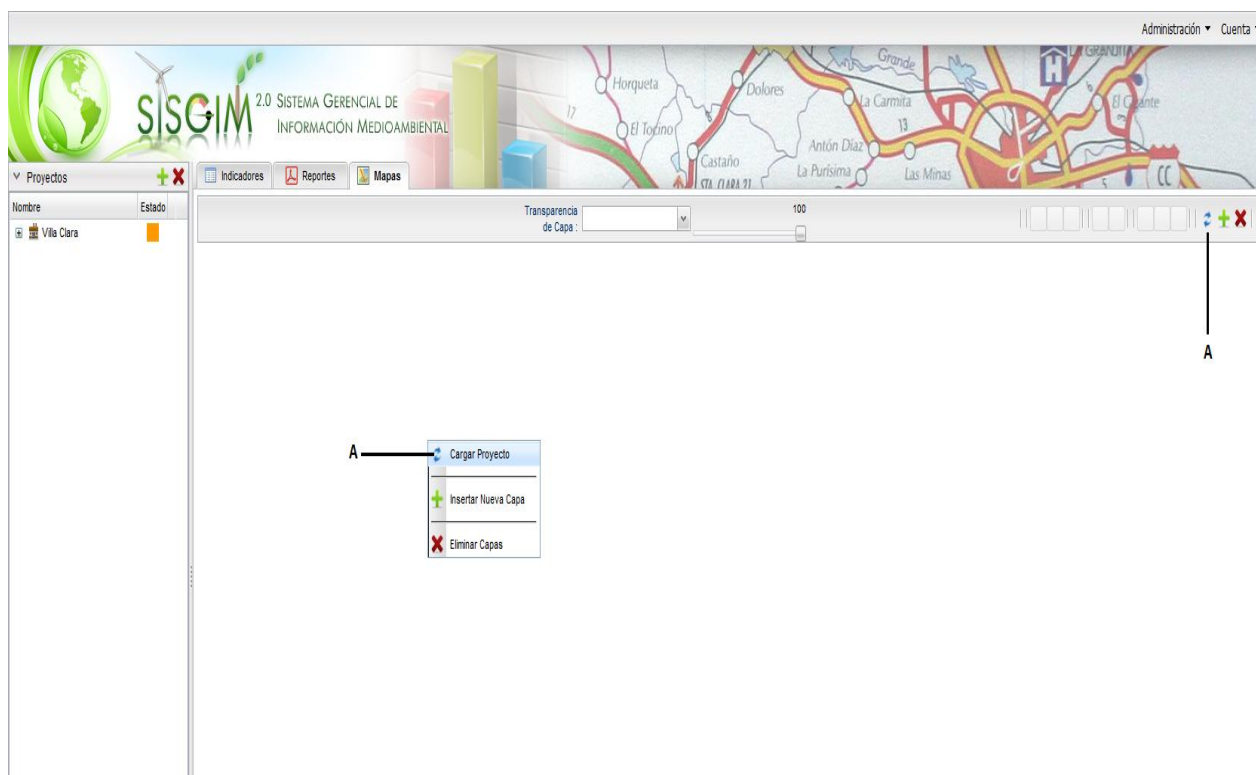
A: Permite seleccionar un proyecto para ver sus mapas asociados.

B: Redirige al usuario a la ventana de eliminación de mapas (ver figura 22).

### 3.4.2 Vista del Usuario común

#### Acciones Iniciales

El usuario común puede acceder a sus funcionalidades mediante el uso del click derecho en cualquier área del “tab” de mapas (Véase la figura 19), lo cual le dará acceso al menú que verá en la figura 24. También puede hacer click en el área que se mostrará a continuación.

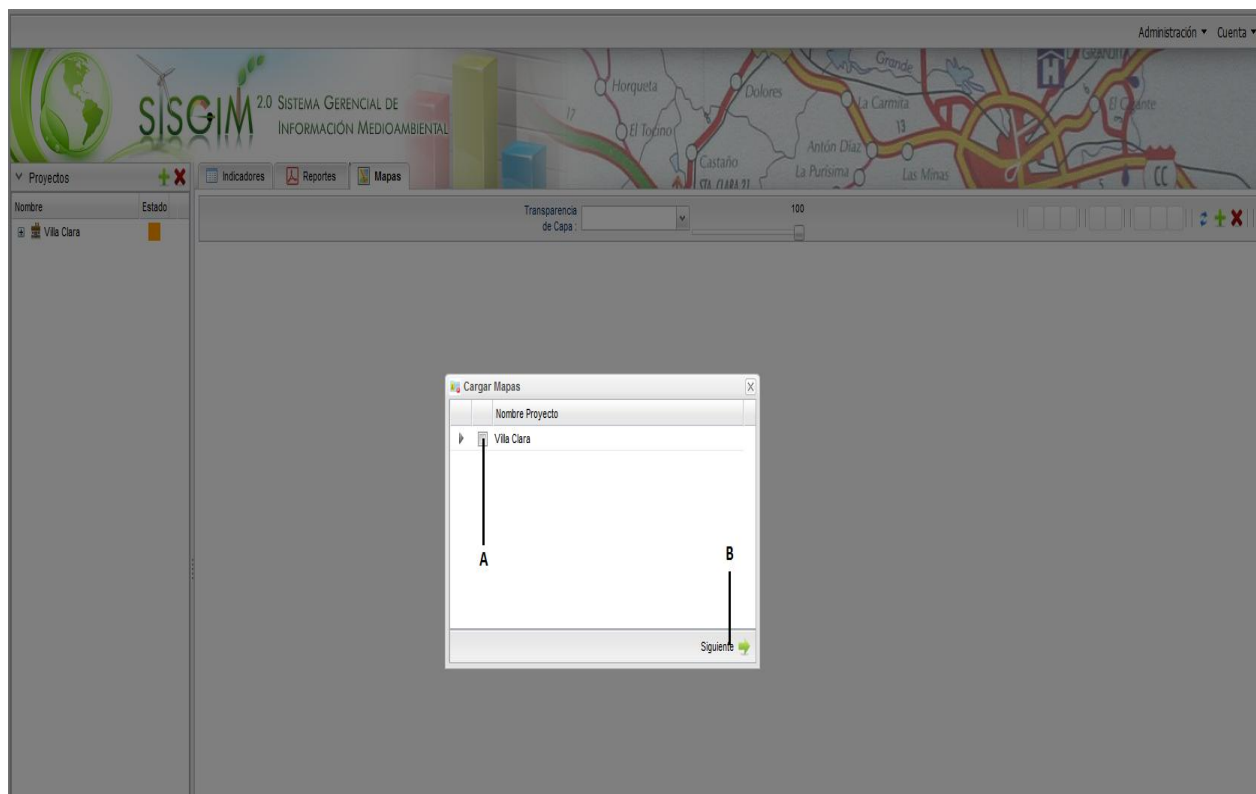


**Figura 23: Cargar proyecto.**

A: Permite al usuario acceder a la ventana de selección de proyectos.

### Ventana de Proyectos

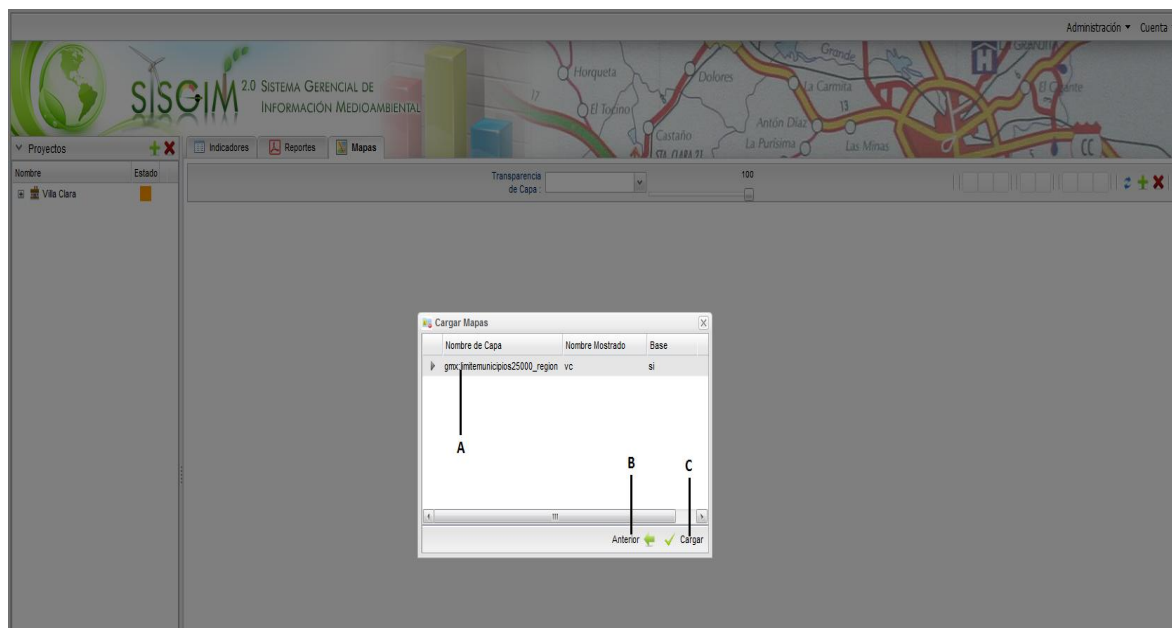
La ventana de proyectos muestra cada uno de los proyectos que tienen mapas asociados. A partir de este paso el usuario puede cargar todos los mapas de un proyecto determinado y comenzar el trabajo dentro del mismo.



**Figura 24: Ventana de proyectos del SisGIM 2.0**

A: Muestra cada uno de los proyectos con mapas asociados.

B: Redirige a la ventana de la figura 26.



**Figura 25: Ventana de las capas de proyectos del SisGIM 2.0**

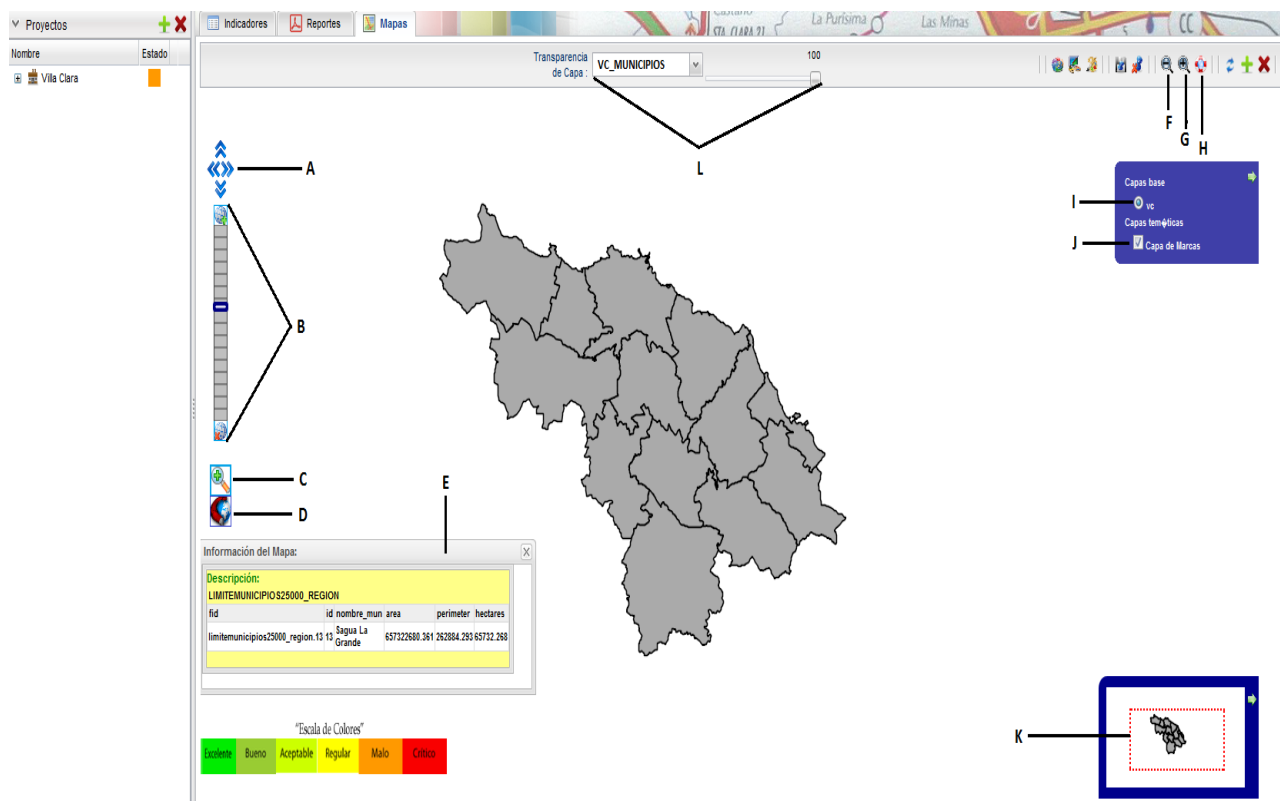
A: muestra todos los mapas asociados al proyecto seleccionado.

B: Vuelve a la ventana de proyectos para seleccionar otro (Ver figura 25).

C: Carga los mapas del proyecto seleccionado.

### **Trabajo básico con los mapas.**

A través de la siguiente imagen se muestra detalladamente el trabajo básico que puede realizar con los mapas una vez que los mismos han sido cargados.



**Figura 26: Ventana inicial al cargar mapas.**

- A: Permite el movimiento horizontal y vertical de los mapas.
- B: Barra para aumentar o disminuir el “zoom”.
- C: Permite realizar un “zoom” a un área determinada. Luego de seleccionar este botón se hace un rectángulo sobre un área del mapa y todo el interior del rectángulo es aumentado.
- D: Permite el movimiento del mapa. Luego de seleccionar este botón el usuario realiza un “click” sobre el mapa y con este presionado puede moverlo.
- E: Ventana que aparece con la información relacionada con cada una de las capas del proyecto en el área del mapa donde el usuario realice un “click”.
- F: Disminuye el “zoom” en escala de uno en uno.
- G: Aumenta el “zoom” en escala de uno en uno.
- H: Centrar el mapa.
- I: Muestra el nombre del mapa que está siendo utilizado como capa base.

J: Muestra el nombre de los mapas que no son base, pueden seleccionarse mediante un “click” y serán dibujadas sobre la capa base.

K: Vista en miniatura de la capa base para utilizarlo como ubicación.

L: Permite luego de seleccionar una capa utilizando el combo que tiene como nombre “transparencia de capa” asignarle su transparencia a través del “scroll” del lado derecho en un rango de 1 a 100.

Cada una de las acciones antes descritas pueden ser utilizadas además a través del menú que se despliega al hacer “click” derecho en un área del mapa.

### Trabajo con las Marcas.

Este trabajo es de gran utilidad pues permite insertar marcas en diferentes zonas de los mapas para ubicar determinados objetivos.

A través de la siguiente figura se explica con detalles como es su trabajo con las mismas.

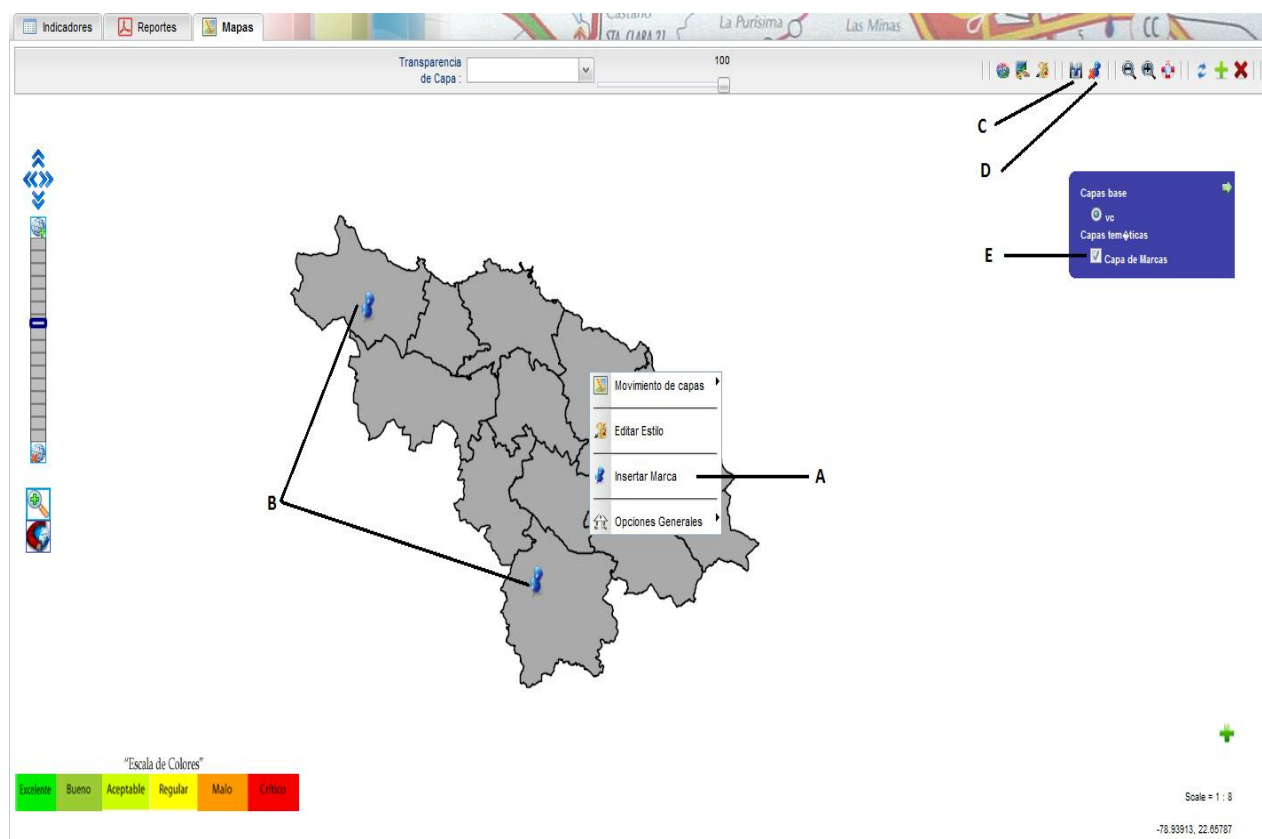


Figura 27: Trabajo con las marcas.

A: Permite insertar una marca en la posición en que se da el “click” derecho.

B: ejemplo de marcas ya insertadas.

C: Guarda todas las marcas para que sean cargadas conjuntamente con el mapa cada vez que se cargue.

D: Elimina todas las marcas.

E: nombre de la capa en la que se encuentra las marcas representadas. Esta capa debe estar seleccionada para que las marcas sean visibles.

La siguiente figura muestra cada una de las acciones que se pueden realizar sobre las marcas. Para acceder a estas acciones se debe dar “click” derecho sobre una de ellas.

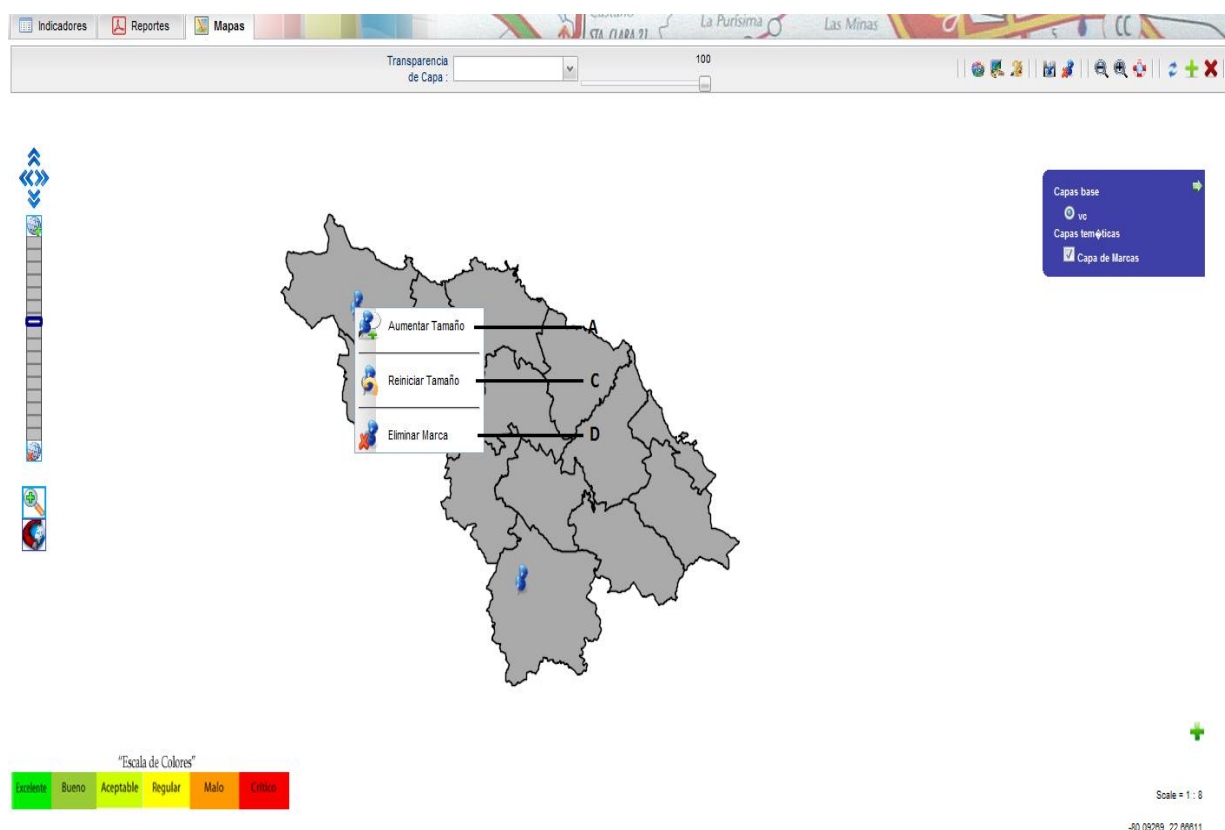


Figura 28: Acciones sobre marcas.

A: aumentar tamaño de la marca.



B: Reiniciar al tamaño actual.

C: Eliminar la marca

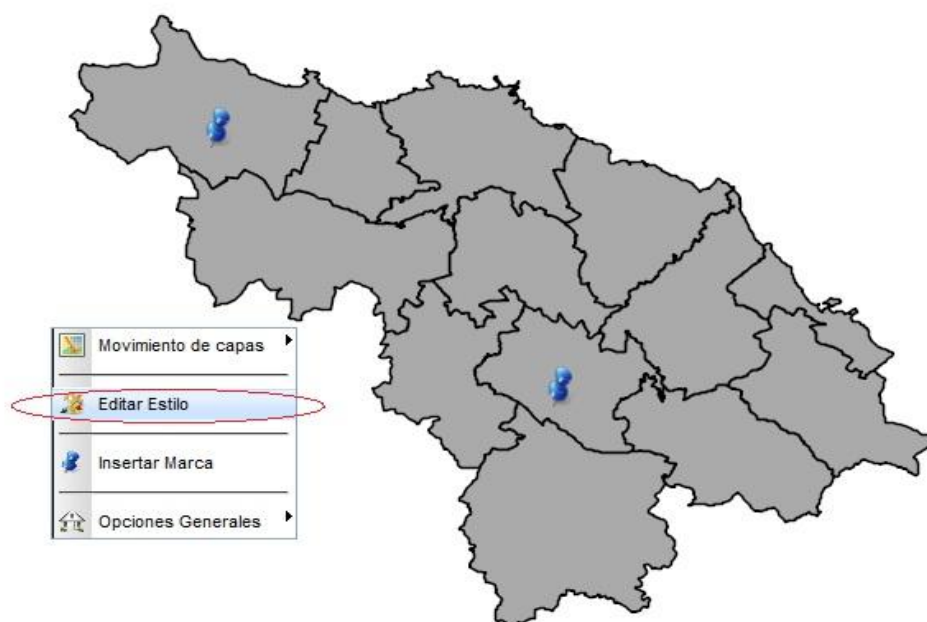
### 3.4.2.1 Tematizaciones.

El uso de las tematizaciones es la principal funcionalidad que presenta el sistema, puesto que permite interactuar con el módulo de Indicadores y representarlos sobre el mapa mediante escala de colores utilizando diferentes formatos que serán explicados a continuación.

#### **Sostenibilidad.**

Permite dibujar el mapa en cuanto a los valores de sostenibilidad obtenidos dentro de una zona (estos valores se calculan en el módulo de indicadores).

Para comenzar se debe dar click derecho en un área del “tab” de mapas y luego presionar la parte circulada un rojo en la siguiente figura.



**Figura 29: Editar estilo Sostenibilidad.**

También se puede acceder a esta funcionalidad mediante el menú de la barra superior que se muestra circulado en rojo en la figura 30.



Figura 30: Editar estilo Sostenibilidad 2.

Luego de ejecutar lo antes expuesto mediante alguna de las dos vías, el usuario es redirigido a la ventana en la que debe elegir la capa sobre la que quiere dibujar y la columna de esta capa que coincide con los nombres de las zonas del proyecto (ver figura 31). Además se le debe asignar un nombre a la nueva capa.

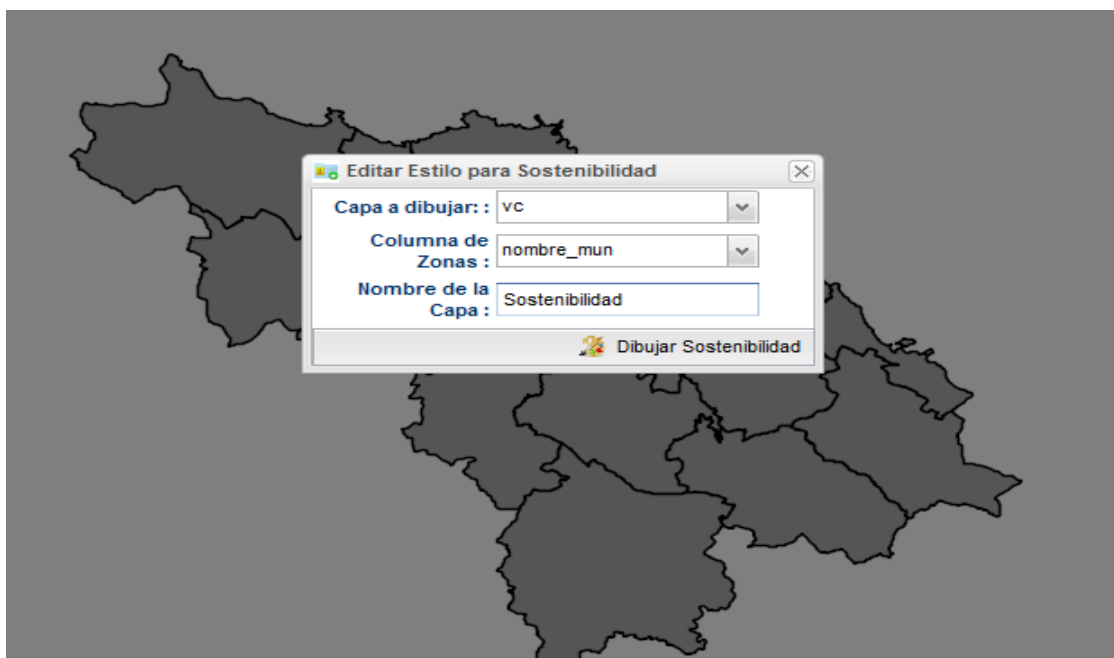
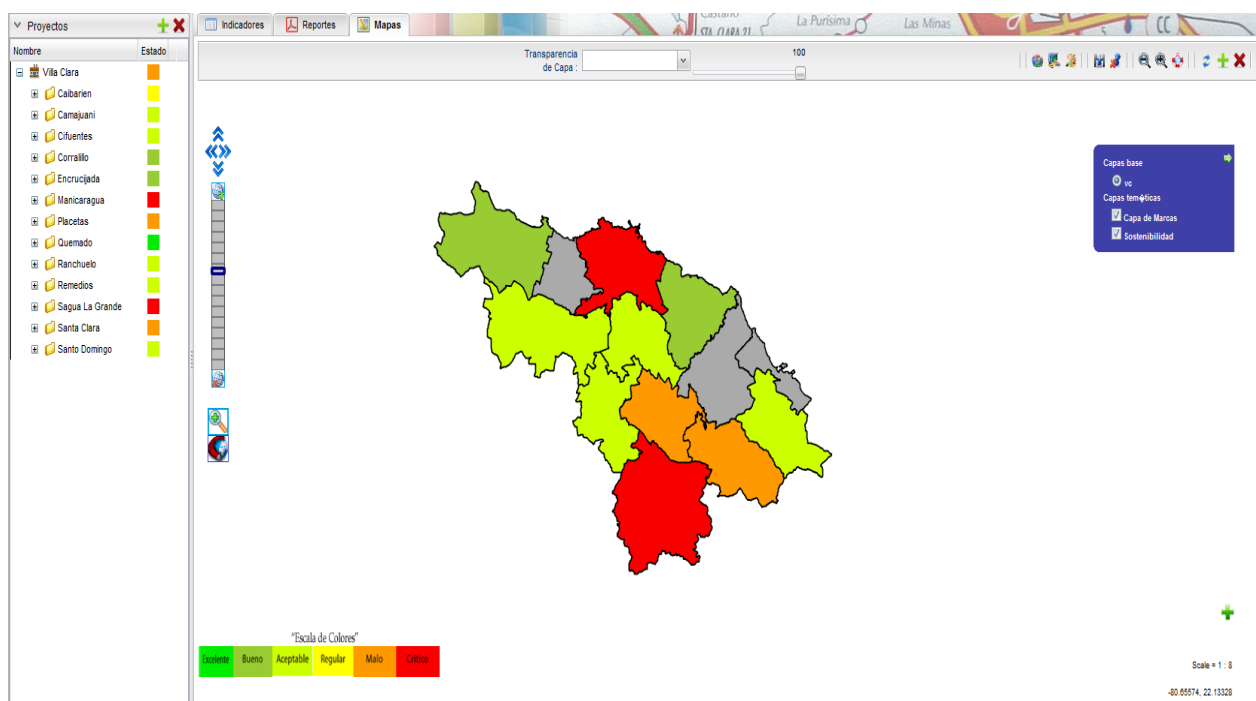


Figura 31: Ventana de selección de capa al dibujar.

Luego se hace “click” sobre el botón “Dibujar Sostenibilidad” y se obtiene el resultado que se muestra en la siguiente gráfica. Cada color resultante tiene un significado propio que se expresa en la leyenda titulada “Escala de Colores”.



**Figura 32: Resultado de capa al dibujar Sostenibilidad.**

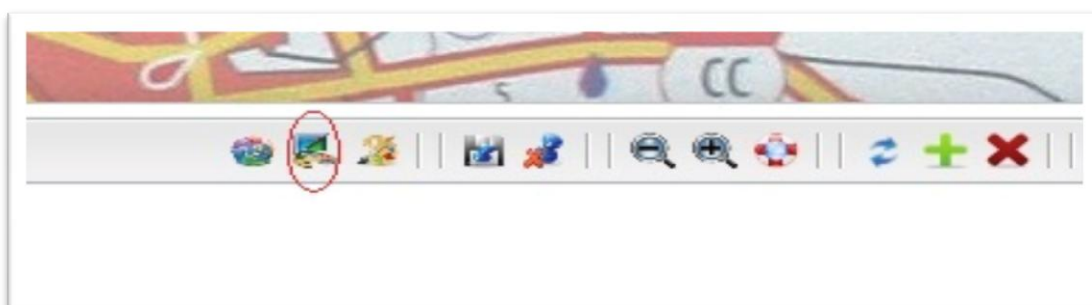
### 3.4.2.2 Dibujo del comportamiento de los indicadores.

En este epígrafe se expondrán las acciones a realizar para lograr el muestreo de los indicadores según su rango y valor. Las tematizaciones de las capas según los indicadores se pueden hacer de dos formas diferentes:

1. Ver todos los indicadores que se encuentran en una zona y escoger cuál de ellos representar en dicha zona.
2. Ver todas las zonas sobre las que se quiere representar un indicador determinado y escoger sobre cuáles de ellas se dibujará el indicador.

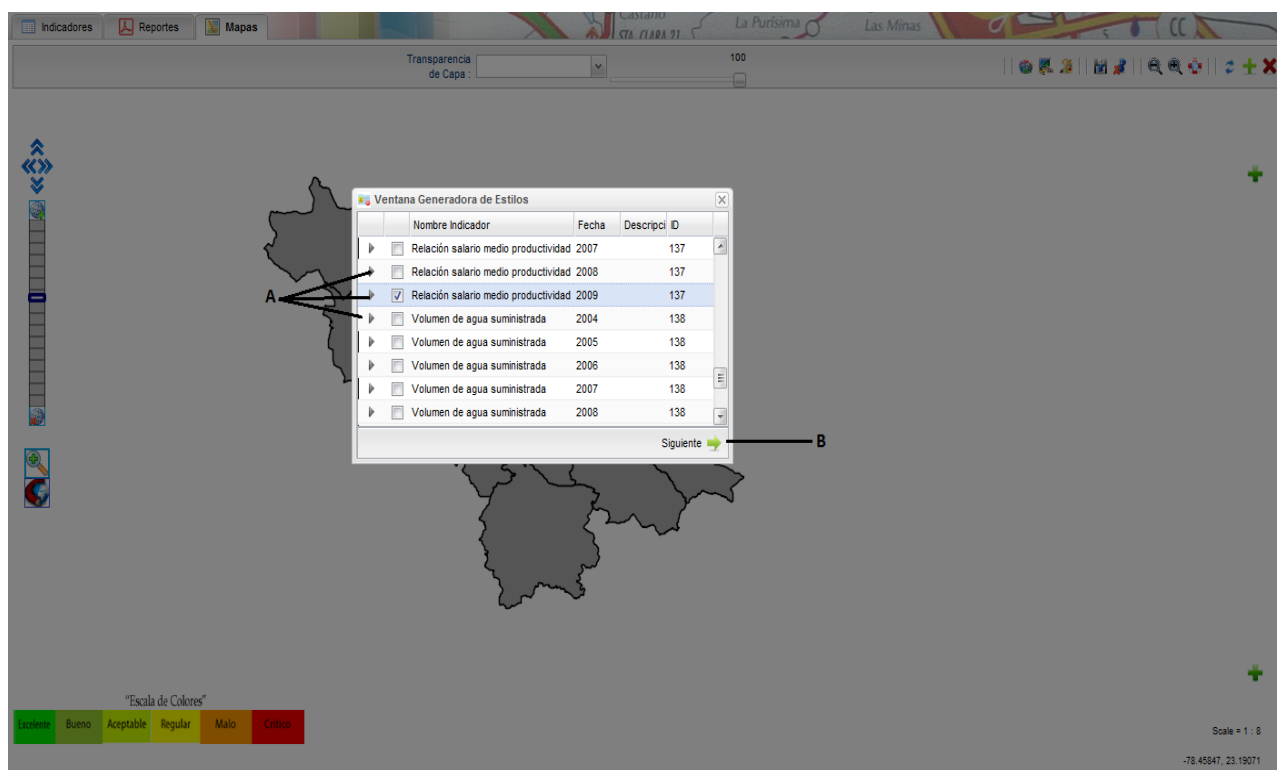
### **Dibujo Indicador-Zona.**

A esta funcionalidad se accede mediante un “click” en la zona circulada en rojo en la figura 33.



**Figura 33: Dibujo Indicador-Zona.**

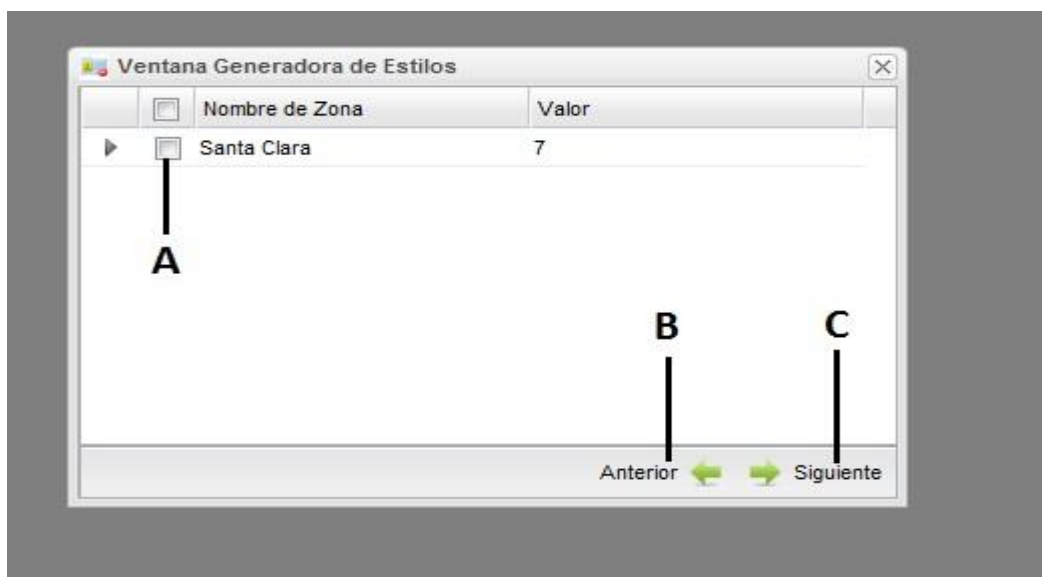
La figura 33 muestra la ventana hacia la que se redirige el usuario luego de presionar el botón circulado en rojo en la figura anterior.



**Figura 34: Ventana de selección de Indicadores**

A: Permite elegir un indicador de todos los existentes.

B: Redirige a la ventana de la figura 35.



**Figura 35: Ventana de selección de Zonas**

A: cada una de las zonas asociadas al indicador seleccionado.

B: Vuelve a la ventana de la figura 34.

C: Redirige al usuario a la ventana de la figura 31 para elegir la capa sobre la que se dibujará.

Luego de establecer todos los parámetros se obtiene el siguiente resultado.

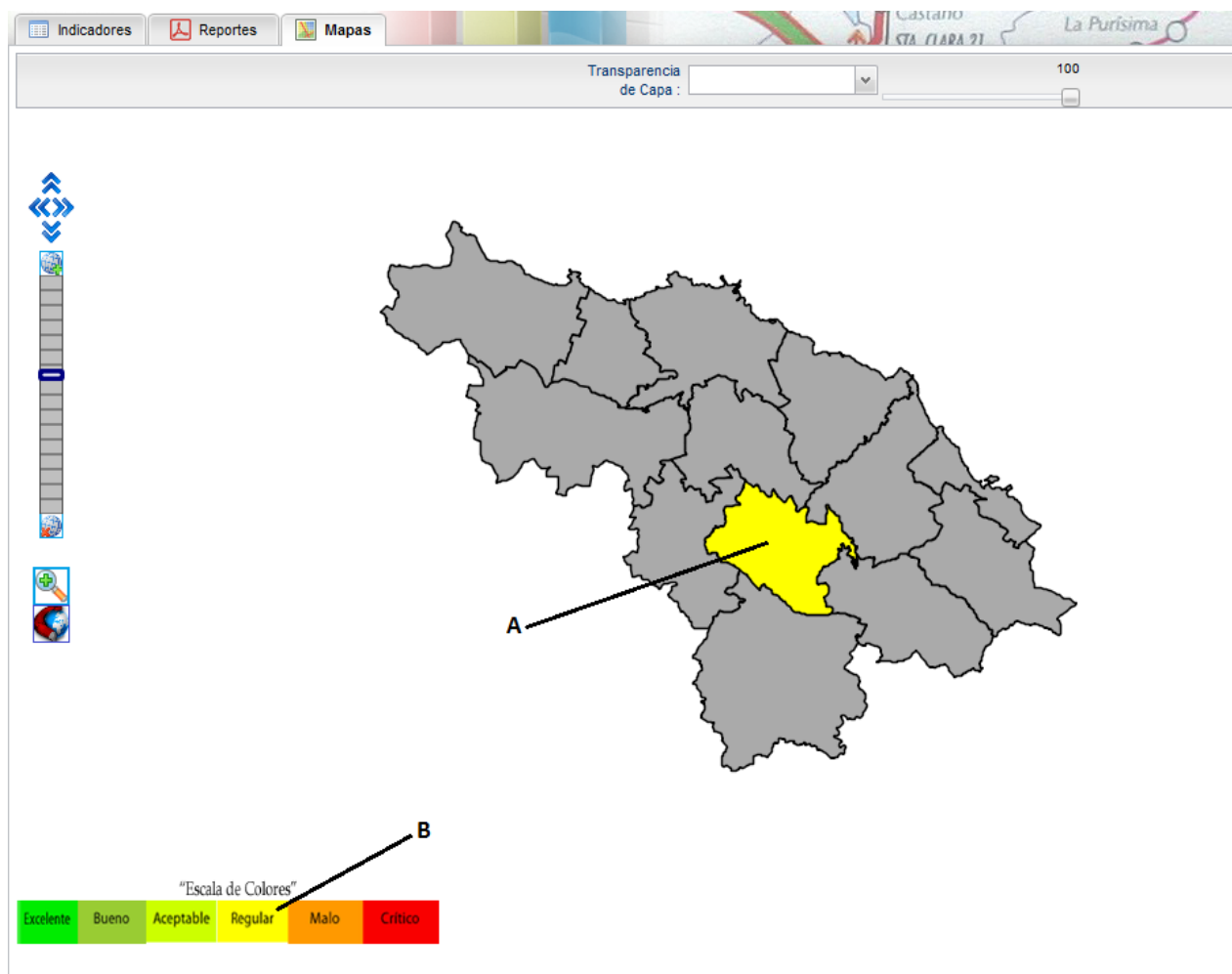


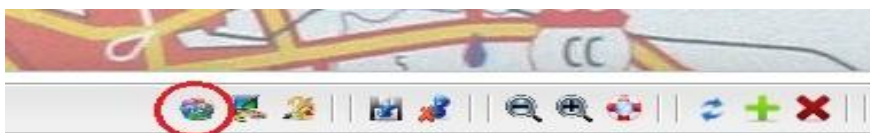
Figura 36: Resultado Indicador-Zona

A: Muestra la zona donde se define dicho indicador con el color resultante que es determinado por el valor que este tiene asociado.

B: Indica que el color amarillo representa que el indicador se encuentra “Regular”

### Dibujo Zona Indicador.

A esta funcionalidad se accede mediante un “click” en la zona circulada en rojo en la figura 38.



**Figura 37: Botón Zona-Indicador**

La figura 38 muestra la ventana hacia la que se redirige el usuario.



**Figura 38: Ventana Zonas**

A: elegir una zona de todas las existentes.

B: Redirige a la ventana de la figura 39. En este caso se seleccionó la Zona de Santa Clara.

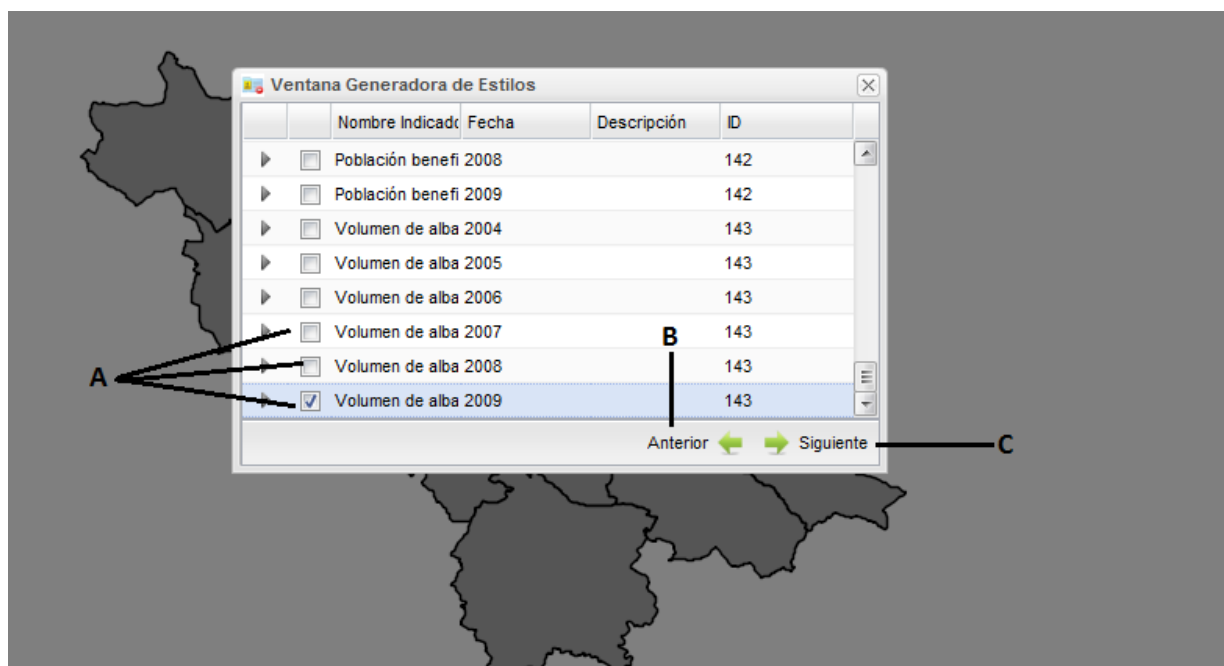


Figura 39: Ventana Indicadores

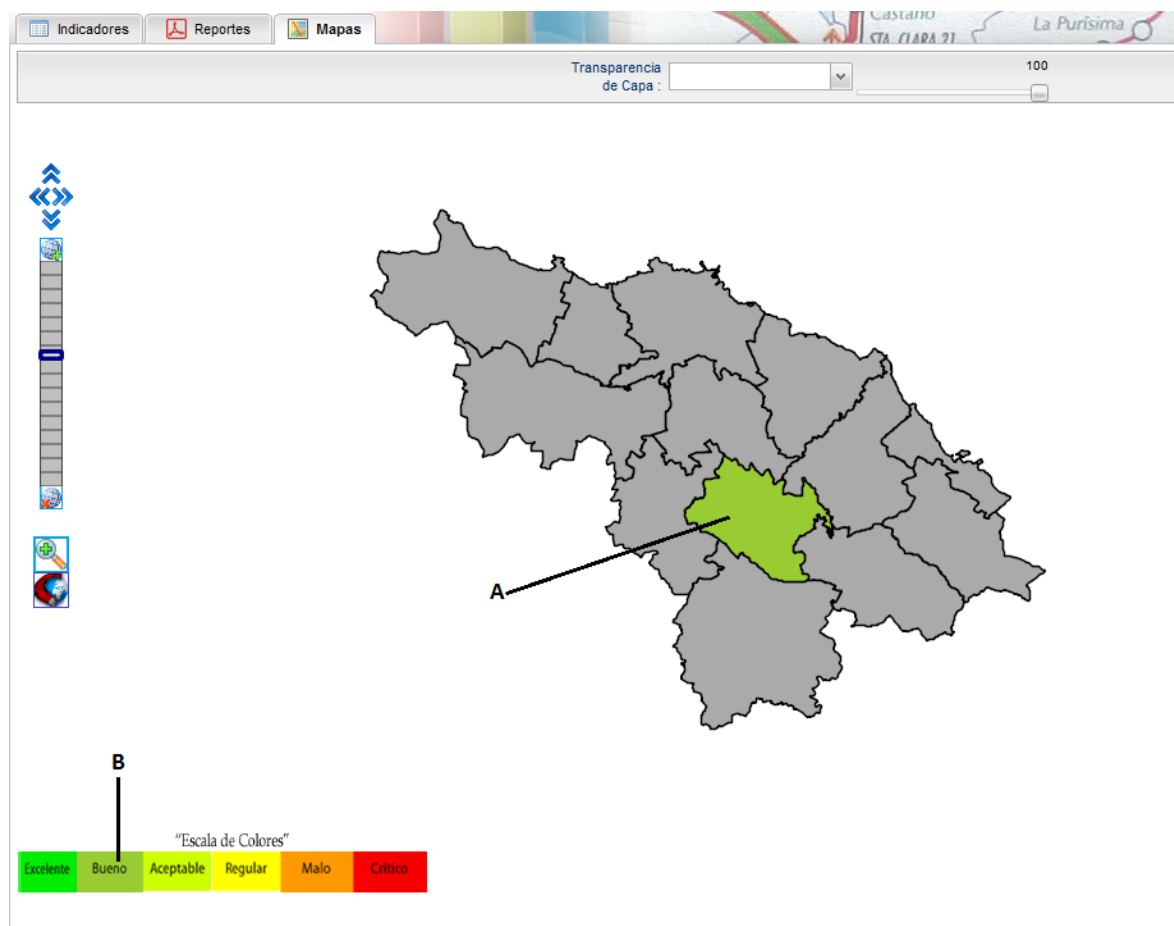
A: Permite elegir un indicador de todos los existentes en la zona seleccionada.

B: Redirige a la ventana anterior.

C: Redirige a la ventana de la figura 31 para elegir la capa sobre la que se dibujará.

Luego de establecer todos los parámetros se obtiene el siguiente resultado.





**Figura 40: Resultado Zona-Indicador.**

A: Muestra la zona donde se define dicho indicador con el color resultante que es determinado por el valor que este tiene asociado.

B: Indica que el color verde representa que el indicador se encuentra “Bueno”.

### 3.5 Validación del sistema.

Para validar el sistema se implementó un caso de estudio. El caso B con datos históricos y geoespaciales: La data histórica correspondiente a mediciones realizadas desde el 2004 hasta el 2009 de indicadores de tipo económicos, sociales y ambientales tomadas del

Anuario de la ONE (<http://www.one.cu/>). Y los datos geoespaciales proporcionados por el CESAM.

### **3.6 Conclusiones Parciales.**

En este capítulo se hizo referencia a los requisitos de hardware necesarios para una buena ejecución del sistema, además se creó una guía para ayudar a los usuarios del SisGIM 2.0 en el tránsito por sus posibles escenarios, describiendo en cada caso las funcionalidades asociadas.

## **CONCLUSIONES**

Como resultado de esta investigación se desarrolló una Sistema Gerencial de Información Medioambiental (SisGIM 2.0) en la web utilizando técnicas de Visualización Científica, y desarrollo de mapas temáticos, que le permite al personal de las empresas cubanas la gestión de la información y la toma de decisiones, cumpliéndose el objetivo general planteado y concluyéndose que:

- Se diseñó un sistema de Información Geográfica que permite representar variables e indicadores de sostenibilidad.
- Se implementó un prototipo de Sistema de Información Geográfica para apoyar en la toma de decisiones en territorios y empresas cubanas.
- Se integró a este prototipo la representación de datos medioambientales mediante la aplicación de una técnica de Visualización Científica basada en colores.
- Se logró integrar el Sistema de información Geográfica al módulo de indicadores para asistir a los directivos en la toma de decisiones respecto a los mismos.
- Se seleccionó Geoserver como servidor geográfico puesto que es un servidor de código abierto desarrollado en Java, que permite a los usuarios compartir y editar datos geoespaciales en un ambiente web.
- Se logró desarrollar el sistema de forma generalizada, lo que permite que el sistema pueda ser fácilmente usado por cualquier empresa de nuestro país.
- Se logró implementar un caso de estudio de la provincia de Villa Clara con datos de la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) y del Centro de Estudios y Servicios Ambientales (CESAM) en la provincia de Villa Clara, lo que permitió probar el sistema con datos reales.

## **RECOMENDACIONES**

Teniendo en consideración que el modelo propuesto es generalizable se recomienda:

1. Incorporar nuevas técnicas de visualización de acuerdo a las necesidades de los usuarios en cada caso.
2. Extender las funcionalidades del Sistema de Información Geográfica con el objetivo de mostrar una mayor cantidad de información de forma dinámica, por ejemplo, información contextual.
3. Presentar los resultados obtenidos en eventos científicos de esta área de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACUÑA, A. 2008. *Cuadro de Mando Integral*.
- ARMENTERAS 2002. *Informe de resultados Sistema de Información Geográfica*.
- CARSTENSEN, L. W. 1986. *Developing Regional Land Systems for Land Resources Assessment*.
- COWEN 1988. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.
- DAVIS, D. E. 2003. *GIS for Everyone*. California.
- EDUTEKA. 2011. <http://www.eduteka.org> [Online]. [Accessed].
- ELANGO VAN, K. 2006. *GIS: Fundamentals, Applications and Implementations*. New India
- FRIENDLY, M. 2008. *Milestones in the history of thematic cartography, statistical graphics, and data visualization*.
- GÁLVEZ & MELLADO 2009. *Cuadro de Mando de la Diputación de Badajoz: un Mundo conectado para la toma de decisiones*.
- GEOSEVER, S. O. D. Septiembre 2010. GeoServer [Online]. [Accessed].
- GOOGLE, C. 2010. GWT [Online]. Available: <http://code.google.com/intl/es/webtoolkit/overview.html> [Accessed].
- GRAF, E. 2005. *Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible*.
- GUEVARA, R. 2005. *Desarrollo de los recursos humanos, educación y capacitación*.
- HEARNshaw, H. M. & UNWIN, D. J. 1994. *Visualization in geographical information systems*, Chichester.
- JAVA, S. O. D. 2011. Java Site.
- JIANG, B. & LI, Z. 2005. *Geovisualization: Design, Enhanced Visual Tools and Applications*. Revista The Cartographic Journal, # 42(1).
- LEAL, R. R., CARO, S. E. & BADA, M. A. 2010. *ARQUITECTURA PARA UN SISTEMA GERENCIAL DE INFORMACION MEDIOAMBIENTAL COMO SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES*
- MACEACHREN, A. & MENNO-JAN, K. 1997. *Exploratory cartographic visualization: advancing the agenda*. Revista Computers & Geosciences, #23(4).
- MACEACHREN, A. & MENNO-JAN, K. 2001. *Research Challenges in Geovisualization*. Revista Cartography and Geographic Information Science.
- MANIYAR, D. M. & NABNEY 2006. *Visual Data Mining using Principled Projection Algorithms*.
- MUNDOGEO. 2011. <http://mundogeo.com/es/blog/2011/03/10/aumenta-la-integracion-del-sig-con-otros-sistemas-corporativos/> [Online]. [Accessed].
- OPENLAYERS, S. O. D. 2010. OpenLayers.
- POSTGRES SQL, S. O. D. 2009. PostgreSQL [Online]. Available: <http://www.postgresql.org/about/news.1108> [Accessed].
- POSTGRES SQL, S. O. D. Julio 2009. PostgreSQL [Online]. Available: <http://www.postgresql.org/about/news.1108> [Accessed].
- QUEZADA & VARNERO 2009. *Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales*.
- REUTER, A. F. 2006. *Sistema de Información Geográfica (SIG). Definiciones-Funciones-Metadatos*.
- RHYNE, T. M. 1994. *Going Virtual with Geographic Information and Scientific Visualization*
- RHYNE, T. M. 2000. *Scientific Visualization in the Next Millennium*. IEEE Computer Graphics and Applications, 20, 20-21.
- RHYNE, T. M. & MACEACHREN, A. 2004. *Visualizing Geospatial Data*. . ACM SIGGRAPH 2004 Course #30.
- SÁNCHEZ, E. 2009. *Evaluación del impacto organizacional que ocasiona un proceso de implementación de sistemas de información geográficos*.
- STALLMAN, R. M. Year. *Filosofía del proyecto GNU*. In, 2006.

*VELÁZQUEZ, Z. P. & SOLENZAL, H. E. G. 2010. Sistema de Información Geográfico para la Gestión Medioambiental en la web para la empresa de Recursos Hidráulicos de Villa Clara.*