

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
POSTGRADO EN COMPUTACIÓN



**Diseño e implementación de un Servidor de Mapas Web para una
Red Bioclimática en Montaña**
Caso de Estudio: Parque Nacional Sierra Nevada de Mérida,
vertiente norte del Pico Bolívar

Autor

Ing. Nelly García Mora

Tutor

Dr. Alexander Parra Uzcátegui

Trabajo de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Los Andes como
requisito parcial para optar al título de:
Magíster Scientiae en Computación

Mérida, Noviembre 2009

C.C.Reconocimiento

AGRADECIMIENTOS

Son muchos los obstáculos que hay que vencer para lograr las metas, El alcanzar esta meta se lo debo principalmente a **Dios Todopoderoso**, por darme la oportunidad y el deseo de estudiar, dándome tanta firmeza y perseverancia para superar todos los obstáculos.

A mi familia y especialmente a **mis Padres**, quienes me brindaron en cada momento todo su amor, comprensión y dedicación **Mi mamá** que siempre estas ahí levantándome el ánimo cuando me vez caer ante los tropiezos. **A Papá** por ese "vamos mi'ja que falta poco" no sabes cuanto ayuda!. **A mis hermanos**, tesoros invaluable para mi, los adoro a toditos. Y a todos esos **Sobrinos hermosos** que han llenado mi vida de alegría con sus juegos, risas, su decir **Tia Catirita**, que roba mi corazón.

A mi compañero, amigo, pareja, con quien he decidido compartir mi vida, a ti **Néstor Daniel**, que sea este logro un ejemplo a seguir en tu camino. Te Amo.

De forma muy especial quiero expresar mi más sincero agradecimiento al **Centro de Microscopía Electrónica "Dr. Ernesto Palacios Prü"**, a todo su personal que son personas maravillosas que han colaborado en todo momento con la Red Bioclimática, También quiero agradecer al **Dr. Ernesto Palacios Prü (Q.E.P.D.)**, por sus consejos, además de ser ejemplo a seguir por su insistencia y esperanza de cultivar en nosotros deseos de superación.

También quiero expresar unas cortas líneas al **Dr. Jesús Alfonso Osuna**, gran amigo y compañero de trabajo, quien fue uno de los pilares fundamentales para encaminar esta meta. Gracias por siempre estar apoyándome y brindarme su amistad, gracias amiguito.

A mi tutor el profesor **Alexander Parra** me siento realmente agradecida y muy satisfecha por todo el conocimiento brindado para llevar a cabo este proyecto. También quiero manifestar mi agradecimiento al profesor **Francisco Palm**, quien fue la persona que me aportó el conocimiento técnico para poder realizar este trabajo y me apoyó junto con la **Red de Geomática de CENDITEL**, gracias a todos por su apoyo.

A todas esas personas que conocí a lo largo de mi estadía en el Postgrado muy especialmente al **Prof. Wladimir Rodríguez** que siempre me animaba a continuar, **a Luisa, a Taniana** y al resto del **Personal** que trabajan ahí en el postgrado y que están pendientes de nosotros. A todos esos compañeros de estudio con quienes compartí sufrimientos de exámenes.

Al **Postgrado de Computación** me siento realmente agradecida y muy satisfecha por todo el conocimiento adquirido a lo largo de mi carrera.

A la **Universidad de Los Andes** por haberme permitido ingresar a ella como estudiante y hoy día formar parte de su personal

Nelly García Mora.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un Servidor de Mapas Web para la Red Bioclimática del Centro de Microscopía Electrónica "Dr. Ernesto Palacios Prú" de la Universidad de Los Andes en Mérida - Venezuela, que permita monitorear, modelar, predecir e informar sobre las condiciones climáticas de uno de los pulmones vegetales más importantes de nuestro Estado Mérida, como lo es el Parque Nacional Sierra Nevada. El sistema opera utilizando una Base de Datos Climática (registros climáticos de los años 2001-2005) que contienen registros de temperatura superficial, precipitación y humedad, así como variables bióticas características de una determinada faja ecológica o piso altitudinal. A partir de estos datos se pudo construir un Servidor de Mapas Web, mediante el cual es posible informar resultados climáticos, a través de gráficos anuales. Este software, además de informar al usuario sobre las características más relevantes de cada faja ecológica como: temperaturas máximas y mínimas de la zona, altitudes máxima y mínima y una descripción de la faja altitudinal, permite detallar los diferentes estratos que se pueden encontrar en la misma, incluyendo la composición de las especies vegetales presentes en cada una de estos. Por otra parte este sistema permite mostrar un conjunto de imágenes que visualizan el escenario ambiental presente en cada zona, revelando al usuario una recopilación de los diferentes paisajes, destacando las características más relevantes y visualizando el escenario que corresponde a los valores del piso seleccionado.

Los programas y aplicaciones empleados para este trabajo fueron: *MapServer versión 5.0*: aplicación desarrollada para trabajar como servidor de cartografía, que permite generar de forma dinámica imágenes en los formatos más habituales para la publicación en Web (gif, png, etc.) y se ejecutan bajo plataformas Linux/Apache, Windows/IIS; *OpenLayers versión 2.7*: viene a ser la alternativa libre a Google Maps, está desarrollado totalmente en JavaScript, se destaca por su facilidad para poder integrarlo a una Web, además de tener las opciones básicas para moverse y hacer zoom; *GvSIG versión 1.1.2*: es uno de los proyectos más recientes y exitosos, es una herramienta integradora de los distintos mundos de la información geográfica. Está conformado por bloques de trabajo como GvSIG 3D, teledetección, vectorial avanzado, piloto de redes, nuevas funcionalidades ráster; por último la aparición del proyecto *SEXTANTE* que es una biblioteca de algoritmos de análisis espacial de código libre, disponible en varios software de SIG, su objetivo es crear una plataforma que facilite tanto el uso como la implementación de estos algoritmos. Actualmente se cuenta con 220 algoritmos, la versión que se instaló es la 0.1. Para el manejo y almacenamiento de los datos se utilizó *Postgres 8.3* y para el procesamiento de los datos se utilizó *Python 2.5 con Matplotlib versión 0.91.4*.

Finalmente, y no menos importante, está el desarrollo de la aplicación basada en software libre, permitiendo impulsar las políticas de producción de sistemas de información y comunicación haciendo uso de estándares abiertos, lo que permitirá fomentar el uso de software libre en Venezuela tanto en Universidades Nacionales como en el sector público según lo expresa el Decreto 3390 publicado por el Poder Ejecutivo Nacional en Diciembre de 2004, Gaceta N° 38095.

INDICE DE CONTENIDO

Agradecimiento	ii
Resumen	iii
Índice de Contenido	iv
Índice de Figuras	vi
1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	
1.1 Generalidades	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 El Problema	5
1.4 Justificación	5
1.5 Objetivos	
1.5.1 Objetivo General	8
1.5.2 Objetivos Específicos	8
2. CAPITULO II: MARCO TEORICO	
2.1 Sistemas de Información Geográfico (SIG)	9
2.1.1 Definición	10
2.1.2 Componentes de un SIG	12
2.1.3 Funciones de un SIG	17
2.1.4 Como trabaja un SIG	18
2.1.5 Sobre los datos de un SIG	21
2.1.6 Aplicaciones de los SIG	23
2.1.7 Base de Datos Geográficas	24
2.1.8 Uso de los SIG en la climatología	27
2.1.9 Los SIG y su relación con internet	30
2.1.10 Integración Espacia de datos (IDE)	30
2.2 Software Libre	35
2.2.1 Definición	36
2.2.2 Aspectos legales	37
2.2.3 Licencias en Software libre	41
2.2.4 Qué necesidades cubre el software libre	45
2.3 Los SIG y el Software Libre	46
2.3.1 Aspectos legales particulares para los SIG	50
2.4 Modelos Climáticos Regionales	52
2.4.1 Bases de datos Bioclimáticas	55
3. CAPITULO III: METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE LIBRE	
3.1 Metodología de Desarrollo Colaborativo de Software Libre	64
3.1.1 Flujo de trabajo del proceso de Conceptualización	68
3.1.2 Flujo de trabajo del proceso de Administración del proyecto	70
3.1.3 Desarrollo de aplicaciones de Software	71
3.2 Software a emplear en el desarrollo de la aplicación	74
3.2.1 Servidor de mapas MAPSERVER	74
3.2.2 Cliente cartográfico ligero OpenLayers	76
3.2.3 Cliente Cartográfico GvSIG	77
3.2.4 Herramientas de software empleadas para la obtención y análisis de los datos	80

4. CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 Modelo Conceptual de la Base de datos Geográfica	83
4.2 Obtención de los datos	89
4.3 Obtención de los Gráficos	89
4.4 Obtención de los Mapas	93
4.5 Instalación de Mapserver y OpenLayers	105
4.6 Creación del sitio Web	107
Discusión	114
5. CAPITULO V: CONCLUSIONES	118
Bibliografía	
Anexos	

www.bdigital.ula.ve

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de un SIG.	13
Figura 2: Las capas temáticas que proporcionan información al SIG.	19
Figura 3: Representación del mundo real mediante representación Ráster y Vector.	21
Figura 4: Diseño de la Base de Datos Espacial	26
Figura 5: Satélite GOES Este 4 Km. mostrando imágenes de vapor de agua (izquierda) e infrarrojo (derecha).	29
Figura 6: Vista desde el espacio del Parque Nacional Sierra Nevada de Mérida. Se encierra en un cuadrado el área correspondiente al Sistema Teleférico de Mérida (Imagen obtenida del satélite LANDSAT).	62
Figure 7: Características generales de las Estaciones Climáticas Múltiples que conforman la Red Bioclimática del Parque Sierra Nevada de Mérida, las cuales incluyen sensores de temperatura del aire, humedad y precipitación.	63
Figura 8: Relación entre los procesos que componen la metodología.	67
Figura 9: Flujo de trabajo del Proceso de Conceptualización de Proyecto de software.	68
Figura 10: Fases del Proceso de Desarrollo de Aplicaciones de Software	71
Figura 11: Pagina Principal de MapServer.	76
Figura 12: Pagina Principal de Openlayers.	77
Figura 13: Logo de gvSIG versión 1.1.2.	78
Figura 14: Visualizador de espacio de trabajo (Workspace).	81
Figura 15: Entorno de trabajo del Programa Boxcar Pro 3.6.	82
Figura 16: Modelo E-R del SIG	84
Figura 17: Modelo de diseño del SIG	85
Figura 18: Instalación de Matplotlib 0.91.	90
Figura 19: Agregar y quitar programas en Ubuntu.	91
Figura 20: Interfaz Gráfica de Usuario para Python.	92
Figura 21: Gráficas obtenidas en el procesamiento de los datos.	93
Figura 22: Instalando gvSIG 1.1.1.	94
Figura 23: Instalando gvSIG 1.1.1 - Selección Idioma.	94
Figura 24: Instalando gvSIG 1.1.1 - Términos de uso del programa.	95
Figura 25: Instalando gvSIG 1.1.1 - Paquetes a instalar.	95
Figura 26: Instalando gvSIG 1.1.1 - Instalación exitosa.	96
Figura 27: Instalando gvSIG 1.1.2 - Instalando actualización.	96
Figura 28: Instalando gvSIG 1.1.2 - Selección de paquetes y ruta donde se va a instalar.	97
Figura 29: Instalando gvSIG 1.1.2 - Instalación exitosa.	97
Figura 30: Instalando Piloto raster.	98
Figura 31: Instalando Sextante 0.1.	99
Figura 32: Instalando Sextante 0.1 - Condiciones de uso del programa.	99
Figura 33: Instalando Sextante 0.1 - Instalación exitosa.	99
Figura 34: GUI de gvSIG 1.1.2.	100
Figura 35: Mapas suministrados por el Laboratorio de Fotogrametría de la Facultad de Ingeniería Civil.	101
Figura 36: Mapas suministrados por el Laboratorio de Fotogrametría	101

de la Facultad de Ingeniería Civil.	
Figura 37: Valores asignados para rasterización de capas.	102
Figura 38: Salida de la imagen como capa raster.	103
Figura 39: Salida de la imagen como capa raster después de rellenar celdas sin datos.	103
Figura 40: Salida de la imagen como capa raster después de aplicar iluminación y sombreado.	104
Figura 41: Superposición de la capa de imagen del satélite Landsat sobre la capa raster sombreada.	105
Figura 42: Estructura de un archivo Mapfile.	106
Figura 43: Estructura de sitio Web.	107
Figura 44: Contenido de Frame Top.	109
Figura 45: Contenido de la página lateral.	109
Figura 46: Contenido de la página principal.	111
Figura 47: Vista completa del SIG.	111
Figura 48: Vista completa del SIG.	112
Figura 49: Vista completa del SIG.	112
Figura 50: Vista completa del SIG.	113
Figura 51: Vista completa del SIG.	113

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1 CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades:

Actualmente resulta muy fácil evidenciar la inclusión del uso de plataformas libres o software libre en muchos ámbitos del conocimiento, la Geomática no escapa de esta afirmación, tan solo basta navegar por la Web y observar la cantidad de proyectos, comunidades, blogs, congresos y muchos otros eventos que se organizan continuamente y que cada vez alcanzan mayor éxito (Lajara y Salinas, 2007).

Hace pocos años hablar de software libre era algo propio de sectores concretos o usuarios con conocimientos informáticos relativamente avanzados, donde las interfaces de usuario eran pocas o nada conocidas o desarrolladas. Para la sociedad en general, hablar de software libre era sinónimo de “gratis” y GNU/Linux era un sistema operativo del que muy pocas personas hablaban.

Hoy en día la situación actual es otra, muchas aplicaciones desarrolladas bajo software libre se han puesto a la par o incluso han superado sus contrincantes desarrolladas bajo software propietario o comercial. Cada día más empresas apuestan por soluciones implementadas bajo software libre y GNU/Linux, ya hoy en día el sistema operativo GNU/Linux ha comenzado a estar presente no sólo en entornos profesionales, sino también en muchos hogares, pero aún existe un cierto desconocimiento, dudas y confusiones en lo que respecta al software libre

(Megías y col., 2007).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) también se encuentran inmersos en esta evolución del software libre, en pocos años han pasado de ser desconocidos y alejados del mercado, a ser una opción con presencia en el mercado en diversas soluciones totalmente válidas y funcionales, aunque hay que mencionar que los SIG comerciales se presentan como una alternativa muy sólida para dar solución a cualquier problema del campo de aplicación, teniendo presente que dicha solución esta a la par con la inversión económica que genera.

Aunque los SIG más usados y desarrollados sean software propietario, hay cada vez más SIG o componentes para SIG, que se distribuyen bajo licencias libres y que empiezan a crear un “entorno o espacio” de software libre para SIG, donde participan tanto organizaciones universitarias (principal fuente de desarrollo de software libre), como entidades comerciales y por supuesto individuos aficionados al desarrollo del software bajo plataformas libres.

1.2 Antecedentes:

Actualmente podemos observar a través de la Web, que el uso de los SIG en los diferentes campos del conocimiento se encuentra muy difundido. Cabe destacar por ejemplo, el trabajo de Hendrick (2002) quien describe en su artículo “Aplicaciones de un SIG para el control de calidad de la ubicación de las estaciones meteorológicas y la recuperación digital de la información en mapas de temperatura del mar”, el uso de los programas ArcView3.1 y ArcGis para el control de calidad de la ubicación de las estaciones meteorológicas, así como la recuperación de datos de temperatura del mar en formato digital en base a los resultados de un atlas meteorológico de la temperatura del mar en el Pacífico tropical sureste, mostrando con gráficos la importancia de disponer de una correcta localización de las estaciones y de temperaturas del mar a diferentes

profundidades en forma digital.

También cabe mencionar el trabajo realizado por Merwade Venkatesh y colaboradores (2008), quien utilizó técnicas de SIG para la creación de modelos de cuencas, mediante modelado hidrodinámico y mapeo de inundaciones, destacando el uso de técnicas de mapeo y análisis de datos del canal del río en un sistema de coordenadas dado, interpolación de ríos en secciones transversales para crear una malla 3D del canal principal y la integración de la malla 3D con la topografía circundante. Estas técnicas fueron aplicadas y validadas usando bases de datos de tres ríos: Río Brazos en Texas, Río Kootenai en Montana y el Strouds Creek en el Norte de Carolina, todos ellos en EE. UU.

Además encontramos el trabajo de Tischler M. y colaboradores (2007) quienes desarrollaron un gestor de soporte para contenido de Sistemas de Información Geográfico (Framework GIS), para estimar la humedad del suelo de una capa superficial combinando mediciones satelitales y modelos superficiales del terreno con estimación de las propiedades físicas del suelo. Para dicha estimación se hizo uso de ARMS (Sistema de Humedad Remoto ARMY), desarrollado para vincular Sistemas de información de la Tierra (LIS), modelando la superficie de la tierra con alto desempeño y asimilación de datos con mediciones remotas de humedad del suelo para proveer una estimación de alta resolución de la humedad del suelo en una superficie cercana. El proceso del modelado es controlado por un usuario junto a una interfaz gráfica desarrollada como parte de un componente de ArcMap ESRI-ArcGIS.

Recientemente Liu Junguo (2009), desarrolló una herramienta basada en SIG para modelar la relación cultivos-agua, a larga escala. Esta herramienta tiene por nombre GEPIC, permite estimar la productividad de cultivos sobre la superficie terrestre considerando las variaciones locales del clima, suelo y los consumos de agua, entre otros. Los resultados muestran una relación no lineal entre el

consumo de agua y las cosechas o cultivos; las simulaciones muestran mayor sensibilidad en tres parámetros estudiados: índice potencial de cosecha bajo condiciones ideales (HI), energía-biomasa, indicando la conversión de energías a biomasa (WA) y potencial de acumulador de Calor (PHU). Esta herramienta puede ser tomada en cuenta para apoyar la toma de decisiones en la producción de cultivos.

Por su parte Pozzobon y Gutiérrez (2003) describen en su artículo "Utilización de un sistema de Información Geográfica para la selección y priorización de áreas a reforestar en los alrededores de la ciudad de Mérida, Venezuela", la utilización de SIG e imágenes de satélite en la construcción de un modelo para la selección y priorización de áreas a reforestar usando técnicas de evaluación multicriterio (TEMC).

www.bdigital.ula.ve

También Caldeweyher y col. (2006) publicaron un artículo titulado *OPENCIS-Open Source GIS-based web community information system*, exponiendo claramente que los SIG están involucrados en muchas aplicaciones y juegan un papel importante en la mayoría de las operaciones diarias del gobierno y administraciones públicas. Sin embargo, como las comunidades carecen de la experiencia y los recursos no pueden beneficiarse de estas tecnologías. Por tal motivo el proyecto OpenCIS basado en tecnologías libres de fácil uso, busca orientar este tema mediante un puente entre ver un simple mapa y los SIG, representando así el primer paso hacia la meta del desarrollo base a través de la tecnología SIG.

Cabe destacar que el Centro de Microscopía Electrónica "Dr. Ernesto Palacios Prú" posee un banco de datos sobre registros climáticos, representados mediante un sistema de información que permite mostrar información de variables físicas y

biológicas de cualquier piso altitudinal, además de mostrar la composición florística de la zona (García, 2004).

1.3 El Problema:

El Valle de Mérida, presumiblemente ha experimentado un incremento en los últimos 20 años del número de automotores, lo cual probablemente haya afectado la temperatura del aire con consecuencias predecibles sobre los ecosistemas locales (Quintana, 2001). De igual manera, la actividad de deforestación en las zonas boscosas pertenecientes a los Parques Nacionales, tales como Sierra La Culata y Sierra Nevada, ha ocasionado una disminución de las reservas de aguas, incluyendo ríos y lagunas (Andressen y Ponte, 1973; Rojas, 2003). Obviamente, esta condición ha ido en detrimento de este ambiente, empobreciendo su calidad, lo cual ha puesto en peligro la supervivencia de innumerables especies vegetales y animales, disminuyendo además la calidad de vida del hombre. Adicionalmente, el acelerado desarrollo de infraestructura habitacional, ha contribuido al incremento del sobrecalentamiento que se expande hacia el Parque Nacional Sierra Nevada (PNSN).

Es por ello que con el diseño e implementación de un Servidor de Mapas Web para la Red Bioclimática del PNSN, constituirá en gran medida una herramienta que permita monitorear, modelar, predecir, e informar sobre las condiciones climáticas de uno de los pulmones vegetales más importantes de nuestro Estado Mérida como lo es el PNSN.

1.4 Justificación:

Los SIG han surgido como poderosas herramientas para la manipulación y análisis de grandes volúmenes de datos estadísticos, espaciales y temporales, necesarios para generar, de una forma flexible, versátil e integrada, productos de información para la toma de decisiones (Bosque, 1992).

Son muchas las aplicaciones de los SIG en los diferentes campos del conocimiento científico, dentro de los cuales se puede mencionar el uso de los suelos, la planificación urbana, la prevención de desastres naturales, entre otros. En el Centro de Microscopía Electrónica "*Dr. Ernesto Palacios Prú*" de la Universidad de Los Andes, a través de un proyecto en el área climatológica, se han venido haciendo desde el año 2001 mediciones continuas de variables climáticas (temperatura, precipitación, humedad relativa, humedad absoluta) y de variables biológicas, tales como tasa fotosintética, productividad biológica y niveles de clorofila. El proyecto en cuestión ha sido denominado "Red Bioclimática del Parque Nacional Sierra Nevada (PNSN) de Mérida".

Hoy en día la Red Bioclimática cuenta con una data histórica de cinco (5) años y medio, en la cual se tienen registros climáticos diarios de temperatura, humedad, y precipitación. Esta información se encuentra disponible en la Web en la siguiente dirección: www.ing.ula.ve/~cme/red

Como es conocido, la tecnología crece a pasos agigantados permitiendo abrir nuevas fronteras a un mundo lleno de nuevas metas. En la actualidad existe un gran abanico de nuevas tecnologías en el área de la meteorología que permiten registrar y predecir, con gran exactitud, las variables climatológicas. Estos avances tecnológicos nos han llevado a plantear la realización del presente proyecto, con el cual se persigue diseñar un Servidor de Mapas Web que permita mostrar información de las características bioclimáticas de los distintos pisos altitudinales a lo largo de la vertiente norte del Pico Bolívar del Estado Mérida.

Los estudios realizados sobre cambios climáticos globales han revelado que nuestro planeta ha venido sufriendo un sobrecalentamiento global en las últimas décadas, a partir del incremento de las concentraciones parciales de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, las cuales se cuantificaron desde 240 partes por

millón (ppm) en la década de los 60 del siglo pasado hasta 345 ppm en registros más recientes (Lamarche, 1984; Jacoby y D'Arrigo, 1997; Rothman, 2002). También se ha encontrado una reducción pluviométrica importante en toda la región de América Latina, favorecida de forma indirecta por la quema y deforestación de montañas, pulmón vegetal de nuestros ecosistemas (Barry, 1992). Estos factores comprometen el futuro de la productividad biológica en la región, pues de seguir en ascenso toda esta serie de cambios climáticos locales y globales, nos conducirán a ecosistemas modificados, pobres o carentes de vida.

Es evidente la gran cantidad de trabajos que para su desarrollo hacen uso de herramientas SIG, entre los cuales podemos citar el trabajo titulado *Diseño de predicción de tormentas y modelado hidrológico usando un SIG-Web desarrollado sobre plataforma de software libre* (Castrogiovanny y Col., 2005), que consiste en aplicar un conjunto de procedimientos útiles para la automatización de predicción de tormentas y modelado hidrológico asociados con nivel de riesgo, proponiendo su implementación bajo un Sistema de Información Geográfica GRASS 5.0. También es representativo el trabajo titulado: "*The potential for the use of Open Source Software and Open Specifications in creating Web-based cross-border health spatial information systems*" (Moreno-Sánchez, 2007), trabajo que describe la construcción de un prototipo basado en SIG-Web multimedia, para su utilización en un contexto de salud pública usando software de código abierto y estándares abiertos a través de la frontera entre Estados Unidos y México.

La Red Bioclimática del PNSN de Mérida desde sus inicios (Marzo 2001), ha hecho esfuerzos junto con varias instituciones gubernamentales para el monitoreo y registro de datos climáticos mediante la ubicación de sensores en puntos estratégicos a lo largo de la vertiente norte del Pico Bolívar. Sin embargo, cada día se hace más imprescindible disponer de un sistema capaz de monitorear y

mostrar el efecto del clima sobre variables biológicas, haciendo uso de herramientas de software libre.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Desarrollar un Servidor de Mapas Web para la Red Bioclimática del Centro de Microscopía Electrónica, que permita monitorear, modelar, predecir e informar sobre las condiciones climáticas de uno de los pulmones vegetales más importantes de nuestro Estado Mérida como lo es el PNSN.

1.5.2 Específicos

1. Investigar, revisar y documentar, sobre las diferentes tecnologías existentes en software libre para el desarrollo del Servidor de Mapas Web, así como la metodología a seguir para el desarrollo del mismo.
2. Recopilar información relacionada con mapas digitales de la vertiente norte del Pico Bolívar, a fin de poder ubicar las estaciones meteorológicas en dichos mapas
3. Obtener modelos matemáticos que describan el efecto de las variaciones térmicas de cada faja ecológica sobre respuestas metabólicas de síntesis de clorofila, productividad biológica y fijación de nitrógeno, así como modelos que relaciones las variables físicas registradas, a lo largo de los cinco años de datos.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen conceptos básicos sobre los Sistemas de Información Geográficos (SIG), definición, componentes, software libre y aspectos importantes sobre el software libre.

2.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En la década de los setenta, con el desarrollo de la tecnología informática, aparecieron una serie de programas cuya finalidad era gestionar datos espaciales geo-referenciados. En los primeros momentos se necesitaba un potente instrumental para poder trabajar con ellos; pero poco a poco se fueron desarrollando mejores técnicas que han ido simplificando y popularizando la utilización de este tipo de programas. Algunos autores han llegado a afirmar que “los Sistemas de Información Geográfica son el paso adelante más importante desde la invención del mapa” (Chorley, 1987). No sabemos si realmente este nuevo avance es tan crucial pero, sin duda, se trata de una interesante y útil herramienta que facilita la compilación, análisis y divulgación de los datos geográficos. Además, “los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen numerosas ventajas respecto a la cartografía convencional, puesto que de forma automática permiten manejar datos espaciales internamente referenciados, producir mapas temáticos y realizar procesos de información de tipo digital” (Conesa-García, 1996). Todo ello justifica los esfuerzos de síntesis para conocer y entender mejor los aspectos más relevantes de estos sistemas.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

En Venezuela se inicia la utilización de los SIG fundamentalmente en el área de recursos naturales, en la década de los 70, pero es en los 90 y hasta la actualidad cuando realmente ha tomado auge el uso de esta tecnología. Instituciones como Universidades (UCV, ULA, UNELLEZ, LUZ, entre otras), Ministerio del Poder Popular (CNTI, Ambiente, Agricultura y Tierra), Petróleos de Venezuela, Corporación Venezolana de Guayana, Gobernaciones y Alcaldías tienen dentro de sus prioridades la utilización de los SIG como herramientas para el análisis y evaluación de los posibles cambios en los sistemas con pertinencia a: Agricultura, urbanismo, ambiente, entre otros (Rodríguez de Paiva y Col, 2007).

Otro aspecto importante a destacar en la evolución de los SIG es el progreso del hardware y el software informático, haciendo posible el manejo de grandes cantidades de información geográfica de forma rápida y segura. También se debe resaltar dentro de los aportes más importantes de los SIG, como lo mencionan Obermeyer y Pinto (1994), es su capacidad de realizar análisis geográficos; este adjetivo *geográfico* es quien le da singularidad a esta herramienta y la diferencia de los sistemas de información convencionales.

2.1.1 Definición:

Son muchas las definiciones que podemos encontrar de Sistemas de Información Geográfica, muchas se enfocan en resaltar la funcionalidad de los mismos, otras más teóricas, otras más técnicas en esta sección se presentarán un conjunto de definiciones de personas con un amplio conocimiento del tema para llegar a una definición que pueda englobar y sintetizar de forma clara lo que son los SIG.

Un SIG es una integración organizada de hardware, software

y datos geográficos diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas su formas la información geográfica referenciada, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. (Enciclopedia Libre: Wikipedia, [On-Line]

http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Información_Geográfica).

Los SIG, más que una tecnología, son un instrumento nuevo de percepción y comprensión del territorio (De Abreu, 1996).

Un SIG es un intento más o menos logrado según los casos de constituir una visión esquemática de una realidad compleja (Bosque, 1992).

El software utilizado para automatizar, analizar y representar datos gráficos georreferenciados y organizados según un modelo topológico (AESIGT, 1993).

Un sistema información geográfico (SIG) es una herramienta computacional para trazar y analizar cosas que existan y sucesos que ocurren sobre la tierra (ESRI, 1998).

Un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos (Burrough, 1987).

Un sistema de hardware, software y procedimientos diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión. (NCGIA, 1996).

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

La gran variedad de definiciones que se encuentran en Internet, darían cabida a una discusión más extensa, pero para entender y definir el concepto de Sistemas de información que se usará a lo largo del proyecto lo definiremos como:

Es una combinación de herramientas tecnológicas (hardware y software) y datos geográficos que se integran entre sí para la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y despliegue en todas sus formas la información geográfica referenciada, con el fin de ayudar a las diversas actividades humanas donde las características espaciales de los datos tienen un papel determinante.

2.1.2 Componentes de un SIG

Básicamente un SIG está estructurado por estos elementos fundamentales: Equipo (hardware y Software), datos y Recurso Humano, Métodos o Procedimientos. Ver Figura 1.

En conjunto los componentes de un SIG nos permiten:

1. Representar de manera digital los datos geográficos (adquisición, codificación y almacenamiento).
2. Manejar de manera eficiente la codificación, para que permita editar, actualizar, manejar y almacenar los datos.
3. Brindar datos eficientes para consultas complejas.
4. Crear formas de salidas compatibles para diferentes usuarios, como puede ser con tablas, gráficas, etc.



Figura 1: Componentes de un SIG

A continuación describiremos en detalle los componentes de un SIG.

Equipo

Hardware: o componentes físicos del sistema, está representado por: *Computador, PC, estación de trabajo*; la cual debe tener alta capacidad de disco duro y memoria RAM, y una serie de periféricos englobados en dos grupos Salida y entrada: *Monitor* a color y de alta resolución para el despliegue de mapas e informes, *impresora*: (impresión de mapas, imágenes e informes), *plotter* (el ploteo de mapas a diferentes escalas), y de entrada podemos mencionar el *digitalizador* para la entrada de datos de mapas análogos, *Escaner* para la entrada de datos de imágenes, *GPS* Sistema de Posicionamiento Global. Y un grupo especial son las unidades de almacenamientos como *pendrive, cd, dvd*, entre otras, las cuales puede ubicarse como periféricos de entrada/salida según sea el caso.

Software: El software SIG provee las funciones necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica; los componentes claves en el software son:

- 1 Herramientas para el aporte y manipulación de información Geográfica.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

- 2 Un Sistema de Gestión de Bases de Datos
- 3 Las Herramientas que apoyan a preguntas geográficas, análisis y visualización.
- 4 Una interfaz gráfica de usuario (GUI) para el acceso fácil a la herramienta.

Existen muchos programas de SIG, tanto comerciales como basados en código abierto o software libre. Debido a que este proyecto tiene por finalidad la utilización de software libre, se tomará de la Enciclopedia Libre Wikipedia una lista del software más conocidos en el mercado:

Software SIG	Windows	Mac OS X	GNU/Linux	BSD	Unix	Entorno Web	Licencia de software
ABACO DbMAP	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Java	Software no libre
ArcGIS	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
Autodesk Map	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
Caris	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
CartaLinx	Sí	No	No	No	No	No	Software no libre
Geomedia	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
GeoPista	Java	Java	Java	Java	Java	Sí	Libre: GNU
GeoServer	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Java	Libre: GNU
GRASS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Mediante pyWPS	Libre: GNU
gvSIG	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GNU
IDRISI	Sí	No	No	No	No	No	Software no libre
ILWIS	Sí	No	No	No	No	No	Libre: GNU
Generic	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Libre: GNU

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Mapping Tools							
JUMP	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GNU
Kosmo	Java	Java	Java	Java	Java	En desarrollo	Libre: GNU
LocalGIS	Java	Java	Java	Java	Java	Sí	Libre: GNU
Manifold	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
MapGuide Open Source	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	LAMP/WAMP	Libre: LGNU
MapInfo	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Software no libre
MapServer	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	LAMP/WAMP	Libre: BSD
Maptitude	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
MapWindow GIS	Sí (ActiveX)	No	No	No	No	No	Libre: MPL
MicroStation Geographic S	Sí	Abandonado	No	No	Abandonado	Sí	Software no libre
Quantum GIS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Libre: GNU
SAGA GIS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Libre: GNU
GE Smallworld	Sí	?	Sí	?	Sí	Sí	Software no libre
SavGIS	Sí	No	No	No	No	Integración con Google Maps	Software no libre: Freeware
SEXTANTE	Java	Java	Java	Java	Java	No	Libre: GNU
SITAL	Sí	No	No	No	No	Integración con Google Maps	Software no libre
SPRING	Sí	No	Sí	No	Solaris	No	Software no libre: Freeware
TatukGIS	Sí	No	No	No	No	?	Software no libre

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

TNTMips	Sí	No	No	No	Sí	Sí	Software no libre
TransCAD	Sí	No	No	No	No	Sí	Software no libre
uDIG	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Libre: LGNU

Tabla 1: Listado de los SIG mas usados con su tipo de licencia y Sistema Operativo que lo soporta. Fuente: Enciclopedia Libre: Wikipedia.

http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informacion_Geografica

Datos:

Los datos geográficos constituyen la base de todo el sistema; sin ellos no tiene sentido ni el software ni el hardware, ni siquiera los usuarios. La dificultad en la recolección de algunos y lo perentorio de su actualidad provoca que sea este elemento el más costoso de todos los componentes de un proyecto SIG. Los datos pueden consumir el 70 % de todo el presupuesto de un proyecto (Barredo, 1996). El éxito del proyecto no está garantizado si no se tiene asegurada la actualización periódica de los datos. La dificultad en su representación es otro factor a tener en cuenta a la hora de organizar e introducir la información en el sistema.

Por ser este tópico uno de los más importantes dentro de los SIG, será explicado con detalle más adelante.

Recurso Humano:

Los usuarios también tienen un papel importante en la configuración estructural de un SIG. Todo está orientado para su uso. No tiene sentido una estructura bien montada que no esté pensada para ser utilizada por un personal específico. Según Rodríguez de Paiva y Col., (2007), hay tres tipos de usuarios; los especializados que son el equipo técnico: encargado de la captura cartográfica, el modelado y análisis, es el usuario con un profundo conocimiento del tema y del sistema, el usuario público en general sería aquel que en algún momento tuviera que requerir del

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

sistema para consultas, cuyo interés fundamental es la información, su calidad, presentación y accesibilidad, y por ultimo están los visualizadores: quienes ven los productos finales tales como: mapas, reportes, que se utilizan para la toma de decisiones.

Métodos:

Hay que precisar que algunos autores añaden un elemento más a este cuerpo estructural, los métodos. El método estará determinado por un plan de trabajo o procedimientos que se diseñarán en función de unos objetivos marcados al iniciar el proyecto. Un mismo *software* puede variar al ser usado para temas distintos y por ello necesitar de métodos de trabajo distinto (Pedreño-Navarro y Col., 2000).

2.1.3 Funciones de los SIG:

Los autores estudiados comentan en sus artículos que las funciones de un SIG dependen en gran medida de su aplicación, es por ello que aquí citaremos funciones que son básicas para cualquier SIG (Chorley, 1987;).

Dentro de las funciones básicas de un sistema de información podemos describir la captura de la información, esta se logra mediante procesos de digitalización, procesamiento de imágenes de satélite, fotografías, videos, procesos aerofotogramétricos, entre otros.

Otra función básica de procesamiento de un SIG hace referencia a la parte del análisis que se puede realizar con los datos gráficos y no gráficos. Proveer una base funcional que sea adaptable y expandible de acuerdo con los requerimientos propios de cada organización.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Tener la capacidad de almacenar la información a fin de garantizar el funcionamiento analítico del SIG.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son (Parra A., 2006):

1. **Localización:** Preguntar por las características de un lugar concreto.
2. **Condición:** El cumplimiento o no de algunas condiciones impuestas al sistema.
3. **Tendencia:** Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
4. **Rutas:** Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. **Pautas:** Detección de pautas espaciales.
6. **Modelos:** Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

2.1.4 Como trabaja un SIG:

UN SIG almacena información sobre el mundo como un conjunto de capas temáticas que pueden vincularse junto con la geografía. Este simple pero poderoso y versátil concepto, ha sido probado para resolver muchos

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

problemas del mundo real (Aronoff, 1995). En manejo de capas puede ser visto en la Figura 2.

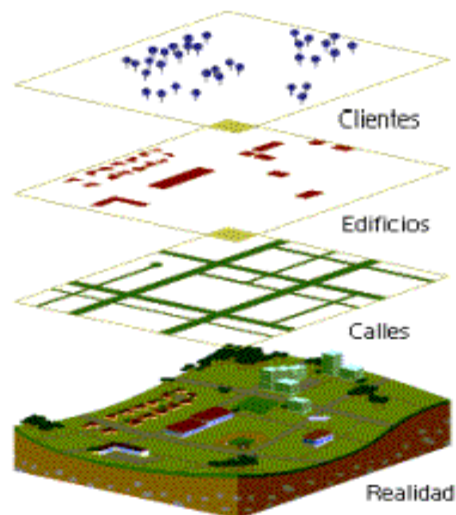


Figura 2: Las capas temáticas que proporcionan información al SIG.

La información geográfica contiene una referencia geográfica explícita (tal como latitud y longitud o una coordenada de un sistema nacional o arbitrario) o una referencia implícita (tal como el domicilio y código postal, el nombre de área censal, un bosque o el nombre de una calle). Las referencias implícitas pueden derivarse de referencias explícitas utilizando un proceso automatizado llamado "geocodificación". Estas referencias geográficas permiten localizar características tales como negocios o bosques, o eventos como un terremoto en la superficie de la tierra, para su análisis. Los SIG funcionan con dos tipos fundamentales de modelo de datos espaciales: el *modelo vectorial* y el *modelo raster*.

En el *modelo vectorial* los datos están representados por un sistema de referencia (x,y) que corresponde a los sistemas de coordenadas representadas como latitud/longitud: Por ejemplo, uno de los métodos más comunes para crear archivos vectoriales es la digitalización de información geográfica de mapas (Ver Figura 3). Esto puede hacerse usando una tableta digitalizadora o un escáner. Cada punto en el mapa de

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

papel asume una de las tres formas en el archivo vectorial: punto, línea o polígono. Un punto está representado por un solo par de coordenadas. Una línea está compuesta de un grupo de coordenadas (puntos) agregadas para formar el elemento que en un mapa pareciera no tener medidas de anchura (por ejemplo, rutas o ríos pequeños). Un polígono es un conjunto de coordenadas unidas por líneas, en el cual el primero y el último punto son iguales. El polígono siempre representa un área cerrada, como por ejemplo una zona de producción económica o una ciudad, las que ocupan un área que puede ser mapeada en una escala visible (Star y Estes, 1990).

En el proceso de digitalización de datos vectoriales se pierde una cierta cantidad de detalle; el detalle más pequeño será generalizado en una línea recta para formar el perímetro de un polígono. Si bien la pérdida de detalles puede tener como resultado una pequeña cantidad de error en el mapa digitalizado, tal error es usualmente insignificante cuando se le compara con el error contenido en el mapa original

En el **modelo raster** los mapas están representados por una rejilla (Ver Figura 3). Un mapa está dividido en una serie de filas y columnas, en las cuales cada elemento de la cuadrícula es llamado "celda". A cada celda se le asigna un valor que representa un elemento particular del mapa (por ejemplo, todas las celdas con un valor de 1 pueden representar algún tipo de suelo, agua las celdas con un valor de 2, etc.). Este modelo interpreta los puntos, líneas y polígonos de una forma diferente a como lo hace el sistema vectorial. En él, un punto está representado por una celda completa; una línea es un grupo de celdas contiguas y tiene la anchura de una celda; un polígono está representado por un grupo contiguo de celdas con la anchura de una o más celdas. Ambos modelos tienen ventajas y desventajas para almacenar datos geográficos (Star y Estes, 1990).

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

En la actualidad todos los SIG manejan ambos modelos, ya sea haciendo uso de otros SIG o a través de módulos o *plugins* que permitan la incorporación de ambos modelos.

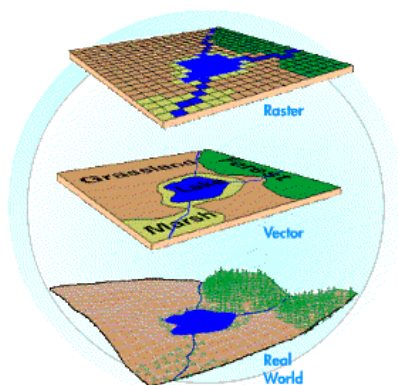


Figura 3: Representación del mundo real mediante representación Raster y Vector.

2.1.5 Sobre los Datos del SIG

Los datos geográficos se refieren a información sobre la superficie terrestre y los objetos que se encuentran en ella, esta información viene en tres formas básicas.

- Datos Espaciales
- Datos Tabulares
- Imágenes

Datos Espaciales:

Se encuentran en el corazón de cada proyecto o aplicación SIG, contienen la ubicación y formas de características cartográficas, también conocidos como datos cartográficos digitales, este es el tipo de datos necesarios para hacer mapas y estudiar relaciones espaciales. Los datos espaciales incluyen:

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Puntos 0D: Es el tipo de dato espacial más simple, está representado por un par de coordenadas X-Y, tiene dimensión 0, tiene posición en el espacio pero no longitud y pueden ser de dos clases: Observaciones relacionadas a *fenómenos distribuidos* discretamente tales como: pozos petroleros, minas, bancos, consultorios médicos, entre otras y observaciones relacionadas a *fenómenos continuos*, tales como estaciones meteorológicas. Es importante tomar en cuenta la escala ya que la misma juega un papel importante.

Líneas 1D: Está compuesta por un segmento de líneas rectas y definidas, y por dos o más pares de coordenadas, posee longitud pero no área, las líneas pueden ser *estáticas* (tipo estructural), es decir no llevan inherente información espacial acerca de conectividad, ejemplo. Infraestructura de transporte y *dinámicas* (flujo) es decir que define el flujo de un recurso ejemplo, ríos, tráfico, electricidad, entre otros.

Polígonos o Áreas 2D: Constituyen el tipo de dato más usado en SIG, son bidimensionales lo que implica longitud y ancho, en este tipo de datos podemos encontrar la adyacencia de polígonos, es decir donde el límite de un polígono se comparte con al menos otro polígono, también pueden estar encerrados dentro de otro polígono o área, una representación de este tipo serían lagunas, pequeñas islas, manzanas de una vecindad, etc.

Superficies 3D: Son tridimensionales, tienen longitud, ancho, altura/profundidad, ejemplo de estos datos podemos encontrar, curvas de nivel, elevaciones de terreno, densidad de población, etc.

Datos Tabulares:

Son los datos descriptivos que el SIG conecta a las características cartográficas, es la inteligencia detrás del mapa. Vienen a representar la cognotación semántica de la variable. Los datos tabulares se recolectan y compilan para áreas específicas como provincias, ciudades y demás y por lo general vienen combinados con los datos espaciales. Los datos tabulares adecuados para el uso de SIG incluyen datos frecuentemente almacenados en bases de datos, ejemplo de estos datos podemos mencionar ubicaciones geográficas tales como domicilios, coordenadas, o lugares con distancia a lo largo de un río donde fueron recolectadas muestras. Esta información puede usarse para crear características cartográficas que pueden presentarse y analizarse junto con otros datos espaciales y tabulares.

Imágenes:

Los datos de imagen incluyen tales elementos diversos como imágenes satelitales, fotografías aéreas, y datos *escaneados* (datos que han sido convertidos de un formato impreso a uno digital). Las imágenes de la tierra tomadas desde satélites o aviones pueden presentarse como mapas junto con otros datos espaciales conteniendo características cartográficas.

2.1.6 Aplicaciones de los SIG:

Hoy en día son muchas las áreas en las que se encuentran aplicados los SIG, a continuación se nombrarán las más destacadas dentro de la bibliografía citada así como publicaciones electrónicas:

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

- Planificación Ambiental: Sistemas de evaluación de tierras, restricciones a nuevos emplazamientos, recursos agroturísticos, prevención de desastres.
- Impacto Ambiental: terrenos más vulnerables, Gestión de recursos de defensa.
- Ordenamiento Territorial.
- Geo-marketing, ubicación de centros comerciales.
- Catastro: Administración de servicios públicos
- Gestión de servicios
- Manejo de rutas optimas
- Metereología
- Predicción

2.1.7 Base de Datos Geográfica

La construcción de una base de datos geográfica, implica un proceso de abstracción para pasar del mundo real a una representación matemática más simple, que pueda ser procesada por algún lenguaje de computadora diseñado para este fin. Este proceso de abstracción tiene varios niveles y normalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en capas, las cuales se clasifican según su información temática para su posterior inclusión en algún análisis de información (Parra A., 2006).

El concepto de base de datos es esencial en un SIG y constituye la principal diferencia entre un SIG y un simple sistema de dibujo o de cartografía computacional. Un SIG vincula datos espaciales con información descriptiva de alguna característica particular de un mapa. La información se almacena como atributos o características del elemento representado (Goizueta J., 1993).

Esencialmente, un SIG le permite al usuario combinar información descriptiva con los elementos de un mapa, crear nuevas relaciones que puedan determinar la disposición de distintos sitios susceptibles de desarrollo, evaluar impactos ambientales, calcular volúmenes de cosecha, identificar la mejor ubicación para una nueva instalación, entre otras.

La capacidad de un SIG para realizar una integración de datos, abre el camino para poderosas y distintas formas de mirar y analizar información. El usuario puede acceder al contenido de la base de datos tabular de un mapa, o puede crear mapas basados en dicha información; por ejemplo, el usuario señala un municipio en un mapa y despliega una lista con toda la información descriptiva relevante de la población que vive en dicho municipio.

El *Modelo Conceptual* para una base de datos espacial se refiere a la forma como están caracterizados los elementos del mundo real cuando se almacenan en la base de datos. Por lo general están representados mediante un diagrama, los cuales pueden ser: Entidad-Relación, UML (Unified Modelling Language) y OMT(). Asociado al diseño de la base de datos debemos tener presentes los conceptos de Modelo Lógico y Físico de la Base de Datos Geográfica.

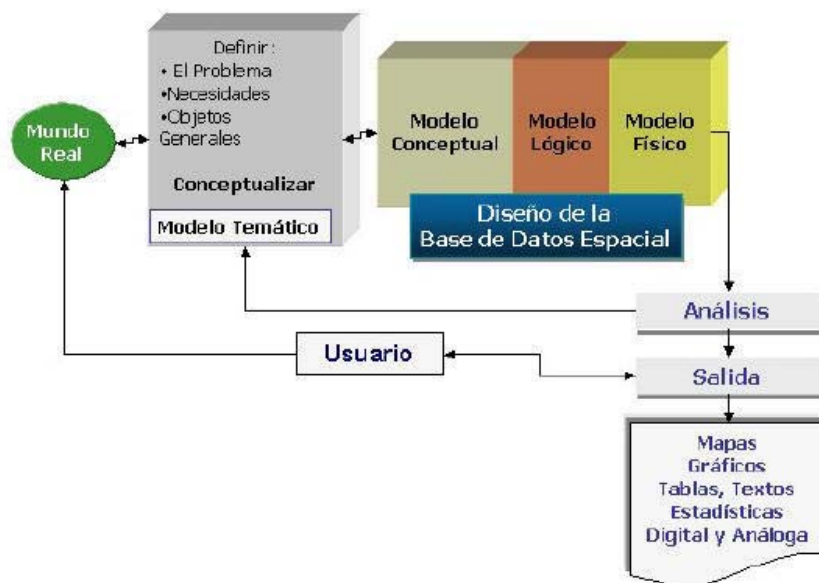


Figura 4: Fase de diseño de la Base de datos espacial

Modelo Lógico:

Es el desarrollo completo y detallado del modelo conceptual en el que se encuentra una descripción detallada de cada una de las entidades, el diseño de las tablas y los niveles de información gráfica, con sus atributos, identificadores, relaciones, tipo de dato, longitud del dato, y geometría (punto, línea o polígono); que constituyen la base de datos espacial.

El modelo conceptual y el modelo lógico, son independientes de los programas y equipos que se vayan a utilizar y de su correcta concepción depende el éxito del SIG.

Modelo Físico:

Corresponde a la implementación de la base de datos espacial en un programa o software específico. Las especificaciones dependen del tipo de software utilizado. El modelo físico incluye:

- La base de datos espacial

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

- Imágenes (Por ejemplo, imágenes fotográficas, de satélite, aerofotografías, esquemas)
- Complementarias a las imágenes (Por ejemplo, archivos de texto)
- Información descriptiva de los objetos (Por ejemplo, diccionario de Datos, Metadatos)

2.1.8 Uso de los SIG en la climatología:

Tal como describe Rodríguez de Paiva y Col., (2007) en su artículo "Los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la climatología", el clima tiene la particularidad de estar compuesto de diversos parámetros que influyen con diferente intensidad en el comportamiento de las especies vegetales, y tienen una variación espacial y temporal continua con distinto grado de magnitud incluyendo las fluctuaciones climáticas, de gran preocupación en la actualidad.

En consecuencia, lo anterior se traduce en la posibilidad de estimar el valor de un parámetro climático con una probabilidad determinada y para cualquier punto del área en estudio. De esta manera se pueden caracterizar climáticamente unidades cartográficas de geomorfología y suelos para definir unidades agroecológicas (Sanabria, 2001).

Los SIG han permitido avanzar en el estudio y análisis de los fenómenos geográficos al incorporar sólidas herramientas de análisis y facilitar el tratamiento estadístico de grandes bases de datos espaciales. La climatología es una ciencia que se ha beneficiado de estas técnicas y ya no es preciso utilizar los lentos y costosos tratamientos manuales de los datos que eran obligatorios hace pocos años.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Este enlace entre los SIG y la climatología permite a los especialistas disponer de las posibilidades de impresión de mapas de forma automatizada, acceder de forma gráfica a las base de datos de información meteorológica y referenciar de forma coherente y unificada datos muy heterogéneos. En el otro sentido, permite desde SIG de carácter climático y ambiental, incorporar datos meteorológicos para superponer a capas más convencionales (hidrografía, modelos digitales del terreno, pendientes, insolación diaria, entre otras), con el objetivo de realizar determinadas modelizaciones e interpolaciones para sistemas de gestión de riesgos, análisis multicriterio y gestión de recursos naturales. (Dodson y Turner, 1996)

El proceso de incorporación al SIG no es una simple transformación de formatos, sino que implica la adecuación de la información meteorológica a los conceptos SIG: definición precisa de sistema de referencia para una adecuada georreferenciación (cambios de Sistema de Referencia Espacial, SRS), creación de metadatos y estructuración topológica si es necesario. Esta adecuación es totalmente imprescindible si la incorporación al SIG tiene como objetivo la superposición con otras bases cartográficas y el análisis de la información desde un punto de vista riguroso y aprovechando al máximo la información de las fuentes (Pesquer y Masó, On line).

En términos generales, para un estudio climático de esta índole, la información meteorológica (distribución de temperaturas, precipitaciones, humedad, entre otras) proveniente de las estaciones ubicadas dentro y cercanas al área debe ser sometida a un análisis con el objeto de evaluar su consistencia. Para ello se selecciona el período de referencia de acuerdo a la disponibilidad de información, validación de los datos y eliminación de aquellos que no parezcan confiables, para luego, calcular

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

los promedios de cada serie, cuyos valores servirán de base para el trazado cartográfico.

Hoy en día, además se puede contar con la incorporación de información meteorológica en tiempo real a los SIG, debido a que se dispone de satélites de diversos tipos que permiten captar imágenes para hacer estimaciones de diversas variables climáticas y su variación espacial en un momento concreto con diferente grado de precisión (Figura 4). Los satélites y los radares meteorológicos se han utilizado para hacer estimaciones de la precipitación, sin embargo requieren un trabajo de calibración importante con datos de pluviógrafo para poder dar estimaciones fiables. La estructura de la información proporcionada por estos sensores es siempre en formato raster, fácilmente incorporable a un SIG. Su análisis se basa en operadores de álgebra de mapas: operadores de vecindad para filtrar la imagen y resaltar determinados aspectos de la misma, operadores locales, índices que permiten obtener variables climáticas a partir de la reflectividad medida por el sensor.

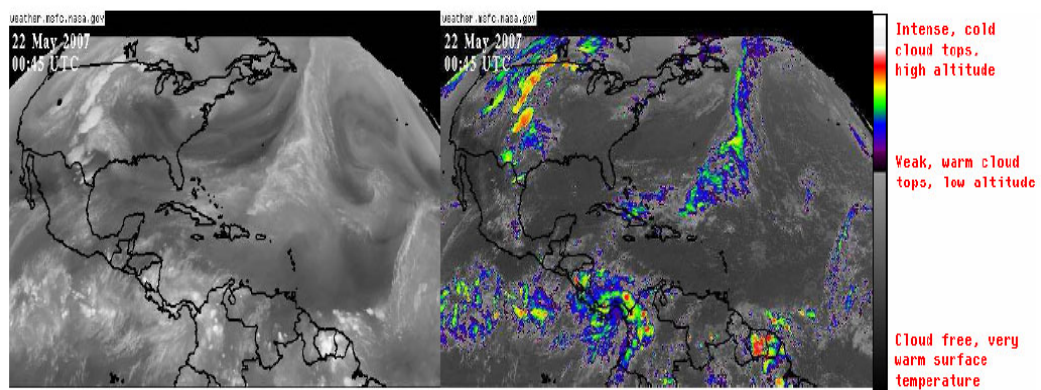


Figura 5: Satélite GOES Este 4 Km mostrando imágenes de vapor de agua (izquierda) e infrarrojo (derecha).

2.1.9 Los SIG y su relación con Internet:

Internet está cambiando el concepto de servicio al cliente que deben brindar aquellas empresas que buscan mejorar su competitividad en el mercado.

A través de Internet el uso de aplicaciones de "*webmapping*" permite a sus distribuidores o clientes, la consulta de sus propios mapas, 24 horas, los 7 días de la semana, y desde cualquier parte del mundo, ya sea ayudándoles a encontrar el lugar de venta más cercano o la ruta desde su domicilio o cualquier otra clase de consulta que los usuario ingresen.

Internet se convierte día a día en un canal de comunicación importante y ofrece mayores posibilidades para transmitir y recibir todo tipo de información. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) complementan este desarrollo, y en consecuencia, otorgando sus bondades por medios de comunicación interactivos a través de la red.

2.1.10 Infraestructura de Datos Espaciales IDE:

Una IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) es un sistema informático integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas Web, entre otros) dedicados a gestionar información geográfica (mapas, ortofotos, imágenes de satélite, topónimos), disponibles en Internet, que cumplen una serie de condiciones de interoperabilidad (normas, especificaciones, protocolos, interfaces) permitiendo a un usuario con un simple navegador pueda usarlos y combinarlos según sus necesidades (Padron D., 2009).

Un IDE consta de varios componentes dentro de los cuales están:

Datos:

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

- Datos de Referencia: Constituyen el marco de referencia que proporciona el contexto geográfico a cualquier aplicación: Sistemas de coordenadas, cuadrículas geográficas, nombres geográficos, unidades administrativas, redes de transporte, hidrografía, lugares protegidos, elevación, identificadores de propiedad, parcelas catastrales, cubierta terrestre y ortoimágenes.
- Datos Temáticos: Incluyen valores cualitativos y cuantitativos que se corresponden con atributos asociados a los datos de referencia como por ejemplo: vegetación, geología, clima, tráfico, contaminación, etc.

Metadatos:

Debemos diferenciar claramente los "datos" de los "metadatos", los *datos* describen el mundo real y son un modelo de la realidad; los *metadatos* describen los datos y se utilizan para tomar decisiones acerca de los mismos.

Servicios:

- Servicio de Mapas en Web (WMS)
- Servicio de Fenómenos en Web (WFS)
- Servicio de Coberturas en Web (WCS)
- Servicio de Nomenclátor (Gazetteer)

Tecnología Web Map Service (WMS)

El servicio Web Map Service (WMS) definido por el OGC (*Open Geospatial Consortium*) produce mapas geo-referenciados dinámicamente. Este estándar internacional define un "mapa" como una representación de la información geográfica en forma de un archivo de imagen digital, conveniente para la exhibición en una pantalla de computador. Un mapa no consiste en los propios datos.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Los mapas producidos por WMS se generan normalmente en un formato de imagen como PNG, GIF o JPEG.

Con la tecnología WMS, la información espacial publicada en la red es dinámica e interoperable. La distribución de información geográfica vía Internet permite la integración en tiempo real de datos procedentes de cualquier parte del mundo. El usuario tiene acceso a los recursos de la Web, se desplaza libremente por toda la información con herramientas funcionales, cambia la representación gráfica en línea, enlaza elementos gráficos con informaciones procedentes de bases de datos, y trabaja en tiempo real con funciones de análisis (Viancos y Salinas, On Line).

Este sistema distribuido de información, en comparación con herramientas "stand-alone" o instaladas en un computador personal ofrece, entre otras, las siguientes ventajas:

- Compartir e intercambiar datos.
- Dar acceso a aplicaciones y herramientas para el análisis y toma de decisiones a un público mucho más amplio.
- Facilitar la actualización continuada de la información, ayudando a reducir redundancias (duplicaciones) y mejorando el acceso a bases de datos.
- Facilitar la actualización de aplicaciones e información divulgada.

Se debe aclarar que un Servidor Web Mapping, no es un SIG, propiamente, sólo se vale de la información que genera éste para sustentar la cartografía y los atributos asociados que permitan su visualización y despliegue a través de una interfaz gráfica de

usuario. No todas las bondades en cuanto a análisis espacial que un SIG común de escritorio pueda tener, no son hasta el momento comparable a los que pueda ofrecer una aplicación del tipo *Web Mapping*.

Servicio de Fenómenos en Web (WFS)

Al igual que en la industria informática disponemos de un mecanismo Web para comunicar dos sistemas, como son los servicios Web (*Web Services*), que utiliza un protocolo de comunicación estándar (*SOAP*). En la cartografía digital también dispone de sus propios mecanismos de comunicación. La necesidad de transferir cartografía por internet ha sido, y todavía es en parte, un problema de difícil situación. La cartografía digital se caracteriza por el gran volumen de información que ocupa, que se traduce en varios megabytes de datos que hay que transferir por un medio no pensado para ello, Internet. Por esta razón los principales organizaciones en materia cartográfica y la industria del software SIG han unido sus esfuerzos en pro de obtener una serie de especificaciones que permitan comunicar diferentes sistemas entre si, independientemente del sistema operativo o software empleado. A raíz de este tema se creó una organización denominada [Open Geospatial Consortium \(OGC\)](#), que es la encargada de publicar las especificaciones que en materia cartográfica se realizan. Este proceso es conocido con el nombre de "interoperabilidad", y es sin lugar a dudas uno de los grandes logros de la sociedad de la información, puesto que permite al consumidor de información geográfica digital la posibilidad de obtener cartografía conectándose a diferentes servicios OGC, sin necesidad de disponer de los datos. Para ello, los clientes y los servidores que utilicen este estándar pueden comunicarse entre sí. Dicha organización, en el

ejercicio de sus funciones ha publicado diferentes especificaciones en materia de interoperabilidad cartográfica. De todos ellos, la especificación WFS, abreviatura del inglés *Web Feature Service*, es el que provee de mayor funcionalidad, puesto que nos permite acceder a los datos *en bruto* de la cartografía. Buscando analogía con el protocolo WMS, el *Web Feature Service* utiliza también Internet para transferir cartografía, pero mientras en el primero nos devuelve una imagen, aquí obtenemos un documento estructurado (XML) que contiene la descripción a más bajo nivel de la cartografía, es decir, los atributos geométricos representados en cadenas WKT (*Well Know Text*), junto a los atributos de cada elemento.

Servicio de Coberturas en Web (WCS)

Es el servicio análogo a un WFS para datos ráster. Permite no sólo visualizar información raster, como ofrece un WMS, sino además consultar el valor del atributos o atributos almacenados en cada píxel. Una especificación OGC establece cómo debe ser un WCS estándar e interoperable.

Servicio de Nomenclátor (Gazetteer)

Ofrece la posibilidad de localizar un fenómeno geográfico de un determinado nombre. Se define como un servicio que admite como entrada el nombre de un fenómeno, con las posibilidades habituales de nombre exacto, comenzando por, nombre incluido y devuelve la localización, mediante unas coordenadas, del fenómeno en cuestión. Adicionalmente, la consulta por nombre permite fijar otros criterios como la extensión espacial en que se desea buscar o el tipo de fenómeno dentro de una lista disponible (río, montaña, población). Si hay varios que cumplen la condición de búsqueda, el

servicio presenta una lista de los nombres encontrados con algún atributo adicional para que el usuario pueda elegir el que desea. Evidentemente este servicio necesita disponer de un conjunto de nombres con coordenadas. Una especificación OGC, establece cómo debe ser un Servicio de Nomenclátor estándar e interoperable.

2.2. Software Libre:

Desde el principio de los años 70 nos hemos acostumbrado a que quien comercializa un programa pueda imponer las condiciones bajo las que puede usarse, por ejemplo, prohibir que se lo preste a un tercero. A pesar de que el software es el elemento tecnológico más flexible y adaptable que tenemos, puede imponerse (y es común hacerlo) la dificultad de adaptarlo a unas necesidades concretas, o corregir sus errores, sin el permiso explícito del productor, que normalmente se reserva en exclusiva estas posibilidades. Pero esta es sólo una de las posibilidades que ofrece la legislación actual: el software libre, por el contrario, otorga las libertades que el software privativo niega (González y Col., 2007).

En Venezuela el software libre ha tomado un gran impulso debido al decreto 3.390 publicado en la Gaceta Oficial N° 38.095 de fecha 28/12/2004 sobre el uso obligatorio del software libre en el país para todas las dependencias públicas de carácter oficial. De esta forma, el Ejecutivo Nacional establece que es prioridad del Estado incentivar y fomentar la producción de bienes y servicios para satisfacer las necesidades de la población, mediante el uso de estas herramientas desarrolladas con estándares abiertos para robustecer la industria nacional, aumentando y aprovechando sus capacidades y fortaleciendo nuestra soberanía.

2.2.1. Definición:

El término software libre (o programas libres), tal como fue concebido por Richard Stallman (On-Line) en su definición hace referencia a las libertades que puede ejercer quien lo recibe. En concreto, hace referencia a cuatro libertades:

1. Libertad para ejecutar el programa en cualquier sitio, con cualquier propósito y para siempre.
2. Libertad para estudiarlo y adaptarlo a nuestras necesidades. Esto exige el acceso al código fuente.
3. Libertad de redistribución, de modo que se nos permita colaborar con vecinos y amigos.
4. Libertad para mejorar el programa y publicar las mejoras. También exige el código fuente.

www.bdigital.ula.ve

El término original en inglés para programas libres es *free software*. Sin embargo, el término inglés free además de libre significa gratis, lo que genera gran confusión. Por ello a menudo en inglés se toman prestadas palabras españolas y se habla de "*libre software*", en contraposición a "*gratis software*", al igual que nosotros tomamos prestada la palabra software.

Así pues, las definiciones de software libre no hacen ninguna referencia a que pueda conseguirse gratuitamente: el software libre y el software gratuito son cosas bien distintas. Sin embargo, dicho esto, hay que explicar también que debido a la tercera libertad, cualquiera puede redistribuir un programa sin pedir contraprestación económica ni permiso, lo que hace prácticamente imposible obtener grandes ganancias simplemente por la distribución de software libre: cualquiera que lo haya obtenido puede a su vez redistribuirlo a precio más bajo, o incluso gratis.

2.2.2. Aspectos Legales

El término propiedad intelectual tiene varios significados según el contexto y quién lo utiliza. Hoy día se utiliza en muchos foros para agrupar distintos privilegios que se otorgan sobre bienes intangibles con valor económico. Entre ellos podemos destacar los de *copyright* (derechos de autor) y similares, que protegen de la copia no autorizada los trabajos literarios o artísticos, programas de computador, recopilaciones de datos, diseños industriales, etc.; las *marcas*, que protegen símbolos; las indicaciones geográficas, que protegen denominaciones de origen; los *secretos industriales*, que respaldan la ocultación de información; y las *patentes*, que otorgan monopolios temporales sobre invenciones a cambio de desvelarlas. Sin embargo en muchas tradiciones legales, entre ellas la hispana, se distingue entre la propiedad intelectual, que se refiere exclusivamente a los derechos de autor y la propiedad industrial, que abarca las figuras restantes (González y Col., 2007).

La Declaración Universal de los Derechos Humanos reconoce en su artículo 27 el derecho a que se protejan los intereses morales y materiales que correspondan a cualquier persona por razón de las producciones científicas, literarias o artísticas de que sean autores. Sin embargo, en muchos casos (y de forma habitual en el caso del software), este derecho suele ser transferido en la práctica a las empresas que emplean a los creadores o que comercializan sus creaciones. No obstante, la propiedad intelectual se justifica no sólo por razones morales, sino también prácticas, para dar cumplimiento a otro derecho: el de la sociedad a beneficiarse de las creaciones, incentivándolas con beneficios y protegiendo las inversiones para la creación, investigación y desarrollo. Para armonizar ambos derechos, la propiedad intelectual es temporal, caducando cuando ha cumplido su función de promoción.

Derechos de Autor:

Los derechos de autor (*copyright*) protegen la expresión de un contenido, no el contenido en sí mismo. Se desarrollaron para recompensar a los autores de libros o de arte. Las obras protegidas pueden expresar ideas, conocimientos o métodos libremente utilizables, pero se prohíbe reproducirlas sin permiso, total o parcialmente, con o sin modificaciones. Esta protección es muy sencilla, ya que entra automáticamente en vigor en el momento de publicación de la obra con ámbito casi universal. Modernamente se ha extendido a los programas de computador y (en algunas áreas geográficas) a recopilaciones de datos.

Las nuevas tecnologías de la información, y en especial la Red, han trastocado profundamente la protección de los derechos de autor, ya que las expresiones de contenidos son mucho más fáciles de copiar que los contenidos mismos. Y en el caso de los programas y algunas obras de arte (música, imágenes, películas, e incluso literatura) funcionan automáticamente en el computador, sin necesidad de un esfuerzo humano apreciable. Esta posibilidad de crear riqueza sin costo ha llevado a gran parte de la sociedad, a duplicar programas sin pagar licencia, no existiendo una conciencia social que eso sea una mala acción (como sí la suele haber con respecto al robo de bienes físicos, por ejemplo).

Precisamente para proteger los derechos de autor de aquellos contenidos con licencias privativas, nacen los llamados sistemas DRM (*Digital Rights Management*, gestión de derechos digitales), con fines de controlar el acceso y utilización de datos en soporte digital o restringir su uso a ciertos dispositivos. El empleo de sistemas DRM es fuertemente criticado por muchos sectores al tratar de proteger derechos de autor imponiendo restricciones más allá de las suficientes, por lo que algunos, como la Free

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Software Foundation (FSF), recomiendan interpretar las siglas como *Digital Restrictions Management* (gestión de restricciones digitales), tratando de evitar la utilización de la palabra derechos (en inglés, rights), al considerar que se privan excesivos derechos de los usuarios para lograr satisfacer los derechos de los autores.

Secreto Comercial:

Otro de los recursos que tienen las empresas para rentabilizar sus inversiones es el secreto comercial, protegido por las leyes de propiedad industrial, siempre que las empresas tomen las medidas suficientes para ocultar la información que no quieren revelar. En el caso de productos químicos o farmacéuticos que requieran aprobación gubernamental, el Estado se compromete a no revelar los datos entregados que no sea obligatorio hacer públicos.

Una de las aplicaciones del secreto comercial más conocidas se encuentra en la industria del software propietario, que generalmente comercializa programas compilados sin dar acceso al código fuente, para así impedir el desarrollo de programas derivados.

A primera vista parece que la protección del secreto comercial es perversa, ya que puede privar indefinidamente a la sociedad de conocimientos útiles. En cierto modo así lo entienden algunas legislaciones, permitiendo la ingeniería inversa para desarrollar productos sustitutos, aunque la presión de las industrias ha conseguido que en muchos países ésta sea una actividad prohibida y en otros sólo esté permitida en aras de la compatibilidad (González y Col., 2007).

Sea perverso o no el secreto comercial, en muchos casos es mejor que una patente, ya que da una ventaja competitiva al que pone un producto en el mercado, mientras la competencia trata de imitarlo con ingeniería inversa. Cuanto más sofisticado sea el producto, más costará a la competencia reproducirlo, mientras que si es trivial, lo copiará rápidamente. La imitación con mejoras ha sido fundamental para el desarrollo de las que hoy son superpotencias (Estados Unidos y Japón) y es muy importante para la independencia económica de los países en desarrollo.

Patentes y Modelos de Utilidad:

La alternativa al secreto comercial es la patente. A cambio de un monopolio de 17 a 25 años y un determinado costo económico, un invento es revelado públicamente, de forma que sea fácilmente reproducible. Con ella se pretende promover la investigación privada, sin costo para el contribuyente y sin que el resultado se pierda. El poseedor de una patente puede decidir si permite a otros utilizarla y el precio que deben pagar por la licencia.

Con patentes, muchas actividades, especialmente la programación, se hacen extremadamente arriesgadas, ya que es muy fácil que en el desarrollo de un programa complicado se viole accidentalmente alguna patente. Cuando dos o más empresas están investigando para resolver un problema, es muy probable que lleguen a una solución similar casi al mismo tiempo, pero sólo una (generalmente la de más recursos) logrará patentar su invento, perdiendo las otras toda posibilidad de rentabilizar su inversión.

Todo desarrollo técnico complejo puede convertirse en una pesadilla si para cada una de las soluciones de sus partes es necesario investigar si la

solución encontrada está patentada (o en trámite), para intentar obtener la licencia o para buscar una solución alternativa. Este problema es especialmente grave en el software libre, donde las violaciones de patentes de algoritmos son evidentes por simple inspección del código.

Marcas y logotipos registrados:

Las marcas y logotipos son nombres y símbolos que representan un acervo de calidad (o una gran inversión en publicidad). No tienen gran importancia dentro del software libre, posiblemente porque tiene un costo registrarlas. Así, solamente algunos nombres importantes como *Open Source* (por *Open Source Foundation*), *Debian* (por *Software in the Public Interest*), *GNOME* (*GNOME Foundation*), *GNU* (*Free Software Foundation*), *OpenOffice.org* (por SUN) están registrados, y sólo en algunos países.

Sin embargo el no registro de nombres ha provocado problemas. Por ejemplo, en Estados Unidos (1996) y en Corea (1997) se tiene casos de personas que han registrado el nombre Linux y han demandado dinero por su uso. La resolución de estas disputas supone costos legales y la necesidad de demostrar el uso del nombre anterior a la fecha del registro.

2.2.3. Licencias en Software libre:

Legalmente hablando, la situación de los programas libres respecto de los privados no es muy diferente: también se distribuyen bajo licencia. Lo que les diferencia es precisamente qué permite esa licencia. En el caso de las licencias de programas libres, que no restringen precisamente el uso, la redistribución y la modificación, lo que pueden imponer son condiciones a satisfacer precisamente en caso de que se quiera redistribuir el programa. Por ejemplo, pueden exigir que se respeten las indicaciones de autoría, o

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

que se incluya el código fuente si se quiere redistribuir el programa listo para ejecutar.

Aunque en esencia software libre y software propietario se diferencien en la licencia con la que los autores publican sus programas, es importante hacer hincapié en que esta diferencia se refleja en condiciones de uso y redistribución totalmente diferentes. Como se ha visto a lo largo de los últimos años, esto ha originado no sólo métodos de desarrollo totalmente diferentes, sino incluso formas prácticamente opuestas (en muchos sentidos) de entender la informática.

En definitiva, la licencia contiene las normas de uso a las que han de atenerse usuarios, distribuidores, integradores y otras partes implicadas en el mundo de la informática.

www.bdigital.ula.ve

A continuación se detallan los tipos de licencias que predominan en el mercado:

- **Licencia Pública General de GNU (GNU GPL):** Se encuentra clasificada según González Barahona y *Col.*, (2007) como una licencia robusta, es con diferencia la licencia más popular y conocida de todas las del mundo del software libre. Su autoría corresponde a la *Free Software Foundation* (promotora del proyecto GNU) y en un principio fue creada para ser la licencia de todo el software generado por la FSF. Sin embargo, su utilización ha ido más allá hasta convertirse en la licencia más utilizada (por ejemplo, más del 70% de los proyectos anunciados en *FreshMeat* están licenciados bajo la GPL), incluso por proyectos bandera del mundo del software libre, como el núcleo Linux.
- **Licencia Pública General Menor de GNU (GNU LGPL):** Es la otra

licencia de la *Free Software Foundation*. Pensada en sus inicios para su uso en bibliotecas (la L en sus comienzos venía del termino en ingles: library: biblioteca), fue modificada recientemente para ser considerada la hermana menor (lesser: menor) de la GPL. La LGPL permite el uso de programas libres con software propietario. El programa en sí se redistribuye como si estuviera bajo la licencia GPL, pero se permite la integración con cualquier otro software sin prácticamente limitaciones.

- **Licencia Berkeley Software Distribution BSD:** A veces también llamadas permisivas, no imponen prácticamente ninguna condición sobre quien recibe el software, y sin embargo le dan permiso de uso, redistribución y modificación. Este enfoque, desde un punto de vista, puede entenderse como la garantía de las máximas libertades para quien recibe un programa, pero desde otro, puede entenderse también como la máxima despreocupación con respecto de que una vez recibido el programa por alguien, se sigan garantizando las mismas libertades cuando ese programa se redistribuye. De hecho, estas licencias típicamente permiten que se redistribuya con licencia privativa un software cuyo autor distribuye con licencia permisiva.

Tiene su origen en la publicación de versiones de Unix realizadas por la Universidad de Berkeley, en EE.UU. La única obligación que exige es dar crédito a los autores, mientras que permite tanto la redistribución binaria y la de los fuentes, aunque no es obligatorio en ningún caso. Asimismo se da permiso para realizar modificaciones y ser integrada con otros programas casi sin restricciones

- **Licencia estilo MPL y derivados:** tiene un gran valor porque fue el instrumento que empleó *Netscape Communications Corp.* para

liberar su *Netscape Communicator 4.0* y empezar ese proyecto tan importante para el mundo del software libre: *Mozilla*. Se utilizan en gran cantidad de productos de software libre de uso cotidiano en todo tipo de sistemas operativos. La MPL es software libre y promueve eficazmente la colaboración evitando el efecto "viral" de la GPL (si usas código licenciado GPL, tu desarrollo final tiene que estar licenciado GPL). Desde un punto de vista del desarrollador la GPL presenta un inconveniente en este punto, y lamentablemente mucha gente se niega al uso de dicho código. No obstante la MPL no es tan excesivamente permisiva como las licencias tipo BSD. Estas licencias son denominadas de *copyleft* débil. La NPL (luego la MPL) fue la primera licencia nueva después de muchos años, que se encargaba de algunos puntos que no fueron tenidos en cuenta por las licencias BSD y GNU. En el espectro de las licencias de software libre se la puede considerar adyacente a la licencia estilo BSD, pero perfeccionada.

- **Licencia *Copyleft*:** vendría a ser lo opuesto al concepto de *copyright*, las licencias de tipo *copyleft*, como todas las licencias usan derecho de autor para imponer ciertas restricciones en el uso de un programa (o en general de una obra). En este caso las restricciones consisten en imponer que cualquier programa que se derive del original publicado bajo una licencia *copyleft*, se publique a su vez con una licencia compatible con la primera, que otorgue los mismos derechos y libertades que proporciona la licencia del programa original. Esto es, los programas derivados deben permitir a los usuarios copiar, modificar y realizar nuevos programas derivados (Malcom y Col., 2007).

Por este motivo este tipo de licencias se les conoce como "recíprocas" y se dice que incluyen una "cláusula viral" que afecta todos los programas que se deriven del original. De un modo más resumido podemos decir que las licencias tipo *copyleft*, evitan que un programa que se distribuya como libre acabe originando un programa propietario o cerrado en el futuro como fruto de un abuso de las libertades que otorga el software libre.

2.2.4. Que necesidades cubre el Software libre

Tal y como lo expresa Megías y Col. (2007), en su artículo "Introducción al Software libre en general y a los SIG libres en particular", el software libre ha adquirido un grado muy elevado de popularidad en los últimos años. Su uso se ha ido extendiendo desde las comunidades de desarrolladores de software libre a menudo integradas por personas con conocimiento del tema como geeks, hackers, aficionados, entre otros; con un elevado grado de conocimientos técnicos, a todo tipo de usuarios, empresas y administraciones públicas. Además, la ventaja que representan las cuatro (4) libertades garantizadas por el software libre lo han convertido en una herramienta muy poderosa para la educación, motivo por el cual la incursión del software libre en el mundo universitario ha experimentado un aumento considerable en la última década.

Hoy en día existe una multitud de aplicaciones libres disponibles, para los usuarios que prácticamente ven cubiertas la totalidad de sus necesidades generales, con estos programas. Por nombrar algunos ejemplos algunas aplicaciones muy populares son: GNU/Linux, Gnome, KDE, OpenOffice.org, Mozilla Firefox, Apache, entre otros.

El sistema operativo GNU/Linux se ha mostrado como una potente herramienta tanto en servidor como en escritorio, el cual se encuentra en

constante evolución, destaca por su estabilidad y eficiencia, y distribuciones como UBUNTU han permitido a todo tipo de usuarios familiarizarse con uno de los proyectos estrellas de software libre. Otras aplicaciones de gran éxito son los escritorios GNOME y KDE, ambos presentes en la totalidad de las distribuciones actuales de GNU/Linux. Del lado del servidor existen centenares de aplicaciones exitosas, algunas tan relevantes como el Servidos *Web Apache*. En definitiva casi todas las necesidades de los usuarios se encuentran cubiertas con aplicaciones libres que han demostrado estar a la par o situarse dentro de las mejores en su ámbito.

En cuanto al desarrollo de los SIG dentro del software libre, este tipo de aplicaciones hasta ahora dirigidas a un sector bastante delimitado y no al público en general, en este caso los desarrollos son menos abundantes, lo que repercute en una evidente dificultad para captar e involucrar en proyectos libres de este ámbito. De hecho a menudo son los propios usuarios de estas aplicaciones, los que ponen en marcha los proyectos de software libre.

2.3. Los SIG y el Software Libre

Ya son muchos los proyectos que ha dado credibilidad al mundo del software libre, y poco a poco van ganando terreno ante soluciones propietarias. Ha sido también en estos últimos años en los que han aparecido soluciones de SIG libre de cierta envergadura.

Aun así todavía reina un cierto escepticismo en el mundo de los profesionales SIG, normalmente las empresas e instituciones no desarrollan su propio SIG, sino que contratan a consultoras especializadas para que lleven a cabo el desarrollo. Para escoger dicha plataforma, los usuarios dan la potestad de escoger entre ellos como empresa o ceden la

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

decisión a una empresa o consultora especializada para que lleven a cabo el estudio correspondiente y elija la mejor solución. Una vez determinada la plataforma el proyecto puede llevarlo a cabo la misma consultora u otra, en algunas ocasiones el proyecto sale a concurso y las consultoras que se presentan proponen en su oferta una u otra plataforma. Tampoco hay que olvidar que algunas empresas conservadoras prefieren esperar a que la tecnología este bien consolidada a la hora de implantarla.

La visión general y según críticos estudiosos del tema como Megías y Colaboradores (2007) es que aún las soluciones que pueden ofrecer los SIG libres no se encuentran a nivel de las ofrecidas por empresas como ESRI, *Intergraph General Electric*, a pesar de que para algunas soluciones concretas, los SIG libres pueden estar a la par e incluso superar a las soluciones ofrecidas por software privado.

www.bdigital.ula.ve

La pregunta que debemos tratar de resolver es ¿Se inclinarán las consultoras por el software libre en igualdad de condiciones con el propietario? La respuesta a esta pregunta no es única, y los SIG libres provocan en el mundo profesional la misma división que provoca en software libre en general. Si preguntamos a profesionales del SIG que piensan de esta tecnología encontramos argumentos a favor y en contra.

Los principales argumentos en contra son los siguientes:

- Hay demasiados y con bastantes limitaciones, no terminados o simplemente con muchas fallas, muchos quedan en estado desolado.
- Da la impresión que falta unificar criterios y que se repiten lo mismo varias veces.
- La interfaz de usuario por lo general esta poco trabajada

(aunque no siempre).

- Ofrecen funcionalidades básicas y para realizar tareas complejas se debe partir desde cero. Tienen aspectos muy desarrollados pero otros ni siquiera existen.
- Suelen ser útiles solo para cosas muy concretas y básicas y quizás complementando a algunas de las plataformas más usadas, en cualquier caso es obligado a verificar muy bien para qué sirve y qué funciona correctamente.
- Muy pocas empresas poseen organizaciones que respondan por el software.

Los defensores argumentan que:

- El software propietario también puede generar los mismos problemas de falta de continuidad que el software libre. No es extraño que una empresa abandone un producto y deje de dar soporte a los usuarios del mismo.
- Los componentes de descubrimiento y desconocimiento de una aplicación libre son las mismas que lleva implícitas cualquier aplicación (libre o no), en este sentido, el problema sería que los SIG clásicos están muy implantados y hay una cierta resistencia al cambio.
- El problema de escoger un SIG libre entre muchos también se da en el caso de los SIG propietarios.
- Depender de una comunidad de desarrolladores es positivo: estará desarrollado lo más estándar y lo que falte puede desarrollarlo uno mismo.
- No hay duda que una de las principales bases es la interoperabilidad y la utilización de estándares, lo cual hemos visto que actualmente se considera muy importante.

Según respuestas emitidas por expertos sobre si usarían o no SIG libres, las actitudes también son diversas:

1. Algunos no lo implementarían: el motivo es porque solo escogen productos por los que pagan y tienen a quien culpar.
2. Otros los utilizarían sin problemas.
3. Para algunos las condiciones para utilizar SIG libres son:
 - En el caso de soporte de alguna empresa, como los casos de MapGuide (*Autodesk*), uDIG (*Refractions*), o de alguna institución relevante, como una universidad (en el caso de *MapServer*), de una Administración Pública (en el caso de *GvSIG*).

En todo caso Megías y colaboradores (2007) destacan dos puntos entre todas las impresiones:

- El hecho de disponer o no del código a menudo no es un argumento decisivo: ciertas empresas desarrolladoras de software no tienen problemas en facilitar su código a sus clientes y otras ofrecen un soporte técnico capaz de suplir la disponibilidad del código.
- Es importante tener a alguien que responda por el SIG, en este sentido casi se busca “vincularse” con alguna empresa, siempre y cuando de buen servicio. Quizás el argumento más extendido entre los integradores en cuanto al SIG libre es que no hay nadie detrás que responda por él.

Como se puede observar las opiniones están muy dispersas, en lo que si hay acuerdo es en que los SIG libres han avanzado mucho y en muy poco

tiempo, con proyectos serios y bien financiados, pero la impresión es que no están maduros y que aún queda camino por recorrer.

2.3.1. Aspectos legales para los SIG

Estos aspectos y dificultades legales surgen también en el mundo de los SIG, podemos mencionar tres en particular: la modularidad y los conflictos de licencia, la selección de licencia para un software nuevo o un SIG para un cliente y la propiedad del software libre y de los desarrollos sobre software libre.

En los SIG convergen diversos elementos cada uno de los cuales pueden verse afectados por licencias distintas. A grandes rasgos podríamos dividir un SIG en tres grandes grupos. En el primero está el programa base que correspondería al SIG genérico de base, por ejemplo GRASS, Geomedia, GvSIG, OpenLayers, Qgis, entre otros; luego están las aplicaciones de usuario o desarrollos personalizados que corresponderían a las diversas aplicaciones desarrolladas sobre los SIG base y se adaptan a necesidades propias del usuario. Un ejemplo sería el desarrollo de este proyecto, o cualquier proyecto, por citar alguno: una aplicación de distribución de electricidad, de agua o de gas sobre alguna de las plataformas bases. Finalmente están los datos, que contienen los datos geoespaciales sobre los que se ejecuta el SIG, así por ejemplo mientras una compañía de electricidad podría tener, como información propia, los cables y los datos de los clientes, éstos estarían representados sobre una cartografía de base con las manzanas y las calles.

Generalmente estos tres grupos o partes se distribuirían bajo licencias distintas, así pues sería perfectamente posible que una compañía partiera de un SIG libre y sobre él llevara a cabo sus propios desarrollos y contratará otros desarrollos y datos para terceros. Estos desarrollos

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

podrían ser propietarios o libres según la licencia que se les aplique. Para la persona que integra los componentes, los adapta y los distribuye al cliente final, será importante garantizar que no haya ningún conflicto entre las licencias sobre los componentes.

Por otro lado, entre las preguntas fundamentales que debe hacerse un responsable del desarrollo de un SIG libre (o el proveedor de una aplicación basada en un SIG libre), es qué tipo de licencia libre puede usar para su producto, y por tanto, que componentes puede integrar dentro del mismo. Un desarrollo a medida para un cliente integrando conocimientos específicos del proveedor y sus "secretos de negocio" podría llegar a publicarse si se usan componentes bajo una licencia con copyleft, por ejemplo, en el SIG de base. Sin embargo no será siempre así: según la naturaleza de las licencias sobre los componentes, es posible tener desarrollos, tanto propietarios como libres: los datos cartográficos de dominio público o bajo licencias permisivas de tipo BSD, junto con librerías u otros componentes "bases" bajo licencias similares, permiten usar el software para crear aplicaciones propietarias. Esta dificultad no debe impedir el uso del software libre, al contrario, su existencia promueve la reutilización de componentes de alta calidad disponibles para toda la comunidad.

La titularidad del software es otro es otro tema importante, fuente de negociaciones a la hora de concluir acuerdos sobre el desarrollo de un SIG, si el cliente desea ser propietario de cualquier desarrollo realizado por un consultor o integrador, deberá ser consciente de que si se usan componentes libres, solamente adquirirá propiedad sobre los desarrollos hechos a medida. Los componentes quedan bajo la titularidad del autor o titular original y esto debe estar claro en la relación entre el consultor y el cliente. Las libertades concedidas en una licencia libre son amplias, pero

no constituyen propiedad en el software y el cliente deberá respetar las obligaciones en el caso de cualquier redistribución posterior. Si estos desarrollos son sobre software *copyleft*, bajo licencia GPL, entonces aunque el cliente pueda recibir la propiedad del desarrollo, su redistribución debe realizarse de acuerdo con esta licencia.

Finalmente debemos comentar brevemente otro tema fundamental en el contexto de los SIG, que es el acceso a los datos geoespaciales. Existen una serie de bases de datos libres (y gratuitas), como por ejemplo el "*Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database*" (GSHHS), muchos de los cuales están distribuidos bajo licencia permisivas (para maximizar su uso) o son de dominio público (permitiendo su uso por cualquiera para cualquier fin).

2.4. Modelos Climáticos Regionales

No es fácil definir el concepto de "escala regional", puesto que las definiciones dependen del contexto en el cual aquella sea considerada. Una definición puede ser con base a consideraciones geográficas, políticas o fisiográficas, o consideraciones de homogeneidad de clima, o con base a un modelo de resolución, como lo señalan Giorgi y Hewitson (2001). Estos investigadores adoptan una definición operacional basada en el rango de "escala regional" que se encuentra en la literatura. Desde esta perspectiva ellos definen escala regional como la descripción de un rango que abarca entre 10^4 hasta 10^7 Km². El límite superior del rango (10^7 Km²) usualmente es considerado como escala sub-continental. Dentro de esta escala puede ocurrir marcada falta de homogeneidad climática en muchas áreas del globo terráqueo. Escalas menores de 10^4 Km² son consideradas como escalas locales.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

La técnica de modelos climáticos regionales consiste en usar las condiciones meteorológicas iniciales, las condiciones meteorológicas laterales dependientes de tiempo y las condiciones superficiales circundantes para así obtener Modelos Climatológicos Regionales (MCR) de alta resolución.

El diseño de un modelo climático regional, es una tarea difícil, ya que el efecto de fuerzas o cambios climatológicos globales, afectan el comportamiento de un modelo regional o local, estos cambios son por lo general representados como rangos de escala de variabilidad temporal y pueden ser altamente no lineales.

La capacidad de la superficie debido al terreno, el océano y el mar frío afectan considerablemente la simulación climática regional. En particular, los experimentos del modelo climático regional no comienzan en condiciones de equilibrio y por lo tanto la inicialización de variables superficiales, tales como la humedad del suelo y la temperatura, son importantes.

Un detalle importante cuando se analizan los modelos climáticos regionales de simulación de cambios climáticos es el significado de las respuestas modelo. Para justificar las simulaciones han sido orientadas mayormente a la evaluación de modelos y de procesos, más que a la producción de proyectos, por esa causa los periodos han sido relativamente cortos (10 años o menos). A escalas de tiempo cortas la variabilidad del clima puede ocultarlo todo, con excepción de las respuestas más grandes. Por ejemplo, en un análisis de 10 años, las simulaciones de MCR en Europa, los autores Machenhauer y *Col.*, (1998) concluyeron que generalmente, solo las respuestas promedio del área completa de la temperatura promedio fueron estadísticamente

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

significativas, y solo en pocos casos hubo desviaciones significativas del subdominio de la respuesta promedio. Los cambios en las precipitaciones fueron altamente variables en el tiempo, y en cada subáreas que tenían los cambios más grandes. Resultados similares fueron reportados por Pan y *Col.*, (2000) y por Kato y *Col.* (2001) para los Estados Unidos y para Asia, respectivamente. Por lo tanto se requieren muestras de 30 años para evaluar con certeza el comportamiento a escala media de un modelo climático regional.

La representación de alta resolución de áreas montañosas en un modelo climático regional ha hecho posible mostrar que la temperatura del aire superficial simulada cambia de señal debido a la concentración de CO₂, pudiendo tener una marcada dependencia de la altitud, resultando en un mayor calentamiento en los sitios más altos. Esto es causado fundamentalmente por un agotamiento del paquete de nieve en condiciones mejoradas de efecto invernadero por dióxido de carbono y la asociación del mecanismo de respuesta de radiación de la nieve, y esto es consistente con las tendencias observadas de temperaturas de inviernos anómalos templados en la región alpina. Una modulación similar de la señal de cambio climático ha sido confirmada en estudios posteriores utilizando tanto los modelos climáticos regionales como los modelos de circulación general (Leung y Ghan, 1998; Fyfe y Flato, 1999).

El impacto de los cambios de uso de los suelos sobre el clima regional ha sido considerado en las simulaciones del modelo climático regional. Los cambios de uso del suelo debido a las actividades humanas podrían inducir modificaciones climáticas, en escala local y regional, de una magnitud similar a los cambios climáticos observados durante el último siglo. El tema de la modificación del clima regional por el cambio de uso del suelo

ha sido poco explorado dentro del contexto del debate del cambio global y por su importancia potencial, es necesario en algún momento su evaluación (Christensen O., 1999).

2.4.1. Bases de Datos Bioclimáticas:

- **Definición de Fajas Ecológicas según el Piso Altitudinal**

El escenario ambiental considerado en este estudio es el Parque Nacional Sierra Nevada de Mérida, comprendiendo el transecto altitudinal que incluye las fajas ecológicas de las estaciones del Sistema Teleférico de Mérida.

Por Faja Ecológica Altitudinal se puede definir un conjunto de especies con características morfológicas y fisiológicas similares que constituyen respuestas adaptativas al efecto que ejercen sobre tales especies la variación de la presión parcial de los gases (O_2 , CO_2 y N_2) y el clima (temperatura, humedad, precipitación) con el incremento de la altitud (Rundel y *Col.*, 1994; Marcano y *Col.*, 2004, 2004). La clasificación utilizada en este trabajo de las fajas ecológicas altitudinales conocidas para la vertiente Norte del Parque Nacional Sierra Nevada de Mérida, está basada en la descripción de Lauer (1979), Monasterio (1980), Huber y Alarcón (1988), Vareschi (1988), Rundel y *Col.*, (1994), Luteyn (1999), Briceño y Morillo (2002), Azocar y Fariñas (2003) y Ataroff (2003). Estas Fajas Ecológicas altitudinales se detallan a continuación:

Desierto Periglacial Altiandino (= zona nival), ubicado en el sector Pico Espejo (4600-4800 m).

Páramo Desértico Altiandino, ubicado entre los sectores de Loma Redonda y proximidad al Pico El Toro (4000-4600 m).

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Pajonal Paramero, proximidad a la Estación Loma Redonda (3800-4000 m).

Pastizal Paramero, entre las Estaciones Loma Redonda y La Aguada (3500-3800 m).

Bosque Paramero o Zona de Transición (Timberline), proximidad a la Estación La Aguada (3000-3500 m).

Selva Nublada Montana Alta, proximidad a la Quebrada La Fría (2400-3000 m).

Desierto Periglacial Altiandino (Zona Nival)

Altura:

4600-4800 msnm

Ubicación de los sensores climáticos:

Estación Pico Espejo (4772 msnm).

Características Ecológicas:

Esta Faja está caracterizada por presentar ciclos frecuentes diarios de congelamiento y descongelamiento, heladas, derrubios de laderas, microescalones, fractura de rocas de las cumbres sobre cuyos derrubios pueden instalarse posteriormente y de manera ocasional bosques altiandinos principalmente en las zonas de menor altitud. Estos fenómenos periglaciales constituyen un obstáculo para la estructuración de la vegetación (Luteyn, 1999). Las escasas formaciones vegetales que existen en este piso, poseen estructuras muy especializadas, que les han permitido adaptarse a este medio ambiente (Azócar y Fariñas, 2003). Dentro de los elementos florísticos que se pueden ubicar tenemos: *Draba bellardi*, *Draba chionophylla*, *Agrostis hankeana*, *Calamagrostis coartata*, *Helleria fragilis*, *Oritrophium paramensis* y *Niphogeton dissecta*. También se observan algunas especies de musgos, constituyendo los líquenes los organismos dominantes y que presentan la más alta diversidad.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Entre estas especies destacan diversas especies de los géneros *Rhizocarpon*, *Umbilicaria*, *Xanthoparmelia*, *Candelariella*, *Lecidea* y *Xanthoria* (Marcano et al., 2004).

Páramo Desértico Altiandino (Sectores Loma Redonda y Base del Pico El Toro)

Altura:

4000-4600 msnm

Ubicación de los sensores climáticos:

Estación Loma Redonda (4078 msnm)

Características Ecológicas:

Esta faja está compuesta por lo general de un rosetal relativamente alto y abierto que consta de 2 estratos (Monasterio, 1980; Huber y Alarcón, 1988; Azócar y Fariñas, 2003). El primer estrato presenta una altura entre 1 y 3 metros y una cobertura de 5 a 30%, esto debido al rango altitudinal relativamente amplio. Este estrato es raro y está constituido por rosetas arborescentes espaciadas entre sí con una distribución semejante a las formas columnares de las cactáceas de los desiertos. Este formado exclusivamente por formas semi-arbustivas o arbustivas pertenecientes al género *Espeletia*. Es notable en este primer estrato la presencia exclusiva de la forma "árbol-monocaule": un único tronco sin ramificar terminado por una roseta apical; el follaje muerto permanece adherido al tronco, recubriéndolo completamente hasta su base. Las hojas que componen la roseta son de tamaño mesófilo y macrófilo, abundando más el segundo tipo, son hojas relativamente angostas pero largas, extremadamente lanuginoso-pubescentes. El segundo estrato contrasta con el primero en altura ya que se presenta a nivel del suelo, es discontinuo, su cobertura oscila entre 2 a 40%, el porcentaje de suelo desnudo y de rocas varía entre 50% a 90%, las

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

formas de vida más importantes aquí son plantas en cojines densos y acolchados con tendencia a desarrollar una forma circular; las especies más importantes pertenecen a los géneros *Azorella*, *Arenaria*, *Aciachne*, *Lucilia*, todas ellas perennes siempre verdes, con hábito herbáceo y a veces leñoso; existen también formas de rosetas acaule de pequeño tamaño, siempre verde de los géneros *Hypochoeris*, *Calandrinia*, *Oenothera*, *Malvastrum* y *Draba*. Igualmente existen formas perennifolias pertenecientes a los géneros *Senecio*, *Hinterhuera*, *Lachemilla* y *Drabba*. El tamaño de las hojas de todas estas plantas oscila entre micrófilas y leptófilas. También se hallan numerosas especies de líquenes foliáceos y musgos (Marcano et al., 2004).

Pajonal Paramero (proximidad Estación Loma Redonda)

Altura:

3800-4000 msnm

Ubicación de sensores climáticos:

Estación Loma Redonda (4078 msnm)

Características Ecológicas

Esta faja ecológica presenta una condición especial por ser fría y húmeda. Las especies se pueden reconocer por presentarse en tres formas distintas (Monasterio, 1980; Huber y Alarcón, 1988; Azócar y Fariñas, 2003):

Pajonal puro: Presentan un estrato más alto ubicado entre 50 a 80 cm. En su estado vegetativo, está dominado exclusivamente por gramíneas en macollas de porte robusto. Su cobertura oscila entre 80 y 100%. Los géneros más conocidos de gramíneas son *Cortaderia*, *Calamagrostis*, *Danthonia*, *Agrostis* y *Stipa*. Otras formas que presentan distinta arquitectura y porte son *Poa* y *Helleria*.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Pajonal-Rosetal: Esta forma está representada por algunas especies de gramíneas en macolla las cuales constituyen elementos dominantes (primer estrato), pero también se introducen rosetas pertenecientes a los géneros *Espeletia*, *Puya* y *Lomaria* (segundo estrato). El segundo estrato está sujeto a la variación del primer estrato. Cuando las gramíneas tienen una alta densidad (valores de cobertura cercanos al 100%), las macollas de los distintos individuos se tocan, imposibilitando la presencia de otro estrato más bajo. Cuando el primer estrato se abre aparece un estrato entre 3 y 20 cm de altura, en el cual se encuentran formas de escaso porte: pequeñas rosetas acaules, cojines, semi-arbustos rastreros, herbáceas, pertenecientes a los géneros *Hypochoeris*, *Oritrophium*, *Paepalanthus*, *Calandrinia*, *Aciachne*, *Gnaphalium*, *Pernetia*, *Draba* e *Intherubera*.

www.bdigital.ula.ve

Pajonal-Arbustal: Se introducen arbustos pertenecientes a diversos taxas. Este tipo de formaciones se encuentran muy poco y se hallan por lo general situadas en morrenas con intensa hidromorfia. Esta forma está representada principalmente por arbustos de los géneros *Hypericum laricifolium* y *Arcytophyllum caracasenum*.

Pastizal Paramero (entre las Estaciones Loma Redonda y Aguada)

Altura:

3500 - 3800 msnm

Ubicación de los sensores climáticos:

Estación Loma Redonda Aguada (3526 msnm)

Características Ecológicas

En esta Faja Ecológica pueden existir varios niveles de terrazas, caracterizadas por una profundidad del nivel freático desde el fondo del valle hasta el faldeo. En las terrazas más altas que corresponden

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

a los suelos mejor drenados, se instala el pastizal de hoja ancha formando asociaciones de *Bromas pitensis-Agrostis hankeana*, que consta de dos estratos, el más alto de 30 a 50 cm. Dominado por *Bromas pintensis con Calamagrostis ssp.*, *Hierochloe mexicana*, entre otras. Esta formación tiene una cobertura de 30 a 60%. El segundo estrato con una altura de 15 cm, está dominado por *Agrostis hankeana*. Ambos estratos totalizan una cobertura del 100%. En las zonas donde existe encharcamiento encontramos pastizales húmedos entre 25 y 50 cm de Altura (Monasterio, 1980; Huber y Alarcón, 1988; Azócar y Fariñas, 2003).

Bosque Paramero o Zona de Transición (Proximidad a la estación La Aguada, Timberline)

Altura:

3000-3500 msnm

Ubicación de los sensores climáticos:

Estación La Aguada (3320 msnm)

Características Ecológicas:

Se encuentran tres subtipos de formaciones en esta Faja Ecológica: páramos más bajos (Bosque de *Espeletia Nerifolia*), bosques sencillos (*Aragoa cupressina*) y el bosque de *Alnus spp.*

I. Bosque de Espeletia neriifolia: Se presenta en los niveles más bajos de los páramos integrándose en los arbustales del prepáramo. Este bosque presenta dos estratos: el **primer estrato** alcanza entre 2 y 6 metros con una cobertura desde 30 a 70 %; su principal componente florístico es la *Espeletia neriifolia* (arbol ramificado con tronco desnudo de follaje perennifolio). También están presentes otras especies como *Espeletia humbertii*, *Espeletia hamburiana*, *Weinmanía multiyuga*, *Wilmanía fogoroides*, entre otras. El **segundo estrato** presenta una serie de arbustos tales como

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Hypericum laricifolium, *Hypericum caracasenum*, *Gualtheria cordiflora*, *Vaccinum alaternoides* y *Bejaria aestuans*. Este estrato posee características de un bosque perennifolio de las series siempre verdes secas, predominando su concentración sobre afloramientos sedimentarios de lutelas y areniscas y se presenta en mosaico con la selva nublada montaña alta.

II. Bosquecillo de *Aragoa cupressina*: Esta formación tiene muy poca representación en los páramos.

III. Bosques siempreverdes de *Alnus spp*: Se encuentran ubicados entre los 2200 a 3300 metros, en las cercanías a los ríos; domina en el estrato más alto la especie boreal *Alnus jorullensis*.

Selva Nublada Montana Alta (proximidad a la quebrada la Fría)

Altura:

2400-3000 msnm

Ubicación de los sensores climáticos:

Estación La Montaña 1 (2448 msnm)

Características Ecológicas:

Esta Faja está constituida por bosques densos de altura media-alta, con 2 o 3 estratos arbóreos y un solo estrato bien desarrollado. Son frecuentes las epífitas y las especies *Decussocarpus (Podocarpus) ropigliosii*, *Prumnopytis (Podocarpus) montana*, *Podocarpus deifolius macrotachyus*, *Agnus jorullensis*, *oreo panaz moritzii*, *Brunellia integrifolia* *Hedyosinum glabratum*, *Weimania jahnii*, *Weimania microphylla*, *Tetrorchidium rubrivenium*, *Beilschmieda sulfata*, *Ruagealabra pubescentes*. También se pueden encontrar, siendo menos frecuentes, *Podocarpus*, *pendofolias*, *Oreopanaxveilonii*, *psychotria aristeguietae*, *Lagenanthus princeps*, *Delostoma integrifolium*. Además existen numerosas especies endémicas de helechos, orquídeas y bromelias.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

- **Obtención de los Datos Climáticos:**
- **Ubicación de los Sensores:**

La Red Bioclimática del Parque Sierra Nevada de Mérida está constituida por cuatro estaciones meteorológicas instaladas cerca de cada estación del Teleférico en la cara norte del Pico Bolívar, el pico más alto de la Sierra Nevada de Mérida ($8^{\circ}32.5'N$, $71^{\circ}0.35'W$), ubicada en los Andes de Venezuela (Figura N. 5), en un rango comprendido entre 2448 y 4772 m. Estas Estaciones son:

1. Pico Espejo, 4775 m;
2. Loma Redonda, 4078 m;
3. La Aguada, 3330 m;
4. La Montaña, 2448 m.



Figura 6: Vista desde el espacio del Parque Nacional Sierra Nevada de Mérida. Se señala en un rectángulo el área correspondiente al Sistema Teleférico de Mérida (Imagen obtenida del satélite LANDSAT).

- **Características técnicas de los sensores:**

Los sensores térmicos pertenecen al tipo datalogger, modelo HOBO H8 (Onset Computer Corporation) y están provistos con cuatro

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

termocuplas (TMC6-HA) las cuales están ubicadas debajo de la superficie del suelo a 10, 20 y 40 cm. Una termocupla registra la temperatura de la superficie del suelo. Los datos de humedad y precipitación pluvial son registrados dos metros por encima de la superficie utilizando sensores similares del tipo HOBO-data loggers. El error en la medición de la temperatura es de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ mientras el error en la medición de la humedad relativa es de $\pm 3\%$. Los datos registrados fueron descargados a un computador portátil usando el programa BOXCAR 3.6. Las estaciones fueron instaladas el 15 de Marzo de 2001 y actualmente se encuentran operativas.

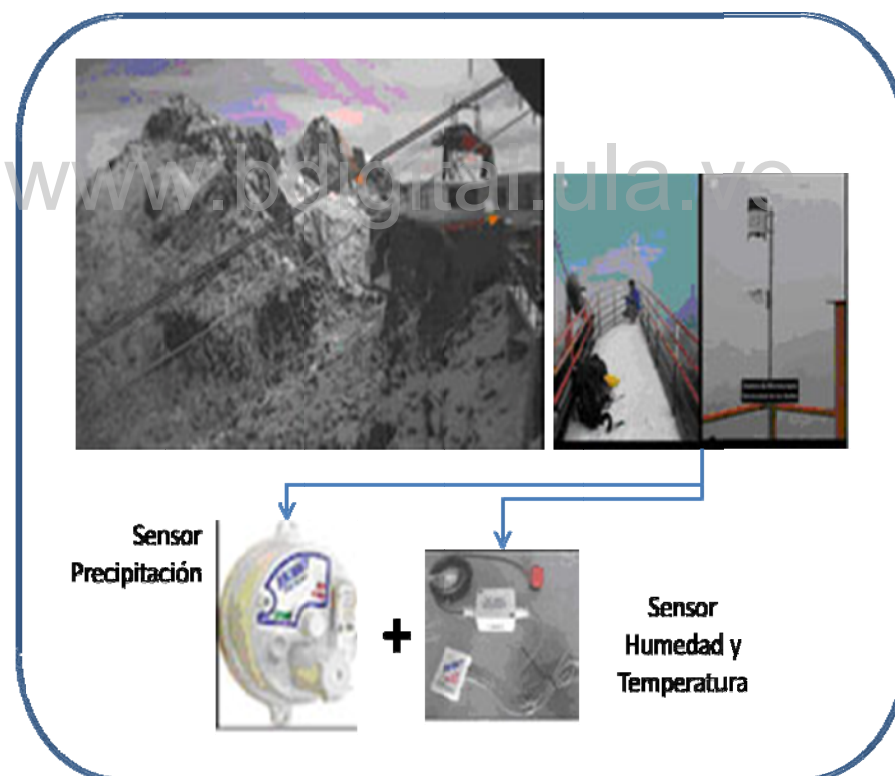


Figura 7: Características generales de las Estaciones Climáticas Múltiples que conforman la Red Bioclimática del Parque Sierra Nevada de Mérida, las cuales incluyen sensores de temperatura del aire, humedad y precipitación.

CAPITULO III METODOLOGÍA A SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES BAJO SOFTWARE LIBRE (SL)

Este capítulo está dedicado a la explicación de la metodología empleada por CENDITEL para el desarrollo colaborativo de aplicaciones bajo software libre y que se seguirá para el desarrollo de este proyecto. Así como una descripción del software empleados en el desarrollo del proyecto.

3.1. Metodología de desarrollo Colaborativo de Software Libre

Según Álvarez y colaboradores (2008), la metodología empleada por CENDITEL como guía para la construcción de aplicaciones de software libre, específicamente proyectos de desarrollo de sistemas de información, está inspirada en el método ágil *Extreme Programming* (Beck, 2004), en The Rational Unified Process (kruchten, 2000), en el Modelo de Procesos de Desarrollo descrito en el *Metodo Watch* (Montilva, 2004), en el Modelo de Procesos para el Desarrollo de Software *MoProSoft* (Oktaba et. al., 2005).

En esta metodología se combinan características de los estilos de desarrollo Catedral y Bazar, en base a las cuales es posible definir procesos centralizados que permiten el desarrollo colaborativo y la liberación frecuente de código fuente, Para explicar en detalle estas características es necesario definir ambos estilos de desarrollo.

Estilo de desarrollo Catedral: Es usado por la mayoría de empresas desarrolladoras de software (Microsoft, Adobe, etc.) un modelo donde nadie puede participar activamente (excepto los responsables de un proyecto), donde todo es cerrado, oculto, secreto y en el proceso de desarrollo e identificación de bugs es mucho más lento.

Es el estilo tradicional y seguido por la mayor parte de los fabricantes de software privativos hoy en día, dentro de sus características destacan:

1. El software de gran tamaño se construye como las catedrales, es decir, cuidadosamente planificado por equipos de expertos que se comunican lo justo entre sí.
2. Hay poco personal y bien escogido. Aumentar mucho el número de personas es caro y pasado cierto punto no acelera el desarrollo, sino que lo demora.
3. No se publican versiones beta hasta poco antes de terminar.
4. El motivo de que las versiones se publiquen tarde en este modelo es que de lo contrario estarían plagadas de errores.
5. Los errores son difíciles de encontrar, requieren una fase de pruebas que se hace al final.
6. El código fuente se guarda de forma segura.
7. Subyace a él una estructura organizativa piramidal.
8. El jefe de proyecto debe tener gran talento para el diseño.

Estilo de Desarrollo Bazar: el cual es utilizado por la comunidad de Software Libre, Open Source, GNU/Linux. En este método de desarrollo de software, todos pueden participar y ser miembros activos de un proyecto, ya sea realizando traducciones, enviando parches, corrigiendo "Bugs" o errores, añadiendo extensiones, publicando nuevas versiones, optimizando el código fuente, realizando documentación y consecuentemente estas aportaciones conllevan a producir software de alta calidad (Véase Apache, Samba, Firefox, Fetchmail, Python, Linux, Emacs, GNOME y un largo etc.). Dentro de sus características destacan:

1. En un principio hay una idea, pero no se tiene una imagen

clara en lo que se convertirá al final.

2. Existe una ingente cantidad de personas en su elaboración y cuantos más mejor.
3. En el momento en el que se puede publicar una versión se hace, aunque esté muy incompleta.
4. Los errores se encuentran con facilidad porque hay muchas personas trabajando simultáneamente en ello. Su descubrimiento se pone en marcha desde el principio.
5. El código es abierto, o lo que es lo mismo, cualquiera puede leerlo y modificarlo.
6. La estructura organizativa es difusa, hay una serie de normas para participar pero no una jerarquía claramente definida. Una persona puede contribuir durante toda la vida del proyecto o de un modo fugaz.
7. El coordinador del proyecto más que tener talento tiene que ser muy astuto para ver cuando una idea de otro es buena e incorporarla.

Como se observa en las definiciones, ambos estilos de desarrollo presentan características opuestas. Para el caso específico de esta metodología, se requiere combinar ambos estilos (Catedral y Bazar), con la intención de desarrollar proyectos de software donde se contemple la dirección centralizada de los procesos involucrados en el desarrollo, la participación comunitaria en la construcción de aplicaciones y la liberación frecuente del código fuente. La metodología se basa en una estructura organizacional orientada a procesos específicos. Estos procesos son:

- 1 **Conceptualización de Proyectos de Software:** En este proceso se realizan actividades relacionadas con el análisis de problemas y necesidades de la comunidad (ya sean estos reportados por la comunidad o identificados por CENDITEL), con la finalidad de proponer soluciones pertinentes conforme al análisis realizado.

2 Administración de Proyectos de Software: Este proceso contempla actividades relacionadas a la conformación de la comunidad de desarrollo de cada proyecto, así como la planificación y control de las actividades requeridas para el desarrollo de éstos.

3 Proceso de Desarrollo de aplicaciones: Se describen las fases de desarrollo que incluyen análisis, diseño, construcción, pruebas y liberación de aplicaciones.

Este proceso de desarrollo planteado está orientado a la reutilización de componentes y a la liberación frecuente de código fuente y de la documentación asociada al mismo. A continuación en la Figura 8 se presenta la relación entre los procesos de Conceptualización, Administración y desarrollo de Aplicaciones de Software.

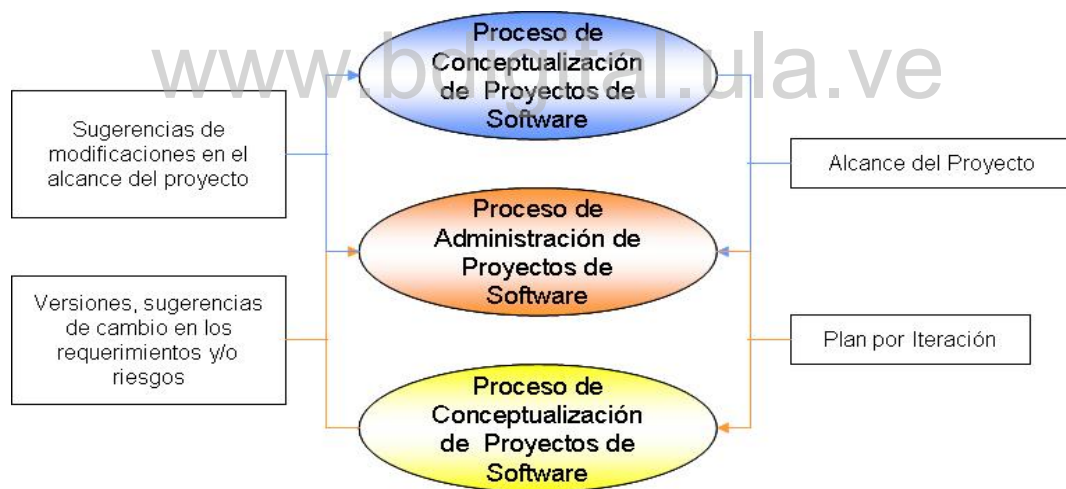


Figura 8: Relación entre los procesos que componen la metodología

Tal como se muestra en la figura 8, los tres procesos se retroalimentan entre sí a través de los principales productos que se generan en cada uno de ellos. Por ejemplo, el alcance del proyecto generado en el proceso de conceptualización, es suministrado al proceso de administración, quien a su vez genera la planificación por iteración que se suministra al proceso de desarrollo. Este último envía a la

administración versiones de las aplicaciones y/o sugerencias de cambios en los requerimientos y/o riesgos. Las sugerencias de cambios en los requerimientos y/o riesgos son notificadas a su vez al proceso de conceptualización, para que en caso de ser necesario, (por ejemplo, por inclusión de nuevas funcionalidades), se actualice el alcance del proyecto. Es importante mencionar que las sugerencias de cambios en los requerimientos y/o riesgos también inducen a actualizaciones en el plan del proyecto y en las planificaciones por iteración, las cuales se llevan a cabo en el proceso de administración.

Cada uno de los procesos que conforman la estructura organizativa de la metodología será descrito en las secciones siguientes, aplicados específicamente al desarrollo de este proyecto.

3.1.1 Flujo de trabajo del proceso de Conceptualización

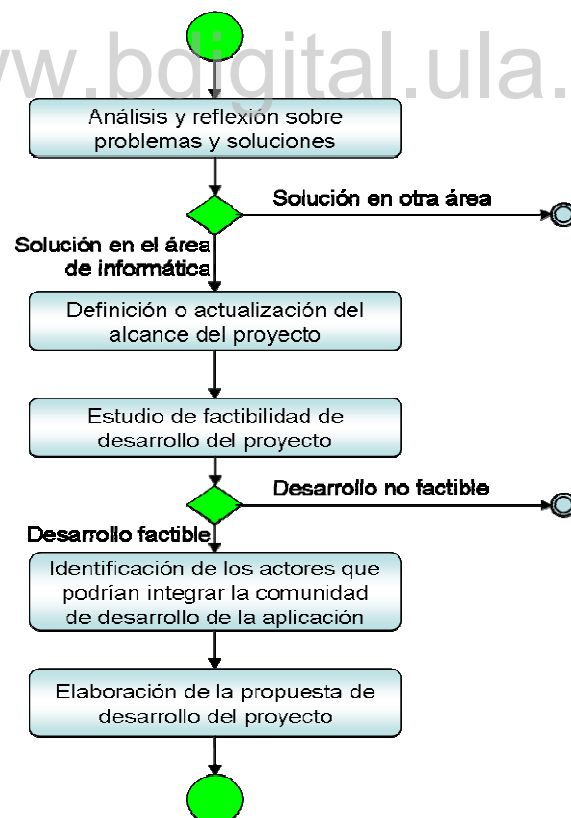


Figura 9: Flujo de trabajo del Proceso de Conceptualización de Proyecto de software

Como se pudo estudiar a lo largo de este proyecto, específicamente en el capítulo I, en el cual se plantea claramente los problemas que existen y que se quieren resolver con el desarrollo de este proyecto. Se puede decir que es viable y muy factible basándonos en los resultados que se esperan obtener como:

- Con la realización de este proyecto se pretende resolver la problemática relacionada al bajo porcentaje de aplicaciones informáticas en plataforma libre, que se adapten a la capacidad de visualización e información relacionada con el efecto del clima sobre variables biológicas.
- La política que se sigue o se quiere lograr es la de impulsar la producción de sistemas de información y comunicación haciendo uso de estándares abiertos, permitiendo obtener un sin fin de beneficios en el área climática y de esta manera suplir la demanda social de interés, como por ejemplo mostrar registros climáticos cronológicos a diferentes pisos altitudinales, también conocer la composición florística de la zona, entre otras.
- El lograr mostrar las condiciones climáticas con cierta precisión sobre la zona en estudio y así contribuir a la comunidad del Estado Mérida con resultados que serán de utilidad para tomar medidas conducentes a la disminución del deterioro ambiental por calentamiento atmosférico, como es influir en el mejor manejo de los cambios drásticos de temperatura y del ciclo hídrico. Esto también favorecerá una mejor productividad agrícola y de producción animal.
- Una de las principales contribuciones de este aplicación es su capacidad para brindar una visión en conjunto del efecto del cambio climático regional como una consecuencia tanto del cambio climático global como de las propias acciones del hombre en el medio ambiente andino. La posibilidad de advertir el impacto sobre la vegetación y por consiguiente sobre la vida en su más diversas manifestaciones por piso altitudinal, que puedan ocasionar los cambios térmicos, esto constituye un reto tanto para las instituciones gubernamentales regionales y

nacionales vinculadas con el ambiente como para las mismas universidades. Todos estos organismos tienen la responsabilidad de prevenir las acciones antrópicas contra el ambiente que pongan en peligro la supervivencia de los ecosistemas andinos, incluyendo el propio hombre.

- También es de gran utilidad para los ecólogos que deseen conocer el desplazamiento altitudinal de las especies y la alteración de las estructuras ecofisiológicas dependiendo de la variación a largo plazo de la temperatura. Sugerencias de gran valor pueden surgir de estas predicciones para prevenir la extinción de muchas especies raras o endémicas.
- Ofrecer nuevas herramientas tecnológicas para la obtención e interpretación de datos climatológicos crudos a ser determinados en ambientes abiertos y que pueden ser utilizados en cualquier región del país

www.bdigital.ula.ve

3.1.2 Flujo de trabajo del proceso de Administración del Proyecto

Este proceso coordina y dirige las tareas del grupo de desarrollo. Cada proyecto de software tiene asignado un Administrador de proyecto quien se encarga de llevar a cabo un conjunto de actividades orientadas a: elaborar el plan de proyecto, conformar la comunidad, desarrollar y llevar un seguimiento y control sobre las actividades asociadas al proceso de desarrollo.

Para el caso específico es este proyecto, por ser un proyecto de grado, se está realizando bajo la asesoría de mi tutor académico, así como de otras personas con conocimiento del tema como lo es el apoyo de la Red de Geomática libre de CENDITEL <http://www.cenditel.gob.ve>

Deseo mencionar que el alcance de este proyecto de tesis abarca significativos beneficios a la colectividad merideña y sus vecinos, por permitir informar y visualizar los cambios climáticos que se presentan en la zona estudiada y que pueden inferir con cierto margen de error sobre las condiciones climáticas de zona cercanas. Por tal motivo este proyecto se encuentra en proceso de desarrollo en conjunto con CENDITEL quien es el ente que proporciona los recursos financieros y el conocimiento sobre tecnologías libre para desarrollar el estudio.

3.1.3 Desarrollo de Aplicaciones de Software:

Este proceso consiste en comenzar a realizar un conjunto de actividades agrupadas por fases, las cuales conforman el proceso de desarrollo de Aplicaciones de Software. Con base a estas actividades se planifica cada una de las iteraciones contempladas en el plan del proyecto.

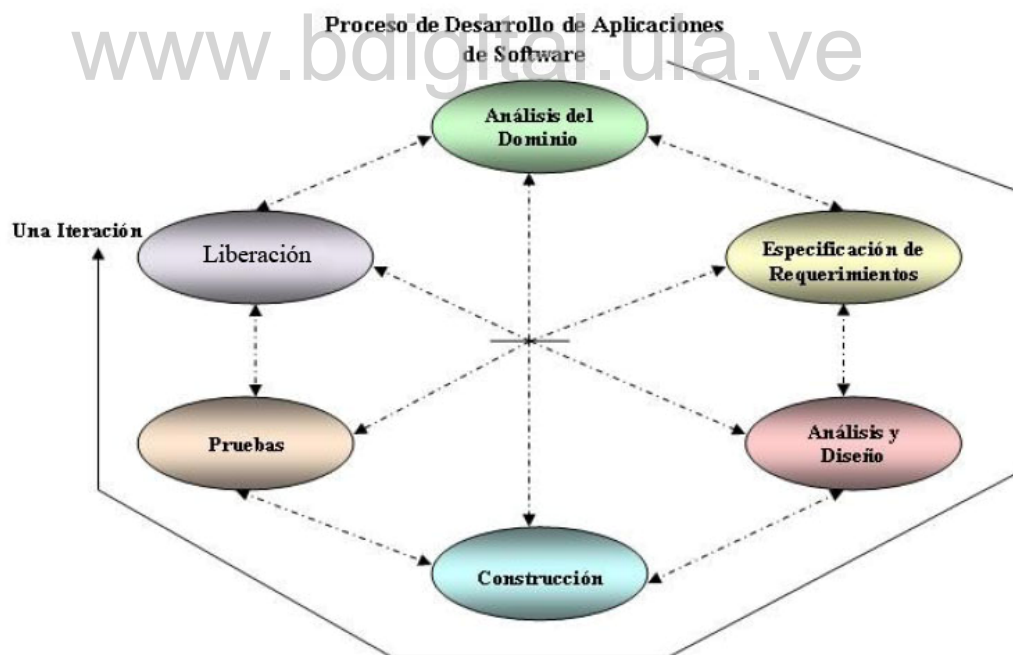


Figura 10: Fases del Proceso de Desarrollo de Aplicaciones de Software

A continuación se explica el proceso de desarrollo presentado en la figura 10 En la metodología el desarrollo de aplicaciones se da de manera incremental, de forma que cada iteración planificada se

construya un número específico de funcionalidades, a partir de las cuales se obtiene una versión de la aplicación que será entregada al usuario para su validación. Para generar esta versión es necesario pasar por todas las fases del desarrollo que han sido indicadas e la figura 10, comenzando por la fase de análisis de dominio de la aplicación y culminando con la fase de liberación. En caso de que la versión construida no supere algunas pruebas de software o que resten algunos detalles por concretar con respecto a la misma, no se puede dar por concluida la iteración, por tanto debe pasarse a la fase de desarrollo que permitan corregir los errores reportados o culminar los detalles pendientes, por esta razón, la Figura 10 muestra la relación entre las fases, las cuales indican que de una fase específica se puede pasar a otra fase en particular.

Fase 1: Análisis del dominio de la Aplicación:

Es considerada una de las fases de desarrollo más importantes, dado que en ella se analiza y comprende el dominio o contexto en el cual operara la aplicación a desarrollar. En esta fase la comunidad de desarrollo de la aplicación debe conocer, entender y analizar el funcionamiento de todos los procesos del dominio de la aplicación, lo cual permitirá asegurar la calidad y eficiencia del software a desarrollar.

El análisis del dominio de la aplicación se hace por lo general en la primera iteración del desarrollo, pero este puede ser refinado, modificado o actualizado en las siguientes iteraciones.

Fase 2: Especificación de Requerimientos:

En esta fase se especifican a detalle las funcionalidades (requerimientos funcionales) a desarrollar en la iteración planificada, especificándose también los requerimientos no funcionales que debe cumplir la aplicación, por lo general estos requerimientos son definidos

en la primera iteración del desarrollo, pero pueden ser modificados y/o actualizados posteriormente.

Fase 3: Análisis y Diseño:

En esta fase se traduce la especificación de requerimientos a una especificación de diseño, basada en un conjunto de vistas arquitectónicas, que se traducen o constituyen la arquitectura del sistema (aplicación). En esta fase también se diseña la interfaz del usuario y la base de datos de la aplicación.

Tal como se propone en la metodología, la arquitectura de la aplicación se irá enriqueciendo en cada iteración a medida que se vayan añadiendo funcionalidades a la aplicación. Esto permite realizar un diseño flexible en el cual los cambios de opinión de la comunidad de usuarios, respecto a las funcionalidades deseadas, puedan tomarse en cuenta sin mayores complicaciones.

www.bdigital.ula.ve

Fase 4: Construcción:

En la fase de construcción se construye y/o refina, en cada iteración planificada, la interfaz, la base de datos y las funcionalidades de la aplicación. En esta fase se obtiene el código fuente de cada versión desarrollada. El código fuente contempla tanto los códigos reutilizados (adaptados) como los códigos desarrollados.

Fase 5: Pruebas:

En esta fase se elaboran y aplican pruebas unitarias, de integración, funcionales y no-funcionales a cada versión del sistema, facilitando así la detección temprana de errores o incompatibilidad en el código, adicionalmente, como parte de esta fase se elaboran los manuales de la aplicación.

Las pruebas unitarias son diseñadas y aplicadas por los programadores, mientras que las pruebas de integración funcionales y no funcionales

son elaboradas y aplicadas por los probadores. Los planes de pruebas unitarias pueden diseñarse antes de construir el código, lo cual permite a los programadores desarrollar códigos que superen las pruebas diseñadas, construyendo así códigos simples y funcionales de manera rápida.

Fase 6: Liberación:

En esta fase se liberan tanto las versiones de prueba como las versiones estables de la aplicación, las versiones de prueba son liberadas con la finalidad que la comunidad de usuarios pueda validarla, de manera que la comunidad participe en la detección de errores. Luego de reportados y corregidos los errores en las versiones de prueba, se liberan las versiones estables de la aplicación, adicionalmente en esta fase se imparte adiestramiento en el uso e instalación de las versiones estables de la aplicación.

www.bdigital.ula.ve

3.2 Software a emplear en el desarrollo de la aplicación:

3.2.1 Servidor de Mapas MAPSERVER

Este proyecto nació como unos *scripts* para ArcINFO, que generaban de forma dinámica impresiones de cartografía para publicar en web. Inicialmente fue un proyecto financiado por la NASA, la Universidad de Minnesota y el Departamento de Recursos Forestales de Minnesota (MNDNR). Es una aplicación desarrollada para trabajar como servidor de cartografía, la cual corre bajo plataformas Linux/Apache, Windows/IIS.

En la actualidad Map Server ha evolucionado notoriamente, se presenta en dos modalidades”:

- Como ejecutable CGI* (inglés: *Common Gateway Interface*), es

* CGI: es una importante tecnología de la World Wide Web(WWW) que permite a un cliente (navegador Web)

el uso más común que se le ha dado a este servidor de mapas. Se trata de un ejecutable que puede ser invocado desde páginas Web para generar de forma dinámica imágenes en los formatos más habituales para la publicación en Web (gif, png, etc.).

- Como biblioteca. La necesidad de realizar tareas específicas en el lado del servidor obligó a “exponer” las funcionalidades de este servidor a diferentes lenguajes de programación (especialmente PHP) para poder realizar tareas con un alto contenido dinámico: consultas especializadas, análisis al vuelo, etc.

Un aspecto muy “criticado” a este servidor de mapas era la posibilidad de diferentes problemas de seguridad por emplear la tecnología CGI y la imposibilidad de ejecutar de forma segura el servidor en diferentes hilos. Esto se ha subsanado en las últimas versiones e incluso se puede integrar en un servidor de aplicaciones Java como Tomcat¹.

www.bdigital.ula.ve

Las características por las que destaca este servidor son:

- Sencillez de configuración y administración
- Plataformas sobre las que puede operar
- Velocidad de acceso a datos

Cantidad de formatos tanto vectoriales como raster soportados

Datos básicos			
Nombre	UMN Mapserver	Sitio Web	http://mapserver.gis.umn.edu
Lenguaje de prog.	C/C++	Versión estable	5.2.x
SO soportados	W,L,M	Licencia	MapServer License (MIT)
Formatos	SHP, PostGIS, MySQL, ArcSDE, Oracle Spatial, TIFF, GeoTIFF, EPPL7, GDAL/OGR	Estándares	WMS 1.1.1 (C/S), WFS 1.0.0 (C/S), WMC 1.0.0, WCS 1.0.0, Filter Encoding, SLD, GML 3.1, SOS
Promotores	U. Minnesota, DM Solutions		

solicitar datos de un programa ejecutado en un servidor Web. CGI especifica un estándar para transferir datos entre el cliente y el programa.

1 http://mapserver.gis.umn.edu/docs/howto/java_mapscript_Tomcat_55

principales Líderes	Howard Butler, Stephen Lime, Jeff McKenna		
Soporte		Lista de correo	Activa
Control de Versiones	SVN		
Doc de usuario	Completa (Inglés)	Docs desarrollo	Completa (Inglés)

Tabla 2: Datos Básicos de UMN MapServer.

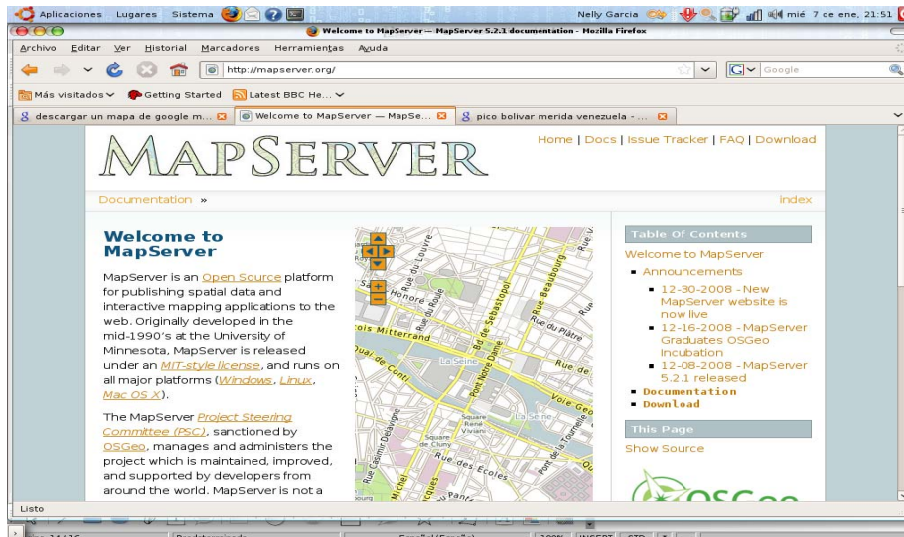


Figura 11: Página Principal de MapServer

3.2.2 Cliente Cartográfico ligero: Openlayers

Con varios puntos a su favor *Openlayers* vendría a ser la alternativa libre a *Google Maps*, está desarrollado 100% en JavaScript, se destaca por su simpleza para poder integrarlo a una web, además de tener las opciones básicas para moverse y hacer zoom.

Openlayers no solo puede renderizar sus propios mapas sino también permite integrarlo con otros como *Google Maps*, *Yahoo Maps* y *Live Local*, además se puede incorporar capas a los mapas.

Openlayers fue desarrollado por *MetaCarta* bajo la licencia BSD modificada, como se mencionó anteriormente utiliza la biblioteca JavaScript para mostrar los datos de los mapas en los navegadores Web. *Openlayer* fue creado por *MetaCarta* en Junio de 2005 y relanzado como software de código abierto en junio de 2006, por

MetaCarta Labs, MetaCarta aun brinda soporte y se mantiene activo en el proyecto.

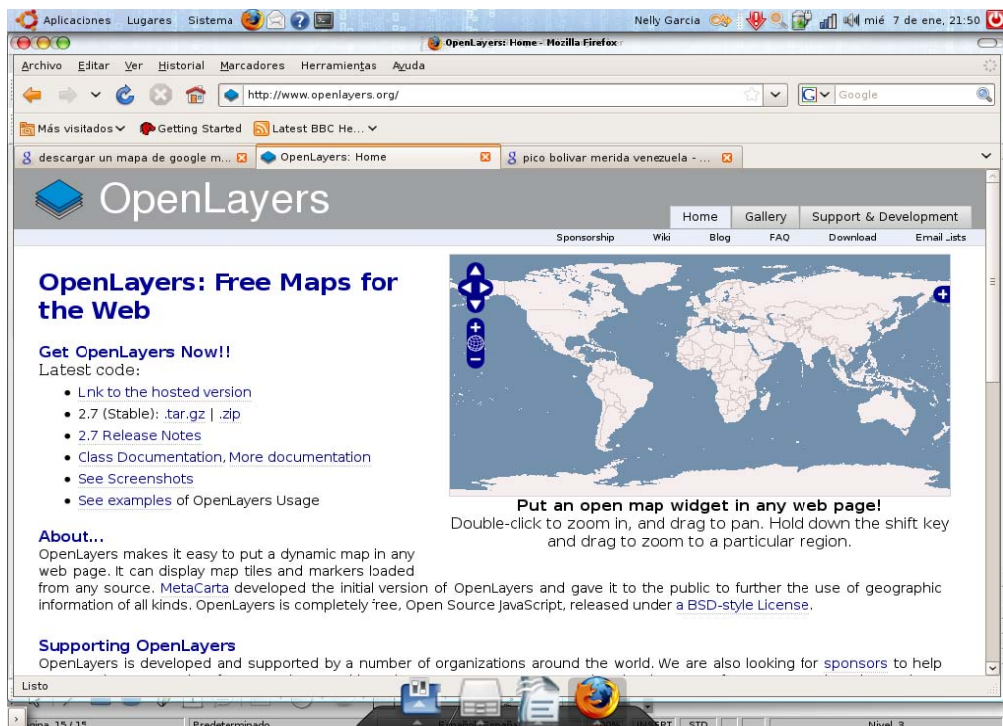


Figura 12: Página Principal de Openlayers

www.bdigital.ula.ve

3.2.3 Cliente Cartográfico gvSIG: operaciones sobre mapas:

gvSIG es un proyecto cuya primera versión salió a la luz a mediados de 2004. En poco tiempo ha alcanzado un gran éxito, siendo conocido y utilizado en diversos países del mundo. La difusión e implantación de gvSIG ha ido a la par con su evolución como proyecto, pasando de un equipo inicial de tres desarrolladores a múltiples equipos de trabajo repartidos en empresas y universidades. Actualmente existen diversas líneas de trabajo en paralelo que enriquecen gvSIG y permiten confirmar su objetivo de ser una herramienta integradora de los distintos mundos de la información geográfica. Desde los grandes bloques de trabajo como gvSIG 3D, teledetección, vectorial avanzado (topología, redes, simbología avanzada, gráficas e informes), movilidad a los proyectos menores como la extensión de publicaciones o el gestor de metadatos, se tiene un complejo conjunto de funcionalidades y personas impulsando el futuro de gvSIG.

Durante 2007 se han lanzado nuevos desarrollos como el piloto de redes, el piloto de 3D, nuevas funcionalidades raster, la aparición del proyecto SEXTANTE, asociado a gvSIG como resultado de ser migrado desde SAGA, y en lo último el lanzamiento de gvSIG para dispositivos móviles, topología y simbología avanzada.

Este proyecto se encuentra respaldado o financiado por la Consejería de Infraestructura y Transporte de la Generalitat Valenciana y la Unión Europea mediante el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y codesarrollado por la empresa IVER.



Figura 13: Logo de gvsig versión 1.1.2

Fortalezas:

- Rápida integración en el mercado por su facilidad para la instalación.
- Producto muy terminado y orientado al usuario final, tanto a nivel de interfaz como de usuario.
- Documentación clara, además de encontrar videos sobre el uso de esta herramienta combinado con SEXTANTE.
- Evolución asegura mínimo hasta el 2013 por sus financiadores.
- Posee una Organización Abierta oaSIG el cual tiene como objetivo la creación de una infraestructura que facilita el trabajo en modo colaborativo y permite a cualquier organización integrarse en el proyecto gvSIG de forma ágil, directa y abierta.

- Es muy ligero y de poco peso por lo que no hace uso de muchos recursos del sistema.
- Soporte para los formatos más populares tanto vectoriales como raster.

Debilidades:

- Es un proyecto muy joven, por lo que sus versiones siempre están en continuo cambio.
- Por ser un software en etapa de madurez ocasionalmente presenta errores en la comunicación con la maquina virtual de java instalada en el cliente, por tanto se debe considerar para evitar estos errores tomar la sugerencia de la maquina virtual en la que ha sido desarrollada la versión, y por ende esta viene integrada en la instalación.

Ficha técnica:

GvSIG datos Básicos	
Nombre	GvSIG
Sitio Web	http://www.gvsig.gva.es
Lenguaje de Programación	Java
Fecha de Inicio	Comienzos del 2004
Versión estable	1.1.2
Licencia	GNU GPL
Sistema operativo	Windows, Linux, Mac
Formatos soportados	Vectorial: SHP, DWG, DGN, DXF, PostGIS, Oracle, MySQL. ráster: ECW, ECWP, MrSID, TIF... Alfanumérico: CSV, DBF, ODBC, Oracle, MySQL. Otros: ArcIMS, ArcSDE
Promotores principales	Conselleria d'Infraestructures i Transports (Generalidad Valenciana)
Documentación usuario y desarrollo	Completa
Control de versiones	No disponible

Tabla 3: Ficha Técnica de GvSIG.

3.2.4 Herramientas de software empleadas para la obtención y análisis de los datos:

- **Matlab 6.5**

Se seleccionó el programa Matlab con el objeto de realizar cálculos numéricos con vectores, matrices, números escalares, tanto reales como complejos. Este programa permitió también realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. Matlab posee un lenguaje de programación propio y un entorno de trabajo muy atractivo para el usuario. Los componentes más atractivos del entorno son:

Editor de comandos de búsqueda (Path Browser): Permite llamar una gran cantidad de funciones tanto propias como programadas por los usuarios, es decir, es el programa que ayuda a definir la lista de directorios donde MATLAB debe buscar los archivos de comandos y las funciones, tanto del sistema como del usuario.

Editor y depurador de errores (Editor & Debugger): MATLAB dispone de un editor que permite crear y modificar estos archivos, como ejecutarlos paso a paso para ver si contienen errores (proceso de Debug o depuración). Este editor muestra con diferentes colores los distintos tipos o elementos constitutivos de los comandos. El Debugger es un programa útil para detectar y corregir errores, que se presenten dentro del programa, para ello se debe conocer muy bien la sintaxis de los comandos.

Visualizador de espacio de trabajo (Workspace): Es un conjunto de variables y de funciones de usuario que en un determinado momento están definidas en la memoria del programa (Figura N. 14).

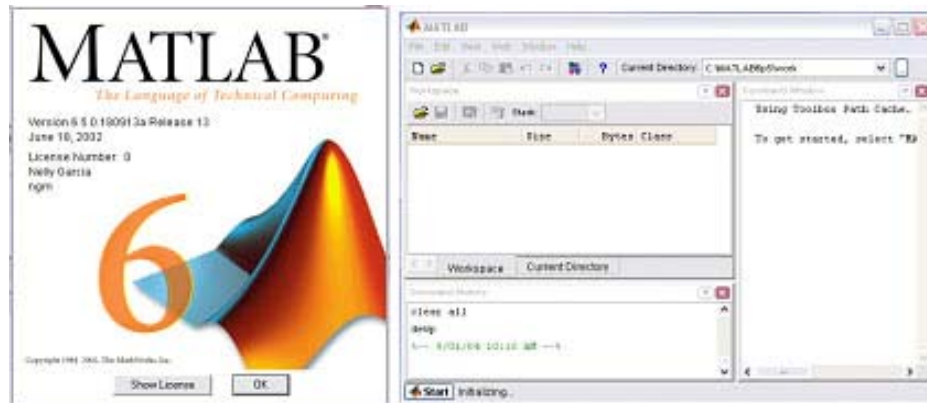


Figura 14: Visualizador de espacio de trabajo (Workspace)

- **BoxCar 3.6**

BoxCar 3.6 es nuestro software básico para el registro y procesamiento de los datos climáticos, que permite iniciar medidas, leer los datos, visualizar los gráficos o exportar los datos hacia un PC desde nuestros sensores de medición, como son los HOBO H8 (Figura N. 15). Este software presenta características que lo convierte en una poderosa herramienta de trabajo. Dentro de estas características podemos mencionar la capacidad de mostrar los datos ya sea de forma tabular o de forma gráfica. También permite realizar “zoom” o acercamientos sobre datos de interés; puede mostrar múltiples ventanas de gráficos simultáneamente, y posee una forma fácil y rápida para exportar datos ya sea a Excel, Lotus 123, o un programa compatible con ASCII. Cabe destacar que esta herramienta también permite seleccionar un dato y observar en el gráfico su ubicación exacta por medio de una línea roja y mediante el teclado se puede desplazar por todo el gráfico.

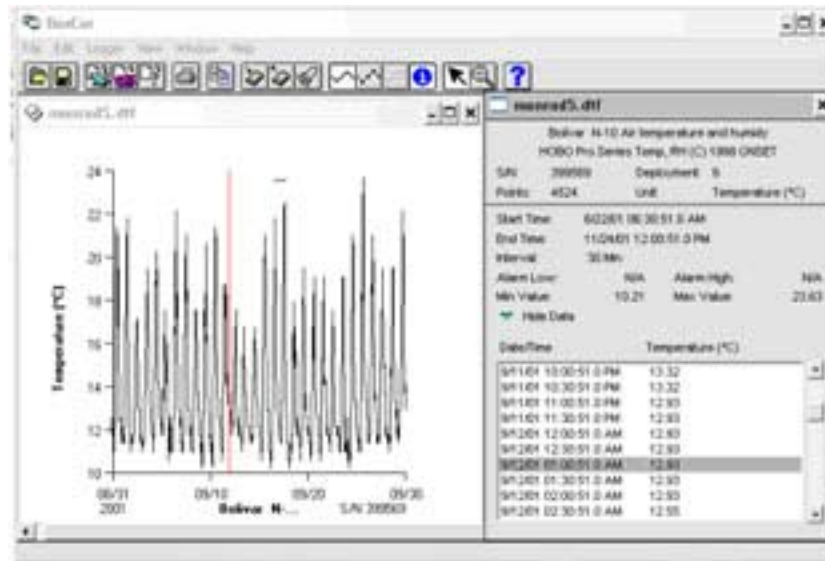


Figura 15: Entorno de trabajo del Programa Boxcar Pro 3.6.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo está dedicado a la explicación de la instalación, configuración y puesta en marcha del sistema de información geográfico para la red bioclimática de alta montaña.

4.1 Modelo Conceptual de la Base de datos Geográfica:

Diseño Conceptual:

Con este diseño damos respuesta a las siguientes preguntas: ¿Para qué?, ¿Con qué? Y ¿Cómo?

¿Para qué?:

Para poder disponer de un sistema capaz de mostrar resultados climatológicos, mediante gráficos anuales, además de informar al usuario sobre las diferentes fajas ecológicas según pisos altitudinales, y reducir el bajo porcentaje de aplicaciones desarrolladas bajo software libre.

¿Con qué?

El Centro de Microscopía Electrónica "Dr. Ernesto Palacios Prú" cuenta con cinco (5) años de registros climáticos de la zona estudiada y un banco de imágenes que describen el escenario ambiental de cada piso altitudinal. Igualmente, el Instituto de Fotogrametría de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, suministró mapas digitales de la zona que ofrecen información sobre:

- Curvas de nivel: el levantamiento topográfico de la zona en base a curvas de nivel tomadas cada 40 metros.
- Vialidad: mostrando las principales arterias viales de la zona.
- Hidrología: mostrando los principales afluentes de la zona.
- Vegetación: presentando información sobre la vegetación de la zona según altitud.

- Imágenes satelitales Landsat.

¿Cómo?

Haciendo uso de software Mapserver como servidor cartográfico, OpenLayers como cliente ligero de cartografía y para la operación y manipulación de los mapas se usó vSig versión 1.1.2. Se construyó una interfaz gráfica de usuario vía Web para mostrar la información.

Modelo Entidad Relación

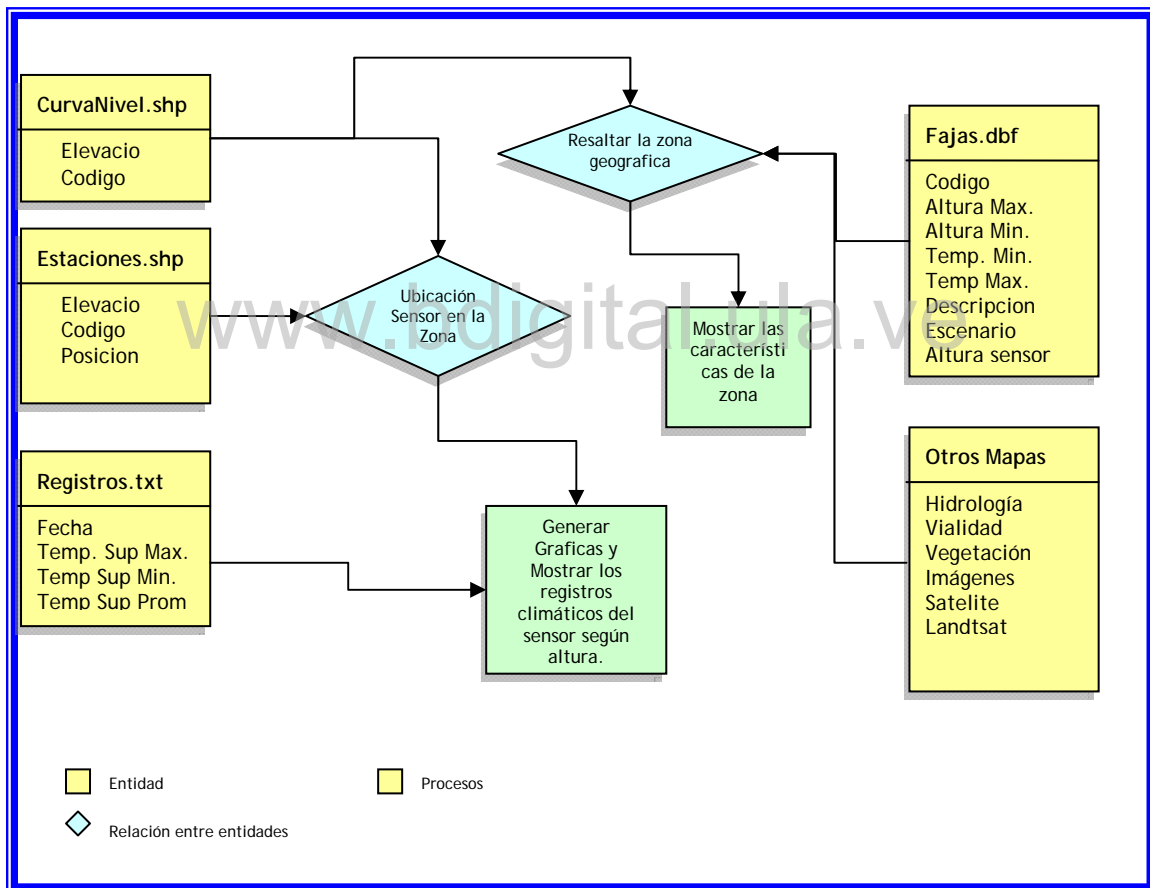


Figura 16: Modelo E-R del Servidor de Mapas Web.

Visión del Diseño en Conjunto

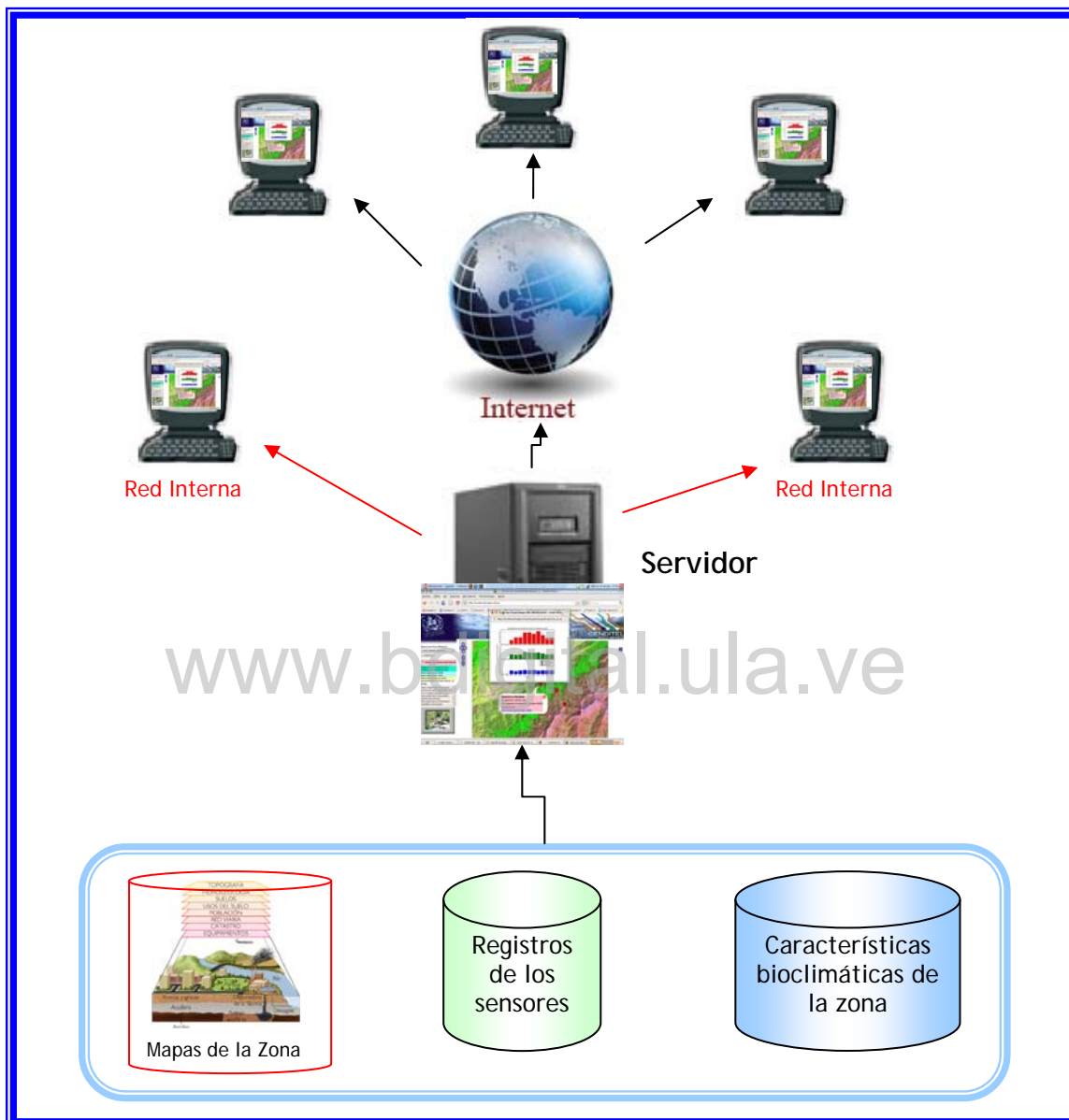


Figura 17: Modelo de Diseño del Servidor de Mapas Web.

Diseño Lógico:**Datos de los registros climáticos:**

Se encuentra almacenados en un archivo texto, formado por las siguientes columnas [dia mes año tempsup temp10 temp20 temp40], estos datos son procesados mediante la herramienta de procesamiento Matlab, para formar otro archivo de texto con los datos separados por mes tomando como entrada

únicamente los datos referentes a Temp. Superficial “tempsup”, que es la variable tomada en cuenta para este estudio. Su descripción se explica a continuación:

Variable	Descripción	Tipo
Fecha	Almacena (día mes año) una columna para cada item	numérico
Temp Superficial Max	Temperatura superficial máxima	Real
Temp Superficial Min	Temperatura superficial mínima	Real
Temp Superficial Prom	Temperatura superficial promedio	Real

Tabla 4: Variables de los registros climáticos

Banco de imágenes:

Fotos de la zona combinados en un gif animado seleccionados por pisos altitudinales.

Mapas:

Nombre	Descripción	Tipo de Geometría	N. de Objetos espaciales	Campo(tipo)	Longitud
CurvasNivel	Curvas de nivel cada 40 metros desde 1080 hasta 5000metros	Línea	488	ID(integer)	3
				Length(real)	19
				Elevacio(integer)	5
Vialidad	Vialidad de la zona en estudio	Línea	105	ID(integer)	3
				Length(real)	19
				codigo(string)	5
Hidrografía	Hidrografía de la zona en	Línea	157	ID(integer)	3
				Length(real)	19

	estudio			codigo(string)	5
Vegetación	Muestra la clasificación de los bosques andinos.	Poligono	29	Caducidad(string)	50
				Unidad(string)	200
				SUPO_HA(Real)	17
				Climatico(String)	80
				Id(Real)	19
				Altitudina(string)	80
				Intervenci(string)	80
				Tipo(string)	150
				Area(Real)	19
				Perimeter(Real)	19
				Hectares(Real)	19
				Grado_prot(string)	35
				P_veg(integer)	8

Tabla 5: Descripción de las variables de los mapas utilizados

Fajas ecológicas: Esta información se encuentra almacenada en una base de datos MySQL.

Nombre del campo	Descripción	Tipo(longitud)
Codigo	Es un valor numérico entero único que caracteriza al registro correspondiente para esa faja (ver tabla 7)	Int(11)
Nombre	Es un valor alfanumérico que corresponde al nombre de la Faja Altitudinal según la clasificación realizada en el capítulo anterior	Varchar(100)
Altura_sensor	Es un valor numérico entero que corresponde a la cota altitudinal conocida donde se encuentra el sensor para el piso altitudinal descrito en ese registro.	Int(11)
Altura_min	Es un valor numérico entero que corresponde a la cota altitudinal mínima que se presenta para el piso altitudinal descrito en ese registro.	Int(11)
Altura_max	Es un valor numérico entero que corresponde a la cota altitudinal máxima que se presenta para el piso altitudinal descrito en ese registro.	Int(11)

Temp._min	Es un valor numérico de tipo flotante que corresponde a la temperatura mínima registrada en la cota altitudinal correspondiente al piso descrito por ese registro.	Float
Tempo_max	Es un valor numérico de tipo flotante que corresponde a la temperatura máxima registrada en la cota altitudinal correspondiente al piso descrito por ese registro	Float
Descripción	Es un valor alfanumérico de tipo texto largo, que permite registrar la descripción del piso altitudinal correspondiente. En este campo se destaca la representación florística de cada piso altitudinal	Longtext
Imagen	Es un valor alfanumérico de tipo texto, que permite almacenar la ruta donde se encuentra la imagen representativa del piso altitudinal descrito	Varchar(100)

Tabla 6: Descripción de Variables de los pisos altitudinales

www.bdigital.ula.ve

TABLA DESCRIPTIVA

Descripción de los códigos para cada piso altitudinal.

NOMBRE	CODIGO
Desierto Periglacial (Zona Nival)	6
Páramo Desértico Altiandino (Zona Altiandina)	5
Pajonal Páramero (Páramo Andino)	4
Pastizal Páramero (Páramo Andino)	3
Timberline (Zona de Transición)	2
Selva Nublada Montana Alta (selva Nublada)	1

Tabla 7: Descripción de código para piso altitudinal.

Diseño Físico:

Para la construcción física de los datos especificados en el diseño lógico se utilizó MapServer que es nuestro servidor cartográfico, GvSIG, para

el tratamiento de los mapas (búsquedas, creación de MDT, selección de áreas, entre otras), OpenLayers como cliente ligero y el encargado de comunicarse con MapServer mediante una página Web, haciendo uso de JavaScript como lenguaje base; y Postgres para el almacenamiento de la base de datos ecológica que describe las características de cada zona.

4.2 Obtención de los Datos:

Luego que los datos son descargados de los sensores mediante el software BoxCar, estos datos son guardados en un documento de texto plano, que luego es abierto por *OpenOffice Calc*, para separar los datos en columnas: [mes día año temp40cm temp20cm temp10cm tempsup], en este paso se realiza el cambio de identificador decimal, ya que para el software *BoxCar* su identificador decimal corresponde al punto '.'; y para el procesamiento de los datos en Matlab corresponde a la coma ','.

Posteriormente hacemos uso de la herramienta Matlab en donde se desarrolló un programa (anexo1), que permite identificar máximos, mínimos y promedios diariamente, para luego ser separados mensualmente. Luego estos datos son nuevamente almacenados en *OpenOffice Calc* pero esta vez separados mensualmente, y allí se procede al cálculo de máximo y mínimo absolutos, así como el promedio absoluto mensual.

4.3 Obtención de los Gráficos:

Para los gráficos trabajamos con la herramienta Matplotlib, que es una biblioteca para la generación de gráficos, a partir de datos contenidos en listas o arrays en el lenguaje de programación *Python* y su extensión matemática *Numpy*

Instalación de la Herramienta:

1. Descargamos la herramienta matplotlib versión 0.91.4 de la

pagina

web

http://sourceforge.net/showfiles.php?group_id=80706.

Seleccionando según la versión de python instalada, en nuestro caso la versión de python instalada es 2.5

2. Una vez que se descomprima el archivo se instala de la siguiente manera:

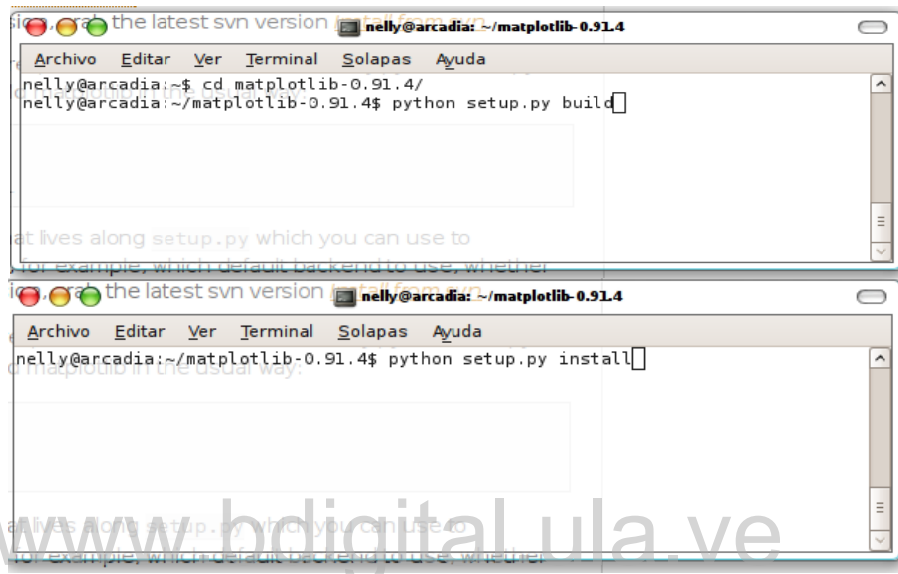


Figura 18: Instalación de Matplotlib 0.91

3. Luego se procede a instalar Numpy que es una librería que permite las operaciones de cálculo científico con Python, para instalar solo debemos descargar desde el repositorio de numpy http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=1369&package_id=175103. La versión utilizada para este proyecto fue la 1.2.1, y luego nos ubicamos en la carpeta contenedora del archivo para descomprimir e instalar de la siguiente manera:

```
-->tar -xzf numpy-1.2.1.tar.gz
```

```
-->cd numpy-1.2.1
```

```
-->python setup.py install
```

4. Para mayor facilidad del manejo del software se instaló una interfaces gráfica de usuario para el manejo de python, dentro de la gama de aplicaciones existentes se escogió SPE (*Stain*

Phyton Editor), que dentro de sus ventajas posee la autoindentación, autocompletación, color de sintaxis, palabras propias del lenguaje resaltados, entre otras ventajas. La instalación de dicha interfaz se realizó mediante la herramienta de añadir y quitar programas que se encuentra en el menú “Aplicaciones” en Ubuntu 8.04.



Figura 19: Agregar y quitar programas en Ubuntu

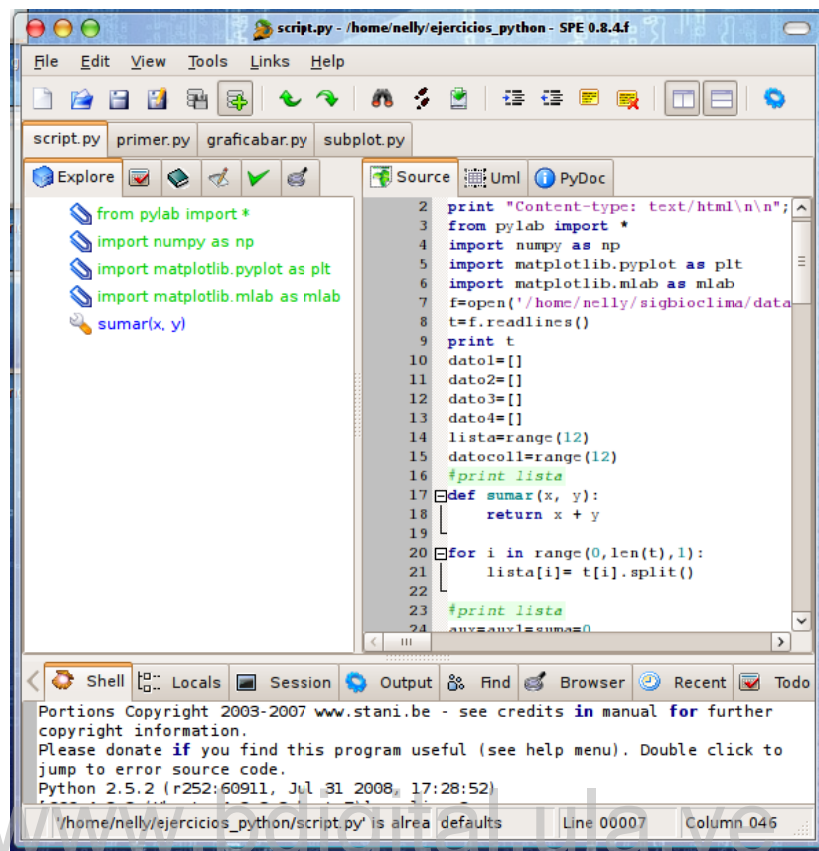


Figura 20: Interfaz Gráfica de Usuario para Python

5. Para generar los gráficos se desarrolló un programa (anexo 2) que permite leer los datos procesados mensualmente y generados en un documento de texto, que luego son procesados por el programa para generar la gráfica correspondiente.

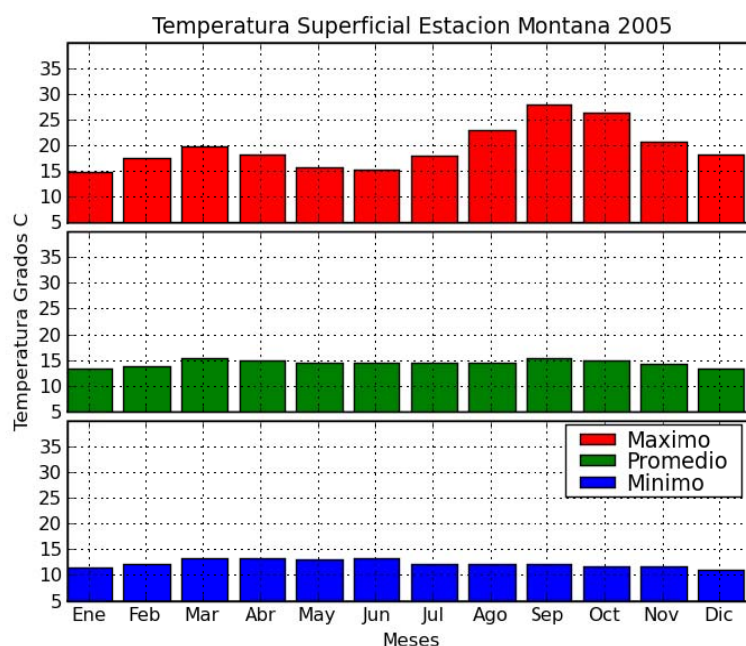


Figura 21: Gráficas obtenidas en el procesamiento de los datos

4.4 Obtención de los Mapas:

Se debe resaltar que el material cartográfico utilizado en este proyecto fue proporcionado por el Instituto de Fotogrametría, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes.

Para la obtención de los mapas necesarios para la presentación como Modelos digital de Elevaciones (MDE), se realizó el estudio de varias herramientas de carácter libre, y se concluyó en la utilización de gvSIG como herramienta básica para la obtención de mapas.

Con relación a lo antes expuesto se ha elegido a gvSIG como la herramienta a utilizar en el desarrollo de este proyecto. Por las razones mencionadas en el capítulo 2. Pero se debe dejar bien claro que por ser una herramienta joven en cuanto a su evolución se encuentra en continuas mejoras en su desarrollo por ello no se descarta la utilización de otra herramienta para casos específicos que se presenten, como es el caso de Qgis 1.0

Instalación de la herramienta:

Instalación de gvSIG

En la primera ventana de la instalación puede optar entre varias opciones. Cuando seleccione una opción el instalador comprobará que la máquina virtual que se ha establecido es válida, y en caso contrario le permitirá escoger otra forma de instalar.

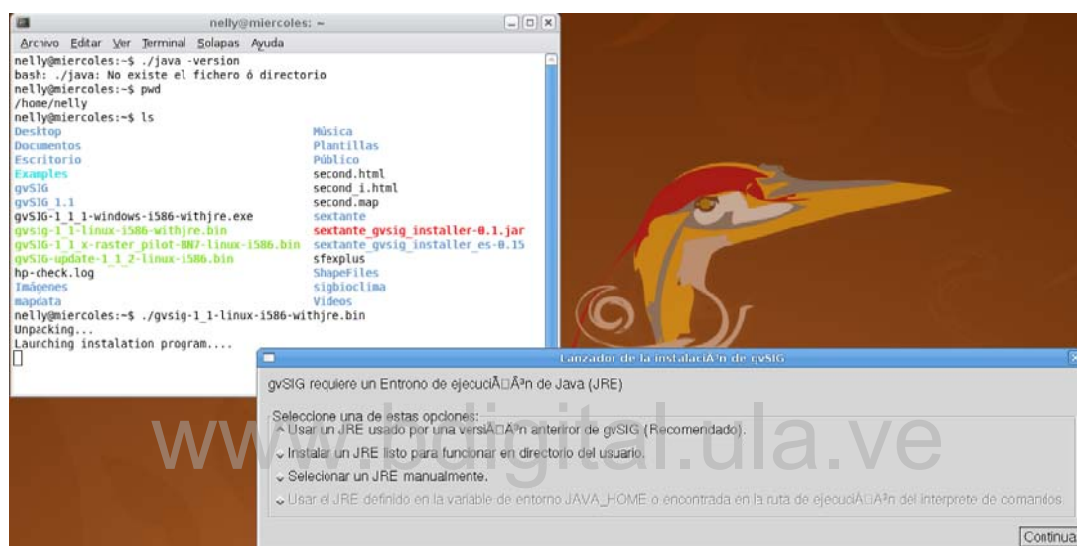


Figura 22: Instalando gvSIG 1.1.1

Seleccionamos el idioma de instalación:



Figura 23: Instalando gvSIG 1.1.1 - Selección idioma

Nos pide aceptar los términos de uso del programa:

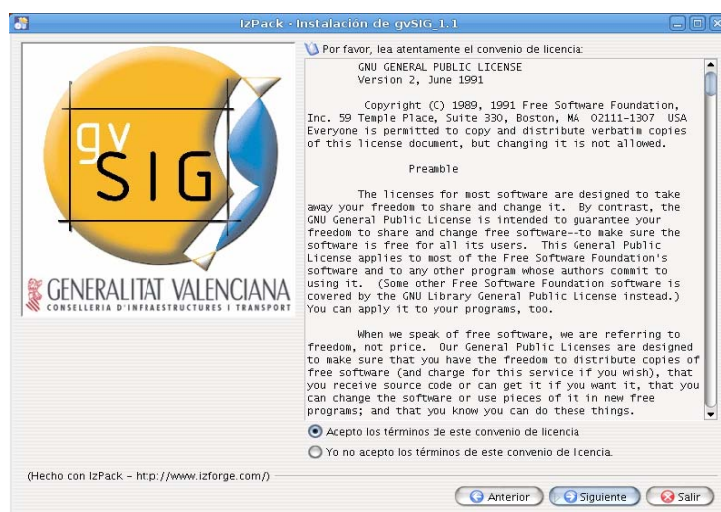


Figura 24: Instalando gvSIG 1.1.1 - Términos de uso del programa

Seleccionamos los paquetes a instalar:

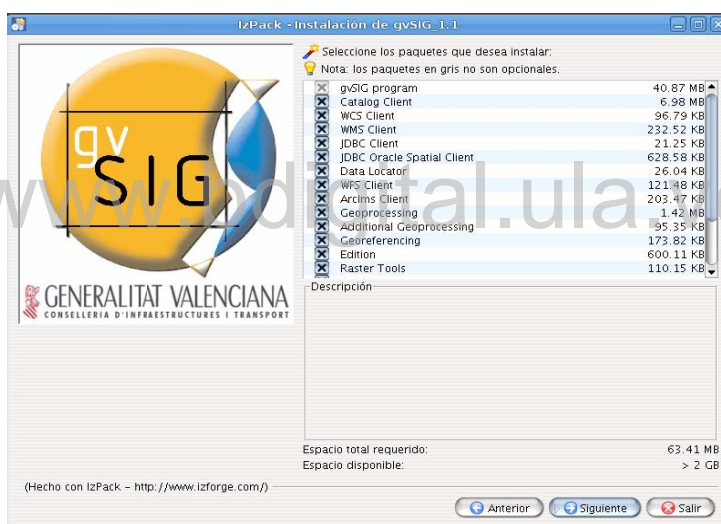


Figura 25: Instalando gvSIG 1.1.1 - Paquetes a instalar

Luego seleccionamos la ruta de instalación, para nuestro caso en `/home/nelly/gvSIG_1.1/`. Y por ultimo si la instalación fue exitosa obtendríamos el siguiente mensaje

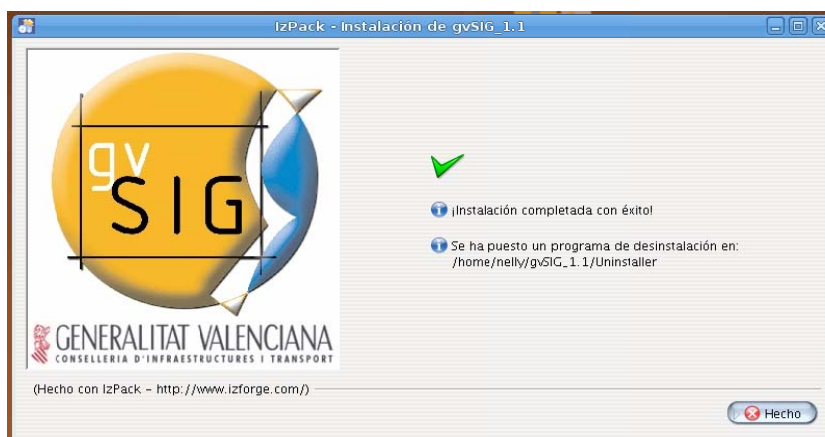


Figura 26: Instalando gvSIG 1.1.1 - Instalación exitosa

Instalación de la Actualización de gvSIG

Luego procedemos a instalar la actualización de gvSIG, la versión 1.2:

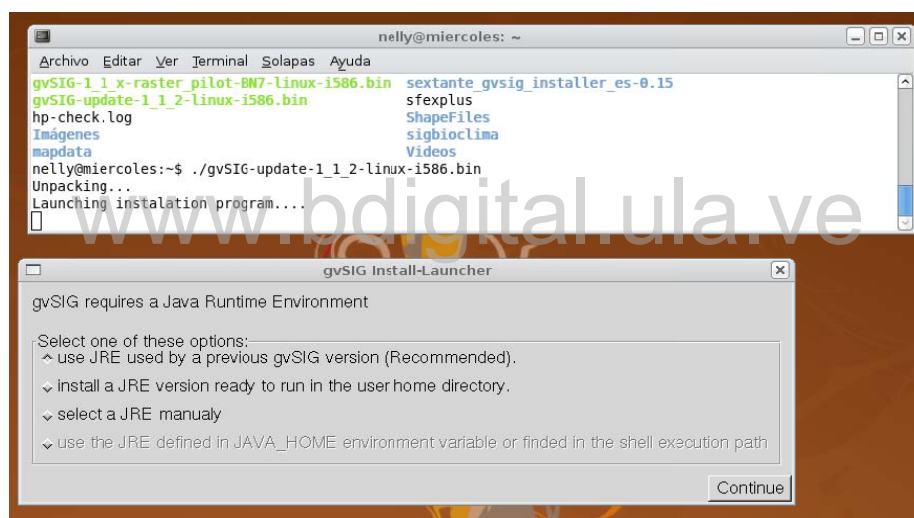


Figura 27: Instalando gvSIG 1.1.2 - Instalando actualización

Seguimos los pasos de la instalación, seleccionando el idioma de la instalación, después aceptamos los términos de uso de la actualización, después seleccionamos el paquete de la actualización y buscamos la ruta de instalación de la versión anterior como se muestra en la siguiente figura:



Figura 28: Instalando gvSIG 1.1.2 - Selección de paquetes y ruta donde se va a instalar

Pro último nos aparece el mensaje de que la instalación se realizó correctamente.

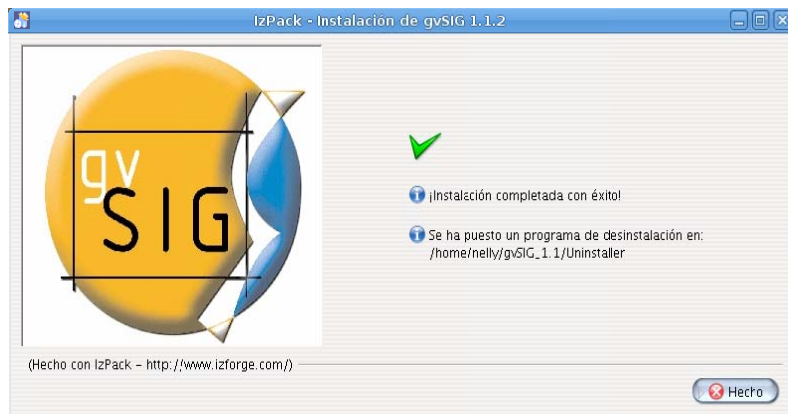


Figura 29: Instalando gvSIG 1.1.2 - Instalación exitosa

Instalación del Piloto Raster

Esta instalación es muy similar a las anteriores, se instaló la versión BN7 del mismo:

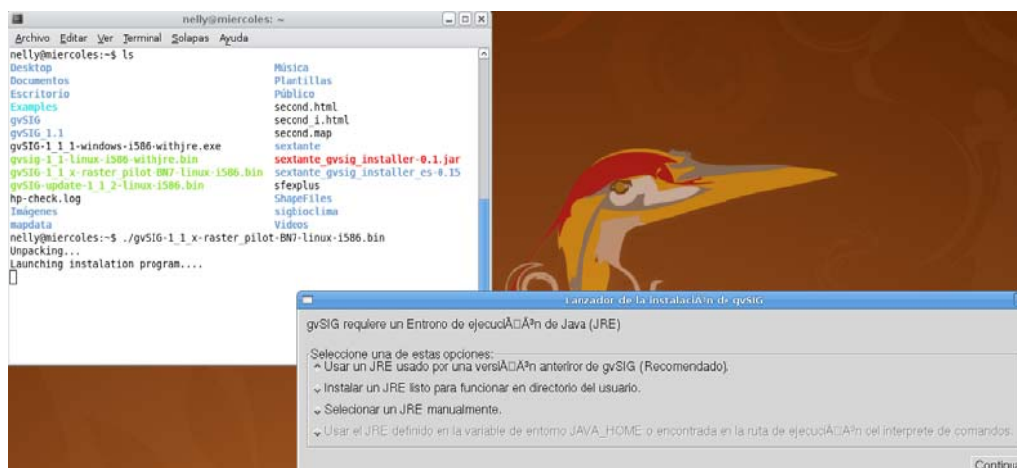


Figura 30: Instalando Piloto raster

Posteriormente seleccionamos el idioma, aceptamos los términos de la licencia, seleccionamos el paquete en cuyo caso únicamente es el piloto ráster, luego ubicamos el directorio donde se encuentre instalado gvSIG1.2, y final si la instalación se realizó correctamente aparece, la ventana que informa que la instalación se realizó con éxito, e indica la dirección donde se encuentra un programa para una futura desinstalación de la misma.

Instalación de Sextante:

Sextante es una biblioteca de algoritmos de análisis espacial de código libre, disponible en varios software de SIG, su objetivo es crear una plataforma que facilite tanto el uso como la implementación de estos algoritmos, actualmente se cuenta con 220 algoritmos, la versión que se instaló es la 0.1

Para su instalación se procedió a descargar de la página Web <http://www.sextantegis.com/> la versión estable del momento, para la instalación primero descargamos el archivo y luego se procedió a instalar con el comando indicado en la figura:

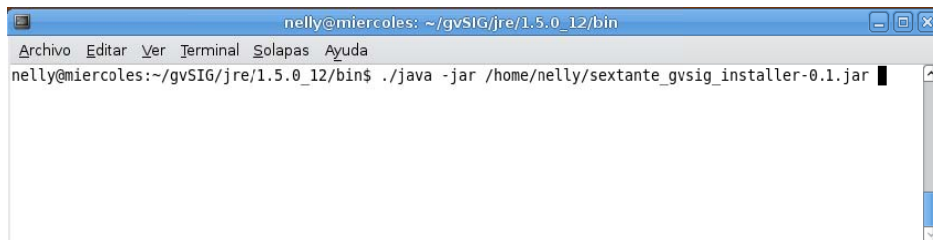


Figura 31: Instalando Sextante 0.1

Después seleccionamos el idioma para la instalación, luego aceptamos los términos de la licencia, tal cual indica la siguiente imagen:

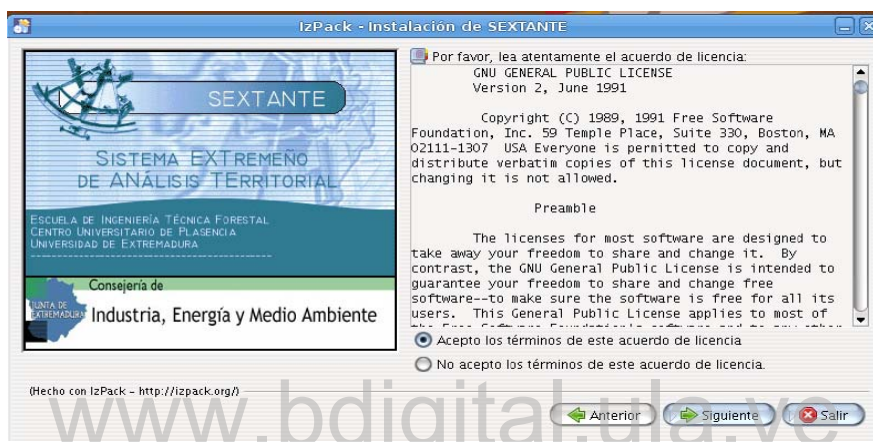


Figura 32: Instalando Sextante 0.1 - Condiciones de uso del programa

Luego ubicamos la ruta donde se instaló gvSIG, posterior a ello se comienza el proceso de instalación del paquete y si todo ha salido perfecto, deberá aparecer una imagen como la siguiente:

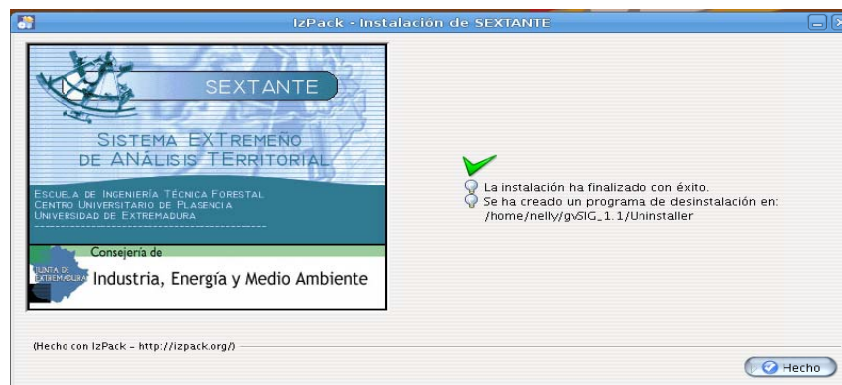


Figura 33: Instalando Sextante 0.1 - Instalación exitosa

Por último nuestro programa gvSIG ya cuenta con todas las herramientas necesarias para trabajar. Tal como se muestra en la siguiente figura.

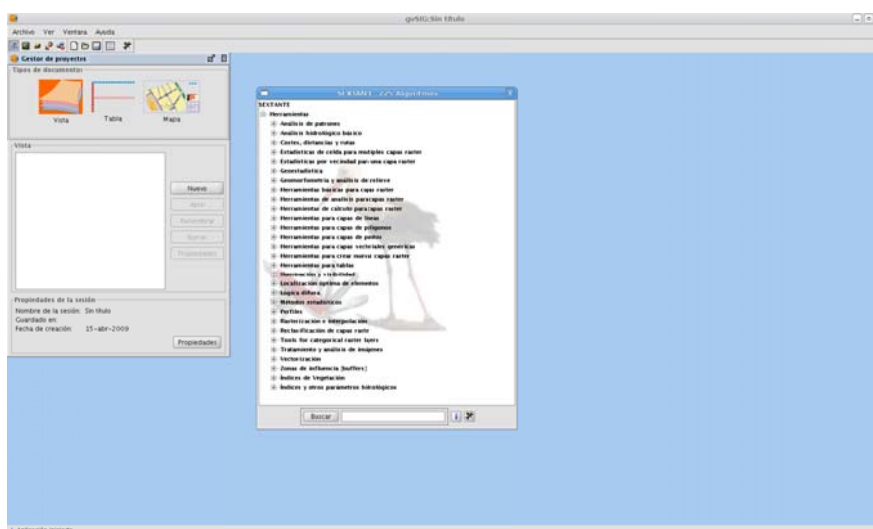


Figura 34: GUI de gvSIG 1.1.2

Generación del Modelo Digital de Elevaciones:

A partir de los mapas suministrados por el Instituto de Fotogrametría de la Facultad de Ingeniería:

1. Mapa de curvas de nivel medidas cada 40 metros desde los 1080 m.s.n.m. hasta los 5000m.s.n.m
2. Mapa de vialidad del Estado Mérida
3. Mapa de hidrografía del Estado Mérida
4. Mapa limite que contiene la región en estudio para este proyecto.
5. Mapa de vegetación, isotermas e isoyetas del estado Mérida.
6. Imágenes de satélite Landsat 7, entre otras.

A continuación mostramos una vista de los mismos desde gvSIG:

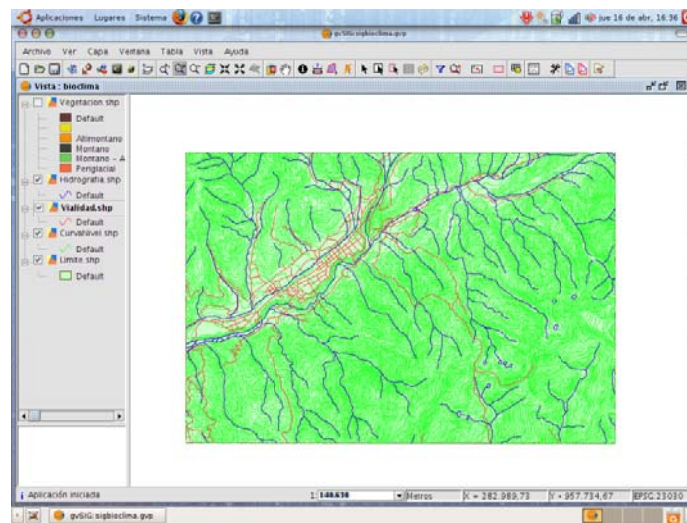


Figura 35: Mapas suministrados por el Instituto de Fotogrametría de la Facultad de Ingeniería

Como se mencionó al principio de este proyecto, también se utilizó el software Qgis 1.0 para algunas utilidades particulares, por ejemplo, cálculo de áreas, se trabaja con éste más por comodidad y elegancia a la hora de mostrar resultados que por cualquier otra razón de peso a considerar sobre los programas.

Por ejemplo para conocer nuestra área en estudio empleamos Qgis. Y podemos observar que el área de estudio es 389.65Km^2 .

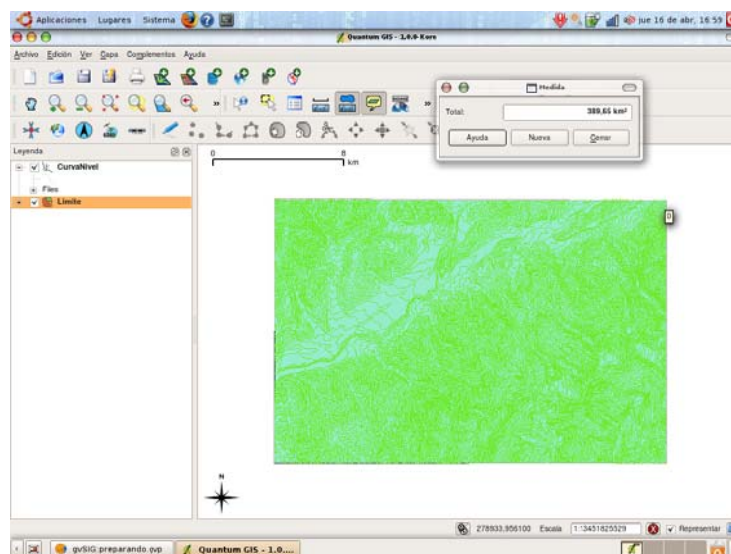


Figura 36: Mapas suministrados por el Instituto de Fotogrametría de la Facultad de Ingeniería

Ahora se va a desarrollar el procedimiento empleado para obtener el mapa digital de elevaciones.

1. Mostramos únicamente los mapas necesarios, para este caso límite y curvas de nivel. Luego abrimos sextante y nos ubicamos en el modulo de "Rasterización e Interpolación". Y utilizamos la herramienta "*Rasterizar capa Vectorial*".

Los valores que se modifican son:

En la pestaña de *parámetros* modificamos: Capa Vectorial: escogemos la capa curvas de nivel, en Campo: seleccionamos "Elevacio", los otros dos campos los dejamos igual, que permiten configurar donde guardar el resultado y mostrar la salida.

En la pestaña de *Salida Raster* modificamos: la extensión de salida y seleccionamos "Utilizar la extensión de otra capa" en este caso empleamos la capa "Limite", en la parte inferior modificamos el tamaño de la celda a "10" lo que implica que el tamaño del píxel equivale a 10 metros.

A continuación se presentan una imagen de las configuraciones descritas:

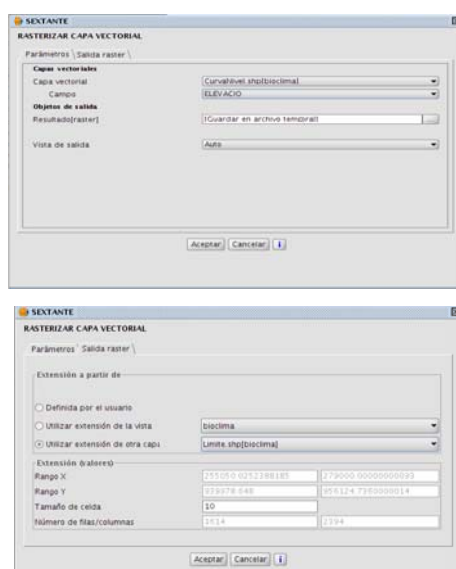


Figura 37: Valores asignados para rasterización de capas

2. Una vez aceptada estos valores se procede a la rasterización y se obtiene la siguiente imagen:

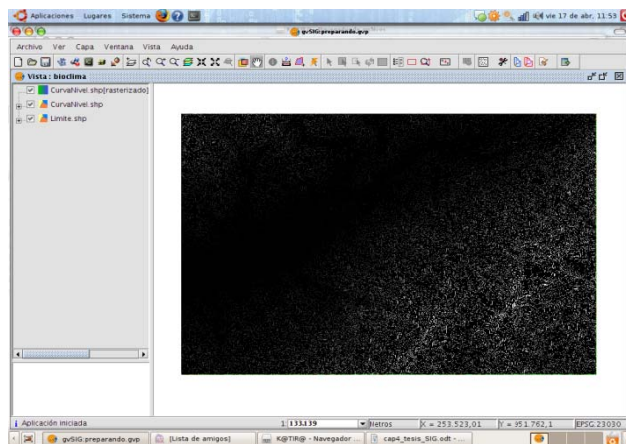


Figura 38: Salida de la imagen como capa raster

La capa nueva raster la tenemos en directorio temporal y se llama Curvas (rasterizadas).

3. Ahora vamos a la herramienta "Herramientas básicas para capas raster" y usamos la opción "Rellenar celdas sin datos por vecindad" porque el raster que se generó fué a partir de un vector de curvas de nivel, el cual tiene espacios "vacíos" que se interpretarían en el modelo de elevación como "huecos" u "hoyos" y obtenemos la siguiente figura cuyo nombre es Curvas (rasterizadas) (rellenas).

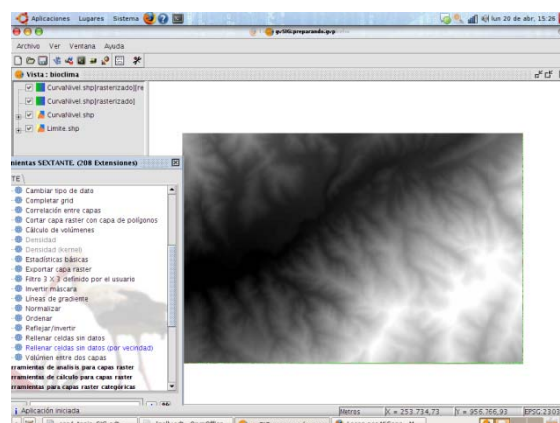


Figura 39: Salida de la imagen como capa raster después de rellenar celdas sin datos

En esta imagen ya se puede apreciar las zonas las claras (blanco) son las zonas más elevadas del mapa y las partes más oscuras (negro) las zonas con menos elevación.

4. Como siguiente paso creamos el mapa de iluminación y sombreado para dar un mejor efecto y poder apreciar las deprecaciones del terreno. Para dicho efecto seleccionamos la herramienta "Iluminación y Sombreado" y allí elegimos "Relieve Sombreado" aquí configuramos los siguientes parámetros: MDE que es la capa generada anteriormente, Método: es el método a elegir y se tienen 3 opciones Standard (por defecto), Standard (max 90°) y combinado, para nuestro caso dejamos la opción por defecto. Y obtenemos la siguiente imagen:

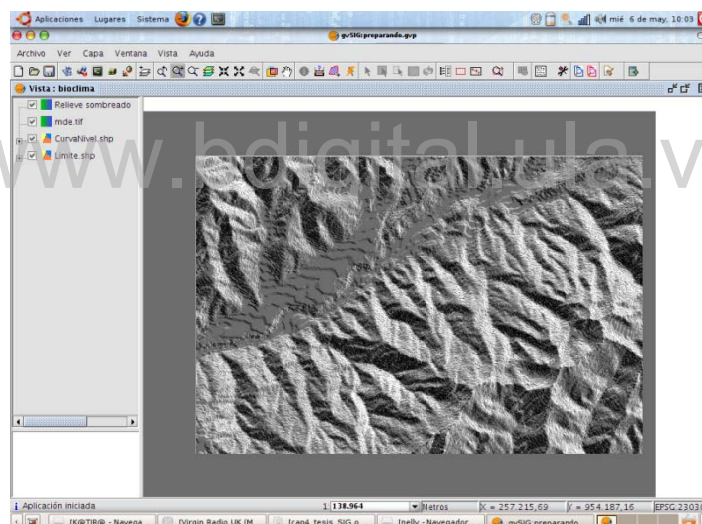


Figura 40: Salida de la imagen como capa raster después de aplicar iluminación y sombreado

5. Con esto se termina de crear el modelo digital de elevaciones, luego superponemos la imagen del satélite Landsat, que es otra imagen suministrada y nos da como resultado el siguiente mapa:

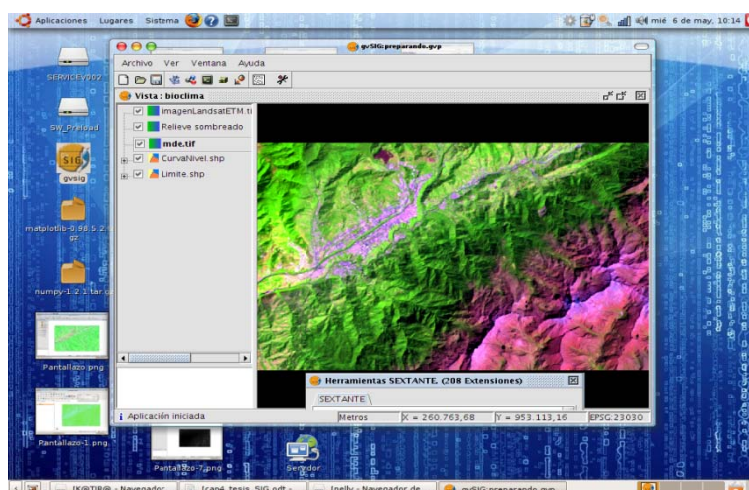


Figura 41: Superposición de la capa de imagen del satélite Landsat sobre la capa raster sombreada

4.5 Instalación y configuración de MapServer y Openlayer:

Para llevar a cabo esta actividad se procedió a instalar MapServer 5.0 desde los repositorios de Ubuntu 8.04.

www.bdigital.ula.ve

Para instalar MapServer debemos tener previamente instalado el servidor, para nuestro proyecto se instaló Apache Server 2.0 con soporte para php 5, y también instalamos php5 con soporte para Mapscript.

Los comandos utilizados para dichas instalaciones son los siguientes y en ese mismo orden.

- ***sudo aptitude install apache2***
- ***sudo aptitude install php5 libapache2-mod-php5***
- ***sudo /etc/init.d/apache2 start***

Luego se instala MapServer que es un entorno de desarrollo en código abierto (*Open Source Initiative*) para la creación de aplicaciones SIG en Internet/Intranet con el fin de visualizar, consultar y analizar información geográfica a través de la red mediante la tecnología *Internet Map Server* (IMS). Para su instalación sólo basta con usar los repositorios de *ubuntu*, tener instalado el servidor y luego ejecutar el siguiente comando.

- ***sudo aptitude install cgi-mapserver mapserver-bin mapserver-doc php5-mapscript python-mapscript***

Automáticamente el programa se instala en la misma ubicación del servidor y podemos comprobar que MapServer esta en funcionamiento ejecutando en un explorador la siguiente dirección: <http://localhost/cgi-bin/mapserv> y me envía una respuesta como la siguiente:

```
No query information to decode. QUERY_STRING is set, but empty
```

Lo que indica que la instalación fue satisfactoria.

Para la instalación y configuración de Openlayers, descargamos del sitio Web la versión estable, que para el momento es la 2.7, esta se descomprime y se copia en la capeta que posee el sitio Web “/var/www/”

Creación del Archivo MapFile:

El MapServer se caracteriza por tener un archivo de configuración denominado mapfile que tiene como extensión punto map (.map). Aquí se definen los datos a ser usados por nuestra aplicación como los siguientes: las capas, sus tipos, y su configuración; fuente de datos de origen y forma de servir los datos; leyenda y proyecciones cartográficas, y muchas otras configuraciones que se desean que se carguen al inicio. En fin el mapfile contiene información acerca de como se debe dibujar el mapa, y como presentar sus atributos.

La estructura de este archivo es la siguiente:

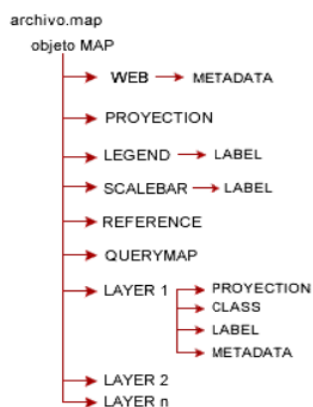


Figura 42: Estructura de un archivo Mapfile

Para la realización del proyecto el archivo .map utilizado tiene por nombre "*relieve.map*" y puede ser observado en el anexo 3.

Adicional a este archivo se creó otro archivo llamado *reli.map* que posee la misma estructura pero que únicamente muestra los pisos altitudinales, como se puede observar en el anexo 4.

4.6 Creación del Sitio Web.

El sitio web está constituido por un *frame* que contiene enlaces de tres (3) páginas Web. (top, lateral y principal)

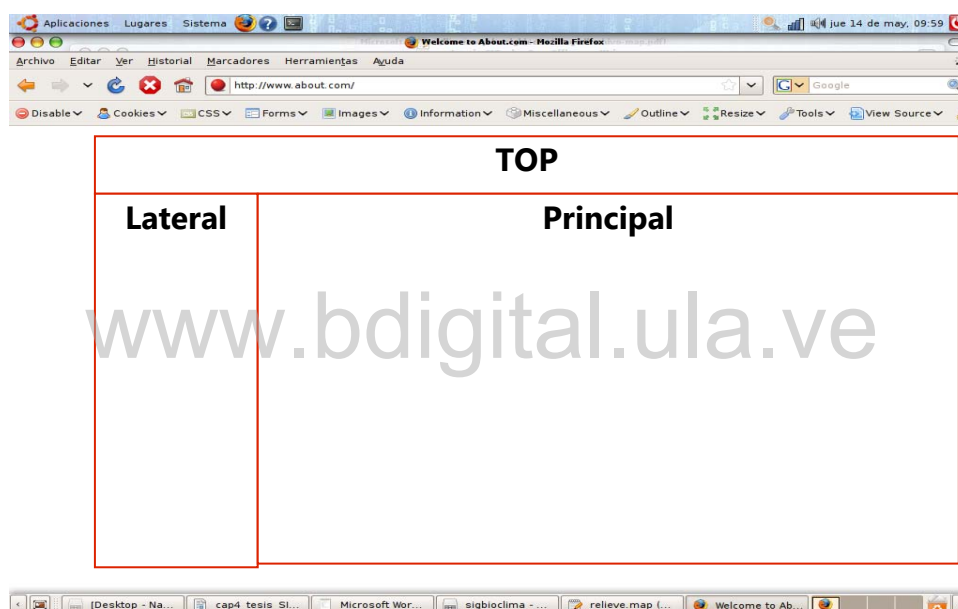


Figura 43: Estructura de sitio Web

Top:

Esta página contiene información relacionada a las instituciones que respaldan este proyecto, así como una composición de imágenes que son alusivas a la zona en estudio.

Las instituciones que se presentan son:

Universidad de Los Andes, que es la institución donde nace el proyecto y que cuenta con el *Centro de Microscopía Electrónica "Dr. Ernesto Palacios Prú"* que es la dependencia que lleva a cabo el registro de los datos

climáticos así como el estudio de variables biológica que se encuentran en la zona; también está el *Instituto de Fotogrametría de la Facultad de Ingeniería*, el cual proporcionó los mapas digitales de la zona en estudio, a nivel de: curvas de nivel, vegetación, isoyetas, isotermas e imágenes satelitales de la zona. *Postgrado de Computación de la Facultad de Ingeniería de Sistemas*, que es el ente formador de mi persona facilitando mi capacitación académica. *Centro Nacional de Desarrollo en Tecnologías Libres CENDITEL*, que es el ente co-financiador del proyecto, además de disponer de personal capacitado en la parte de geomática bajo herramientas de software libre.

Esta página se puede observar de la siguiente manera:

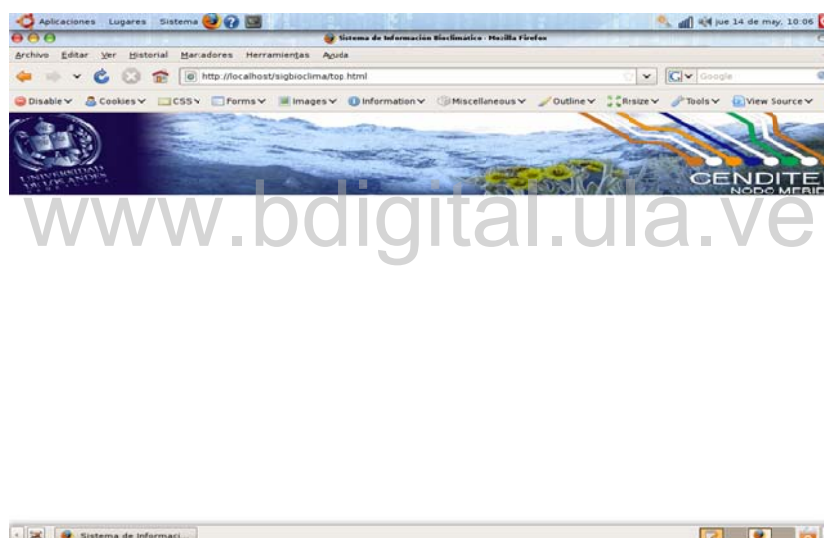


Figura 44: Contenido de Frame Top

El código HTML de dicha página se encuentra en el anexo 5

Lateral

Esta página contiene información sobre los pisos o fajas altitudinales descritos en el capítulo 2. Aquí el usuario selecciona un piso altitudinal y el sistema busca en una base de datos asociada, las características relacionadas a dicha faja, dentro de las características que se presentan tenemos:

- Temperatura Máxima y temperatura mínima de la zona.

- Altitud Máxima y mínima que incluye dicho piso altitudinal.
- Altitud a la que se encuentra el sensor que captura los registros del piso altitudinal.
- Descripción de la composición florística de la faja altitudinal. Lo cual permite describir los diferentes estratos que se pueden encontrar en la faja seleccionada, incluyendo la composición florística presentes en cada uno de ellos con el respectivo nombre científico de las especies vegetales.
- Conjunto de imágenes que permiten mostrar el ambiente o paisaje del piso altitudinal en estudio. Mostrando al usuario una recopilación de los diferentes paisajes del mismo piso altitudinal, donde se destacan características más relevantes de esta zona, permitiendo obtener un escenario que corresponde a los valores del piso seleccionado.

Esta página además presenta la opción de poder resaltar el piso altitudinal especificado sobre el mapa. Con el fin de poder identificar la estación climática que captura los datos de esa zona, y poder visualizar con más detalle la información climatológica que se presenta. Para ver el código fuente de esta página se puede observar en el anexo 6

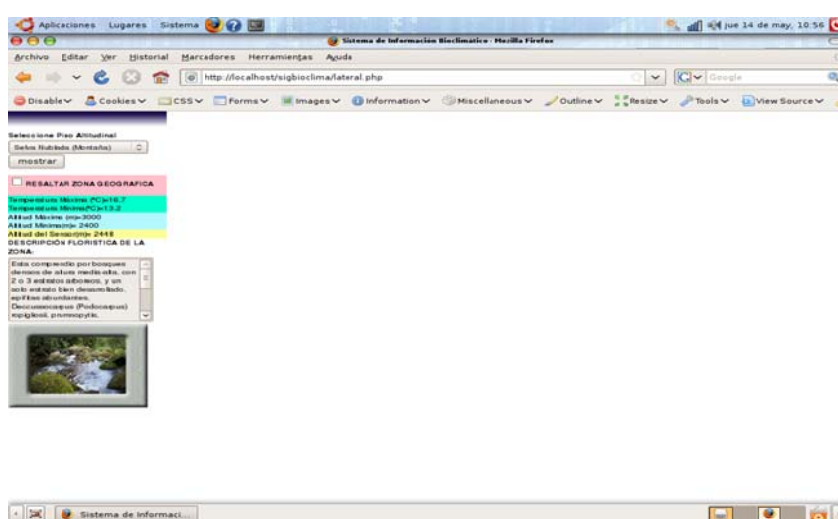


Figura 45: Contenido de la página lateral

Principal

En esta página se encuentra el corazón del proyecto, ya que sobre esta página es donde se invoca a MapServer para cargar el mapa según las descripciones hechas en archivo "relieve.map". También es aquí donde se invoca el cliente ligero OpenLayers que va a ser nuestro visor Web del mapa.

Como se dijo en el capítulo 2, openlayers esta basado de Javascript, por lo tanto esta página contiene todas las invocaciones del mapa en Javascript así como las llamadas a MapServer, también esta página recibe las solicitudes enviadas de la pagina que contiene lateral, para mostrar la zona geográfica del piso que se encuentra cargado para el momento.

Por otro lado encontramos las "*markers*" que son las banderas que permiten identificar en su posición exacta los sensores que se encuentran en nuestra zona en estudio, y es aquí mediante Javascript que se programa la visualización de los datos procesados según año y piso altitudinal.

Gracias a OpenLayers podemos observar todas las capas temáticas que se pueden visualizar de la zona, permitiendo ver hidrografía, vialidad, las estaciones climáticas, y los pisos altitudinales. Además de poder observar la escala y la posición del cursor.

Para observar en su conjunto el *frame* sólo basta invocar a dichas paginas desde el index.php (anexo 7) y en el anexo 8 se encuentra el código fuente de la página principal. La visualización del proyecto se muestra de la siguiente manera:

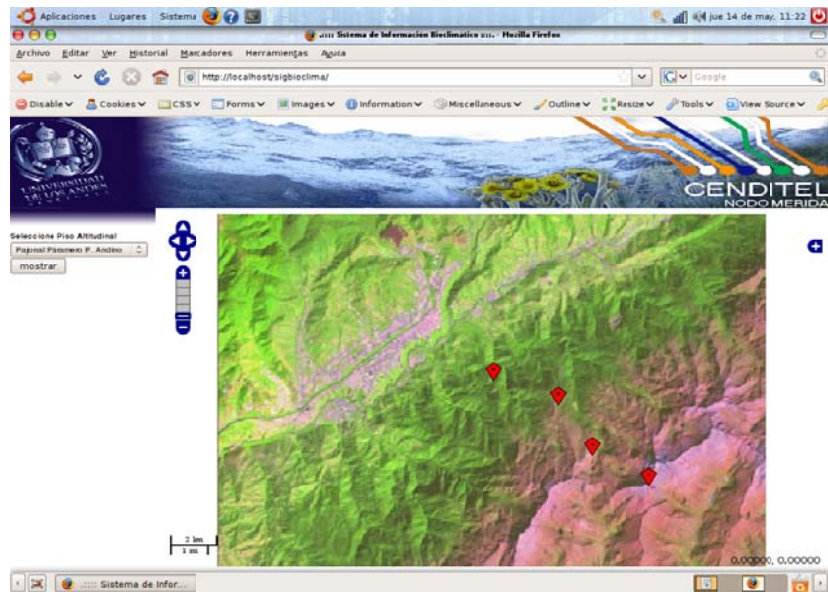


Figura 46: Contenido de la página principal

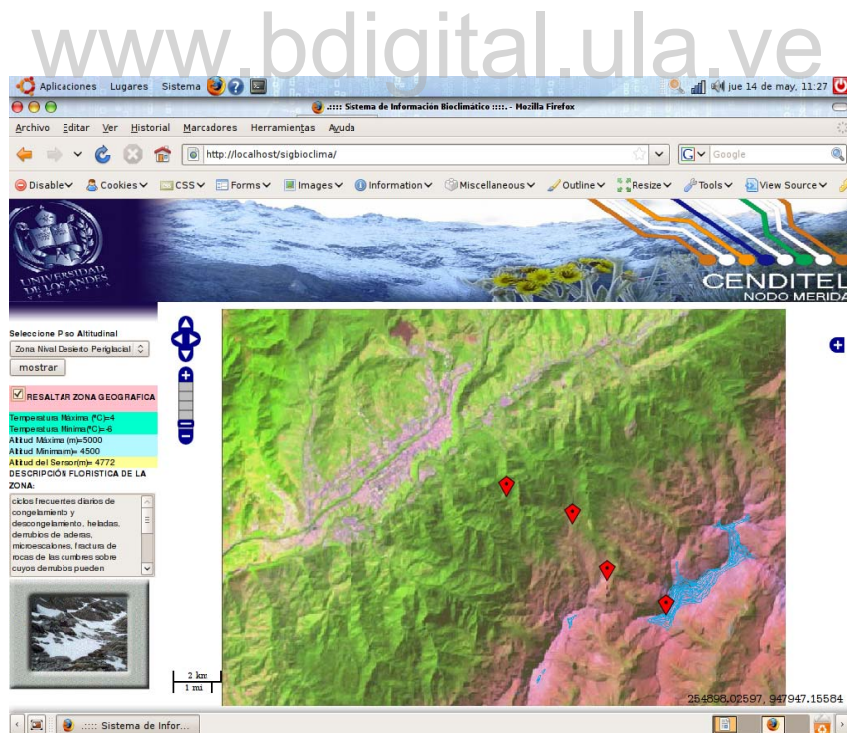


Figura 47: Vista completa del SIG

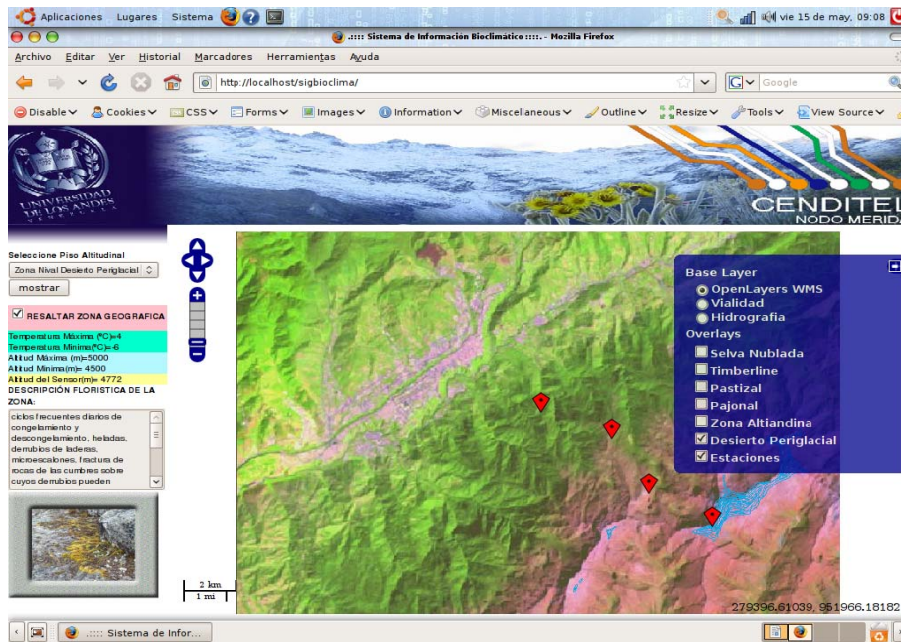


Figura 48: Vista completa del SIG

www.bdigital.ula.ve

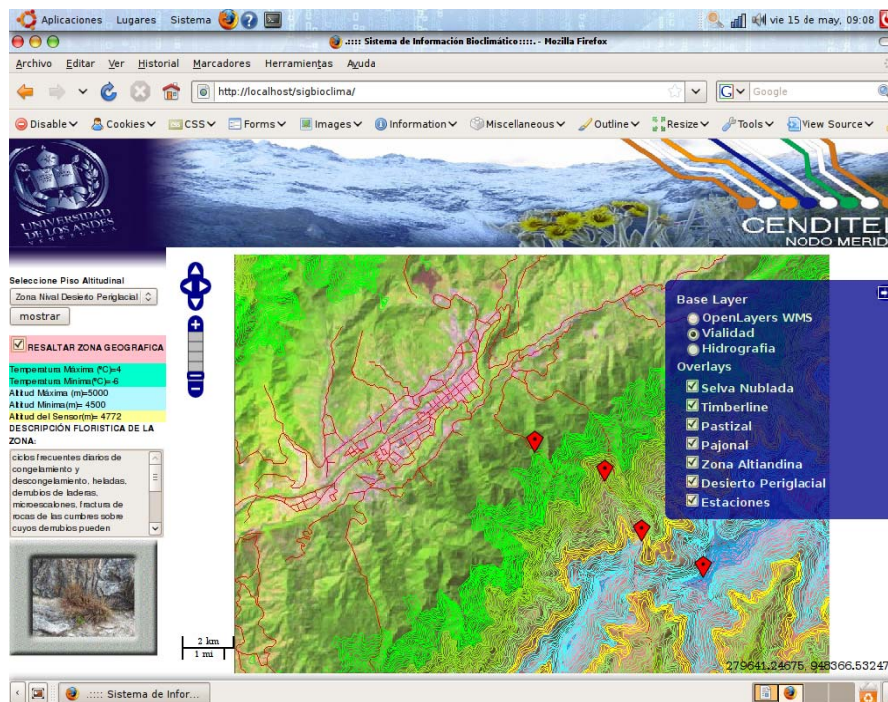


Figura 49: Vista completa del SIG

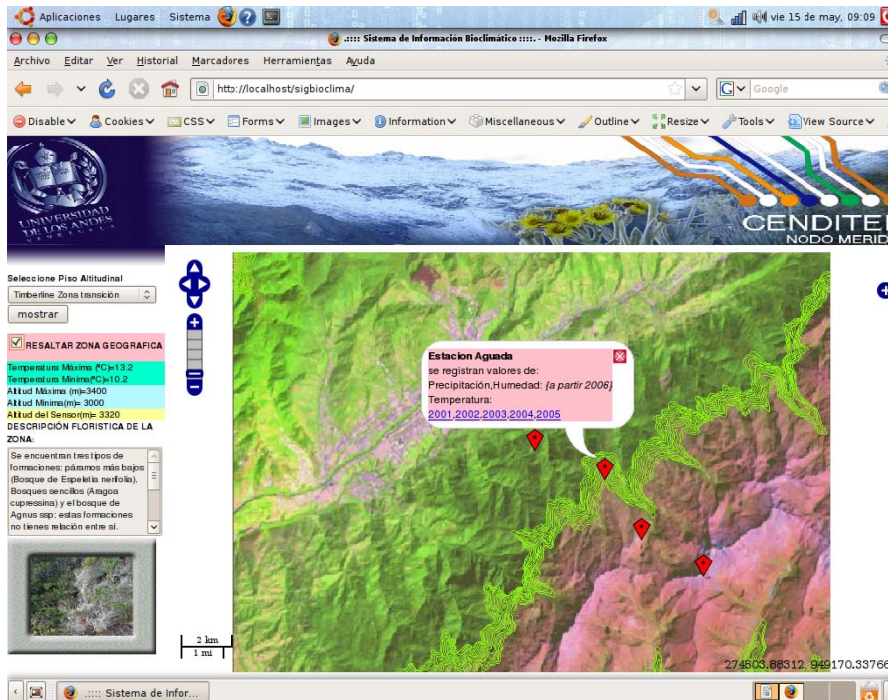


Figura 50: Vista completa del SIG

www.bdigital.ula.ve

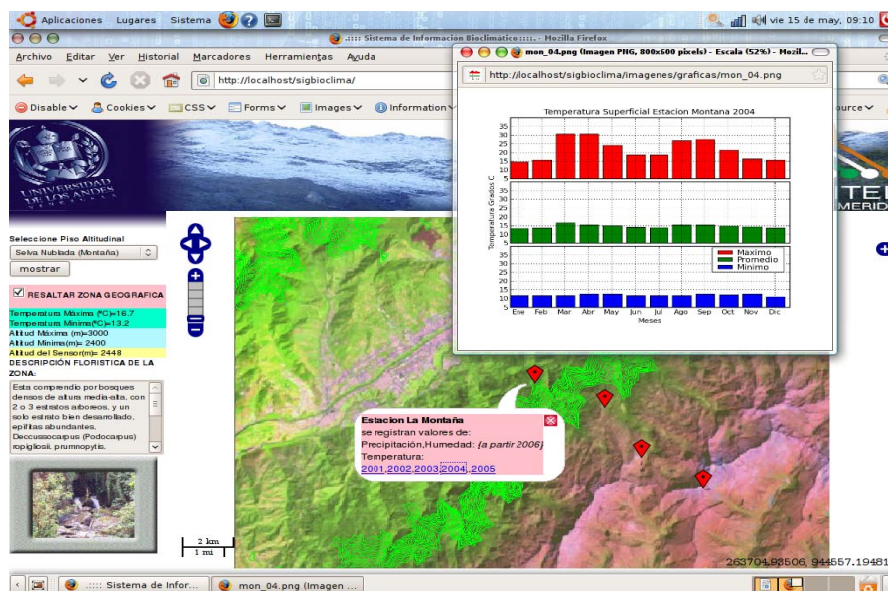


Figura 51: Vista completa del SIG

Discusión

Con base a las observaciones y los datos obtenidos de la Red Bioclimática del Centro de Microscopía Electrónica “Doctor Ernesto Palacios Prù” de la Universidad de Los Andes (CME-ULA), Mérida, Venezuela, pudimos construir un Servidor de Mapas vía Web, mediante la cual es posible informar resultados climatológicos, por ejemplo: temperaturas actuales superficiales, mediante gráficos anuales, información que es posible ofrecer ya que el CME dispone de más de 5 años de registros climáticos de la zona. Cabe destacar que dicho software permite además Informar al usuario sobre las diferentes fajas ecológicas según los pisos altitudinales, entendiendo como faja, el conjunto de especies con características morfológicas y fisiológicas similares que constituyen respuestas adaptativas al efecto que ejercen sobre ellas las condiciones climáticas de la zona.

www.bdigital.ula.ve

Además este sistema permite mostrar las características mas relevantes de cada faja ecológica como: temperaturas máximas y mínimas de la zona, altitud máxima y mínima de la misma, una descripción de la faja altitudinal, lo cual permite describir los diferentes estratos que se pueden encontrar en la misma, incluyendo la composición florista presentes en cada una de ellos con el respectivo nombre científico de las especies vegetales. También se puede mostrar un conjunto de imágenes que visualizan el escenario ambiental presente en dicha zona, revelando al usuario una recopilación de los diferentes paisajes del mismo piso altitudinal, donde se destacan las características más relevantes de esta zona, permitiendo visualizar un escenario que corresponde a los valores del piso seleccionado.

Por su parte en la actualidad el Centro Nacional de Cálculo Científico de la ULA (CeCALCULA) y la EcoREd-Venezuela (Contreras y Col., 2008) han venido trabajando en el diseño y operación de una plataforma para el manejo de

datos provenientes de proyectos de investigación ecológica a largo plazo. *Redbc* (<http://www.cecalc.ula.ve/redbc/>), con el fin de obtener un sistema de Manejo Centralizado de Datos, además de presentar información relevante sobre los datos, lo que comúnmente se conoce como "metadatos". Este proyecto se ha desarrollado haciendo uso de la herramienta Google Earth (<http://earth.google.es/>), por lo tanto es obligatorio tener instalado este software para luego ejecutar el archivo contentivo de la localización de las estaciones climáticas del proyecto. Es de resaltar que dicho archivo no se encuentra disponible, por lo que no puede ser mostrada la información referida a las estaciones. Sin embargo en esta página puede observarse un "link" que permite descargar la información sobre los registros climatológicos, en formato texto.

Es necesario señalar que la información que se muestra en el sitio de Redbc es muy insuficiente sobre la parte biológica, es decir, sobre estratificación de la vegetación, composición florística y escenarios ambientales, entre otras.

Otro punto que es importante resaltar como valor agregado a este proyecto, es la incorporación de varias capas temáticas que permiten mostrar al usuario una clasificación de la vegetación presente en los bosques de alta montaña, como son los de esta zona en estudio; siendo posible seleccionar mediante simples "clicks" los pisos vegetales así como la hidrografía y/o vialidad presente en la zona geográfica correspondiente. Además de poder observar su ubicación geográfica, brindando una visión en conjunto del efecto del cambio climático regional, como una consecuencia tanto del cambio climático global, como de las propias acciones del hombre sobre el medio ambiente andino.

Este proyecto también es de gran utilidad para ecólogos que deseen conocer el desplazamiento altitudinal de las especies, dependiendo de las variaciones a largo plazo de la temperatura; así como sus contribuciones a dicho sistema, identificando posibles nuevas especies que se encuentren dentro de la

clasificación de estos pisos altitudinales, permitiendo informar y prevenir la extinción de muchas de ellas.

Otro aporte de este sistema, que es de gran relevancia para este proyecto es su versatilidad a la hora de querer modificar, agregar y/o eliminar nuevas estaciones climatológicas que permitan mostrar mediante gráficos los datos climatológicos obtenidos, así como otras variables que sean de interés en relación con el clima. Ofreciendo una herramienta tecnológica para la interpretación de información climática, que puede ser utilizada en cualquier región del país y con toda libertad de uso y modificación.

Por último y no menos importante, es el desarrollo de la aplicación basada en software libre, permitiendo impulsar las políticas de producción de sistemas de información y comunicación haciendo uso de estándares abiertos, lo cual permite minimizar el bajo porcentaje de aplicaciones informáticas basadas en software libre, que se adapten a la capacidad de visualización e información relacionadas con el efecto del clima sobre uno de los pulmones vegetales más importantes de la región andina. Además de fomentar el uso de software libre en Venezuela tanto en Universidades y Sector Público como lo expresa el decreto 3390 publicado por el Poder Ejecutivo Nacional en diciembre de 2004, gaceta N° 38095.

Como valor agregado podemos mencionar la disponibilidad de un software de dominio público para el manejo de datos climatológicos de cualquier zona geográfica. Así como servir de base de información para sistemas de Información Geográficos (SIG) de cualquier red bioclimática de montaña.

Cabe destacar que no se logró culminar el tercer objetivo específico sobre la realización de los modelos matemáticos que describan las variaciones térmicas de cada faja ecológica sobre respuestas metabólicas de síntesis de clorofila, productividad biológica y fijación de nitrógeno. Debido al difícil acceso a la zona en estudio para la recolección de muestras de suelo que nos

permitan relacionar las variables físicas como temperatura y altitud con las respuestas metabólicas por cada piso altitudinal.

Cuando hablamos de redes climatológicas siempre esperamos encontrar información que nos permita o nos oriente hacia comportamientos futuros en cuanto al clima en la región estudiada. En este estudio una de las metas próximas a ser evaluadas y que no fue tomado en cuenta, ya que los datos que se tienen hasta el presente no son continuos a la largo de los años y tampoco se cuenta con el mismo patrón de mediciones de las mismas variables, lo cual genera una data poco homogénea en cuanto a registros por piso altitudinal. También cabe resaltar las fallas de los sensores, ya sea motivado a fallas técnicas de los mismos, condiciones accidentadas del terreno, por lluvias, animales, y factores como, paralización del sistema de transporte (actividades del teleférico) entre otras causas. Además de contar con un volumen de datos muy bajo para hacer predicciones, tal como lo señala Quintana (2001) en su libro "Cambios climáticos en Suramérica", quien especifica que para hacer aproximaciones aceptables se debe contar con un mínimo de 15 años de registros.

CAPITULO V CONCLUSIONES

Los fenómenos climáticos son fenómenos geo-espaciales complejos que varían grandemente en magnitud y frecuencia, y que pueden afectar a los seres humanos, ocasionar daños a la infraestructura, a las actividades socioeconómicas, y en ocasiones incluso a los ecosistemas. Dentro de la concepción de los SIG y su gama de aplicaciones, esta plataforma ha sido creada para estudiar y visualizar las condiciones climáticas del Parque Nacional Sierra Nevada de Mérida específicamente la cara Norte del Pico Bolívar, con el fin de informar y conocer las condiciones cambiantes del clima de nuestro pulmón vegetal más importante.

Hay que tener en cuenta que el mundo de la información geográfica vive un momento de transformación, revolución y evolución. Desde la promoción de las IDE (Integración de Datos Geográficos) como espacio tecnológico para trabajar con estos datos y los estándares de interoperabilidad, la mayoría de proyectos de este sector están invirtiendo esfuerzos en la transformación que les lleve al correcto funcionamiento y eficacia en esta dirección. Fruto de esta evolución, recientemente se ha creado una fundación llamada "*Open Source Geospatial Foundation*" (OGF) cuya misión es velar por los estándares internacionales además de apoyar y crear software SIG libre de alta calidad*. Por lo tanto a pesar de las diferencias y especificidades de este sector, se

* Página oficial de la OGC. <http://www.opengeospatial.org/ogc>

CAPITULO V: CONCLUSIONES

podría esperar para ellos un futuro tan positivo como el resto de software libre, que se encuentra en plena expansión.

Aunque los SIG más usados y desarrollados sean software propietario, hay cada vez más SIG o componentes para SIG, que se distribuyen bajo licencias libres y que comienzan a crear un “ecosistema” de software libre para SIG, participando en este movimiento: Organizaciones Universitarias (primera fuente de software libre), entidades comerciales, y por supuesto individuos que forman grupos de desarrollo a través de la red.

Es de resaltar la labor de organizaciones que se encuentran involucradas apoyando y fomentando la creación y desarrollo de software bajo plataformas libres en toda Venezuela, como son el caso de CEDITEL, CNTI, SOLVE, ASL, y todos esos grupos de personas que se encuentran agrupados en listas y foros aportando sus conocimientos para que el software libre sea cada vez mas de todos los venezolanos y podamos adaptarlo a nuestras necesidades sin restricciones de propiedad y/o adaptabilidad.

REFERENCIAS

- AESIGT (1993). *Diccionario glosario de términos SIG*. Madrid.
- Alvarez, J., Aguilar, J. Y Terán, O. (2008). Metodología para el Desarrollo Colaborativo de Software Libre: en Experiencias desde CENDITEL, Vol 1, Ediciones Fundacion CENDITEL, 85 pág., Mérida - Venezuela.
- Alvarez, J., Abrahan B., Terán, O. Y Aguilar, J. (2006). Metodología de la Fabrica Nacional de Software libre, Fundacite, Mérida.
- Andressen R. y Ponte R., 1973. Climatología e Hidrología. Sub-proyecto N° 11. Estudio Integral de Cuencas del los ríos Chama y Capazón. Universidad de Los Andes, Mérida, 135 pp.
- Aronoff, S.(1995) *Geographic Information System a Management Perspective*. 4ta. Ed. Ottawa, Canadá, WDL Publication.
- Ataroff, M., (2003). Selvas y bosques de montaña. En: Biodiversidad en Venezuela (M. Aguilera, A. Azocar y E. González, Eds.), Fundación Polar, Caracas, Tomo 2, pp. 762-810.
- Azocar, A. y Fariñas, M., (2003). Paramos. En: Biodiversidad en Venezuela (M. Aguilera, A. Azocar y E. González, Eds.), Fundación Polar, Caracas, Tomo 2, pp. 716-733.
- Barredo, J. I.(1996) *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio*. Madrid, RA-MA Editorial.
- Barrios, J. (2006). Apuntes de clase, Desarrollo de Software. Maestría en Computación.
- Barry R. G., 1992. Mountain climatology and past and potential future climatic changes in mountain regions: a review. *Mt. Res. Dev.* 12: 71-86
- Beck. K. (2004). *Extreme Programming Explained: Embracing Change*, Second Edition, Addison Wesley.
- Bosque, S. J., (1992). Sistema de información Geográficos, Madrid, Ed. Rialp, Capitulo 1.
- Briceño, B., Morillo, G. (2002). Catálogo abreviado de las plantas con flores de los páramos de Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica* 25, 1-46.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Burrough, P. (1987). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford. NewYork-EEUU. 191 p.
- Caldeweyher D., Zhang. J. y Pham B., (2006). "OpenCIS—Open Source GIS-based web community information system". International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, No. 8, p.885-898.
- Castrogiovanny E.M., La Loggia G., Noto L. V., (2005). Design storm prediction and hydrologic modeling using a web-GIS approach on a free-software platform. Atmospheric Research, 77, pp. 367-377.
- Chorley, R. J. (1987). NUEVAS TENDENCIAS EN GEOGRAFÍA. Instituto de estudios de administración local, Madrid (España), 506 p.
- Christensen O.O., (1999). Relaxion of soil variables in a regional climate model. Tellus, 51A, 674-685.
- Conesa-Garcia, C. (1996). Áreas de aplicación medioambiental del los SIG: Modelización y avances recientes, Universidad de Murcia en papeles de geografía, ISSN: 0213-1781, N° 23-24, pags. 101-116.
- Contreras, H. Y., Mendez, Z., Torrens R., Nuñez L. (2008). "Desarrollo de la Red Bioclimatica del Estado Mérida, Venezuela: Estrategias de Captura, manejo y presentacion de datos ambientales". Inter ciencia Vol. 33, N. 11.
- De Abreu, D. (1996). "Desalento e esperança ne experiencia portuguesa de ulilizaçao dos sistema de informaçao geografica". *Portugal y España: Ordenación del territorio*. Cáceres, Universidad de Extremadura, pp. 77-85.
- Dodson, R.F.; D.P. Turner. (1996). USING GIS TO ENABLE DIAGNOSTIC INTERACTION WITH ASPATIALLY DISTRIBUTED BIOGEOCHEMISTRY MODEL. Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling CD-ROM (NCGIA), Santa Fe, New Mexico, USA, January 21-25, 1996.
- ESRI (1998). *Understanding GIS: the ARC/INFO method*. Redlands, Esri.
- Felicísimo Pérez, A. M. et al. (2001): ELABORACIÓN DEL ATLAS CLIMÁTICO DE EXTREMADURA MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. GeoFocus (Artículos), nº 1, p. 17-23.
- Fyfe, J. C., Flato, G. M., (1999). Enhanced climate change and its detection over the Rocky Mountains. J. Climate 12, 230-243.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- García, N., 2004. Desarrollo e implementación de un sistema experto para la predicción del clima asociado a posibles escenarios ambientales en el Parque Sierra Nevada de Mérida. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, p. 94.
- Giorgi F., B. Hewitson, et al. (2001). Regional Climate Information - Evaluation and Projections, 10, 587-628.
- Goizueta J. (1993). Bases de Datos Geográficos. ECAS Técnicos Asociados S.A. p.p. 4-19.
- González B., J. M.; Pascual, J. S. y Robles, G. (2007). Introducción al software Libre. Disponible en
- Hennessy, K.J. (1998). Fine-resolution climate change scenarios for new South Wales. Annual report 1997-1998, research undertaken for the New South Wales Environmental protection Authority. 48 pp.
- Hendrick, J., (2002). "Aplicaciones de un Sistema de Información Geográfica para el control de calidad de la ubicación de las estaciones meteorológicas y la recuperación digital de información en mapas de temperatura del mar", Trabajos de Investigación CNDG-Biblioteca, Instituto Geofísico del Perú. Volumen 3, p.p. 105-114.
- Huber, O., Alarcón (1988). Mapa de la vegetación de Venezuela, escala 1:2.000.000, BIOMA, MARNR, y The Nature Conservancy, Caracas.
- IGAC (1996). Guía Metodológica para la Formulación del Plan de Ordenamiento Territorial Urbano. Aplicable a Ciudades.
- Jacobi, G. C., D'Arrigo, R., 1997. Tree rings, carbon dioxide, and climatic change. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 94 8350-8353.
- Kato, H., et al, 2001, Performance of the RegCM2.5/NCAR-CSM nested system for the simulation of climate change in East Asia caused by global warming, J. Met. Soc. Japan (in press).
- Kruchten P. (2000). "The Rational Unified Process: An Introduction", Segunda Edición p.p 320.
- La catedral y el Bazar (busqueda diciembre 2008) disponible en [On Line]
<http://curso-sobre.berlios.de/introsobre/>
<http://www.biblioweb.sindominio.net/telematica/catedral.html>
<http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/ceniaphoy/index.htm>
<http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/ceniaphoy/index.htm>
http://www.creaf.uab.es/MIRAMON/new_note/esp/news/confibsig/confibsig03.doc

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Lajara-Montesinos, M. y Sanz-Salinas, J. (2007). "Panorama actual del ecosistema de software libre para SIG". Prodevelop SL, Conde Salvatierra de Álava, 34-10, 46004, Valencia.
- Lamarche V., 1984, Increasing Atmospheric Carbon Dioxide: Tree Ring Evidence for Growth Enhancement in Natural Vegetation, *Science*, 225.1019-1021.
- Lauer, W. (1979). El medio ambiente páramo. En: L. Salgado (Ed.), *La posición de los páramos en la estructura del paisaje de los Andes tropicales*, Ediciones Centro de Estudios Avanzados IVIC, Caracas, pp. 29-45.
- Leung, L. R., Ghan, S. J. (1998). Pacific Northwest climate sensitivity simulated by a regional climate model driven by a GCM. Part I: Control simulations. *J. Climate* 12, 2010-2030.
- Liu J. (2009). "A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations". *Environmental Modelling & Software*, Vol. 24, p.p. 411-422.
- Luteyn, J. L. (1999). Páramos. A checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature. *Mem. New York Bot. Gard.* 84, 1-278.
- Machenhauer, B., et al. (1998). Validation and analysis of regional present-day climate and climate change simulations over Europe. MPI Report No. 275, MPI, Hamburg, Germany.
- Marcano, V., Balza, A., Garcia, N., Matheus, P., Durán, F., J., Navarro-González, R., McKay, C. P., Davis, W., Palacios-Pru, E. (2004). Physical and chemical factors affecting ammonification and nitrification at the tropical Andean high mountain. *Arctic, Antarctic and Alpine Research Journal* (in press).
- Malcon B., Megías, D. y Pérez-Navarro A. (2007). "Software Libre y Sistemas de Información Geográfica: Conceptos, Definiciones y Aspectos Legales" en *Actas de las I Jornadas de SIG Libre*. Universidad de Girona. 5-7 Marzo.
- Megías, D.; Pérez-Navarro, A. y Bain, M. (2007). "Introducción al software libre en general y los SIG libres en particular" en *Actas de las I Jornadas de SIG Libre*. Universidad de Girona. 5-7 Marzo. ISBN: 978-84-690-3886-9.
- Merwade V., Cook A. Y Coonrod J. (2008). "GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- mapping". *Environmental Modelling & Software*, Vol. 23, Issues 10-11, p.p. 1300-1311.
- Monasterio, M. (1980). En: *Estudios ecológicos en los páramos Andinos*, Ediciones Universidad de los Andes, Mérida - Venezuela, pp. 94-157.
- Montilva, J. (2004) *Desarrollo de aplicaciones empresariales: El Metodo WATCH*, Mérida-Venezuela, disponible [On Line] <http://www.software.net.mx>
- Moreno-Sanchez, R., Anderson G., Cruz J. and Hayden M. (2007). "The potential for the use of Open Source Software and Open Specifications in creating Web-based cross-border health spatial information systems". *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 21, p.p. 1135-1163.
- Navarro Pedreño, J., Mataix Solera, J., Guerrero Maestre, C. Y Gómez Lucas, I. (2000). *Sistemas de información geográfica y medio ambiente. Cuaderno 21. Introducción a los SIG y teledetección*. Murcia, Universidad Miguel Hernández.
- NCGIA (1996). *GIS and society: the social implications of how people, space, and environment are represented in GIS* (Scientific Report for the Initiative-19 Specialist Meeting).
- Obermeyer, N.J.; Pinto, J.K. (1994). *Managing Geographic Information Systems* (New York: Guilford Press).
- Oktaba, H., Alquicira C., Su A., Martínez A., Quintanilla G., Ruvalcaba M., et al. (2005). *Modelo de procesos para industria de software MoProfSoft, Version 1.3*
- Pan, Z., (2000). *Evaluations of uncertainties in regional climate change simulation*, *J. Geophys. Res.*, in press.
- Padrón P., D. J., (2009). *Desarrollo de Servidores de mapas con Software Libre*. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá.
- Parra A. (2006). *Apuntes de clase. Sistemas de Información Geográfica*. Maestría en Computación, Facultad de Ingeniería, Escuela de Sistemas.
- Pedreño-Navarro, J., Solera-Mataix, J., Guerrero-Maestre, C. y Lucas-Gómez, I. (2000). *Sistemas de información geográfica y medio ambiente. Cuaderno 21. Introducción a los SIG y teledetección*. Murcia, Universidad Miguel Hernández.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

Pesquer, L y J. Masó. [On line]. INTEGRACIÓN DE SIG Y METEOROLOGÍA. APLICACIONES DE IMPORTACIÓN Y GESTIÓN. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, CREAM. Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona y CREAM. Barcelona(España), 14 p. Disponible en:

Pozzobon E., y Gutierrez J., (2003). "UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE ÁREAS A REFORESTAR EN LOS ALREDEDORES DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, VENEZUELA". Revista Forestal Venezolana, 47(2), p.67-72.

Quintana, R., 2001. Cambios climáticos en Suramérica. Fondo Editorial UNELLEZ, p. 132.

Rodríguez de Paiva, M. F.; Cortez-Marin, A. L.; Parra-Perez, R.M. (2007) Los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Climatología, Revista Digital CENIAP HOY, N° 13, disponible en:

Rojas, A., 2003. Evaluación de la deforestación en tres cuencas montañosas del piedemonte lacustrino de la Cordillera de Los Andes. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, p. 76.

Rothman H., 2002, Atmospheric carbon dioxide levels for the last 500 million years, PENAS, 99, 4167-4171.

Rundel, P. W., Smith, A. P., Meinzer, F. C. (1994). Tropical Alpine Environments: Plant form and function, Cambridge University Press, Cambridge.

Sanabria, J.C. (2001). ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DE PAJCHANTI: METODOLOGÍA ADECUADA PARA EL ANÁLISIS BIOFÍSICO DEL MANEJO DEL RECURSO SUELO. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales, CLAS. Cochabamba (Bolivia). 51 p.

Stalman, R. (On-Line) Free Software Foundation. Free software definition. Disponible en: <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>.

Star, J. y Este, J. (1990) Geographic Information System: An Introduction. New Jersey. Prentice-Hall.

Tischler M., Garcia M., Peters-Lidard C., Moran M.S., Miller S., Thoma D., Kumar S., Geiger J. (2007). "A GIS framework for surface-layer soil moisture estimation combining satellite radar measurements and land

CAPITULO V: CONCLUSIONES

surface modeling with soil physical property estimation".
Environmental Modelling & Software, Vol. 22, Issue 6, p.p. 891-898.

Vareschi, V. (1988). Vegetationsökologie der Tropen. Eugen Ulmer Verlag,
Stuttgart, 222 pp.

Viancos S., R.F. y Salinas S., R., (On-Line). Prototipo de servidor de mapas
sobre una red TCP/IP, integrando Tecnologías de Internet y Sistemas de
Información Geográfica. Departamento de Ingeniería Eléctrica,
UNIARTE, Universidad de Santiago de Chile, disponible en:
http://www.mundogeo.com.br/revistas-interna.php?id_noticia=7482&lang_id=2

www.bdigital.ula.ve