

**ESTIMACIÓN DE LA PRESENCIA DE GAS RADÓN, BASADA EN
TELEDETECCIÓN ESPACIAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL, PARA
PROSPECCIÓN TELÚRICA**

JORGE EDUARDO PINTO VALDERRAMA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
MAESTRÍA EN INFORMÁTICA
BUCARAMANGA
2003**

**ESTIMACIÓN DE LA PRESENCIA DE GAS RADÓN, BASADA EN
TELEDETECCIÓN ESPACIAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL, PARA
PROSPECCIÓN TELÚRICA**

JORGE EDUARDO PINTO VALDERRAMA

Proyecto de Investigación para Optar al título de Magíster en Informática

**Director
Hernán Porras Díaz
Ingeniero Civil, M. Sc, Ph. D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
MAESTRÍA EN INFORMÁTICA
BUCARAMANGA
2003**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes estoicamente han soportado mi levedad, esperando como plusvalía la única promesa de un triunfo. A la mujer de cabellos plateados que Dios me permitió llamar madre y a mi hermana, que ha hecho de su familia, mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer a mis docentes, por abrir mi mente a nuevas realidades, antes por mí, desconocidas o ignoradas. Muy especialmente le agradezco a mi director de proyecto, por no limitarse a dar o citar ejemplos para un aspirante a magíster, procurando ser él, el ejemplo continuo de dedicación y disciplina.

Igualmente agradezco a los ingenieros que aportaron con su conocimiento en cada momento evolutivo de la investigación, en donde se analizaron muchas opciones de desarrollo hasta llegar a la decisión final. El conocimiento temático de cada quien, en cada una de ellas fue básico e imprescindible.

Agradezco a mi grupo de investigación "GEOMÁTICA: gestión y optimización de sistemas" por el espacio concedido. Aclaro que aunque el espacio físico y logístico brindado ha sido fundamental, considero más importante el espacio académico y cognoscitivo bajo el cual me nutrí intelectualmente.

A todos ustedes, mis agradecimientos, pues aunque solo aparezca mi nombre en la portada, este ha sido el logro de un fuerte trabajo en equipo, cada quien aportando lo suyo en su momento.

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN	1
1 METODOLOGÍA	8
2 UNIVERSIDAD DE LA REALIDAD – MUNDO REAL	13
2.1 LOCALIZACIÓN	14
2.2 GEOLOGÍA	15
2.2.1 Complejo Quebradagrande (KQd)	15
2.2.2 Formación Casablanca (Tscb)	15
2.2.3 Domo Sancansio (Qdsc)	15
2.2.4 Lava de Lusitania (Dlb)	16
2.2.5 Depósitos de Flujo de Escombros (Qft)	16
2.2.6 Depósitos Aluviales	16
2.2.6.1 Abanico Aluvial de Maltería (Qam)	16
2.2.6.2 Depósitos Aluviales (Qal)	16
2.2.6.3 Llanura de Inundación	16
2.2.7 Depósitos de Lluvia Piroclástica (Qcp)	16
2.2.8 Marco Tectónico	16
2.2.8.1 Conjunto de Fallas N – S	16
2.2.8.2 Conjunto de Fallas N – E	17
2.2.8.3 Conjunto de Fallas N – W	17
2.2.8.4 Lineamientos	17
2.3 GEOQUÍMICA	17

	Pag	
3	UNIVERSO FORMAL – MODELADO CONCEPTUAL	22
3.1	NIVEL DE DETALLE DE LA INFORMACIÓN	22
3.2	VARIABLES DEL MEDIO FÍSICO	23
3.3	TOMA DE DATOS	23
3.3.1	Inventariación de los Datos	24
3.3.2	Métrica de los Datos	26
3.3.2.1	Nivel de Medida Binario	27
3.3.2.2	Nivel de Medida Nominal	27
3.3.2.3	Nivel de Medida Ordinal	28
3.3.2.4	Nivel de Medida Intervalo	28
3.3.2.5	Nivel de Medida Razón	28
3.3.3	Clasificación Métrica de los Datos	28
3.4	ESPACIALIZACIÓN DE LOS DATOS	29
3.4.1	Cobertura o GeoCampo	30
3.4.1.1	Mapa Temático	31
3.4.1.2	Mapa Numérico	31
3.4.1.3	Mapa Imagen	31
3.4.2	GeoObjetos	31
3.4.2.1	Mapa de Catastro o Registro	31
3.4.2.2	Mapa de Redes	32
3.4.3	Clasificación Espacial de los Datos	32
3.5	ALMACENAMIENTO DE DATOS Y RELACIONES ESPACIALES	32
3.5.1	Estructura de Datos Vectorial	33
3.5.2	Estructura de Datos Raster	34

	Pag	
3.5.3	Relaciones Espaciales de los Datos	34
3.5.4	Clasificación según el Almacenamiento y las Relaciones Espaciales de los Datos	36
3.6	MODELO FORMAL	47
4	UNIVERSO DE LA REPRESENTACIÓN – MODELADO LÓGICO	50
4.1	CLASIFICACIÓN	50
4.2	CODIFICACIÓN	52
4.3	SIMBOLIZACIÓN	52
4.3.1	Representación Geométrica del Almacenamiento de los Datos	52
4.3.1.1	Mapa de Redes Irregulares de Puntos de Muestreo en 3D	54
4.3.1.2	Mapa de Isolíneas	54
4.3.1.3	Mapa de Regiones Continuas en Subdivisiones Planas	54
4.3.1.4	Matriz Regular de Celdas	55
4.3.1.5	Imágenes en Tonos de Gris	56
4.3.1.6	Imagen Temática	56
4.3.1.7	Imagen Sintética	56
4.3.2	Modelo Cartográfico Digital	56
5	UNIVERSO DE LA IMPLEMENTACIÓN – MODELADO FÍSICO	57
5.1	ESTRUCTURA DE DIRECTORIOS	57
5.2	ARQUITECTURA DE LA GDBMS EN EL SIG	58
5.2.1	Category.dbf y Category.mdx	58
5.2.2	Nextid.dbf y Nextid.mdx	59
5.2.3	Projecti.dbf y Projecti.mdx	59
5.2.4	Projects.dbf y Projects.mdx	60
5.2.5	Repres.dbf y Repres.mdx	60

	Pag
5.2.6 Visual.dbf y Visual.mdx	60
5.2.7 Infolaye.dbf y Infolaye.mdx	61
5.2.8 Geoancho.dbf y Geoancho.mdx	61
5.2.9 Geobject.dbf y Geobject.mdx	61
5.2.10 Cg000000.dbf y Cg000000.mdx	62
5.3 MÓDULO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	62
7 CONCLUSIONES	63
8 RECOMENDACIONES	64
RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS	65
BIBILOGRAFIA	67
ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Número de sismos en el mundo para el periodo 1992 – 2001, localizados por el US Geological Survey Nacional Earthquake Information Center	1
Tabla 2. Concentraciones naturales de gas Radón	4
Tabla 3. Relación de las Etapas de un proyecto de ingeniería sistemas y un proyecto tipo en estudios de cartografía del medio físico	8
Tabla 4. Relación de los pasos seguidos en estadística y los seguidos en el método científico	9
Tabla 5. Correspondencias entre las diferentes visiones para el desarrollo de un modelo en SIG	10
Tabla 6. Coordenadas del área de estudio	14
Tabla 7. Rangos del Radón para el Suelo	17
Tabla 8. Estaciones y resultados de las mediciones del Radón en el suelo para cada estación	19
Tabla 9. Listado de variables analizadas para determinar su relevancia en el desarrollo del presente proyecto	24
Tabla10. Matriz de selección para la elección de la imagen de satélite	25
Tabla 11. Equivalencia de la nomenclatura usada para las escalas métricas de los datos	27
Tabla12. Variables Independientes analizadas y tipo de datos asociados a estas para el proyecto	29
Tabla 13. Variables dependientes analizadas y tipo de datos asociado a para el proyecto	29
Tabla 14. Clasificación de los mapas según el comportamiento espacial de sus datos	29
Tabla 15. Variables independientes analizadas y tipo de datos asociados a estas para el proyecto	32
Tabla16. Comparación entre las estructuras de almacenamiento de los datos, considerando un mismo tema representado en ambos sistemas	33
Tabla 17. Tipos de relaciones implícitas y estructuras de almacenamiento en que se soportan	35

Tabla 18. Evaluación técnica de las herramientas software para SIG	37
Tabla 19. Formas de representación de los datos según su estructura de almacenamiento	53

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Actividad sísmológica de Centro América para el periodo 1977 – 1997, recopilada por el US Geological Survey National Earthquake Information Center.	2
Figura 2. Ciclo de vida del gas Radón	3
Figura 3. Densidad natural del radón en diferentes ambientes	5
Figura 4. Diagrama de flujo para el proceso metodológico del proyecto	11
Figura 5. Ubicación Geográfica de Manizales	13
Figura 6. Fotointerpretación del área de estudio.	18
Figura 7. Histogramas de muestreo de gas Radón en el suelo	19
Figura 8. Diagrama de jerarquía para la clasificación de la métrica de los datos.	26
Figura 9. Diagrama de clases	48
Figura10. Diagrama de casos de uso	49
Figura 11. Temas del modelo IGAC	50
Figura12. Temas, Grupos y Objetos del proyecto	51
Figura 13. Representación en red irregular de puntos de muestreo para una variable GeoCampo	53
Figura 14. Representación en Isolíneas de una variable GeoCampo	54
Figura 15. Representación regiones continuas de una variable GeoCampo	55
Figura16. Representación en matriz de celdas regulares de una variable GeoCampo	56
Figura 17. Estructura de directorios del proyecto	57
Figura 18. Diagrama de entidad relación para las clases del modelo	58

LISTA DE ANEXOS

	Pag
Anexo A. Especificación de Requisitos del Sistema.	70
Anexo B. Catálogo de Objetos y Símbolos.	82
Anexo C. Pruebas.	96
Anexo D. Manual del usuario. Software Neuromap.	117

RESUMEN

TÍTULO

ESTIMACIÓN DE LA PRESENCIA DE GAS RADÓN, BASADA EN TELEDETECCIÓN ESPACIAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL, PARA PROSPECCIÓN TELÚRICA¹

AUTOR

Pinto Valderrama, Jorge Eduardo.

PALABRAS CLAVES

Gas Radón

Sistemas de Información Geográfica

Sensores remotos Espaciales

Redes Neuronales

DESCRIPCIÓN

Los objetivos trazados para este proyecto son:

Objetivo General: Desarrollar una solución informática para el monitoreo de emisiones naturales de gas Radón que permita estimar su presencia mediante el análisis del registro de una imagen de satélite con técnicas de inteligencia artificial para la aplicación en prospección de fenómenos telúricos.

Objetivos Específicos: Diseñar algoritmos para el procesamiento de imágenes de satélite basados en técnicas de inteligencia artificial.

Desarrollar una aplicación enfocada a estimar la presencia del gas radón 222 sobre una plataforma software SIG de tercera generación.

Generar un reporte a partir del análisis de la información procesada por esta solución informática a la luz de los resultados obtenidos por el monitoreo de las emisiones de gas radón 222 que realiza INGEOMINAS para someter los resultados de este procedimiento a la evaluación de la comunidad técnica internacional.

El documento presenta una metodología de trabajo para la elaboración de un sistema de información geográfica, que incluye el uso de componentes en sensores remotos espaciales, mapas temáticos y modelado de superficies por inferencia espacial, analizados bajo una red de neuronas digitales para encontrar en ellos alguna relación.

Esta búsqueda tiene por objetivo establecer si en la imagen de satélite, es posible encontrar evidencias de la emisión de gas radón en la superficie del suelo.

¹ Trabajo de Investigación para optar al título de Magister en Informática.

ABSTRAC

HEADER

ESTIMACIÓN DE LA PRESENCIA DE GAS RADÓN, BASADA EN TELEDETECCIÓN ESPACIAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL, PARA PROSPECCIÓN TELÚRICA[†]

AUTOR

Jorge Eduardo Pinto Valderrama

KEY WORDS

Gas Radon

Geographic Information System

Remote Sensing

Neural Networks

DESCRIPTION

The objectives planned for this project are:

General Objective: To develop an informatic solution for monitoring the natural emissions of Radon gas allowing the estimation of its presence through the analysis of a satellital image registration using artificial intelligence techniques for the application in prospecting teluric phenomena.

Specific Objectives: To design algorithms in order to process orbital satellital images using artificial intelligence techniques.

To develop an application focused on estimating the Radon 222 gas presence on a SIG software platform of third generation.

To generate a report based of the analysis of the information processed by this informatic solution having account the results obtained from the monitoring process of Radon 222 gas emissions carried out by INGEOMINAS in order to submit the results of this procedure to the international technical community evaluation.

This document presents a work methodology to elaborate a geographical information system (GIS) which is formed by remote sensing components, thematical maps and surface modeling by spatial inference, analyzed by a digital neuron network for finding relationships into them.

This search has as object establishing if, within the satellital image, it is possible to find evidence of emissions of radon gas on the surface of the land terrain.

[†] Research work for informatic Master.

INTRODUCCIÓN

Los desastres naturales han sido por siempre motivo de preocupación para la humanidad; las consecuencias de éstos en pérdidas humanas y materiales se han incrementado en forma drástica recientemente debido principalmente al incremento en la población mundial y a su concentración en pequeñas áreas urbanas. Este tema fue tratado por el Institute of Electrical & Electronics Engineers - United States of America (IEEE-USA)³, develando la necesidad de realizar estudios que contribuyan al pronóstico de desastres naturales mayores y a la mitigación de sus efectos: Los Huracanes y Tornados, Inundaciones y sequías, Erupciones Volcánicas, Los Sismos y finalmente, aunque de origen antrópico, los Derramamientos de crudo y Desastres Nucleares.

TABLA 1. Número de sismos en el mundo para el periodo 1992 – 2001, localizados por el US Geological Survey National Earthquake Information Center.

<i>Magnitud</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>	<i>2000</i>	<i>2001</i>
8.0 to 9.9	0	1	2	3	1	0	2	0	4	1
7.0 to 7.9	23	15	13	22	21	20	14	23	12	6
6.0 to 6.9	104	141	161	185	160	125	113	123	158	28
5.0 to 5.9	1541	1449	1542	1327	1223	1118	979	1106	1302	247
4.0 to 4.9	5196	5034	4544	8140	8794	7938	7303	7042	8151	809
3.0 to 3.9	4643	4263	5000	5002	4869	4467	5945	5521	4735	775
2.0 to 2.9	3068	5390	5369	3838	2388	2397	4091	4201	3727	780
1.0 to 1.9	887	1177	779	645	295	388	805	715	1027	142
0.1 to 0.9	2	9	17	19	1	4	10	5	5	0
Sin Magnitud	4084	3997	1944	1826	2186	3415	2426	2096	3192	291
Total	19548	21476	19371	21007	19938	19872	21688	20832	22313	3079
Muertes Estimadas	3814	10036	1038	7949	419	2907	8928	22711	231	14923

Fuente: tomado de www.neic.usgs.gov el 16/03/2001.

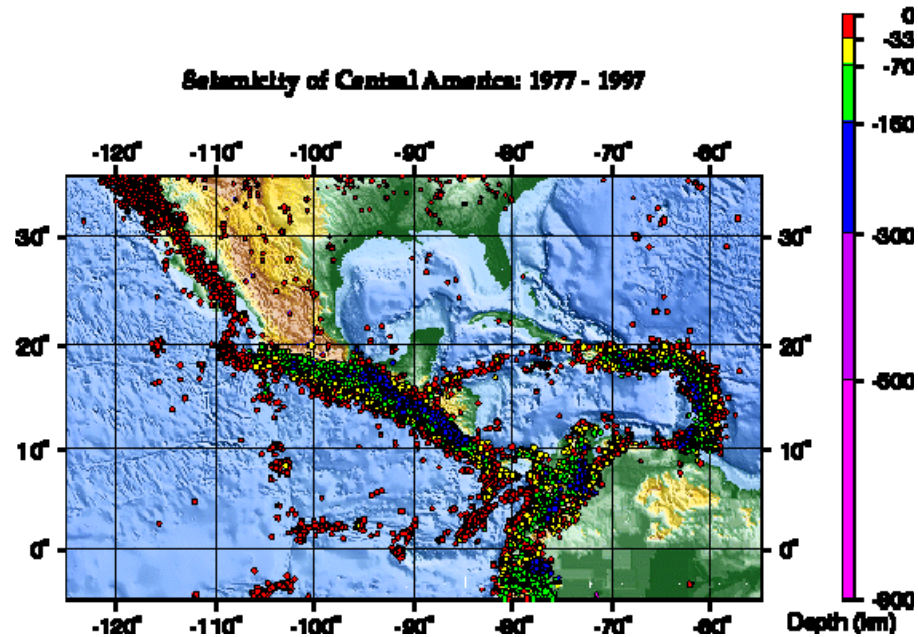
De las anteriores amenazas, los movimientos telúricos develan la mayor preocupación por el pobre estado de avance en el que actualmente se encuentra el campo de su predicción y además por la amplia distribución mundial⁴ de su vulnerabilidad, sumando a esto el hecho de poseer una gran capacidad destructora que en pocos segundos arrasa fácilmente con la infraestructura de un país.

El sismo de 1996 en Kobe, Japón, arrojó pérdidas por US \$200 billones y el sismo de Northridge, USA, dejó pérdidas materiales por US \$30 billones. Pero tal vez lo más aterrador son las cifras de muertes y heridos que deja atrás un terremoto, las cuales solo se reportan como estimados (ver Tabla 1) porque jamás se logra recuperar la totalidad de los cuerpos.

³ En su reunión del TECHNOLOGY POLICY COUNCIL SYMPOSIUM denominado en esa oportunidad Space Technologies for Disaster Mitigation and Global Health. Realizado del 2 al 3 de Junio de 1998 en Washington, DC. Memorias publicadas en la pagina web www.ieeevsa.org/CONFERENCES/techpol98fr.html consultada el 20/01/2001.

⁴ Frecuencia y ubicación de la ocurrencia de sismos basada en observaciones realizadas desde 1900. información tomada del National Earthquake Information Center, World Data Center for Seismology, Denver, USA, en www.neic.usgs.gov el 23 de marzo del 2001

FIGURA 1. Actividad sísmológica de Centro América para el periodo 1977 – 1997, recopilada por el US Geological Survey National Earthquake Information Center. Nótese el particular acumulación de actividad sísmica superficial sobre Colombia.



Fuente: Tomado de www.neic.usgs.gov el 16 de Marzo de 2001.

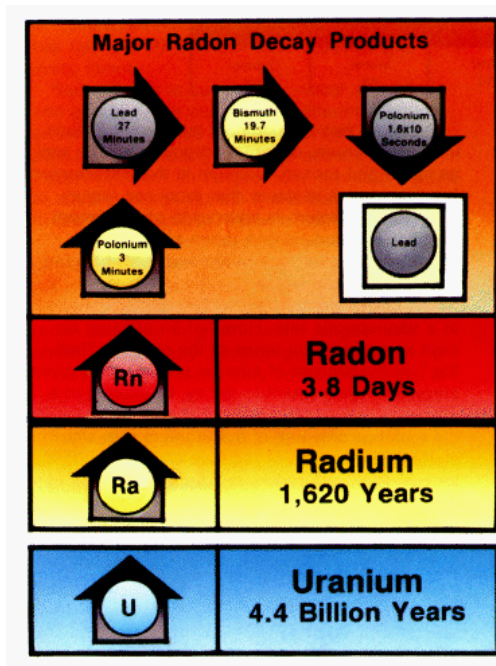
Colombia está localizada en un ambiente sísmico tectónico de intensa actividad sobre el cinturón de fuego del pacífico, producto de un complejo sistema de esfuerzos en donde la interacción de tres placas tectónicas principales como son Nazca, Caribe y Suramericana, da como resultado el desarrollo de diferentes sistemas de fallas en los cuales se acumula la energía potencial para ser liberada en forma de desplazamientos; debido a esto la ocurrencia de sismos es una amenaza permanente que expone nuestra población a una alta vulnerabilidad, lo cual se traduce en cuantiosas pérdidas materiales y aún peor, en irreparables pérdidas de vidas.

Se ha estado investigando mundialmente en el desarrollo de técnicas para resolver el problema de las predicciones sísmicas apoyadas en tecnologías de punta, empero hasta el momento ninguna parece tener una respuesta definitiva; algunos esfuerzos en este campo se han enfocado en estudios estadísticos detallados de la distribución de los epicentros e hipocentros sísmicos y sus magnitudes, con la esperanza de que estos puedan responder cuándo podría sucederse un evento sísmico de gran magnitud y poca profundidad, apoyándose en la identificación de patrones de actividad previa a un gran evento en los registros históricos de densas redes de sismómetros.

En este campo, en Colombia el INGEOMINAS instaló la Red Sísmológica Nacional De Colombia (RSNC) bajo el auspicio de la Agencia Canadiense Para El Desarrollo Internacional (ACDI), el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Dirección Nacional Para La Prevención Y Atención De Desastres (ONAD) y la Empresa De Telecomunicaciones De Colombia (TELECOM). Este sistema está conformado por tres subsistemas principales: Sísmico, Comunicaciones por satélite y Suministro de energía, teniendo por objetivo registrar simultáneamente los sismos producidos en el territorio nacional a través de un conjunto de estaciones de red localizadas estratégicamente sobre la región Andina. En general los servicios ofrecidos por este sistema incluyen un sistema de alerta temprana para la comunidad a través del Sistema Nacional Para La Prevención Y Atención De Desastres y el estudio de la distribución espacio temporal de los sismos para identificar las fuentes sísmogénicas (mecanismo y geometría).

Sin embargo, muchas fallas que se consideran deslizan asísmicamente, en realidad poseen períodos de retorno muy largos (en fallas que se desplazan 1 milímetro al año, los períodos pueden alcanzar 10.000 años entre cada sismo⁵), por lo cual no se ha reportado su actividad en ningún sismómetro del mundo. Otras investigaciones se inclinan por la medición de tasas de movimiento a lo largo de los sistemas de fallas, en espera de determinar zonas estables enmarcadas entre zonas con amplio desplazamiento; este patrón determinaría los posibles sitios de acumulación de esfuerzos en donde la energía será posteriormente liberada en forma brusca y repentina con un sismo; tales mediciones son realizadas indiferentemente con radar aerotransportado en misiones ocasionales o con redes geodésicas de limitado cubrimiento y alto costo.

FIGURA 2. Ciclo de vida del gas radón.



Fuente: Tomado de sedwww.cr.usgs.gov:8080/radon/georadon/2.html el 16/03/20001.

En Colombia, hacia 1988, científicos de 25 organizaciones en 13 países unieron esfuerzos para la instalación de una red activa de estaciones geodésicas en la parte norte de los Andes Suramericanos y Centro América, por el Sistema de Posicionamiento Global (Satelital) GPS denominado Proyecto CASA UNO. El objetivo de este proyecto es la configuración de una red de estaciones geodésicas fijas que permitan obtener mediciones exactas para determinar movimientos relativos de las placas tectónicas, tasas y dirección de movimiento en las fallas regionales y medidas de elevación en los Andes entre otros datos.

El desarrollo de una solución a esta propuesta tecnológica fue recientemente anunciado el por la NASA⁶, basado en el lanzamiento de satélites que observen y cuantifiquen el desplazamiento de la corteza terrestre y así, trace las zonas de mayor acumulación de esfuerzos. Sin embargo la sola deformación de la corteza no es suficiente criterio para dar una alarma a la población, por lo cual también se está

⁵ PINTO, Jorge. TELLEZ, Gilberto. 1999. Interpretación De Los Rasgos Neotectónicos Asociados Al sistema De Fallas Bucaramanga Santa Marta En El Departamento De Santander Mediante El Procesamiento Digital De Imágenes De Radar Y Satélite Con SIG. Tesis de grado para optar al título de Geólogo, Universidad Industrial de Santander.

⁶ <http://science.nasa.gov/headlines/y2003/images/earthquakes/audio/story.mp3> Anticipating Earthquakes, Patrick L. Barry. Publicado el 11 de Agosto de 2003.

estudiando la elevación de la temperatura en las zonas sísmicas. Con respecto a esto, la NASA cita a Friedemann Freund, profesor adjunto de física de San Jose State University. "In the 1980s and 90s, Russian and Chinese scientists noticed some strange thermal anomalies associated with earthquakes in Asia--for example, the 1998 Zhangbei earthquake near the Great Wall of China. This earthquake occurred when ground temperatures in the region were around -20° C. Just before the quake, thermal sensors detected temperature variations as large as 6° to 9°, according to Chinese documents." Los experimentos llevados a cabo por este autor, muestran que estas elevaciones de temperatura están acompañadas por campos magnéticos y pequeñas corrientes eléctricas que se suponen, sean las causantes de la emisión de energía en el infrarrojo. Sin embargo los cálculos de la NASA, estiman el lanzamiento de dicha red de plataformas satelitales "Global Earthquake Satellite System (GESS)" para un calendario a veinte años.

Otra teoría, considerada de las más prometedoras, se soporta en el monitoreo de la actividad prospectiva precursora de sismos, manifestada como la presencia anómala de ciertos elementos químicos en el ambiente días antes de un evento telúrico. Recientes investigaciones han demostrado⁷ la fuerte relación existente entre la emisión de isótopos radioactivos (gas radón 222, radio 226) y algunos estables (dióxido de carbono¹³) liberados al colapsar la red cristalina del mineral que los contiene y el desarrollo de sismos.

TABLA 2. Concentraciones naturales de gas Radón.

<i>Ubicación</i>	<i>Límite inferior</i>	<i>Límite superior</i>	<i>Promedio</i>
Aire libre	0.1 pCi/L	30 pCi/L,	0.2 pCi/L
Aire de interiores	1 pCi/l	3,000 pCi/L	1 y 2 pCi/L
Aire en la tierra	20 o 30 pCi/L	100,000 pCi/L	200 y 2,000 pCi
Agua subterránea	100	3 millones de pCi/L	

Fuente: Tomado de <http://sedwww.cr.usgs.gov:8080/radon/georadon/2.html> el 16/03/2001.

El radón, objeto de este estudio, es un gas inodoro, incoloro e insípido producido por la degradación radiactiva del elemento radio (ver figura 2). Cuando el radio sólido se deteriora para formar el gas del radón, pierde dos protones y dos neutrones. Este par de protones y neutrones es denominado partícula alfa, la cual es un tipo de radiación. Los elementos que producen radiación se llaman radiactivos. El radón en si mismo también es radiactivo porque él se deteriora, perdiendo una partícula alfa y formando el elemento polonio. Esta característica es actualmente usada para determinar su presencia.

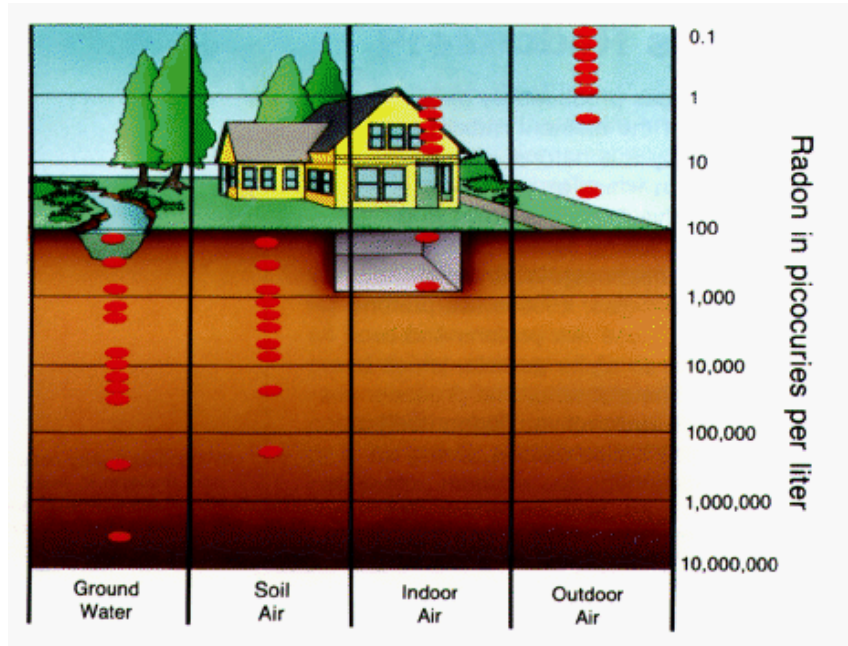
Como el nivel de radioactividad está directamente relacionado con el número y tipo de átomos radiactivos presente, el radón y todos los otros átomos radiactivos son medidos en picocuries⁸. Por ejemplo, una casa que tiene 4 pCi/l (picocuries de radón por litro de aire) tiene 8 o 9 átomos de radón que se deteriora constantemente en cada litro de aire dentro de la casa aproximadamente. Así 1000 pies^2 de la casa con 4 pCi/l de radón tiene casi 2 millones de átomos del radón que se deterioran en ella a cada minuto. Pasando esto a unidades de uso común en nuestro medio, sabemos que 1 pCi es igual a 2,22 desintegraciones por minuto, y $1\text{ litro} = 1\text{ dm}^3$ (decímetro cúbico), y $1000\text{ dm}^3 = 1\text{ m}^3$ (metro cúbico), entonces, obtenemos que $4\text{ pCi/l} = 8880$ desintegraciones en un

⁷ GARZÓN V., G., 1999. "Monitoreo del isótopo Radón-222 para el estudio de eventos geodinámicos". Revista Red Sismológica Regional del Eje Cafetero Viejo Caldas y Tolima, N° 4, pp. 37-42.

⁸ La radioactividad es normalmente medida en picocuries (pCi) en honor de la física francesa Marie Curie, quien fuera pionera en la investigación de los elementos radiactivos y su decaimiento. Un (pCi) es igual al decaimiento de aproximadamente dos átomos radiactivos por minuto (2,22).

metro cúbico por minuto (8880 átomos de Radón desintegrándose en un volumen de un metro cúbico, en un minuto).

FIGURA 3. Densidad natural del radón en diferentes ambientes.



Fuente: Tomado de <http://sedwww.cr.usgs.gov:8080/radon/georadon/2.html> el 16/03/2001.

El nivel de radón disperso en el aire libre, en el aire del interior de una edificación, en el aire atrapado en la tierra, y en el agua subterránea puede ser muy diferente. Basta apreciar la figura 3 y la tabla 2 de concentraciones para obtener una idea de sus proporciones.

Cada átomo de radio degrada por la expulsión de una partícula alfa de su núcleo. Cuando la partícula alfa es arrojada, el átomo de radón recientemente formado retrocede en la dirección opuesta, de forma análoga al retroceso de un rifle de alta potencia cuando se dispara una bala. El retroceso debido a la expulsión de la partícula alfa es el factor más importante que influye en la liberación de radón de los cristales del mineral. El retroceso de un átomo de radón cercano a la superficie de un cristal hace que éste se dirija a la superficie. Cuando esto pasa, el radón recientemente formado deja el mineral y entra en el espacio del poro entre los granos o las fracturas en las rocas. Para la mayoría de los suelos, sólo el 10 a 50 por ciento del radón escapa realmente de los granos minerales y entran en los poros.

Porque el radón es un gas, tiene una movilidad muy superior a la del uranio y del radio que permanecen fijos en la materia sólida de las rocas y suelos. El radón puede dejar las rocas y suelos más fácilmente escapando en las fracturas y aperturas de las rocas y en los espacios de poros entre los granos del suelo. Por esto su movilidad se ve fuertemente favorecida por la fractura de los cristales debida a la acumulación de esfuerzos en una roca, en el lapso de tiempo anterior a liberar toda esta energía en forma de sismos.

En Colombia el INGEOMINAS, en sus Observatorios Vulcanológicos y Sismológicos⁹ se encuentra realizando estudios de Investigación y Monitoreo de gases en las fallas geológicas de los departamentos de Caldas, Cauca, Nariño y Quindío que presentan manifestaciones de actividad tectónica reciente. En

⁹ Garzón, G., Alfaro, C., 1996. "El Radón como indicador de actividad cortical". Taller "Sismotectónica de las Regiones Volcánicas de Colombia". INGEOMINAS, San Juan de Pasto, pp. 68-74.

los suelos estudian las emisiones de Dióxido de Carbono y de los isótopos radiactivos Radón - 222, Radio - 226 y el contenido del isótopo estable Carbono - 13 presente en el Dióxido de Carbono. Algunas de estas mediciones se realizan in situ otras teleméricamente.

En la actualidad tienen instalado un sistema de transmisión telemétrica desde la fumarola Deformes del Volcán Galeras hasta el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto - OVSP¹⁰. La señal viaja una distancia de 9 kilómetros y se recibe en un computador del OVSP cada seis segundos. Teleméricamente miden la temperatura de la fumarola, temperatura de la interfase suelo – aire, presión de la fumarola, presión atmosférica, diferencia de potencial eléctrico de las baterías. Las baterías alimentan a los sensores y al sistema electrónico ADAM; y a la vez son recargadas por seis paneles solares, el Dióxido de Carbono de procedencia fumarólica, el Dióxido de Carbono del aire y el Isótopo Radón-222.

Sobre las fallas activas del departamento de Nariño (Buesaco, Romeral, Pasto, Guaitara, Manchabajoy) hay instaladas desde 1995, 22 estaciones para el monitoreo de las emisiones del isótopo Radón - 222 (10 de estas estaciones están sobre las Fallas Romeral y Villamaría - Termales del departamento de Caldas) mediante el cual se han pronosticado varios sismos de pequeñas magnitudes (2 - 3, en la escala de Richter). En 1999 se instalaron cuatro estaciones sobre las Fallas Moras y Coconucos en el departamento del Cauca.

No obstante, las veinticinco estaciones de control instaladas a la fecha, no son suficientes para obtener información de la vasta extensión de territorio Colombiano que presenta esta amenaza, pues en todas las regiones del planeta existen niveles de Radón; siendo el aire mínimo y en las minas de Uranio, máximo. Al realizar una cartografía de estudios geodinámicos, la importancia de medir los niveles del gas Radón, consiste en establecer las probables anomalías (con respecto a un nivel base) antes de la ocurrencia de un evento sísmico o volcánico; por lo tanto, se debe dejar abierta la posibilidad de explorar niveles de radón en el tiempo, para analizar su comportamiento espacio temporal.

La actual densidad de estaciones de medición está sacrificando detalle, precisión y cubrimiento cartográfico, haciéndose evidente la necesidad de complementar este monitoreo con otros métodos de muestreo que dejen abierta la posibilidad de integración con las diferentes corrientes de premonición sísmica en desarrollo.

El radón a pesar de ser un gas noble, forma hidrato de radón, siendo esta la única forma molecular conocida que se da espontáneamente en la naturaleza¹¹; Debido a esto es posible monitorearlo por la emisión de energía en el rango del ultravioleta cuando se encuentre en forma de átomo o por la emanación de energía en el infrarrojo al encontrarse en estado molecular. La emisión y reflexión de energía es registrada por los satélites de percepción remota que continuamente barren nuestro espacio observando diferentes regiones del espectro electromagnético con sus sensores, por lo cual en teoría, un satélite dotado del sensor con las características adecuadas, debería registrar en alguna forma la presencia de este elemento en la superficie del terreno y con el procesamiento adecuado bajo un SIG, este se haría manifiesto en el nivel digital de los píxeles en la imagen.

Sin embargo, el estado del arte en este campo tecnológico está recientemente saliendo de su estado temprano de desarrollo en el ámbito comercial, por lo cual es necesario someter esta teoría a una fase de observación experimental que nos proporcione herramientas de juicio para conocer su pertinencia o su irrelevancia en el monitoreo de gas radón.

¹⁰ Faber, E., Poggenburg, J., Garzón, G., Morán, C., Inguaggiato, S., 2000. "Gas Monitoring at Volcanoes". Mitteilungen Deutsche Geophysikalische Gesellschaft, Sonderband IV, Hannover, Germany, N° 2, 77-80.

¹¹ A. C. Wahl; N. A. Bonner. 1951. Radioactivity Applied to Chemistry. Jhon Wiley & Sons. New York.

1. METODOLOGÍA

El gran impacto causado por la incursión de la informática en todos los campos del conocimiento, no fue ajeno a las ciencias e ingenierías que representan su información espacialmente, en las cuales, la aparición de los Sistemas¹² de Información Geográfica¹³ (SIG) ha dividido la historia de su almacenamiento, procesamiento, análisis y aplicabilidad; realizándose una sinergia entre los procesos metodológicos que se seguían tradicionalmente en cada campo independientemente.

TABLA 3. Relación de las etapas de un proyecto de ingeniería de sistemas y un proyecto tipo en estudios de cartografía del medio físico.

<i>Fase en proyectos de ingeniería de sistemas</i>	<i>Fase en estudios del medio físico</i>	<i>Función</i>
Información	Definición del objetivo	Establecer los alcances del proyecto
	Recopilación de la información	Analizar y documentar el problema a resolver en su totalidad
Diseño	Realización del inventario	Diseño del muestreo y recolección de los datos de campo
	Almacenamiento de la Información	Disposición de la información en tablas y archivos de forma ordenada por jerarquías.
Realización	Tratamiento de la información	Tratamiento estadístico e inferencia de nuevos datos a partir del muestreo
Producción	Obtención y análisis de los resultados	Análisis, conclusiones y recomendaciones a partir de la información procesada

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

Es por esto que para el desarrollo del presente trabajo, se hace necesario seguir una metodología que se ciña a los preceptos de la ingeniería del software para el desarrollo de SIG¹⁴, pero que para asegurar su éxito, a su vez considere el hecho de estar enfrentándose a un sistema software cuya información está ligada a un estudio del medio físico¹⁵, y por tanto, esta información se encuentra organizada siguiendo un diseño experimental o industrial (diseño aplicado en la ingeniería) que facilita su tratamiento estadístico.

Esto nos conduce a analizar el desarrollo de un proyecto SIG desde la perspectiva de las relaciones siguientes:

¹² Sistema de Información, desde el punto de vista etimológico, es un todo organizado de componentes de información interrelacionados que funcionan juntos, como un instrumento, con el propósito de apoyar la toma de decisiones en el cumplimiento de los objetivos de una organización. Luego hace referencia a todos los elementos que intervienen en la solución planteada, esto incluye el hardware, el software, los usuarios, la información y el medio.

¹³ Geográfica en femenino, pues el atributo geográfico es propio de la información y no del sistema.

¹⁴ Ver el artículo "SIG: Más que herramientas Informáticas, una filosofía para el modelado espacial del mundo", publicado en medio digital, en el SEMINARIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, PERSPECTIVAS CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y SOCIAL. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería. Octubre de 2003.

¹⁵ Es decir al espacio geográfico en sus diferentes formas de expresión, llámense fauna, flora, geología, infraestructuras civiles y demás.

- la relación existente entre el “Desarrollo del software” y el “Desarrollo de estudios del medio físico”,
- la relación existente entre la “Estadística en ingeniería” y la “Estadística en experimentación” con el método científico, y finalmente
- la relación existente entre el “Desarrollo de aplicaciones sobre software SIG” y la recientemente impulsada “Ingeniería del software”.

Para analizar la relación “Desarrollo del software – Desarrollo de estudios del medio físico” es necesario observar que usualmente los proyectos de ingeniería de sistemas han sido elaborados siguiendo metodologías tradicionales¹⁶ de desarrollo, bajo las etapas secuenciales conocidas como: información, diseño, desarrollo o realización y finalmente producción. Estas etapas tradicionalmente propuestas tienen una evidente sinergia con las etapas sugeridas para el desarrollo de proyectos orientados hacia la cartografía [AGUILAR, 1996], y que por tanto facilitan la integración de su información a un SIG. Ver Tabla 3.

TABLA 4. Relación de los pasos seguidos en estadística y los seguidos en el método científico. [DÍAZ, 1999].

<i>Pasos estadísticos en proyectos de ingeniería</i>	<i>Pasos en el método estadístico</i>	<i>Pasos en el método científico</i>
Análisis descriptivo y exploratorio.	Reconocimiento de los problemas.	Enunciar preguntas bien formuladas y verosíblemente fecundas.
		Arbitrar conjeturas fundadas y contrastables con la experiencia para contestar las preguntas formuladas.
	Planteamiento de las hipótesis.	Derivar consecuencias lógicas de las preguntas.
Diseño estadístico del experimento y muestreo.	Planeación y Recolección de datos	Arbitrar técnicas para someter las conjeturas a contraste.
	Validación de la información.	Someter a contraste estas técnicas para comprobar su relevancia.
		Llevar a cabo el contraste e interpretar sus resultados.
Inferencia estadística.	Contraste de las hipótesis.	Estimar la pretensión de verdad de las conjeturas y la fidelidad de las técnicas.
	Estimación y conclusiones basadas en métodos probabilísticos para inferencias inductivas.	Determinar los dominios en los cuales son válidas las conjeturas y las técnicas, y formular problemas nuevos originados por la investigación.

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

De igual manera, es necesario reconocer en la estadística una herramienta inherente a todo proyecto, considerada en la literatura científica y de ingeniería como la técnica que permite someter un trabajo a la evaluación por parte de la comunidad científica y especializada. En un diseño experimental, se hace uso de la estadística desde el planteamiento de la investigación, hasta el análisis inferencial de sus resultados [TAMAYO, 1995]; En los proyectos de experimentación científica, según Mario Bunge (1969) en Diseño Estadístico de Experimentos [DÍAZ, 1999], se pueden describir ocho pasos básicos para la correcta aplicación del método científico. Estos pasos y la respectiva labor estadística con la cual se relacionan, se describen en la Tabla 4, en donde el resumen comparativo, con las tres metodologías

¹⁶ MERISE, YOURDON, SSADM, De Francia, USA, y UK respectivamente.

diferentes, permite apreciar con mayor facilidad la existencia de un punto de congruencia entre la labor estadística, la investigación científica y el desarrollo de cartografía asociada a proyectos de ingeniería que se puede seguir en el desarrollo de sistemas software.

Con base en estos puntos comunes, y con el propósito de aportar una solución al problema planteado inicialmente, este proyecto se ciñe a la metodología propuesta para el planteamiento de los estudios estadísticos [DÍAZ, 1999] pero considerando que los datos en estudio, y por lo tanto, los Factores, los Niveles y las Variables que entran en consideración, pertenecen al campo geográfico [AGUILAR, 1996] para asegurar la aplicación del método científico en la cartografía prescriptiva¹⁷ bajo SIG.

Para analizar la relación existente entre el “Desarrollo de aplicaciones sobre software SIG” y la recientemente impulsada “Ingeniería del software”, debemos iniciar adentrándonos en el proceso de modelar la realidad bajo la perspectiva del SIG.

TABLA 5. Correspondencias entre las diferentes visiones para el desarrollo de un modelo en SIG.

<i>Ing. Software</i>	<i>Diagramas UML</i>	<i>Universos del Modelado</i>	<i>Ejemplos</i>
		Universo del mundo real	Altimetría, Temperatura, Reflectancia, Tipos de suelos, Cobertura Vegetal, Litologías, etc.
Análisis	Diagrama de clases Diagrama de casos de uso	Universo Formal – Modelo Conceptual	Geocampos (Numéricos y Temáticos) – GeoObjetos (Redes de distribución, mapas de catastro)
Diseño	Diagrama de componentes Diagrama de despliegue Diagrama de estados Diagrama de actividad Diagrama de secuencia Diagrama de colaboración	Universo de la Representación – Modelo Lógico	Representaciones Geométricas de las estructuras de almacenamiento: Red Regular de Celdas grids, Red Regular de puntos Lattices, Regiones Continuas, Red de Triángulos Irregulares, Isolíneas, otras.
Implementación		Universo de Implementación – Modelo Físico	Estructuras de datos Vector (arco, nodo, polígono) / Raster (filas, columnas)

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

Debido a la complejidad del mundo real, el proceso de comprensión de la realidad para efecto del modelado en un SIG envuelve procesos de abstracción, generalización y aproximación. En casos como este, es recomendable dividir el proceso en varios niveles que permitan encapsular los problemas de cada nivel, permitiendo la comprensión de éstos y por lo tanto la solución de los mismos. Esta filosofía de trabajo es denominada el "paradigma de los cuatro universos"¹⁸ y establece cuatro niveles de abstracción:

- Universo de la realidad: establecido por el mundo real, que contiene los objetos del problema que se pretende estudiar.
- Universo Formal: establecido en la formulación de un modelo conceptual, que contiene una descripción matemática formal de los objetos del mundo real e incorpora

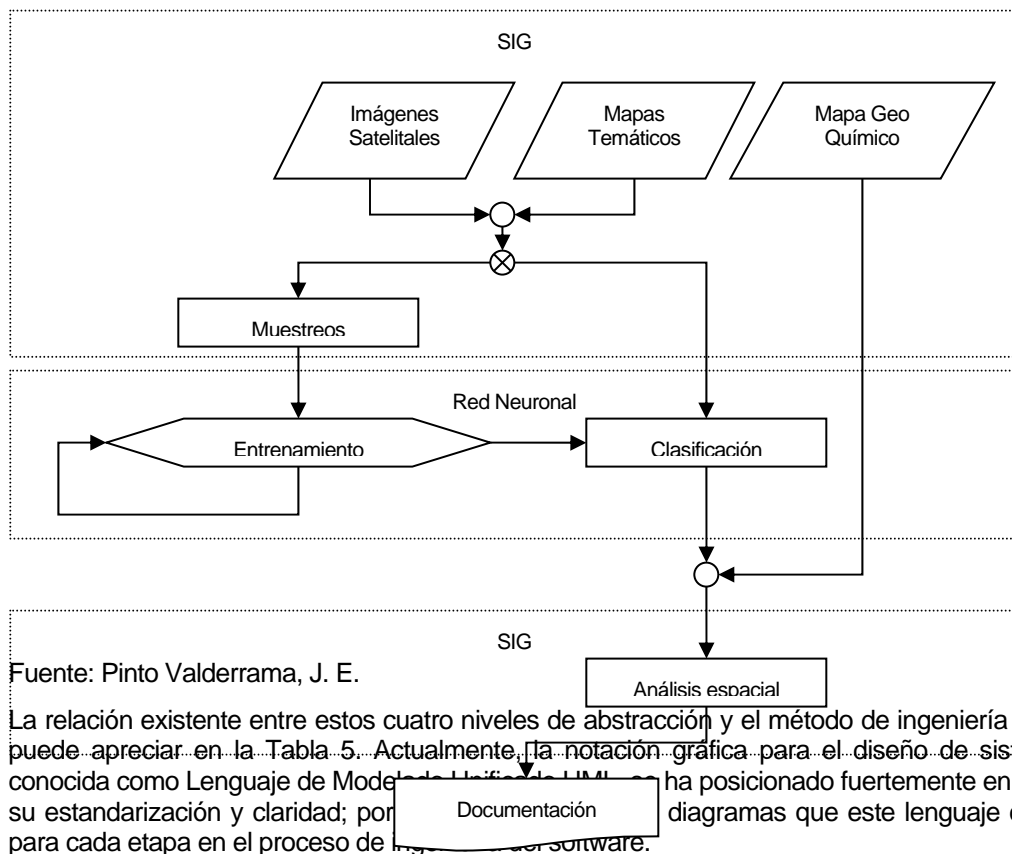
¹⁷ La cartografía prescriptiva hace alusión al proceso de aplicación de métodos de análisis espacial para inferir información a partir de un conjunto de datos.

¹⁸ Este abordaje es discutido por Peuquet (1984), Gomes y Velho (1994) y aplicado por Câmara (1995) en el desarrollo del modelo conceptual del SPRING [FARIA, 1997].

únicamente las propiedades consideradas relevantes para el estudio bajo la concepción humana que el especialista tiene de los objetos del universo del mundo real.

- Universo de la representación: establecido en la formulación de un modelo lógico, está constituido por descripciones simbólicas y finitas asociadas a las componentes del universo matemático. En este nivel se desarrolla la cartografía de los objetos conceptuales para representaciones geométricas y el diseño de estos mismos objetos conceptuales para el desarrollo del sistema informático digital.
- Universo de implementación: establecido por desarrollo del modelo físico, según Guptill (1991) en FARIA (1997), está constituido por un conjunto de reglas que detallan la implementación del modelo dentro de un ambiente computacional. Es en este nivel que acontece la codificación. Varias estructuras de datos pueden ser implementadas para un mismo modelo conceptual, basado en consideraciones como desempeño, capacidad del equipo hardware, volumen de datos.

FIGURA 4. Diagrama de flujo para el proceso metodológico del proyecto



Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

La relación existente entre estos cuatro niveles de abstracción y el método de ingeniería del software se puede apreciar en la Tabla 5. Actualmente, la notación gráfica para el diseño de sistemas software conocida como Lenguaje de Modelado de Ingeniería del Software (UML) ha posicionado fuertemente en el mercado por su estandarización y claridad; por lo tanto, para cada etapa en el proceso de desarrollo del software.

Una consideración importante durante el proceso de modelado es que el modelo resultante no define tan solo cómo una variable geográfica será representada, también determina el conjunto de procesos y análisis que pueden ser implementados a partir de éste modelo sobre ella.

En este aspecto es de resaltar la visión que de los sistemas de información se introduce en el libro "Ingeniería del Software, Un Enfoque Práctico"¹⁹, en el cual se aclara que importancia de los datos está actualmente en extraer información asociada a múltiples contextos, con miras a crear principios generalizados a partir de ellos y no exclusivamente en acumularlos en forma ordenada. Este precepto traducido a la Geomática, está muy cercanamente ligado a la simulación para toma de decisiones, que en cierta forma hace parte de los resultados indirectos esperados para el presente trabajo.

Por las razones expuestas anteriormente, el presente documento ha sido redactado en forma tal que el lector perciba con igual importancia tanto el proceso de investigación experimental y desarrollo de la herramienta informática, como la descripción de los pasos metodológicos seguidos para llegar al modelado en SIG.

La información como tal, ve a ser procesada según se describe en el flujograma de la figura 4, inicialmente se procede al ingreso de información en el sistema, esta información es posteriormente analizada bajo un módulo de inteligencia artificial representado por una red neuronal, y finalmente el resultado de esta red, es sometido a un análisis espacial para confrontarlo al modelo obtenido por los métodos tradicionales de análisis.

¹⁹ "El futuro del software conduce a sistemas que procesan el conocimiento. Se ha estado procesando datos durante cincuenta años y extrayendo información durante casi tres décadas. Uno de los desafíos más significativos a los que se enfrenta la comunidad de ingeniería del software consiste en construir sistemas que den el siguiente paso en el espectro: sistemas que extraigan el conocimiento de los datos y de la información para que sea práctica y beneficiosa". [PRESSMAN, 2002] Pg 577.

2. UNIVERSO DE LA REALIDAD - MUNDO REAL

En el estudio del mundo real, al momento de analizar un determinado proceso, sea este ambiental o socio cultural, es común el uso de modelos, que consisten en describir de forma matemática, simbólica y funcional el proceso de interés; permitiendo representar el conocimiento que se tiene sobre el proceso en estudio. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los modelos, por excelentes que parezcan, son representaciones simplificadas de la realidad, debido a la suma de factores como la complejidad del mundo real, la imprecisión en la medida de los muestreos, las aproximaciones del modelo, los intereses a modelar en el estudio (variables) y las limitaciones computacionales.

FIGURA 5. Ubicación Geográfica de Manizales.



Fuente: Modificado de Pinto Valderrama, J. E. 1999.

Respecto a este último factor, las computadoras y consecuentemente, todos los sistemas software que operan sobre éstas, como los SIG, operan sobre números y símbolos o caracteres; por esto no hay como aplicarlos directamente a las variables del mundo real. Un buen modelo es aquel que prevé correcta y consistentemente el funcionamiento del mundo real para la variable de interés, sin importar lo acontecido con las otras componentes del sistema. Debido a esto, para una misma área geográfica de estudio pueden obtenerse infinitos modelos, cada uno de ellos representando la visión, experiencia y el interés del modelador.

Desde el punto de vista científico, los modelos son construidos para mejorar la comprensión de sistemas naturales, pues el proceso de construcción de un modelo obliga al modelador a justificar su visión conceptual del fenómeno y a cuantificar la influencia de cada factor [CROSS, 1985]. El modelo que en el presente proyecto se construye, está sometido a la visión del problema que se ha construido a través de la investigación del fenómeno realizada en Manizales bajo la dirección del INGEOMINAS, y a la cual ha tenido acceso el autor por medio de los múltiples artículos publicados y las conversaciones realizadas con el Físicoquímico M. Sc. Gustavo Garzón Valencia²⁰, funcionario de esta entidad.

El grado de similitud de un modelo con la realidad puede ser estimado por la exactitud con que el resultado del modelo se ajusta al resultado del fenómeno natural y por la correspondencia entre la visión generada por el modelo y la observada en el fenómeno [FARIA, 1997]. En este contexto la validación o refutación del modelo, la exactitud de los datos y sus métodos de adquisición son factores relevantes; estos son tratados en el universo del mundo matemático.

Geología. Se califican como Negativas las rocas que no contienen Uranio; Positivas son las rocas que tienen contenido de Uranio, y, Variables son rocas que pueden generar algo de Radón por su composición heterogénea [SALAZAR, 2001].

Para el presente trabajo se plantea la elaboración del mapa de isoconcentración de Radón - 222 y la definición del Mapa Geoquímico del Radón, correspondientes a los niveles encontrados para el área de estudio; los datos de Radón medidos, se van a evaluar con respecto a los niveles que la Agencia de protección del medio ambiente "EPA" ha publicado.

2.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada en el sureste del Municipio de Manizales, capital del departamento de Caldas, sobre el Flanco Occidental de la Cordillera Central en los Andes Colombianos (ver figura 5).

La zona de estudio, tiene un área de 8 km², ubicados en la plancha topográfica 206-III-D del IGAC a escala 1:25.000 y se encuentra enmarcada por las coordenadas planas referidas a Santafé de Bogotá D.C. relacionadas en la Tabla 6.

TABLA 6. Coordenadas del área de estudio.

	Coordenadas Geográficas			
	Planas IGAC		Latitud - Longitud	
Borde Este	Máxima Y	848.000,00	75° 27' 5,04"	Longitud W
Borde Oeste	Mínima Y	842.000,00	75° 30' 19,97"	Longitud W
Borde Norte	Máxima X	1.050.000,00	5° 2' 59,09"	Latitud N
Borde Sur	Mínima X	1.047.000,00	5° 1' 21,04"	Latitud N

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

Como el área está ubicada en el casco urbano del municipio, ésta cuenta con vías importantes como la Avenida Alberto Mendoza al Oriente que comunica con la Vía al Magdalena y la Avenida Panamericana al Sur. Estas carreteras, al momento del estudio se encuentran pavimentadas y en buen estado para su normal funcionamiento.

También cuenta con una completa red de vías urbanas para el acceso a barrios, algunas de las cuales conducen al municipio de Villamaría. La gran mayoría de estas vías se encuentran pavimentadas.

2.2. GEOLOGIA

²⁰ Gustavo Garzón Valencia se desempeña como Técnico Científico de INGEOMINAS.

En el área de estudio afloran rocas²¹ que se han establecido en distintos períodos y cuyas edades varían desde el Cretácico hasta el Cuaternario, en un ambiente dinámico que involucró el dominio Oceánico y Continental. Rocas sedimentarias depositadas en un mar Cretácico, las cuales se encuentran suprayacidas por rocas y depósitos Continentales del Terciario Superior y del Cuaternario.

Las diferentes unidades geológicas encontradas en la zona, son:

- Complejo Quebradagrande.
- Formación Casablanca.
- Depósitos de Flujos de escombros.
- Domo Sancancio.
- Lava de Lusitania.
- Depósitos Aluviales.
- Depósitos de lluvia piroclástica.

2.2.1. Complejo Quebradagrande (KQd)

Conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias que afloran en el flanco Oeste de la Cordillera Central, al Occidente de la falla de San Jerónimo y al Este de la falla Silvia - Pijao, hasta el río Cauca.

Esta conformado por lodolitas negras, cherts, arenitas, conglomerados, brechas, rocas piroclásticas, basaltos, andesitas y en ocasiones ultramáficas y gabros. Las rocas predominantes del Complejo Quebradagrande que afloran en la zona de estudio en su mayor parte son areniscas cuarzosas (Cuarzo mayor del 50%) con venas de cuarzo lechoso paralelas a la estratificación, las cuales tienen un espesor aproximado de 30 centímetros y lutitas carbonosas en menor proporción, estas rocas tienen una estructura esquistosa en la zona cercana a las fallas San Jerónimo y Villamaría - Termales.

Este complejo se encuentra suprayacido discordantemente por depósitos de lluvia piroclástica en el sector Sur de la zona de estudio y en la parte norte, por la Formación Casablanca

2.2.2. Formación Casablanca (Tscb)

Nombre asignado a un conjunto de sedimentos volcanogénicos de grano grueso y en menor proporción ignimbritas, tobas y sedimentos volcánicos re TRABAJADOS de grano fino, producidos como resultado de una gran agradación en cauces fluviales inducidos por el volcanismo del complejo Ruiz – Cerro Bravo. En el sector urbano de Manizales ésta Formación se encuentra muy meteorizada, y es suprayacida por depósitos de lluvia piroclástica; además es intruído por el Domo Sancancio.

2.2.3. Domo Sancancio (Qdsc)

El Cerro Sancancio se clasifica como un criptodomo formado como consecuencia de la inyección magmática a lo largo del sistema de fallas de Villamaría-Termales.

Ubicado en las cercanías de los barrios la Playita y Aranjuez, donde esta roca volcánica es de carácter intrusivo en el Complejo Quebradagrande y la Formación Casablanca. Se resaltan los basaltos columnares de color gris y los afloramientos de basaltos macizos muy diaclasados.

²¹ La descripción Geológica del área de estudio está basada en SALAZAR, 2001.

2.2.4. Lava De Lusitania (Qlb)

Unidad de roca ígnea subvolcánica con características de derrame lávico, de color gris oscuro y textura afanítica, sobresaliente por el fracturamiento concóideo; aflora en la carretera Panamericana a su paso por el barrio Lusitania hasta la quebrada Manizales. Petrográficamente corresponde a una andesita.

2.2.5. Depósitos De Flujos De Escombros (Qfl)

Depósitos semiconsolidados con materiales de rocas de tamaño de grano desde guijarros a bloques, dentro de una matriz de grano fino. con niveles de flujos de lodo, flujos piroclásticos y turberas que se interdigitan, pero no son continuos. Estos depósitos rellenan el valle del Barrio la Enea, y se extienden hasta la parte baja de Villamaría.

Los flujos de escombros corresponden a depósitos de retrabajamiento de material volcánico como cenizas, arenas, lapilli pumítico y fragmentos de rocas volcánicas y de cantos de rocas volcánicas con bloques ocasionales de rocas metamórficas y granodioritas. La matriz contiene minerales de halloisita, plagioclasa, cristobalita, cuarzo, moscovita, clorita, caolinita, sericita / esmectita interestratificada, y como minerales poco comunes la tridimita y microclina, los cuales fueron obtenidos por medio de difracción de rayos X.

2.2.6. Depósitos Aluviales

2.2.6.1. Abanico Aluvial de Maltería (Qam). Corresponde a un depósito constituido por depósitos aluviales de piedemonte. Se encuentra interestratificado con depósitos de lluvia piroclástica; esta unidad suprayace en contacto discordante con el Complejo Quebradagrande. El abanico aluvial de Maltería tiene una distribución longitudinal en sentido NE - SW y se distribuye desde Maltería hasta la confluencia de la quebrada Tolda Fría con la quebrada Manizales.

2.2.6.2. Depósitos Aluviales (Qal). Se encuentran asociados al Río Chinchiná. Se presentan desde semiconsolidados hasta no consolidados, conformados por material piroclástico retrabajado y por fragmentos de rocas de diferente tipo y tamaño.

2.2.6.3. Llanura de Inundación. Depósitos no consolidados de grano fino como lodos, arcillas, arenas y de grano grueso como guijos y guijarros, asentados hacia las márgenes de los ríos. No son cartografiables.

2.2.7. Depósitos De Lluvia Piroclástica (Qcp).

Los depósitos piroclásticos de caída son producto de la actividad Cuaternaria de los volcanes Cerro Bravo y Nevado del Ruiz. Cubren gran parte de las relaciones entre unidades litológicas más antiguas, suavizando la morfología del terreno. Las capas piroclásticas están compuestas por cenizas, lapilli pumítico, y ocasionalmente bombas volcánicas, su color varía desde gris hasta café oscuro.

2.2.8. Marco Tectónico

En el sector de Manizales se encuentran dos sistemas de fallas: el de Romeral con tendencia N - S y el de Palestina N - E; además existen fallas y lineamientos locales, los cuales se evidencian con fracturamiento y plegamiento en rocas, deflexión de colinas y drenajes.

Para el área de la cuenca del Río Chinchiná, se destacan tres conjuntos principales de fallas, las cuales han sido agrupadas de acuerdo a su orientación y caracterizadas desde el punto de vista morfológico de la neotectónica:

2.2.8.1. Conjunto de fallas N – S. Estructuras pertenecientes al sistema de fallas de Romeral, el cual atraviesa el Noroccidente Colombiano y está conformado por numerosas fallas subparalelas en dirección N - S. En este grupo se encuentra la Falla El Perro; la cual controla linealmente el cauce de la

quebrada el Perro; los indicios morfológicos en la zona son: cambios de pendiente, inestabilidad de laderas, trinchera de falla, facetas triangulares.

Esta falla afecta las rocas del Complejo Quebradagrande, donde se presenta diaclasamiento en las areniscas cuarzosas que afloran en la zona.

2.2.8.2. Conjunto de fallas N – E. A este grupo pertenecen las fallas San Jerónimo y Samaná Sur (la cual pertenece al sistema de fallas de Palestina).

La falla San Jerónimo presenta una disposición N15° E. Se encuentran asociados los rasgos morfológicos como: deflexión de la quebrada Tolda Fría, control de quebradas menores, silletas, facetas triangulares y una depresión cerrada, en el sector de la Florida. En este sector las rocas del Complejo Quebradagrande tienen una estructura esquistosa, la cual se le atribuye a esta falla. La falla San Jerónimo actúa como barrera para la falla Villamaria - Termaleles.

2.2.8.3. Conjunto de fallas N – W. La falla Villamaría - Termaleles está delimitada al Oeste por el sistema de fallas de Romeral y al Este por el sistema de fallas de Palestina. Esta falla tiene una dirección general NW - SE, tratándose de una falla de rumbo de carácter sinestrolateral. La cual presenta deflexión en algunas quebradas y un basculamiento de terraza en el sector llamado la Florida. Se destaca también, el control E - W de la quebrada Tolda Fría en el sector del barrio la Enea. Afecta las rocas del Complejo Quebradagrande y los depósitos de Flujos de escombros.

2.2.8.4. Lineamientos. En general estos lineamientos presentan dos direcciones preferenciales: N – E donde se destaca el lineamiento del Domo Sancancio, y E – W, en el sector del Barrio la Enea, donde se presenta un basculamiento y un lineamiento N - W en la parte norte en el sector de milancito.

2.3. GEOQUÍMICA

La componente geoquímica de este estudio está centrada en la estimación de la presencia de gas radón. Las concentraciones de Radón en el suelo son controladas por la concentración de Uranio, Torio y Radio en la roca y la alta permeabilidad del medio. La Uraninita, Troyanita, Titanita, Carnosita, Cercanita, Ilmenita, Monadita, Allanita, Rutilo, Autunita, Apatito, Zircón son minerales que están asociados al Uranio, Torio y Radio. Los rangos para la elaboración del Mapa Geoquímico son establecidos por la Agencia de protección del Medio Ambiente - EPA. La Tabla 7 muestra los rangos en pCi/l de Radón en suelos.

TABLA 7. Rangos del Radón para el Suelo

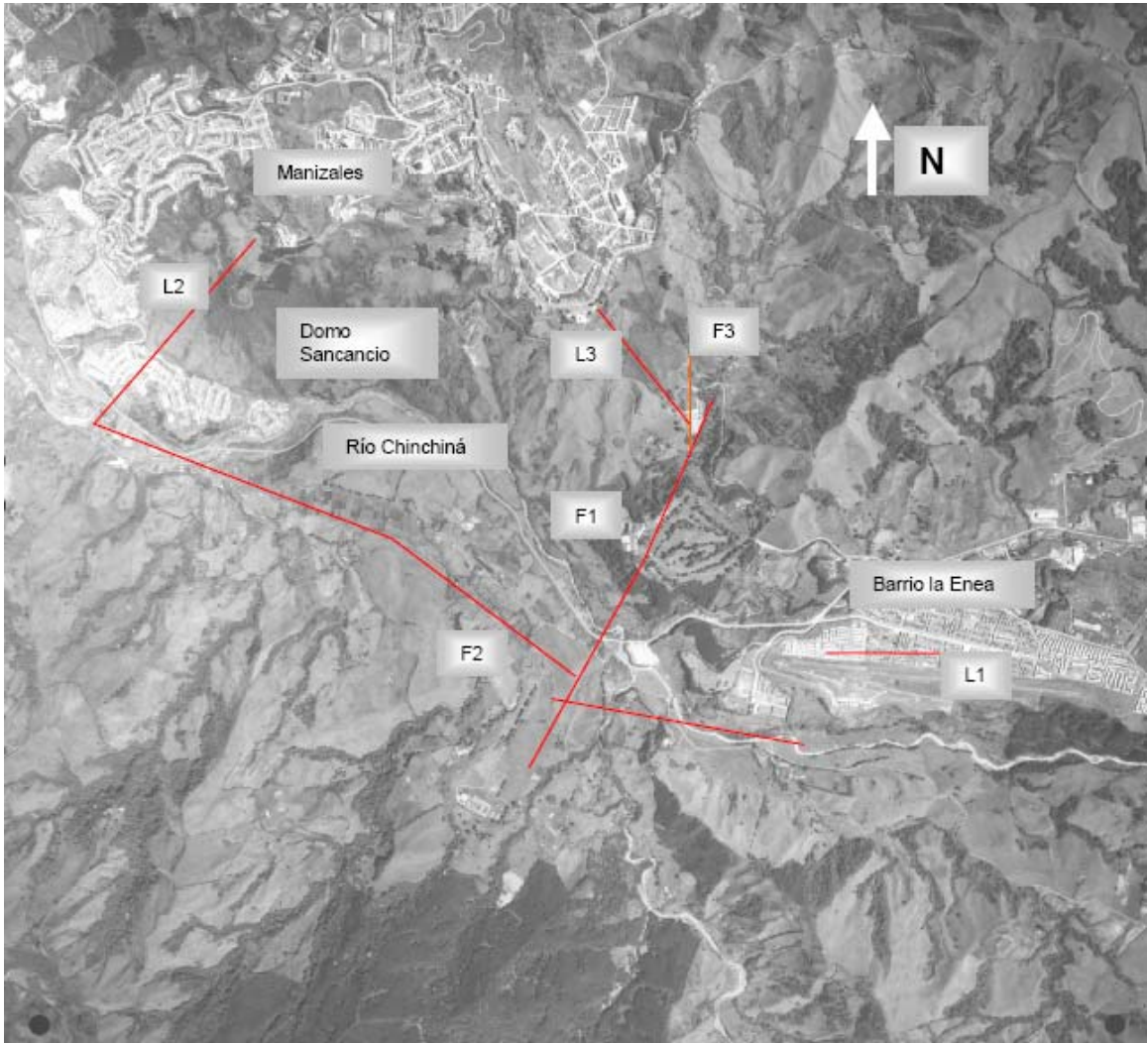
Rango pCi/l			Nivel
0	-	400	Bajo
400	-	800	Medio
800	-	En adelante	Alto.

Fuente: EPA, 2002, en Salazar 2001.

La Figura 6 muestra el área de estudio en una fotografía aérea, en la cual se han ubicado los trazos de las fallas San Jerónimo (F1), la falla Villamaría - Termaleles (F2) hacia el sector de la Florida. También se encuentran lineamientos en el barrio La Enea, en sentido E - W (L1). Mientras en el sector del Domo Sancancio se observan pocos rasgos morfológicos, con solo un lineamiento (L2).

Con base en la fotointerpretación se estableció la red de mediciones en una malla de muestreo de las emisiones del Radón - 222 en el suelo, donde se instalaron algunas estaciones sobre trazos de fallas, y otras donde no hay influencia geodinámica con el fin de evaluar los niveles en cada ambiente. Las estaciones se instalaron cada 500 m. de acuerdo con la escala de trabajo 1:25000. En la tabla 8 se muestra el total de 43 estaciones, codificadas desde ERnS01 hasta ERnS43, para la medición del Radón en el suelo.

FIGURA 6. Fotointerpretación del área de estudio. (F1) falla San Jerónimo, (F2) fallas Villamaría - Termales, (F3) falla el Perro, (L1, L2 y L3) lineamientos. Vuelo C-2144, foto 98, escala 1:25000.



Fuente: tomada de Salazar, 2001.

Con los niveles base del Radón y del Radio en el suelo, se elaboro el mapa de isoconcentraciones del Radón - 222, por medio del método estadístico kriging; En la Figura 7 se muestran en forma de histogramas, los resultados de las concentraciones del Radón - 222 medidos en el suelo.

La línea base o background local del Radón en el suelo para la zona de estudio es de 746 pCi/l. Los cálculos de las emisiones del Radón del suelo en las 43 estaciones instaladas, se muestran en la Tabla 8. Las concentraciones del Radón en el suelo varían desde 151 hasta 1830 pCi/l, resaltando la estación ERnS23, la cual tiene una concentración de 25000 pCi/l. El 40% de las estaciones tienen un nivel base de Radón mayor de 800 pCi/l.

FIGURA 7. Histogramas de muestreo de Gas Radón en el suelo.

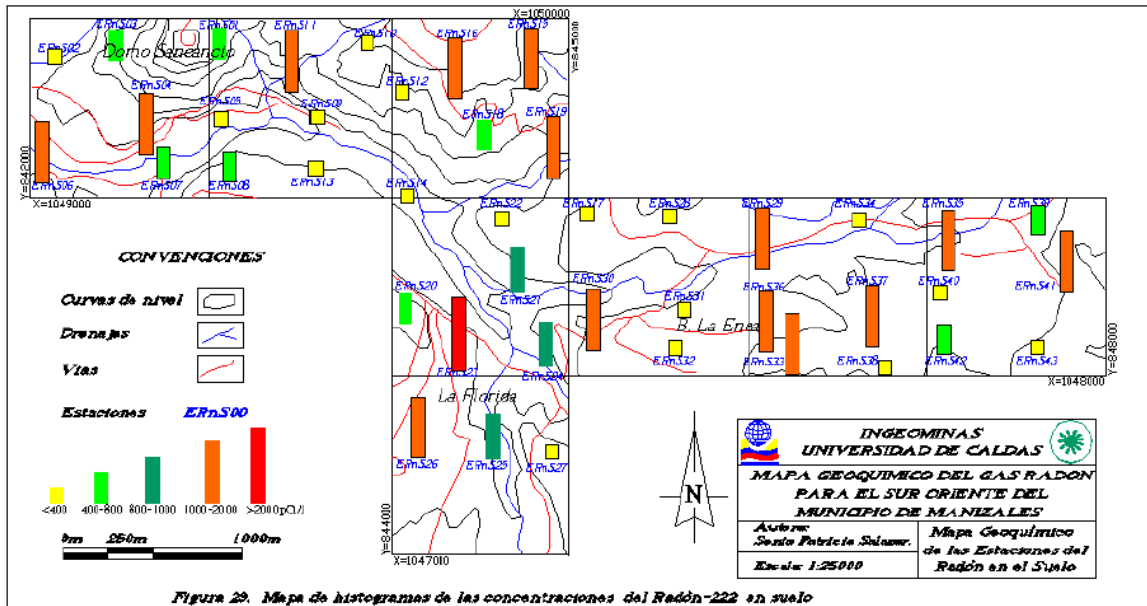


Figura 29. Mapa de histogramas de las concentraciones del Radón-222 en suelo

Fuente: tomada de Salazar, 2001.

Con base en estos datos, se pueden diferenciar dos grandes grupos:

- Emisiones del Radón del suelo superiores a 800 pCi/l; se pueden correlacionar con la actividad de algunas fallas locales,
- Emisiones del Radón inferiores a 800 pCi/l; se pueden correlacionar a otros ambientes geológicos dentro de la zona de estudio, los niveles son medios a bajos

TABLA 8. Estaciones y resultados de las mediciones del Radón en el suelo para cada estación.

<i>estación</i>	<i>latitud</i>	<i>longitud</i>	<i>cota</i>	<i>radón medido</i>
ERnS01	5° 03 12,25	75° 30 03,72	2078	733
ERnS02	5° 03 11,51	75° 30 03,72	2209	336
ERnS03	5° 02 59,01	75° 30 18,11	1995	712
ERnS04	5° 02 56,61	75° 30 17,41	2000	1950
ERnS05	5° 02 51,31	75° 30 10,62	1974	170
ERnS06	5° 02 46,40	75° 30 38,11	2148	1820
ERnS07	5° 02 41,01	75° 30 19,51	2147	412
ERnS08	5° 02 38,01	75° 30 02,42	2017	629
ERnS09	5° 02 51,32	75° 29 58,70	1950	151
ERnS10	5° 03 21,51	75° 30 01,82	2095	277

<i>estación</i>	<i>latitud</i>	<i>longitud</i>	<i>cota</i>	<i>radón medido</i>
ERnS11	5° 03 06,01	75° 29 34,02	2096	1013
ERnS12	5° 02 46,11	75° 29 28,12	2111	344
ERnS13	5° 02 24,37	75° 29 20,80	2007	342
ERnS14	5° 02 09,83	75° 29 04,44	2001	549
ERnS15	5° 02 58,41	75° 29 02,32	2144	1157
ERnS16	5° 02 56,21	75° 29 11,72	2112	1753
ERnS17	5° 02 28,97	75° 28 40,17	2073	476
ERnS18	5° 02 48,11	75° 29 06,12	2084	702
ERnS19	5° 02 50,24	75° 28 48,60	2048	1200
ERnS20	5° 02 02,77	75° 28 59,51	2034	782
ERnS21	5° 02 28,41	75° 29 18,92	2062	954
ERnS22	5° 02 33,41	75° 29 03,42	2063	500
ERnS23	5° 02 55,15	75° 28 51,83	1992	25000
ERnS24	5° 02 58,47	75° 28 52,80	1940	846
ERnS25	5° 01 47,64	75° 28 46,68	2032	811
ERnS26	5° 01 43,73	75° 28 49,84	2076	1484
ERnS27	5° 01 45,65	75° 28 47,67	2010	347
ERnS28	5° 02 31,61	75° 27 06,24	2189	448
ERnS29	5° 02 18,26	75° 28 31,65	2102	1617
ERnS30	5° 02 25,46	75° 28 35,58	2090	1226
ERnS31	5° 02 17,41	75° 28 24,52	2119	362
ERnS32	5° 02 02,01	75° 28 31,72	2130	282
ERnS33	5° 02 03,91	75° 28 20,12	2142	828
ERnS34	5° 02 18,81	75° 27 56,74	2100	214
ERnS35	5° 02 17,75	75° 27 58,61	2098	1113
ERnS36	5° 02 07,15	75° 28 07,70	2114	1830
ERnS37	5° 02 05,68	75° 27 48,21	2150	1363
ERnS38	5° 01 40,20	75° 27 54,83	2090	210
ERnS39	5° 02 16,69	75° 27 18,04	2099	525
ERnS40	5° 02 10,05	75° 27 40,12	2170	287
ERnS41	5° 02 10,51	75° 27 10,32	2150	1037

<i>estación</i>	<i>latitud</i>	<i>longitud</i>	<i>cota</i>	<i>radón medido</i>
ERnS42	5° 01 54,42	75° 27 33,02	2190	481
ERnS43	5° 01 31,61	75° 27 06,24	2189	304

Fuente: Modificada de Salazar, 2001.

Del análisis de estos resultados SALAZAR (Op. Cit) dice “De las estaciones con niveles superiores a 800 pCi/l, solamente las codificadas como ERnS23, ERnS15, ERnS19, ERnS25 y ERnS26 coinciden con trazos de las fallas Villamaría-Termalés y San Jerónimo, y la estación ERnS16 con el lineamiento N - W, cerca de la falla el Perro, con concentraciones de Radón de 25.000, 1.200, 811, 1.484 y 1.753 pCi/l respectivamente. Las estaciones ERnS36 y ERnS37 presentan emisiones de 1.830 y 1.363 pCi/l, respectivamente, y se encuentran localizadas sobre el lineamiento E- W observado en la fotointerpretación del presente trabajo. Las altas emisiones en las estaciones ERnS04 y ERnS06, sugieren que un lineamiento puede estar atravesando la parte W del domo Sancancio en dirección SW-NE.

Algunas estaciones del Radón presentan niveles diferentes, porque hay diferencias en:

- La litología puede variar dependiendo de sus facies;
- Mecanismos de transporte, y,
- Fallas

En la estación ERnS23 donde se midieron las más altas emisiones del gas Radón, iguales a 25000 pCi/l, se encuentran evidencias del cruce de las fallas Villamaría- Termalés y San Jerónimo. En esta zona se observan rasgos morfoestructurales vistos en campo como: cambios de pendiente, facetas triangulares y terrazas con subsidencia y leve basculamiento...”.

3. UNIVERSO FORMAL – MODELADO CONCEPTUAL

En este nivel de abstracción se busca conceptualizar y definir formalmente los objetos en estudio, seleccionados del universo del mundo real. El resultado de este nivel de abstracción es la concepción humana de la realidad descrita en forma matemática. Normalmente solo las propiedades consideradas relevantes son incorporadas al modelo.

Para definir los objetos en estudio o factores del medio físico²² que influyen en el problema a estudiar y por tanto son de interés en el desarrollo del proyecto, es recomendable seguir cuatro pasos básicos [AGUILAR, 1996]:

- Definición del nivel del detalle.
- Elección de las variables del medio físico.
- Recolección de la información y toma de datos.
- Espacialización de los datos.

Tras de lo cual se estará en capacidad de decidir el diseño del modelo, para realizar el proceso experimental que mejor se adapte a los requerimientos del proyecto. Una vez hecho esto, se procede a seguir dos pasos orientados a definir la implementación del modelo en el sistema software:

- Definición de las estructuras de almacenamiento de los datos y las relaciones espaciales.
- Representación gráfica en UML del diseño.

El modelo es denominado modelo formal cuando asume entidades lógicas y simbólicas que satisfacen un conjunto particular de axiomas y teoremas.

3.1. NIVEL DE DETALLE DE LA INFORMACIÓN

El nivel de detalle hace referencia a la escala y la exactitud temática y posicional²³ a la cual se va a trabajar. La escala está limitada por la información de los datos fuente a usar, que en este caso han sido proveídos por el INGEOMINAS, del trabajo de grado para optar al título de Geólogo en la Universidad de Caldas “Mapa geoquímica del Gas Radón para el Sur oriente del Municipio de Manizales”, realizado por la Geóloga Sonia Patricia Salazar, y dirigido por el Físicoquímico Gustavo Garzón. En este trabajo se realizó cartografía a una escala gráfica 1:25000 de la zona de estudio [SALAZAR, 2002] y por esto no podemos pretender obtener una mejor resolución cartográfica en nuestra investigación que aquella de donde provienen nuestros datos originales.

El IGAC por resolución 64 de 1994, establece que la exactitud posicional planimétrica y altimétrica con un error medio cuadrático RMS de 0,30 mm, debe asegurar que el 90% de puntos se encuentran a 0,5 mm de la posición correcta. Esta norma requerida para trabajos de cartografía en Colombia limita el tamaño de la unidad de información a medio milímetro en el mapa. Esto significa que como el área mínima es representada en el mapa por un píxel de la imagen, éste debe tener 12,5 metros de lado a la escala requerida. En otros trabajos varios autores²⁴ citan que en una imagen el tamaño ideal del píxel debe cubrir la cuarta parte de un milímetro a la escala de impresión para no sufrir la cuadrícula de bordes, esto significa que en una escala 1:25.000, cada píxel debe medir 6,25 metros de lado.

²² El medio físico, según Aguilar, corresponde al mundo real.

²³ Para una ampliación del tema, consultar [CÁCERES, 2001].

²⁴ Según [JENSEN, 1986] & [SABINS, 1995].

Al hablar de exactitud temática existen varias tendencias para determinar la forma de calcular el valor deseable, pues este valor es básico para asegurar la veracidad de los resultados, aunque no suficiente. La forma más general para exactitud temática dicta que para trabajar una clasificación digital, los campos que se tomen como áreas de entrenamiento deben cubrir el 1% del área total de la imagen a clasificar [CHUVIECO, 2000]. Para hacer uso de este criterio, tomamos el área total sobre la cual se posee información para someter a prueba la metodología, cubriendo ésta ocho (8) kilómetros cuadrados; Por lo cual, el área de muestreo debe ser mínimo de seiscientos cuarenta mil metros cuadrados (640.000 m² o 0.08 Km²) equivalentes a cuatro mil ciento dos (4102) píxeles medidos con respecto a la norma IGAC.

3.2. VARIABLES DEL MEDIO FÍSICO

La elección de las variables a considerar es una decisión importante que condiciona la realización y los resultados del trabajo. Sin embargo, no es posible crear una lista normalizada para la elección de los elementos a inventariar universalmente válida para todo proyecto, por lo cual es necesario listar en función de satisfacer los objetivos de cada trabajo en particular, condicionando los factores a la disponibilidad de información primaria y a la relevancia de ésta en número y detalle con los objetivos del proyecto.

Las variables para un proyecto SIG, como en cualquier proyecto y experimento basado en estadística, se dividen en independientes²⁵, cuando son producto del muestreo e ingresan como requisito del sistema, y dependientes²⁶ cuando son obtenidas por alguna operación dentro del sistema.

Siguiendo el punto de vista del profesional en ciencias de la tierra (geología) y a la luz del análisis que del mundo real se elaboró, se han determinado las variables (Ver tabla 9) que pueden afectar la percepción del gas radón en la superficie del terreno capturada por una imagen satelital, la clasificación de éstas se basa en el factor y nivel estadístico al cual pertenecen, organizándolas en un orden descendente desde la parte exterior de la atmósfera, hasta lo más profundo del subsuelo; con este método, se asegura el análisis de todas las variables posibles para determinar aquellas que poseen un interés en el estudio y son factibles de cuantificar o cualificar.

La única variable dependiente a determinar en este estudio es la Emisividad de Gas Radón en las áreas no medidas. Todas estas variables se deben estudiar a igual profundidad (escala y densidad de datos) para no ponderar erróneamente la influencia de una sobre el estudio o perder información en el proceso.

3.3. TOMA DE DATOS

La representación y el análisis de estas variables del medio físico en el contexto computacional pasan inicialmente por la adquisición de muestras de la variable.

Las fuentes de información para la toma de datos, tradicionalmente han sido clasificadas²⁷ en primarias, si se recoge por contacto directo con el objeto de estudio (Trabajo de campo en muestreo o encuestas), y en secundarias si esta es tomada de cualquier medio impreso o digital (Documentación). La comunidad científica ha aceptado la inclusión de los sensores remotos²⁸ como otro tipo de datos perteneciente a las fuentes primarias, a pesar de que éstos no requieren del contacto directo con el objeto a estudiar.

TABLA 9. Listado de variables analizadas para determinar su relevancia en el desarrollo del presente proyecto

<i>Factor</i>	<i>Nivel</i>	<i>Variables Independientes</i>
---------------	--------------	---------------------------------

²⁵ También conocidas como fundamentales.

²⁶ También conocidas como derivadas.

²⁷ Matthews y Foster (1989), en Aguilar (1996).

²⁸ Aguilar (1996).

Atmosférico	Temperatura	No tratadas
	Precipitación	No tratadas
	Evapotranspiración	No tratadas
	Insolación	No tratadas
	Humedad atmosférica	No tratadas
	Viento	No tratadas
	Reflectancia	Longitud de onda desde el Azul hasta el Infrarrojo
Antrópico	Socio Económicos	No tratados
Biológico	Vegetación	Cobertura Vegetal Actual
	Fauna	No tratadas
Hídrico	Aguas superficiales	Cobertura Actual de Aguas Superficiales
	Aguas subterráneas	No tratadas
Paisajístico	Visual	No tratadas
	Total	Cobertura Actual del Obras en el Uso del Suelo
Geológico	Litología y estratigrafía	Unidades Geológicas Litoestratigráficas
	Geología Estructural	No tratadas
	Geoquímica	Emisión Natural del Gas Radón
	Geomorfología	No tratadas
	Edafología	Suelo sin Cobertura Actual

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

3.3.1. Inventariación de los Datos

El muestreo o inventariado consiste en la adquisición de los datos para alimentar el sistema. Existen diversos sistemas de muestreo según sean fuentes de datos primarias o secundarias, según la naturaleza del objeto a muestrear y según el presupuesto disponible. Como regla general, siempre se recomienda acudir a la búsqueda y evaluación de las fuentes secundarias antes de decidir invertir en muestreos directos.

Un muestreo directo se realiza según una planificación²⁹ que incluye la cantidad de puntos a muestrear, la definición de una malla para la localización de los puntos de muestreo, la cantidad de información a tomar en cada punto y las condiciones de calidad a las cuales se requiere referir cada muestreo.

La información en la cual se basa este proyecto, es en su mayoría proveniente de fuentes secundarias, pues está referida a los trabajos de investigación de INGEOMINAS, llevados a cabo por Gustavo Garzón y Sonia Patricia Salazar, citados previamente. La única fuente primaria de datos, está constituida por una imagen de satélite de alta resolución espacial (ver tabla 10). Debido a esto, no se ha elaborado una disertación sobre qué métodos es posible aplicar a cada variable inventariada en este proyecto, limitándose a presentar la información del muestreo realizado por las fuentes originales en el ítem

²⁹ Para una ampliación al respecto consultar MYERS y SHELTON [AGUILAR, 1996].

referente a la descripción del mundo real; sin embargo, es necesario aclarar que ésta debe llevarse a cabo cuando las fuentes de datos se basan en un muestreo directo en campo.

De esta tabla, se destacan por sus características óptimas para el proyecto los satélites Ikonos y OrbView 3 por su alta resolución espacial, y el Terra con su sensor ASTER, tanto por su resolución espacial como por su resolución espectral. Las demás características de las imágenes no fueron tabuladas por considerarse de poca relevancia para el logro de los objetivos.

Para la evaluación del sistema se propone usar una imagen Landsat TM de resolución espacial 30 metros, con base en el precepto de que en las pruebas es de mayor importancia la resolución espectral de la imagen que la espacial, ya que la capacidad del sistema para encontrar correlaciones no depende del tamaño del píxel. Sin embargo, se hace claridad en que la imagen óptima para lograr mejor el desempeño del sistema no es la proveniente del sensor TM en la misión Landsat.

TABLA 10. Matriz de selección para la elección de la imagen de satélite.

<i>Sistema</i>		<i>Resolución Espectral</i>				<i>Resolución Espacial</i>	
<i>plataforma</i>	<i>Sensor</i>	<i># Bandas</i>	<i>UV</i>	<i>Vis</i>	<i>IR</i>	<i>Píxel</i>	<i>Escena</i>
GOES	IMAGER	5 bandas	No	Sí	Sí	1 a 4 Km.	Disco terrestre
GOES	SOUNDER	18 bandas	No	Sí	Sí	?	Disco terrestre
NOAA	AVHRR	6 bandas	No	Sí	Sí	1.1 Km.	2600 Km.
NIMBUS	CZCS	6 bandas	No	Sí	Sí	800 m.	1600 Km.
MOS-1	VTIR	4 bandas	No	Sí	Sí	900 m.	1500 Km.
MOS-1	MESSR 1 y 2	4 bandas	No	Sí	Sí	50 m.	100 a 185 Km
DMSP	OLS	2 bandas	no	Sí	Sí	0.5-2.7 Km	3000 Km.
Landsat	MSS	4 bandas	No	Sí	Sí	80 m.	185 Km.
Landsat	TM	7 bandas	No	Sí	Sí	30 m.	185 Km.
Landsat	ETM +	9 bandas	No	Sí	Sí	30 m.	185 Km.
IRS-1A&B	LISS-I	4 bandas	No	Sí	Sí	72.5 m.	148 Km.
IRS-1A&B	LISS-II	4 bandas	No	Sí	Sí	36.25 m.	74 Km.
IRS-1C	Pan	1	No	Sí	No	5.8 m.	70 Km.
IRS-1C	LISS-III	4 bandas	No	Sí	Sí	25 m.	142 Km.
IRS-1C	WiFS	1 banda	No	Sí	Sí	180m.	774 Km.
SPOT	HRV	5 bandas	No	Sí	Sí	20 m.	60 Km.
SPOT	VEGETATION	4 bandas	No	Sí	Sí	1 Km.	2250 Km.
ERS-1 y 2	ATSR	4 bandas	Sí	Sí	Sí	1 Km.	500 Km.
OrbView 1	mono	1	No	Sí	Sí	10 Km.	1,300 Km.
OrbView 2	SeaWifs	8 bandas	No	Sí	Sí	1.6 Km.	2800 Km.
OrbView 3	Multi	4 bandas	No	Sí	Sí	1 - 2 m.	8 Km.
OrbView 4	Pan	1 banda	No	Sí	Sí	1 metro	8 Km.
OrbView 4	multi	4 bandas	No	Sí	Sí	4 metros	8 Km.
OrbView 4	hiper	200 bandas	No	Sí	Sí	8 metros	5 Km.
JERS - 1	OPS	4 bandas	No	Sí	Sí	18 m.	75 Km
IKONOS	Pan	1	No	Sí	Sí	1 m.	11 Km.

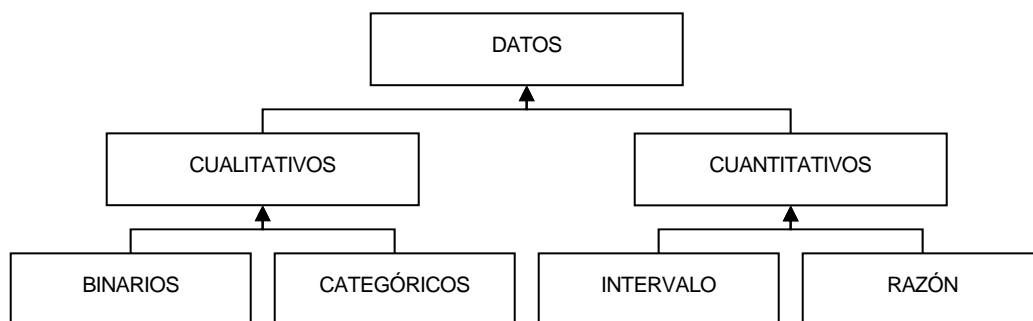
Sistema		Resolución Espectral				Resolución Espacial	
plataforma	Sensor	# Bandas	UV	Vis	IR	Píxel	Escena
IKONOS	Multi	4 bandas	No	Sí	Sí	4 m.	11 Km.
RESURS-01	MSU-SK	5 bandas	No	Sí	Sí	160 m.	600 Km.
RESURS-F2	MKF-4	4 bandas	No	Sí	Sí	6.7 m.	120 Km.
TERRA EOS AM-1	ASTER	14 bandas	No	Sí	Sí	15 a 90 m.	60 Km.
TERRA EOS AM-1	CERES	3 bandas	Sí	Sí	Sí	20 Km.	2800 Km. ?
TERRA EOS AM-1	MISR	4 bandas	No	Sí	Sí	275-250 m.	360 Km.
TERRA EOS AM-1	MODIS	36 bandas	No	Sí	Sí	250-1000 m.	2330 Km.
TERRA EOS AM-1	MOPITT	3 bandas	Sí	Sí	No	22 Km.	640 Km.
SPIN-2	CÁMARA TK-350	1 banda	No	Sí	No	10 m.	200 Km.
SPIN-2	CÁMARA KVR-1000	1 banda	No	Sí	No	2 m.	160 Km.
EO1	HYPERION	220 bandas	No	Sí	Sí	30 m.	7.5 x 100 Km.

Fuente: Pinto Valderrama, Jorge Eduardo. 2002. Material de apoyo al aprendizaje, módulo de sensores remotos. Especialización en sistemas de información Geográfica, UIS.

3.3.2. Métrica de los Datos

El parámetro más importante a tener en cuenta en el proceso de toma de datos para un SIG es el concerniente a la métrica de los mismos, pues de esto depende el éxito de los procesos computacionales a los cuales van a ser sometidos.

FIGURA 8. Diagrama de jerarquía para la clasificación de la métrica de los datos. La flecha en dirección hacia arriba se interpreta como relación "es un".



Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

De forma genérica, el término métrica puede ser definido como el proceso de asignar un valor numérico y un nombre a cada elemento de un conjunto [KEMP, 1992]. Estas reglas pueden ir desde la simple asignación de un valor, 0 y 1 para los muestreos (Datos discretos, e.g. 0 = ausencia, 1 = presencia), hasta un conjunto de valores extraídos de los números reales (Datos continuos, e.g. 34,8° Celsius, etc.).

TABLA 11. Equivalencia de la nomenclatura usada para las escalas métricas de los datos

ESCALA	DESCRIPCIÓN	OTROS AUTORES
Binario	Dicotómica Binaria	Dicotómicas binarias

Nominal	Multicategórica Cualitativa no Jerárquica	Nominales o cualitativas multicategóricas
Ordinal	Multicategórica Ordinal Jerárquica	Ordinales
Intervalo	Continua de Referencia Relativa	Cuantitativas Relativas
Razón	Continua de Referencia Absoluta	Cuantitativas Ratio

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

La regla usada en el proceso de medición determina su escala o nivel, y cada nivel de medida describe la entidad en estudio con un determinado detalle. Como la forma de realizar muestreos en campo para las variables del mundo real afecta a las formas de manipulación de estos datos, es esencial que el nivel de medida utilizado sea incorporado a un conjunto de escalas (Ver figura 8).

En la tabla 11, los tres primeros niveles son cualitativos, pues a cada medida es atribuido un número y nombre asociando la variable observada a la clase temática de un tema. Cuando un valor numérico es usado en los niveles de medidas cualitativos, este valor sirve únicamente como identificador para nombrar y clasificar aquella muestra de la variable (e.g. 1 = Roca Ígnea, 2 = Roca Sedimentaria, etc.), no es posible por lo tanto usar este número en expresiones lógicas matemáticas, pues no son valores cuantitativos y por tanto no determinan magnitud.

Cuando el estudio necesita de una descripción más detallada, que permita comparar intervalo y orden de magnitud entre las clases temáticas, se recurre a los dos últimos niveles de medidas denominados cuantitativos, en donde las reglas de asignación de valores se basan en una escala de números reales. Las medidas cualitativas y las numéricas arbitrarias (relativas) no deben ser usadas directamente en expresiones matemáticas. Entretanto, en la práctica, los modelos del espacio físico combinan valores absolutos con valores arbitrarios. En estos casos, se incluyen parámetros para permitir la conversión de valores medidos en nivel arbitrario al nivel absoluto, en unidades apropiadas.

Es importante citar que dependiendo de los intereses del estudio, un mismo objeto puede requerir la captura de datos correspondientes a varias propiedades de este, en variados sistemas de medida.

3.3.2.1. Nivel de medida Binario. (Dicotómica binaria). Se basa en la diferenciación entre los objetos siguiendo dos clases distintas. Por ejemplo, el clima puede ser clasificado como: seco y húmedo, caliente y frío, atribuyéndosele valores 0 y 1 para clases distintas. Es evidente que esta clasificación es extremadamente general para describir eventos, y posiblemente se dé una gran pérdida de información, pero según los intereses del modelador puede haber situaciones en las cuales esta descripción sea suficiente.

Para el caso presente, no existen variables medidas bajo esta escala.

3.3.2.2. Nivel de medida Nominal. (Multicategórica cualitativa no jerárquica). Es una evolución del nivel binario, en el que el número de clases disponibles para la descripción del objeto en estudio es mayor que dos. Como ejemplo de clases usadas en medidas nominales se citan: clases de suelo, clases de roca, clases de cobertura vegetal. Una característica común de los niveles binario y nominal es que la clasificación de los eventos es hecha sin ninguna jerarquía inherente y el orden asignado apenas sirve para diferenciarlos.

3.3.2.3. Nivel de medida Ordinal. (Multicategórica ordinal jerárquica). Atribuye valores y nombres para las muestreos, mas genera un conjunto ordenado de clases, basado en criterios como tamaño (mayor del que, menor del que), altura (1 = bajo, 2 = medio, 3 = alto), etc. Datos temáticos de clases de drenaje y de erosión, son ejemplos de variables medidas en nivel ordinal.

3.3.2.4. Nivel de medida Intervalo. (Continua de referencia arbitraria e intervalos constantes). En el Nivel de medida arbitraria de intervalos constantes el punto de referencia cero es definido de forma arbitraria, permitiendo la asignación de valores negativos, y positivos $[-\infty, 0, \infty]$, para los muestreos. El ecuador y el meridiano de Greenwich, usados con frecuencia en la determinación de posiciones

sobre la superficie de la tierra, y el punto de congelamiento del agua usado como referencia en las medidas de temperatura en grados Celsius son ejemplos de puntos de referencia cero arbitraria. Por tener un punto de referencia cero arbitrario, valores medidos en este nivel no pueden ser usados para estimar proporciones; por ejemplo, no tiene sentido físico la operación $10^{\circ}C * 2$, porque $20^{\circ}C$ no es dos veces más caliente del que $10^{\circ}C$

3.3.2.5. Nivel de medida Razón. (Continua de referencia absoluta e intervalos constantes). El punto de referencia cero no es arbitrario, es determinado por alguna condición natural. Por ejemplo, en la descripción de atributos como el peso, la distancia entre dos puntos, el área y el volumen de objetos, no tiene sentido físico asignar valores negativos, siendo la ausencia de estos atributos el punto de origen cero en la escala de medida correspondiente.

En el caso de la temperatura, la condición natural es el punto de reposo de los átomos de la materia, a partir del cual no se consiguen temperaturas menores. Este punto es el cero absoluto para temperatura, cero grados Kelvin. Por tener como punto referencia el cero absoluto, la medida hecha en nivel de medida por razón permite estimar proporciones y puede ser usada en operaciones aritméticas y algebraicas entre muestreos.

3.3.3. Clasificación Métrica de Datos.

Para el proyecto, las variables a ser analizadas corresponden al tipo de datos enumerado en la tabla 12. La reflectancia en las imágenes de satélite está medida desde el cero hasta el nivel digital doscientos cincuenta y cinco; la vegetación, aguas superficiales, cobertura paisajística total, litoestratigrafía y edafología corresponden al tipo de datos nominal, tomando valores según la cobertura actual de la superficie.

TABLA 12. Variables independientes analizadas y tipo de datos asociados a estas para el proyecto.

<i>Nivel</i>	<i>Variables Independientes</i>	<i>Medida</i>
Reflectancia	Longitud de onda desde el Azul hasta el Infrarrojo	Razón
Vegetación	Cobertura Vegetal Actual	Nominal
Aguas superficiales	Cobertura Actual de Aguas Superficiales	Nominal
Paisajístico Total	Cobertura Actual del Obras en el Uso del Suelo	Nominal
Litología y estratigrafía	Unidades Geológicas Litoestratigráficas	Nominal
Geoquímica	Emisión Natural del Gas Radón	Razón
Edafología	Cobertura Actual del Suelo	Nominal

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

La única variable dependiente del estudio (ver tabla 13), corresponde a una clasificación multicategoría de cinco categorías que va desde muy bajo hasta muy alto.

TABLA 13. Variables dependientes analizadas y tipo de datos asociado para el proyecto.

<i>Nivel</i>	<i>Variable dependiente</i>	<i>Medida</i>
Geoquímica	Emisión Natural del Gas Radón	Ordinal

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

3.4. ESPACIALIZACIÓN DE LOS DATOS

La forma en que se deben representar adecuadamente los datos en el espacio geográfico, es estudiada por la cartografía. En el universo matemático, la cartografía se enfoca en conceptualizar el tipo de mapa en que se van a consignar los datos geográficos según su comportamiento espacial. Las variables cuyo valor puede estar asociado con una posición geográfica (x, y) , son denominadas genéricamente variables espaciales.

En el texto "Gis: A Computing Perspective", Worboys³⁰ considera posible realizar Geoprocesamiento de las variables espaciales por medio de dos visiones complementarias de modelado: los modelos de campos Geográficos y los modelos de objetos geográficos.

TABLA 14. Clasificación de los mapas según el comportamiento espacial de sus datos

<i>clase</i>	<i>GeoCampos</i>	<i>GeoObjetos</i>
Tipo de Mapa	Mapas Temáticos	Mapas de Catastro (registro) de información
	Modelos Numéricos	Mapas de Redes
	Imágenes	

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

³⁰ En [FARIA, 1997].

El modelo de campos considera el espacio geográfico como una superficie continua denominada GeoCampos³¹, sobre la cual los fenómenos son observados como variables espacialmente continuas cuyos valores son definidos en todas las posiciones de la región geográfica de estudio. Por ejemplo, un mapa de vegetación describe una distribución que asocia a cada punto del mapa, un tipo específico de cobertura vegetal, en cuanto un mapa geoquímico asocia el tenor de un mineral a cada punto. También es denominada cobertura por el OGC³². Variables como temperatura, topografía, tenor de minerales, reflectancia y emitancia pertenecen a esta clase de datos geográficos.

La segunda clase, denominada de objetos geográficos o GeoObjetos, según el OGC está constituido por variables que presentan discontinuidad espacial y pueden ser individualizadas, es decir, estas variables no son definidas en todas las posiciones de la región geográfica de estudio. Variables como ríos, determinado cultivo y una serie de lotes en un mapa catastral pertenecen a esta clase de datos geográficos pues identifica cada río, cultivo y lote como un dato individual, con atributos que lo distinguen de los demás.

3.4.1. Cobertura o GeoCampo

Un GeoCampo representa la distribución espacial de una variable que posee valores en todos los puntos pertenecientes a una región geográfica, sugiere que el elemento fundamental de información geográfica es una tupla del tipo:

$$T = \langle x, y, z_1, z_2, z_3, \dots, z_n \rangle$$

Esta tupla T describe el valor de n variables espaciales en la posición (x, y) . Como x y y determinan posiciones en el espacio, y el espacio es continuo, el número de tuplas es infinito, se puede por lo tanto afirmar que una variable espacial de clase campo puede ser descrita como un conjunto infinito de tuplas $\langle x, y, z \rangle$, tal que la componente z de cada tupla contiene el valor de la variable espacial en la posición (x, y) .

Usando una definición más formal, se define un GeoCampo (f) como una entidad matemática que representa la distribución de una variable espacialmente continua sobre una región geográfica (R).

$f = [R, V, \lambda]$ En donde:

R : Es la región geográfica que define el dominio espacial. Se define una región geográfica R como una superficie cualquiera perteneciente al espacio geográfico, que puede ser representada en un plano o retícula, con dependencia de una proyección cartográfica apropiada.

V : Recorrido o codominio de valores de la variable en la región geográfica

λ : Cartografía entre puntos (x, y) en R y valores en V ($\lambda : R \rightarrow V$)

Una característica particular de los campos en el medio físico es el grado extremadamente alto de autocorrelación espacial [FARIA, 1997], lo cual es usualmente citado en la literatura como “la tendencia que tiene la naturaleza a no presentar cambios abruptos en su comportamiento”. Esta característica permite inferir que en posiciones cercanas se tiene una alta posibilidad de poseer características similares, compensando así el hecho de no medir el fenómeno continuo en todas las posiciones, puesto que las posiciones continuas tienden a infinito.

³¹ Para un estudio más detallado de los GeoCampos, consultar Goodchild, 1992. y Câmara, 1995. citados en [FARIA, 1997].

³² Traducción del término coverage en idioma inglés, definido por el Open Gis Consortium OGC, Entidad encargada de elaborar los estándares con respecto a la información espacial, su tratamiento informático y las herramientas software que lo ejecutan. www.ogc.org.

El conocimiento de la autocorrelación espacial es aplicable a poca información cuando los valores cambian rápidamente entre posiciones conocidas. Para manipular y representar campos en modelos matemáticos es necesario encontrar alguna forma de ligar la variación continua del campo, como ella es observada en la naturaleza, con los muestreos individuales almacenados en computador, representando los valores del fenómeno en ciertas posiciones.

Esta relación entre la realidad continua y su representación discreta en computador es obtenida en dos pasos:

- Dividiendo el espacio continuo en intervalos de posiciones, donde los valores discretos pueden ser medidos y registrados;
- Estableciendo reglas para interpolar valores desconocidos entre estas posiciones, de forma que sea posible derivar la continuidad presente en el campo a partir de su representación discreta.

El presente trabajo aborda el modelado y la manipulación de variables espaciales de clase GeoCampo. El concepto de GeoCampo puede especializarse en función de la variable geográfica que se está modelando. Se sugieren tres especializaciones para geocampo a saber: temático, numérico e imagen.

3.4.1.1. Mapa Temático. Este tipo de mapa es usado para modelar variables cuyos valores fueron obtenidos a través de escalas de medidas cualitativas (binaria, nominal y ordinal).

La función λ caracteriza un geocampo temático cuando define una cartografía $\lambda : R \rightarrow V$, tal que V es un conjunto finito numerable. Los elementos de V definen los temas de un geocampo temático.

3.4.1.2. Mapa Numérico. Este tipo de mapa es usado para modelar variables cuyos valores fueron obtenidos a través de escalas de medidas cuantitativas (arbitrarias y absolutas).

La función λ caracteriza un geocampo numérico cuando define una cartografía $\lambda : R \rightarrow V$, tal que V es el conjunto de los reales.

3.4.1.3. Mapa Imagen. Este tipo de mapa es usado para modelar variables cuyos valores fueron obtenidos a través de discretización de la respuesta recibida por sensor remoto (pasivo y activo) de un área de la superficie terrestre, por lo cual su valor de nivel digital es medido a través de medidas cuantitativas absolutas. La función λ caracteriza un geocampo imagen cuando define una cartografía $\lambda : R \rightarrow V$, tal que V es el conjunto de los naturales. Esta clase es una especialización de la clase geocampo numérico.

3.4.2. GeoObjetos

Un GeoObjeto es un elemento único que posee atributos no espaciales y está asociado a múltiples localizaciones geográficas. La localización pretende ser exacta y el objeto es distinguido de su entorno. En el presente trabajo no se trabaja formalmente en el procesamiento con este tipo de cartografía, pues solo se usa para la entrada de datos al sistema y posteriormente toda esta información es trasladada a GeoCampos.

3.4.2.1. Mapa de Catastro o Registro. Describe la localización de elementos de sistemas de información de catastro³³ urbano o rural, catastro ambiental u otros y que utilizan la topología arco – nodo - polígono para almacenar la información. Este tipo de mapa es usado para modelar variables cuyos valores fueron obtenidos a través de escalas de medidas cualitativas (binaria, nominal y ordinal) y/o cuantitativas (relativas y absolutas), pero en donde solo una variable de las medidas sirve como identificador y todas las demás son almacenadas como campos de una tabla. Este identificador en preferencia debe ser cualitativo nominal.

³³ Entiéndase como catastro el registro de un elemento geográfico asociado con el correspondiente inventario de sus atributos descriptivos.

Hablar de la categoría del modelo de Mapa Catastral es hacer referencia a los mapas que contienen la representación de determinado tipo de objeto por ejemplo: La división política es la categoría catastral que contendrá el mapa con las representaciones de los municipios.

3.4.2.2. Mapa de Redes. Son mapas que utilizan la topología arco - nodo, y almacenan la localización y la simbología asociada a estructuras linealmente conectadas a manera de grafos. Información adicional en este tipo de mapas incluye direcciones de flujo y segmentación dinámica. Este tipo de mapa es igualmente usado para modelar variables cuyos valores fueron obtenidos a través de escalas de medidas cualitativas (binaria, nominal y ordinal) y/o cuantitativas (relativas y absolutas), por lo cual el identificador en preferencia debe ser cualitativo nominal.

Hablar de la categoría del modelo de Mapa de Red es hacer referencia a los datos geográficos cuyas relaciones de flujo y conexión entre sus incontables elementos que se desean representar y monitorear. Ejemplo: red de energía eléctrica, alcantarillado, agua, drenaje, teléfonos, etc.

3.4.3. Clasificación Espacial De Los Datos

De acuerdo a la clasificación vista, las variables seleccionadas en el presente estudio deben ser clasificadas cartográficamente según el tipo de medida al cual sus datos pertenecen.

TABLA 15. Variables independientes analizadas y tipo de datos asociados a estas para el proyecto.

<i>Nivel</i>	<i>Variable</i>	<i>Medida</i>	<i>Cartografía</i>	<i>Mapa</i>
Reflectancia	Longitud de onda desde el Azul hasta el Infrarrojo	Razón	GeoCampo Imagen	Imagen satelital multiespectral.
Vegetación	Cobertura Vegetal Actual	Nominal	GeoCampo Temático	Uso y Cobertura Actual del Suelo
Aguas superficiales	Cobertura Actual de Aguas Superficiales	Nominal	GeoCampo Temático	Uso y Cobertura Actual del Suelo
Paisajístico Total	Cobertura Actual del Obras en el Uso del Suelo	Nominal	GeoCampo Temático	Uso y Cobertura Actual del Suelo
Litología y estratigrafía	Unidades Geológicas Litoestratigráficas	Nominal	GeoCampo Temático	Geología
Geoquímica	Emisión Natural del Gas Radón	Razón	GeoCampo Numérico	Mapa Geoquímico de Gas Radón
Edafología	Cobertura Actual del Suelo	Nominal	GeoCampo Temático	Uso y Cobertura Actual del Suelo
Geoquímica	Estimación de la Emisión Natural del Gas Radón (V Dependiente)	Ordinal	GeoCampo Temático	Unidades de Emisividad de Gas Radón

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

En la tabla 15 se presenta resumido el sistema de clasificación de los datos, el tipo de mapa en el cual se han de consignar estas variables y el nombre propuesto para este mapa.

3.5. ALMACENAMIENTO DE DATOS Y RELACIONES ESPACIALES

Debido a la compleja interrelación que existe entre la representación geométrica³⁴ de un dato y las estructuras de almacenamiento de datos usadas para la cartografía digital, las dos son frecuentemente

³⁴ En el capítulo correspondiente al Universo de la Representación - modelo Lógico

confundidas. Se debe considerar únicamente dos grandes categorías de estructuras de datos en SIG [FARIA, 1997], la estructura Raster y la estructura Vectorial. Las estructuras de datos usadas en Sistemas de Información Geográfica se muestran en la tabla 16 en una comparación sinóptica entre éstas.

Los almacenamientos en estructuras matriciales (o Raster) y vectoriales no son exactamente equivalentes en el espacio para una misma información. Normalmente hay una pérdida de precisión al transformar del formato vectorial para el formato Raster, ya que los bordes continuos son discretizados de acuerdo con la resolución de la imagen de salida. Esta pérdida es compensada por el hecho de que las operaciones de análisis espacial en el dominio matricial son más eficientes computacionalmente.

TABLA 16. Comparación entre las estructuras de almacenamiento de los datos, considerando un mismo tema representado en ambos sistemas.

<i>Características</i>	<i>Estructura Vectorial</i>	<i>Estructura Raster</i>
<i>Ventajas</i>	<p>Mapa representado en la resolución original.</p> <p>Asociación de fácil de atributos a elementos gráficos.</p> <p>Relaciones topológicas. Adecuado para escalas grandes (1:25.000 y mayores).</p>	<p>Representa fenómenos variantes en el espacio.</p> <p>Simulación y modelado son más fáciles.</p> <p>Análisis geográfico rápido.</p> <p>Adecuado para escalas pequeñas (1:50.000 y menores).</p>
<i>Desventajas</i>	<p>Captura de datos lenta.</p> <p>Difícil estructuración de los datos.</p> <p>No representa fenómenos con variación continua en el espacio.</p> <p>La simulación el modelado de procesos y son más difíciles.</p>	<p>Gran espacio de almacenamiento utilizado.</p> <p>Difícil representación y análisis de redes.</p> <p>Pobre calidad gráfica para la representación.</p> <p>Exactitud geométrica baja y Posible pérdida de resolución.</p> <p>Difícil asociación de atributos.</p>

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

3.5.1. Estructura de Datos Vectorial

El formato vectorial está definido por el uso de tres elementos básicos para almacenar los objetos espaciales:

- Punto: Entidad geográfica identificada por un único par de coordenadas (x, y) .
- Nodo: Puntos inicial y final de cada arco. El nodo tiene asociada la información de topología. Usualmente, un punto representado en un mapa por un símbolo equivale a un nodo cuyo punto inicial y final son uno solo, relacionado a una entidad geográfica que no es posible representarla en su dimensión de área debido a la escala.
- Arco: Conjunto de coordenadas (x, y) que describen una línea en el espacio, de trazo continuo. Usualmente es usado para representar entidades que sólo tienen la dimensión en longitud, o como vías o límites entre polígonos.
- Polígonos: Es el espacio comprendido entre regiones limitadas por arcos. Cada polígono es construido a partir del conjunto de arcos que lo define.

Este formato es usualmente resultado de la digitalización de mapas. Usualmente consiste en un listado coordenado en dos dimensiones que delimita regiones temáticas o representa redes con una impedancia asociada a ellos como tercer atributo. Se decide almacenar un objeto vectorialmente en un

intento por representarlo tan exacto posicionalmente como sea posible, procurando definir con precisión todas las posiciones, longitudes y dimensiones de los objetos espaciales

3.5.2. Estructura de Datos Raster

El formato Raster o matricial esta definido por un conjunto de celdas localizadas en coordenadas contiguas, implementadas en una matriz bidimensional. Cada celda, también llamada elemento de imagen, elemento de matriz o "píxel", es referenciada por índices de línea y columna y contiene un número (nivel digital) representando el tipo o valor del atributo cartografiado.

Estos niveles digitales de la matriz pueden estar limitados a:

- Intervalos numéricos: Rangos de valores posibles, por ejemplo de 0 a 255 para imágenes en 8 bits,
- Números enteros: Valores asociados a cada ítem para una clasificación temática en el caso de un mapa temático, o
- Valores reales: obtenidos a través de la interpolación matemática en el análisis espacial de un modelo digital del terreno.

Este formato es usualmente el resultado del mecanismo de adquisición de imágenes de satélite, o provienen de imágenes fotográficas analógicas, obtenidas por levantamientos aerofotogramétricos, que pueden ser discretizadas a través de escáneres. Se decide almacenar un objeto en formato Raster en un intento por representarlo tan exacto temáticamente como sea posible, procurando mostrar su alta variabilidad en el espacio.

3.5.3. Relaciones Espaciales de los Datos

Las relaciones espaciales involucran todos aquellos procesos de consulta y manipulación de los datos, requeridos para el logro cabal del objetivo propuesto, es decir para obtener el cálculo de las variables dependientes.

Actualmente, los SIG soportan la administración de la información en un sistema administrador de bases de datos espaciales GDBMS, siendo posible obtener a partir de éste el conjunto de relaciones explícitas³⁵, constituido por la tradicional consulta alfanumérica disponible normalmente en una DBMS, y además, la consulta espacial, en la cual se obtienen las funciones de consulta a los objetos geográficos definidas por el OGC³⁶.

El resultado de una consulta alfanumérica asociada a un SIG, está normalmente relacionado a una posterior clasificación temática de los datos, en la cual el sistema muestra los objetos que cumplen con la condición de consulta, agrupándolos en subconjuntos. Las relaciones explícitas, es decir la consulta alfanumérica y la consulta espacial, se realizan sobre objetos almacenados en formato vectorial y se resumen en cinco tipos de operaciones: medidas (propias del objeto, como área o longitud), adyacencia, intersección, contención e igualdad.

Las relaciones implícitas son más ampliamente conocidas por el nombre de análisis espacial. Este conjunto de operaciones se divide en cinco clases diferentes según el objetivo que buscan satisfacer. La tabla 17 resume los tipos de operaciones de análisis, espacial usualmente presentes en un software SIG, algunos ejemplos de los algoritmos más comunes para estos tipos de operaciones y el formato de almacenamiento que las soporta.

³⁵ Entiéndase por relación explícita aquella que se encuentra incluida explícitamente como un registro en la base de datos. Las relaciones implícitas son aquellas cuya respuesta depende de la aplicación de algoritmos o funciones a los objetos geográficos y por tanto no se encuentran dentro de la base de datos.

³⁶ Open Gis Consortium, www.ogc.com, consultada el 10/09/2003.

TABLA 17. Tipos de relaciones implícitas y estructuras de almacenamiento en que se soportan.

<i>Análisis espacial</i>	<i>Operación</i>	<i>Estructura de almacenamiento</i>
Operaciones Métricas	Distancia entre puntos	Raster. Vector.
	Calculo de áreas sobre el monitor	Raster. Vector.
Álgebra de mapas	Generación de buffer o corredores	Vector.
	Superposición de mapas u overlay	Vector.
	Operaciones aritméticas	Raster.
	Operaciones lógicas	Raster.
Inferencia espacial	Polígonos de Thiessen	Vector.
	Inverse distance weight IDW	Raster.
	Kriging	Raster.
Optimización	Servicios puntuales	Raster. Vector.
	Servicios de redes	Raster. Vector.
Generalización	Reclasificación	Raster. Vector.
	Disolución y colapsamiento	Vector.
	Agregación	Vector.
	Simplificación	Vector.
	Suavización	Vector.

Fuente: Pinto Valderrama, J. E.

La actual tendencia³⁷ está dada a ampliar el espectro de las relaciones explícitas por medio de consultas directas a la base de datos del sistema, y disminuir el número de complicadas operaciones topológicas que requieren algunos algoritmos en el álgebra de mapas, en tanto sea posible, pro de mejorar la eficiencia del sistema.

Finalmente, se concluye que la elección del formato de almacenamiento está fuertemente ligada al tipo de análisis espacial que se requiere para calcular las variables dependientes del sistema. Por tanto, es en este momento del diseño del modelo cuando se empiezan a establecen las necesidades³⁸ que debe cumplir el software sobre el cual se va a construir el sistema, pues solo hasta este momento se tiene claridad en la potencialidad requerida.

En caso de necesitar algún tipo de relación implícita tan específica para el proyecto que no se encuentre dentro de los algoritmos genéricos que usualmente disponen los SIG, entonces se procede a decidir la conveniencia de desarrollar este algoritmo en el macrolenguaje propio del sistema o desarrollarlo como

³⁷ MARTÍNEZ, Y. A. Evolución Histórica y Futuro de los Análisis Espaciales en los SIG. Revista Cartográfica. Sociedad Cartográfica de Colombia. 01/02/1998. 39 a 45

³⁸ Formatos de almacenamiento que soporta, algoritmos de análisis de que dispone, flexibilidad y robustez del macrolenguaje de programación, otros.

una herramienta compilada aparte, en un módulo que interactúe con el SIG por medio del intercambio de archivos³⁹.

3.5.4. Clasificación según el Almacenamiento y las Relaciones Espaciales de los Datos

El diseño de experimento presentado inicialmente en la metodología requiere el tratamiento de datos cualitativos y cuantitativos simultáneamente, para encontrar alguna correlación entre ellos. Este tipo de análisis no se encuentra disponible dentro de las opciones básicas de las que disponen las herramientas software actualmente, por lo cual, se sugiere el desarrollo de un módulo de inteligencia artificial para la búsqueda de correlaciones entre los tres tipos de mapas determinados como insumos básicos del sistema para las variables independientes. Tras analizar varias tendencias en inteligencia artificial, este módulo se orientó hacia la implementación de una red neuronal que usara las áreas de muestreo como datos para su entrenamiento y luego procediera a analizar toda el área de estudio.

La red neuronal, por las características que debe cumplir todo módulo de inteligencia artificial⁴⁰, se requiere su implementación compilada en un lenguaje de programación orientado a objetos, El software SIG debe importar y exportar los mapas a formato ASCII para la comunicación con el módulo de IA.

Por esta razón, la estructura de datos seleccionada para el almacenamiento de la información es el Raster. Esta decisión condiciona el proyecto a someter toda la información que proviene de la adquisición en formato vectorial a ser rasterizada y por tanto la herramienta software en la cual se desarrolle el sistema debe poseer algoritmos de rasterización.

Finalmente, el producto del análisis bajo la red neuronal debe ser superpuesto contra el mapa de emisiones de gas radón generado por inferencia espacial en el sistema a partir de los datos puntuales de muestreo. Esto genera una nueva serie de requerimientos para la herramienta software, como son el uso de algoritmos de inferencia espacial de Kriging (actualmente considerados como una de las mejores opciones en geoestadística) y operaciones aritméticas entre mapas temáticos.

Una vez definidos los requerimientos mínimos que debe cumplir el software SIG en cual se va a desarrollar el sistema, se procede a realizar una comparativa entre las herramientas disponibles en el mercado comercial y GNU para seleccionar la más indicada (ver tabla 18).

³⁹ Un ejemplo de este tipo de aplicaciones es la interacción de los módulos Impima, Iplot y Scarta con el sistema de información geográfica SPRING, o el uso de las extensiones Spatial Analysis, Network Analysis, etc en Arc/View, en las cuales cada módulo se encarga de una tarea específica. La evolución propia del sistema tiende a que con el paso de las versiones, estos módulos sean absorbidos en el sistema principal.

⁴⁰ Usualmente estos módulos gastan muchos recursos del sistema operativo, por lo cual no es aconsejable su implementación en macrolenguajes.

TABLA 18. Evaluación técnica de las herramientas software para SIG.

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE SIG.				
1.1 Requerimientos Físicos				
1.1.1 Modelo mínimo de CPU	Pentium II	Pentium II	Pentium II	Pentium II
1.1.2 Velocidad de reloj CPU (Mhz) mínima.	200 Mhz	132 Mhz	133 Mhz	100 Mhz
1.1.3 Memoria RAM mínima (MB)	64 MB	32 MB	32 MB	64 MB
1.1.4 Memoria RAM recomendable (MB)	128 MB	128 MB	128 MB	132 MB
1.1.5 Espacio requerido en disco (MB)	191 MB.	60,5 MB	300 MB	440 MB
1.2 Requerimientos Equipo Lógico				
1.2.1 Plataforma Operativa en la cual se desempeña				
1.2.1.1 Sistema Operativo Windows 95	si	si	si	no
1.2.1.2 Sistema Operativo Windows 98	si	si	si	no
1.2.1.3 Sistema Operativo Windows NT	si	si	si	si
1.2.1.4 Sistema Operativo Windows 2000	si	si	si	si
1.2.1.5 Sistema Operativo Windows XP	si	si	si	si
1.2.1.6 Sistema Operativo Linux		si		
1.2.1.7 Sistema Operativo UNIX	no	si	no	si
1.2.1.8 Otros Sistemas Operativos (indicar)				
1.2.2 Dependencia de otro software (indicar)	no	no	no	no
1.3 Modo de Trabajo				
1.3.1 Funcionamiento en red	si	si	si	si
1.4 Arquitectura del Sistema. Modelos de representación del territorio				
1.4.1 Modelo orientado a objetos	si	si	no	no
1.4.2 Modelo orientado a capas	no	no	si	si
1.4.3 Vectorial	si	si	si	si
1.4.4 Raster	no	si	no	si
1.4.5 Estructuración topológica	si	si	si	si
1.5 Limitaciones del Sistema en:				
1.5.1 Número de ventanas abiertas (indicar)	no	5	no	no
1.5.2 Número de líneas y polígonos (indicar: L::xxx ; P:xxx)	no	no	no	no
1.5.3 Número de nodos (indicar)	no	no	no	no
1.5.4 Otras (indicar)	no	no	no	no
2. FUNCIONALIDAD DEL SIG.				
2.1 Gestión de Datos (se excluyen del			.	.

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
análisis los módulos que se puedan implementar en el programa)				
2.1.1 Gestiona Datos vectoriales Bidimensional o 2 D	si	si	si	si
2.1.2 Gestiona Datos vectoriales Tridimensional o 3 D	si	si	si	si
2.1.3 Gestiona Datos Raster	no	si	no	si
2.1.4 Gestiona Datos Matriciales MDT	no	si	no	si
2.1.5 Gestiona Datos de Redes	no	si	si	si
2.1.6 Gestiona Datos de GPS	no	no	no	no
2.1.7 Conversión de Raster a vector	no	si	no	si
2.1.8 Conversión de vectorial a Raster	no	si	si	si
2.2 Conexión con datos Externos				
2.2.1 Formatos de Entrada / Salida de Datos: 1: entrada; 2: salida; 3: ambos			.	.
2.2.1.1 Dbf	1	3	3	3
2.2.1.2 Acces	3	3	3	3
2.2.1.3 Ascii	1	3	no	3
2.2.1.4 SQL	3	3	3	3
2.2.1.5 Oracle	3	3	1	3
2.2.1.6 Oracle Spatial	3	no	1	3
2.2.1.7 Excel	1	no	3	3
2.2.1.8 Otros (indicar)	no	3 ODBC	3 ODBC	3 info
2.2.2 Formatos de Entrada / Salida de Mapas: 1: entrada; 2: salida; 3: ambos				
2.2.2.1 Dxf	1	3	3	3
2.2.2.2 Dwg	1	no	3	no
2.2.2.3 Dgn	3	no	3	no
2.2.2.4 E00	1	3	no	3
2.2.2.5 Shp	3	3	3	3
2.2.2.6 Mif, Tab	3	no	3	no
2.2.2.7 Mge	1	no	no	no
2.2.2.8 CGCCT	no	no	no	no
2.2.2.9 Otros (indicar)	1: Arc/Info, Framme Smallworld , Genamap	no	2: dwf 3: map guide (sdf)	1: Dime, dfad, dlg, vpf, slf igds, moss, etak
2.2.3 Formatos de Entrada/Salida de Imágenes:1: entrada; 2: salida; 3: ambos				
2.2.3.1 Tiff	1	3	1	3

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
2.2.3.2 Bmp	1	no	3	3
2.2.3.3 Jpeg	1	no	1	3
2.2.3.4 Pcx	1	no	1	3
2.2.3.5 Geotiff	3	3	1	3
2.2.3.6 Formatos de imágenes de satélite (Spot, Landsat, NOAA.)	si	3	1	1
2.2.3.7 Otros (indicar)	GIF, CAL, BIP, BIL, SID, RLC, SID, HRF, IGS, COT, RLE, CIT	RAW, SITIM, BIP, BIL, BSQ	CAL, FLIC, G3, G4, iG5, JFIF, PCT, PNG, RLC TGA, PCX	BIP, BSQ, Erdas, Grass, Imagine, RLC, Sunraster
2.3 Georreferenciación				
2.3.1 Georreferenciación de imágenes	si	si	no	si
2.3.2 Transformación de proyección, coordenadas, Huso	si	si	no	si
2.3.3 Ajuste de diversas fuentes de información vectorial/Raster en base a puntos de control	si	si	no	si
2.4 Funciones de Visualización				
2.4.1 Visualización directa de mapas o elementos gráficos procedentes de otros software de SIG. sin necesidad de importar	si	no	no	no
2.4.1 Adaptación del tamaño de símbolos y textos a la escala visualizada	si	si	si	si
2.4.2 Adaptación del tamaño de símbolos y textos independiente de la escala de visualización	si	si	si	no
2.4.3 Control de visualización de entidades según escala máxima y mínima fijada por el usuario	si	si	no	si
2.4.4 Control de la escala de visualización por el usuario.	si	si	si	si
2.4.5 Visualización de la dirección de digitalización de los elementos gráficos.	no	no	no	si
2.4.6 Visualización centroides	si	no	si	si
2.4.7 Visualización de vértices y nodos	si	no	si	si
2.4.8 Función de vista previa	si	no	si	no
2.4.9 Visualización de los elementos seleccionados	si	si	si	si
2.4.10 Visualización de un atributo, fijado por el usuario, al pasar con el ratón sobre el objeto	no	si	no	no
2.4.11 Ir a una determinada coordenada geográfica	si	si	si	si
2.4.12 Ver atributos de los elementos seleccionados en una tabla	si	si	si	si

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
2.5 Funciones de Selección				
2.5.1 Selección de los elementos gráficos mediante la función de tocar elemento	si	si	si	si
2.5.2 Selección de los elementos gráficos mediante la función de selección radial	si	si	si	si
2.5.3 Selección de los elementos gráficos mediante la función de selección rectangular	si	si	si	si
2.5.4 Selección de los elementos gráficos mediante la función de selección poligonal	si	si	si	si
2.5.5 Selección de los elementos gráficos mediante la función de seleccionar todo	si	si	si	si
2.5.6 Liberar o quitar selección	si	si	si	si
2.5.7 Selección de elementos contenidos totalmente	si	si	si	si
2.5.8 Selección de elementos contenidos parcialmente	si	si	si	no
2.5.9 Selección de elementos que interceptan líneas	si	si	si	no
2.5.10 Selección de elementos que interceptan polígonos	si	si	si	no
2.5.11 Selección de elementos que contengan	si	si	si	si
2.5.12 Selección de elementos por un determinado atributo alfanumérico	si	si	si	si
2.5.13 Selección de elementos por color	no (si, si viene de Cad)	no	si	si
2.5.14 Selección de elementos por grosor	no (si, si viene de Cad)	no	si	si
2.5.15 Selección de elementos por estilo	no (si, si viene de Cad)	no	si	si
2.5.16 Selección de elementos por tipo de elemento	no (si, si viene de Cad)	no	si	si
2.5.17 Selección de elementos por capa	si	si	si	si
2.5.18 Selección de elementos que estén a una distancia de	si	si	si	no
2.5.19 Selección de elementos que estén en el borde	si	si	no	no
2.5.20 Selección de elementos que sean espacialmente iguales	si	si	no	no
2.5.21 Función de reemplazar los objetos seleccionados con la nueva selección.	no	si	si	si
2.5.22 Función de abstraer de la selección	si	si	si	si
2.5.23 Función de invertir la selección	no	si	si	si
2.5.24 Función de intersección de los	si	si	no	no

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
objetos que están seleccionados con los nuevos objetos que selecciones				
2.5.25 Función de Combinar en una única consulta criterios relacionales (SQL) y criterios espaciales	si	si	si	si
2.5.26 Función de Almacenamiento de las consultas	si	si	si	si
2.5.27 Función de Consultas dinámicas	si	si	si	si
2.5.28 Función de Posibilidad de simbolizar la consulta como cualquier entidad	si	si		si
2.5.29 Función de Integración con base de datos relacionales estándar del mercado	si	si	si	si
2.5.30 Función de Asistente de consultas SQL transparentes para el usuario	si	si	no	si
2.5.31 Consultas espaciales / alfanuméricas de datos externos directamente	si	no	si	no
2.5.32 Consultas espaciales / alfanuméricas de datos externos previa importación de datos	si	si	si	si
2.6 Funciones de Edición				
2.6.1 Herramientas inteligentes de dibujo (paralelas, perpendiculares, tangentes, ...)	si	si	si	si
2.6.2 Introducción interactiva de objetos gráficos por:				
2.6.2.1 Introducción interactiva de objetos gráficos por: ángulo	si	si	si	si
2.6.2.2 Introducción interactiva de objetos gráficos por: coordenadas	si	si	si	si
2.6.2.3 Introducción interactiva de objetos gráficos por: longitud	si	si	si	si
2.6.4 Edición gráfica por digitalización en:				
2.6.4.1 Edición gráfica por digitalización en tableta digitalizadora	si	si	si	si
2.6.4.2 Edición gráfica por digitalización en pantalla	si	si	si	si
2.6.5 Herramientas de ayuda a la digitalización				
2.6.5.1 Herramientas de ayuda a la digitalización tipo snap o cazado a elemento vectorial (vértice, extremo, cruce...)	si	si	si	si
2.6.5.2 Herramientas de ayuda a la digitalización tipo. snap o cazado a Raster (vértice, extremo, cruce, centro línea...)	si	si	no	si
2.6.5.3 Herramientas de ayuda a la digitalización basadas en la utilización de geometría existente al digitalizar	si	si	no	si

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
2.6.5.4 Herramientas de ayuda a la digitalización tipo edición interactiva de datos vectoriales y Raster	no	no	no	si
2.6.5.5 Herramientas de ayuda a la digitalización tipo escalar o redimensionar un objeto	si	no	si	si
2.6.6 Edición de nodos: añadir, eliminar, copiar, mover				
2.6.6.1 Edición de nodos: añadir, eliminar, copiar, mover del objeto gráfico	si	si	si	si
2.6.6.2 Edición de nodos: añadir, eliminar, copiar, mover de todos los objetos gráficos que compartan ese nodo	si	si	si	si
2.6.7 Generalizado o suavizado de líneas (line thinning) o áreas	Antes de crear pero no después	si	si	si
2.6.7.1 Cambiar el sentido de digitalización en líneas o áreas	no	si	no	si
2.6.7.2 Herramientas de validación de conectividad para líneas que no llegan (undershoot)	si	si	si	si
2.6.7.3 Herramientas de validación de conectividad para líneas que sobrepasan (overshoot)	si	si	si	si
2.6.7.4 Herramientas de validación de conectividad para Nodos no coincidentes	si	si	si	si
2.6.7.5 Herramientas de validación de conectividad para Intersección sin nodo	si	si	si	si
2.6.7.6 Otras Herramientas de validación de conectividad (indicar)	no	no	no	no
2.6.8 Herramientas de validación de geometría para				
2.6.8.1 Herramientas de validación de geometría para Áreas sin cerrar	si	si	si	si
2.6.8.2 Herramientas de validación de geometría para lazo (el área tiene una intersección consigo misma)	si	si	no	no
2.6.8.3 Herramientas de validación de geometría para puntos duplicados por redigitalización	si	si	no	si
2.6.8.4 Herramientas de validación de geometría para elementos duplicados en la misma capa	si	si	si	si
2.6.8.5 Herramientas de validación de geometría para actualización automática de la visualización de los errores según se van reparando	si	si	si	si
2.6.9 Reparación de errores en				
2.6.9.1 Reparación de errores en modo	si	si	si	si

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
manual				
2.6.9.2 Reparación de errores en modo automático	si	si	si	si
2.6.10 Conversión de:				
2.6.10.1 Conversión de área a polilínea 1: sin mantener los datos; 2: manteniendo los datos	no	no	2	2
2.6.10.2 Conversión de polilínea a área 1: sin mantener los datos; 2: manteniendo los datos	1	1	2	2
2.6.10.3 Conversión de Colocación de símbolos orientados	si	no	si	si
2.6.11 Opción de:				
2.6.11.1 agrupar objetos lineales/polígonos/puntos	si	si	no	si
2.6.11.2 dividir objetos lineales/polígonos/puntos	si	si	si	si
2.6.11.3 interceptar y seccionar objetos lineales/polígonos	si	si	si	si
2.6.11.4 elegir el método de agrupación/división/ intersección en la base de datos (Ej: por valor, sin valor, suma, resta, proporcional, área, ...)	no	si	no	si
2.6.11.5 Opción en el menú, de agrupar elementos gráficos por un campo ...	no (si por query)	si	no	si
2.6.11.6 Opción en el menú de crear o actualizar un campo, con una expresión o valores de otros campos	si	si	no	si
2.6.12 Posibilidad de :				
2.6.12.1 alterar orden de los campos	no (si vía base datos)	si	si	si
2.6.12.2 eliminar campos	si	si	si	si
2.6.12.3 añadir campos	si	si	si	si
2.6.12.4 compilar base de datos	si	si	no	si
2.6.12.5 modificar la estructura de la base de datos	si	si	si	si
2.6.12.6 Posibilidad de guardar un espacio de trabajo	si	si	no	si
2.6.12.7 Posibilidad de abrir un espacio de trabajo en un directorio distinto de donde se creó	si	si	no procede	si
2.6.13 Ajustes de imagen:				
2.6.13.1 contraste, brillo	si	si	si	si
2.6.13.2 transparente	si	si	si	si
2.6.13.3 otros (indicar)	Color, invertir	Color,	Color, intensidad,	Color,

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
	color	intensidad, brillo	difuminado	gradación
2.6.13.4 Tratamiento digital de imágenes (filtros....)	no	si	no	si
2.6.14 Topología				
2.6.14.1 Generación de áreas gráficas a partir de elementos lineales de modo automático	si	si	si	si
2.6.14.2 Generación de intersecciones en un mapa de elementos lineales o de polígonos	si	si	si	si
2.6.14.3 Generación de topología de puntos	si	si	si	si
2.7 Funciones de Análisis Espacial				
2.7.1 Inferencia Espacial				
2.7.1.1 Mapa temático por un valor único	si	si	si	si
2.7.1.2 Mapa temático por rangos definidos por el usuario	si	si	si	si
2.7.1.3 Mapa temático por operaciones de dos o más campos de la base de datos	no	si	no	si
2.7.1.4 Mapa temático mediante graduación de tamaño	no	si	no	si
2.7.1.5 Mapa temático mediante diagramas, barras, tartas...	no	no	no	si
2.7.1.6 Mapa temático mediante puntos de densidad	no	si	no	si
2.7.1.7 Modificación de un mapa temático ya creado	si	si	si	si
2.7.1.8 Generación interactiva del mapa temático	si	si	no	si
2.7.1.9 Mapa temático por poligonización automática (Thiessen o Voronoi)	no	si	no	si
2.7.1.10 Generación de isolíneas (countering)	no	si	no	si
2.7.1.11 Creación, análisis y visualización de un MDT	no	si	no	si
2.7.1.12 Resultado de estadísticas, gráficos	no	si	no	si
2.7.1.13 Geostadística por Kriging	no	si	no	no
2.7.2 Álgebra de Mapas				
2.7.2.1 Creación de un buffer sobre líneas	si	si	si	si
2.7.2.2 Creación de un buffer sobre polígonos	si	si	si	si
2.7.2.3 Creación de un buffer sobre puntos	si	si	si	si
2.7.2.4 Creación de un buffer sobre todos los objetos	si	si	si	si

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
2.7.2.5 Creación de un buffer sobre cada objeto	si	si	si	si
2.7.2.6 Creación de un buffer de un radio determinado especificado por el usuario	si	si	si	si
2.7.2.7 Creación de un buffer de un valor numérico contenido en la base de datos u operaciones sobre ellos	no	si	no	si
2.7.2.8 Superposición de mapas	si	si	no	si
2.7.2.9 Operaciones aritméticas entre celdas	si	si	no	si
2.7.2.10 Operaciones lógicas entre celdas	si	si	no	si
2.7.3 Optimización	no	si	si	si
2.7.3.1 Análisis de redes	no	si	si	si
2.7.3.2 Segmentación dinámica	no	si	no	si
2.7.4 Operaciones métricas				
2.7.4.1 Medidor de distancias en pantalla	si	si	si	si
2.7.4.2 Medidor de áreas en pantalla	si	si	si	si
2.7.5 Clasificación de imágenes	no	si	no	si
2.8 Presentación de Resultados				
2.8.1 Paleta de colores transparentes				
2.8.1.1 con trama	si	si	si	si
2.8.1.2 sin trama (sólo color transparente)	no	si	si	si
2.8.1.3 Amplia variedad de símbolos, tipos de líneas	si	si	si	si
2.8.1.4 Personalización del color por el usuario	si	no	si	si
2.8.2 Control de estilos, formas y colores de:				
2.8.2.1 línea	si	si	si	si
2.8.2.2 punto	si	si	si	si
2.8.2.3 polígono y contorno de polígono de modo independiente	si	si	no	si
2.8.2.4 texto	si	si	si	si
2.8.2.5 Personalización o creación de símbolos	si	si	si	si
2.8.2.6 Visualización de escala gráfica dinámica configurable en rangos y unidades por el usuario	si	si	no	no
2.8.2.7 Visualización de símbolo de norte geográfico	si	si	si	si
2.8.2.8 Colocación de símbolos orientados	si	si	si	si
2.8.3 Posibilidad de incluir en la presentación:				

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
2.8.3.1 diversas mapas con distintas escalas y leyendas de cada mapa	si	si	si	si
2.8.3.2 documento compatible vía OLE automation	si	no	si	si
2.8.3.3 Gestión de plantillas para salidas gráficas de mapas y ficheros que mantengan un vínculo dinámico con el gestor de mapa	si	si	si	no
2.8.4 Etiquetado de los elementos gráficos puntuales, lineales y poligonales por cualquier atributo del objeto:				
2.8.4.1 de modo automático	si	si	si	si
2.8.4.2 de modo manual	si	si	si	si
2.8.4.3 dinámico (se actualizará ante cualquier cambio de atributo)	si	si	no	si
2.8.4.4 opción de permitir ó no duplicados de etiquetas	no	no	si	si
2.8.4.5 elección de tipo de alineamiento	si	si	si	si
2.8.4.6 rotación dinámica	si	si	no	si
2.8.4.7 orientado a geometría	si	si	si	si
2.8.4.8 definición de ángulo	si	si	no	si
2.8.5 Generación de leyendas de modo:				
2.8.5.1 manual	si	si	si	si
2.8.5.2 automático	si	si	si	no
2.8.5.3 dinámico	si	si	si	no
2.8.5.4 Control de posicionamiento de los marcos que contendrán los mapas o leyendas mediante tamaño, posición o márgenes	si	si	si	si
2.8.6 Creación de mapas dinámicos utilizando hipervínculos a ficheros de imágenes, sonidos o texto	si	si	si	no
2.8.7 Rotación de textos y símbolos a través de:				
2.8.7.1 situación del cursor	si	si	si	si
2.8.7.2 definiendo el ángulo	si	si	si	si
2.8.8 Opción de desagregar la composición del mapa en entidades individuales para su manipulación	si	si	si	si
2.8.9 En salida por plotter o impresora combinar imágenes con mapas vectorial	si	si	si	si
2.9 Herramientas de Desarrollo				
2.9.1 Posibilidad de crear scripts	Si (con visual basic...)	si	si	si

<i>EVALUACIÓN</i>	<i>GEOMEDIA PROFESIONAL 4.0</i>	<i>SPRING 4.0</i>	<i>AUTOCADMAP 2000</i>	<i>ARC/INFO 7.1</i>
2.9.2 Para la creación de funciones se requiere la compra de otro producto: si/no	si	no	no	no
2.9.3 Posibilidad de desarrollar aplicaciones independientes con lenguajes estándar tipo C++, Visual Basic, Delphi,	si	si	si	no
2.9.4 Módulos opcionales				
2.9.4.1 análisis de redes	si	incluido	si	Incluido
2.9.4.2 datos matriciales MDT	si	incluido	no	Incluido
2.9.4.3 tratamiento digital de imágenes	no	incluido	no	Incluido
2.9.4.4 publicación en Web, Intranet	si	si	si	no
2.9.4.5 conversor de ficheros de catastro	si	incluido	si	si
2.9.4.6 Otros	si	si	si	si
3 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE MERCADEO Y SOPORTE				
3.1 Dificultad de aprendizaje: 1: mínima; 2: media; 3: elevada (indicar)	1	1	2	3
3.2 Idioma de los manuales: 1: castellano; 2: inglés; 3: otro (indicar)	1	1, 2, 3. Portugués	1	2
3.3 Precio del SIG (sin módulos adicionales):				
3.3.1 software libre (GPL, GNU)	no	si	no	no
3.3.2 menos de \$4.000.000	no	no	no	no
3.3.3 entre \$4.000.000 y \$8.000.000	no	no	si	no
3.3.4 entre \$8.000.000 y \$24.000.000	si	no	no	no
3.3.5 más de \$24.000.000	no	no	no	si
3.4 Actualizaciones periódicas	si	si	si	si
3.5 Existencia de macros gratuitas, tipo scripts que agilicen o desarrollen algunas funciones	si	si	si	si
3.6 Difusión del software en Colombia: 1: baja; 2: media; 3: elevada	1	2	3	3
3.7 Existencia de foros, news, listas sobre el software o sus aplicaciones	si	si	si	si

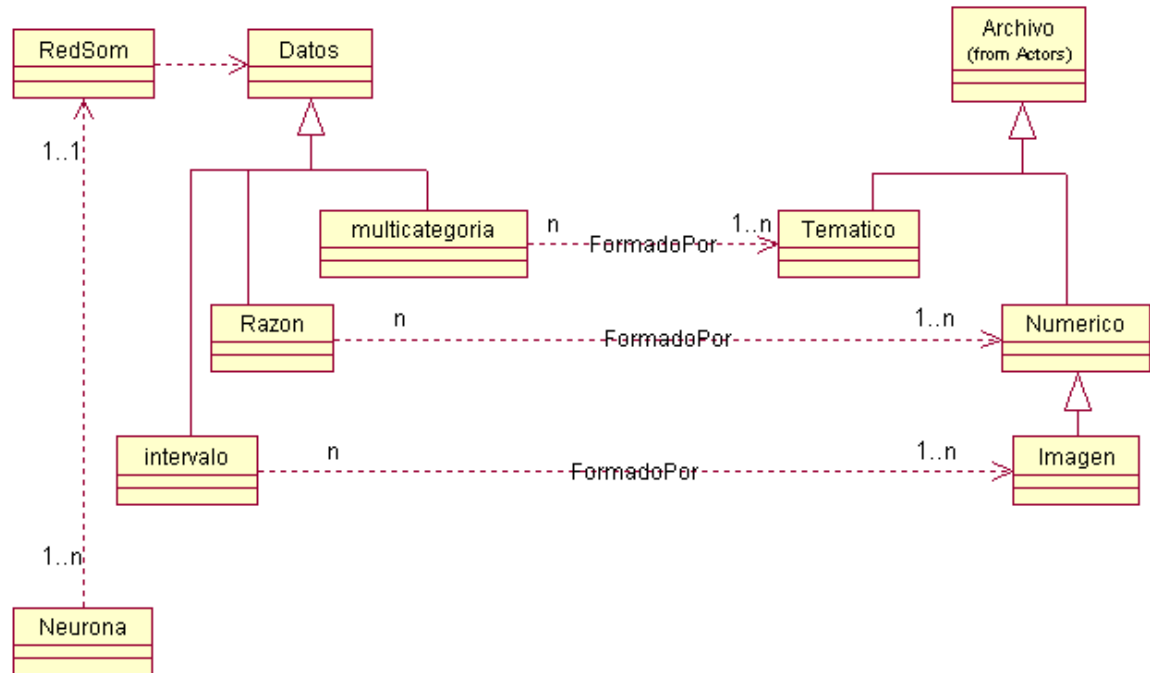
FUENTE: El modelo de preguntas fue tomado de www.nosolosig.com y modificado para satisfacer los requerimientos propios de este trabajo.

Tras evaluar esta tabla, se inclinó hacia el uso de SPRING 4.0 como la herramienta SIG para el desarrollo del sistema. En tanto que para la creación del módulo de redes neuronales se propone desarrollarlo en C++ por disponer de compiladores para este lenguaje, los requerimientos de diseño de este módulo se pueden apreciar en el Anexo A, "Especificación de Requisitos del sistema".

3.6. MODELO FORMAL

Un modelo se considera formal cuando asume entidades lógicas y simbólicas que satisfacen un conjunto particular de axiomas y teoremas. De tal forma que no exista la posibilidad de libre interpretación del modelo.

FIGURA 9. Diagrama de Clases

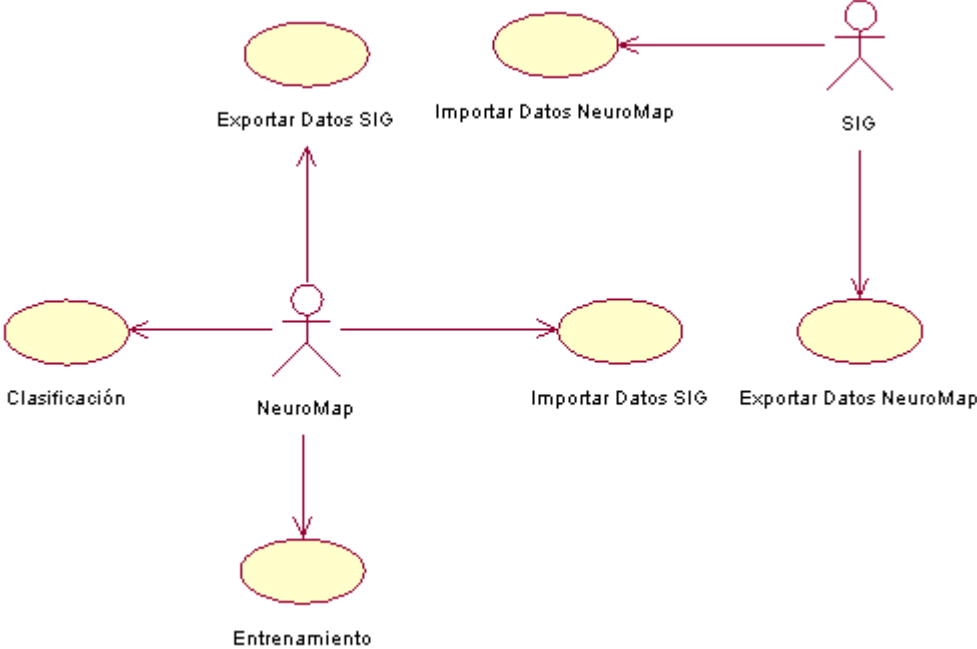


Fuente: Autor.

En el medio académico es usual encontrar la apropiación de la formalidad matemática, en donde se usan expresiones lógicas para definir las restricciones de un conjunto, en la notación usada para generar el modelo formal. Sin embargo, no es esta la única opción y definitivamente no es la más práctica a la hora de interpretar lo redactado. Por esto, es común que conforme han evolucionado las herramientas software para compilar código, evolucionen junto a ellas diversas grafías de lenguajes formales para consignar el diseño de sus desarrollos; dentro de estas grafías se encuentra la conocida como Lenguaje de Modelado Unificado o UML. El Lenguaje de Modelado Unificado, como es definido por sus autores, es un lenguaje de modelado visual, ideal para ser usado en ingeniería del software pues se aplica para especificar, visualizar, construir y documentar artefactos de un sistema de software, independientemente del método de desarrollo de software se piense usar.

El modelo conceptual definido en UML para el universo formal, se puede relacionar con el "Diagrama de Clases" (Figura 9) y el diagrama de "Casos de Uso" (Figura 10). Cabe anotar que este modelo es realizado para el módulo de la Red Neuronal, porque el resto de operaciones definidas como requerimientos ya están incluidas dentro de los comandos propios del software SIG elegido, SPRING 4.0.

FIGURA 10. Diagrama de casos de uso



Fuente: Autor

4. UNIVERSO DE LA REPRESENTACIÓN – MODELADO LÓGICO

Este nivel de abstracción, el interés del modelador se concentra en como representar geoméricamente en el ambiente computacional las entidades de interés seleccionadas del universo del mundo real, y definidas formalmente en el universo formal. En este contexto son hechas las asociaciones entre definiciones formales de las entidades y las posibles representaciones geométricas para las mismas. Al discutir el universo de representación, se estará indicando cuáles estructuras serán utilizadas para construir un sistema de procesamiento geográfico.

4.1. CLASIFICACIÓN

Para crear el modelo de datos, se partió del modelo definido por el IGAC⁴¹ para el levantamiento de la cartografía en Colombia, el cual tiene sus orígenes en el sistema alemán de clasificación ATKIS⁴² para el paisaje. Dicho sistema se basa en clasificar la información en forma descendente partiendo de Temas, pasando a Grupos y finalmente clasificando el Objeto. El IGAC clasificó los Temas en siete Temas principales (ver figura 11).

FIGURA 11. Temas del modelo IGAC



En el presente proyecto, no se hace necesario implementar todos los Temas, por lo cual se trabajó con Transporte, Hidrografía, Relieve y Áreas. La subdivisión de cada tema en grupos asegura una búsqueda ordenada de la información. Finalmente se clasifican los Objetos a ser cartografiados en el sistema (ver figura 12).

En el Tema Transporte solo existe un Grupo no existen variables de interés para el proyecto, sin embargo se ha dejado este nivel de información como parte de la cartografía base para el área. Los Objetos a representar son carreteras, caminos y vías férreas. El tipo de mapa en el cual se consigna esta información es Temático.

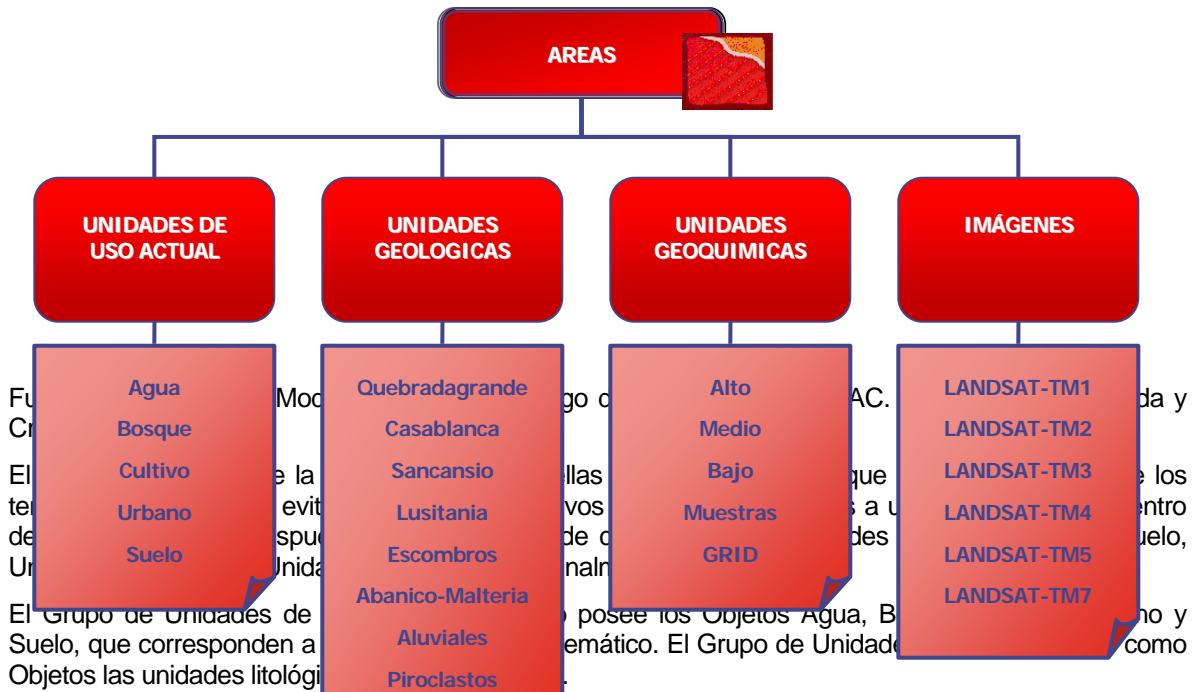
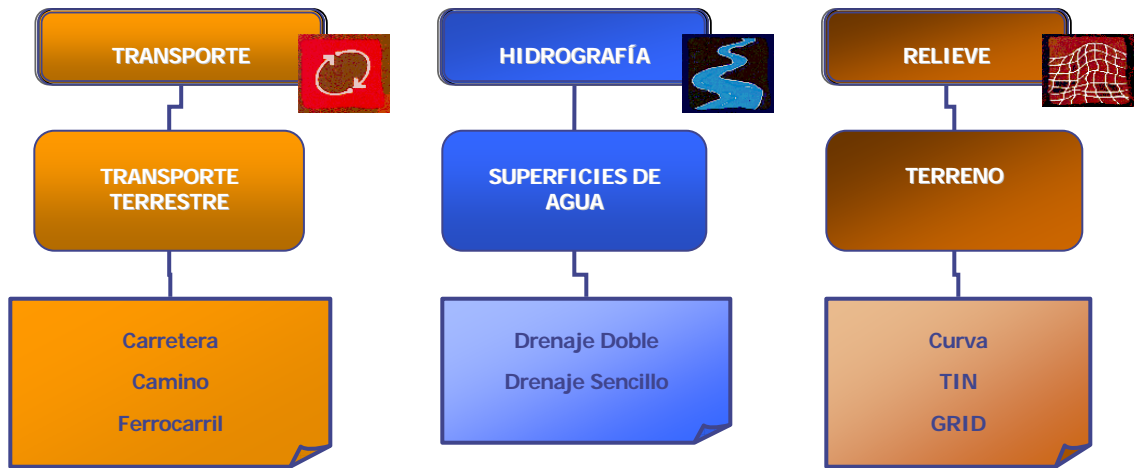
De manera similar, el Tema Hidrografía se ha considerado en el diseño como una variable independiente del sistema pero perteneciente al Mapa de uso del suelo, por lo cual el trazado de las escorrentías no es indispensable en el modelo pero se ha considerado de interés su ingreso para completar la cartografía base. El único Grupo que lo conforma es “Superficies de Agua” y está compuesto por los Objetos Drenaje Doble y Drenaje Sencillo.

El Tema Relieve, es la base fundamental de cualquier estudio del medio físico, aunque este no sea considerado como variable de interés en el diseño del sistema, pues es parte indispensable de la cartografía base. En este Tema se ha dispuesto solo del Grupo “Terreno”. Los Objetos presentes en este Grupo son las Curvas de Nivel, El Modelo de Redes de Triángulos Irregulares TIN y el Modelo Digital de Elevaciones en Malla GRID.

FIGURA 12. Temas, Grupos y Objetos del proyecto

⁴¹ Modelo de datos. Catálogo de objetos CO-25. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Colombia.

⁴² Authoritative topographic kartographic information system.



El Grupo de Unidades de Suelo, que corresponden a los Objetos las unidades litológicas. El Grupo de Unidades Geológicas posee los Objetos Agua, Bosque, Cultivo, Urbano, Suelo, Quebradagrande, Casablanca, Sancansio, Lusitania, Escombros, Abanico-Malteria, Aluviales, Piroclastos. El Grupo de Unidades Geoquímicas posee los Objetos Agua, Bosque, Cultivo, Urbano, Suelo, Quebradagrande, Casablanca, Sancansio, Lusitania, Escombros, Abanico-Malteria, Aluviales, Piroclastos, Alto, Medio, Bajo, Muestras, GRID. El Grupo de Unidades de Imágenes posee los Objetos Agua, Bosque, Cultivo, Urbano, Suelo, Quebradagrande, Casablanca, Sancansio, Lusitania, Escombros, Abanico-Malteria, Aluviales, Piroclastos, Alto, Medio, Bajo, Muestras, GRID, LANDSAT-TM1, LANDSAT-TM2, LANDSAT-TM3, LANDSAT-TM4, LANDSAT-TM5, LANDSAT-TM7.

La descripción de estos objetos se encuentra documentado en el Anexo B, Catálogo de Objetos y Símbolos.

4.2. CODIFICACIÓN

La codificación es el único parámetro que no se debe normalizar⁴³, puesto que cada proyecto es susceptible a codificar de forma diferente, según las restricciones de la herramienta software en la cual se lleve a cabo su implementación. En el caso de SPRING 4.0, no se requiere la definición de códigos

⁴³ Transmisión oral, Ingeniero Yovanny Martínez, Subdirector Nacional de Cartografía IGAC. 2003.

para la administración de la información, puesto que este software trabaja sobre un metamodelo de base de datos espacial (Geodatabase). Debido a esto, la información ingresa y es administrada en el sistema con una codificación interna, no accesible al usuario, quien siempre accede a la información directamente por el nombre del Objeto.

4.3. SIMBOLIZACIÓN

El proceso de desarrollo de modelos para propiedades físicas y químicas de la realidad involucra discretizar la variación espacial de estas propiedades con el objetivo de permitir su descripción, su representación y su manipulación en un ambiente computacional. La simbolización de estas variables discretas, es función del tipo de representación geométrica que se determine para cada una de ellas, el estudio de la simbolización es asumido por la semiología gráfica.

4.3.1. Representación Geométrica del Almacenamiento de los Datos

Una representación define una descripción geométrica de un plano de información, que puede ser espacializado en una representación de datos matriciales, si incluye diferentes formas de datos geográficos almacenados en estructura de datos Raster o en matrices, o en una representación de datos vectoriales, si incluye las diferentes topologías de almacenamiento para datos almacenados en estructuras vectoriales.

La visualización del conjunto de muestreos de una variable ambiental modelada conceptualmente como un GeoCampo en un gráfico tridimensional x, y, z, donde z es el valor de la variable y la dupla (x, y) su posición geográfica, genera una superficie que representa geoméricamente el comportamiento espacial de la variable en estudio.

Las entidades reales modeladas conceptualmente como GeoCampos pueden ser representadas geoméricamente como: red de celdas regulares, regiones continuas, red de triángulos irregulares, Isolíneas, red regular de puntos de muestreo y muestreos irregulares. Entonces, un conjunto de datos almacenado en estructura vectorial, puede representar una realidad geográfica en varios modelos de representaciones diferentes. Para que un conjunto de datos geográficos presente en una base sea usado de forma apropiada, es importante saber cuál representación geométrica fue usada en la etapa de modelado lógico de los datos. En el presente proyecto se enfocó la atención hacia las representaciones de GeoCampos, pues las variables van a ser representadas en este tipo de mapas (ver capítulo 4).

TABLA 19. Formas de representación de los datos según su estructura de almacenamiento

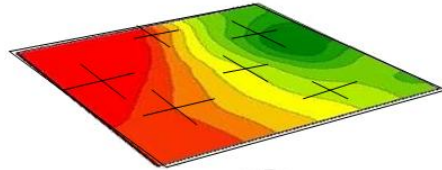
<i>Categoría</i>	<i>Representación Vectorial</i>	<i>Representación Raster</i>
Temático	Puntos, Líneas y Polígonos	Imagen temática; Un píxel – un punto; Píxeles alineados – una línea ; Píxeles agrupados – polígonos
Numérico	Muestras (isolíneas y puntos acotados) y TIN (retícula triangular)	Reticulas rectangulares; Valores reales asociados a cada punto de la matriz
Imagen		Imagen monocromática ; Píxeles con niveles de gris; Imagen sintética (codificada) ; Píxeles asociados a tabla de colores; Imagen clasificada; Grupo de píxeles con el mismo color
Catastral	Puntos, Líneas y Polígonos	
Red	Puntos y Líneas	Un píxel – un punto; Píxeles alineados – una línea

Fuente: Modificado de Manual de referencia del software SPRING 4.0.

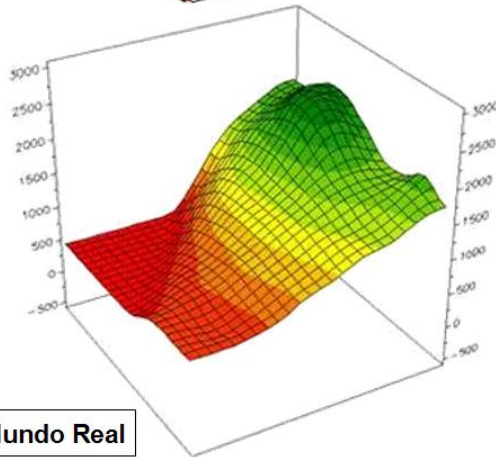
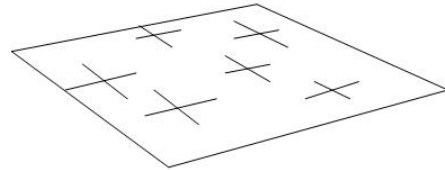
FIGURA 13. Representación en red irregular de puntos de muestreo para una variable GeoCampo

RED DE IRREGULAR DE MUESTREOS

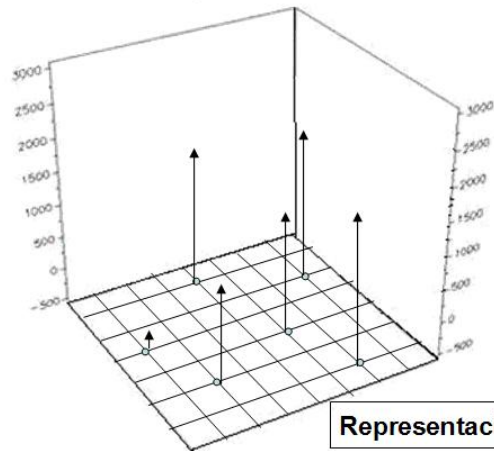
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MALLA DE MUESTREO



VALOR PUNTUAL DE LAS MUESTRAS



Mundo Real



Representación

Fuente: autor.

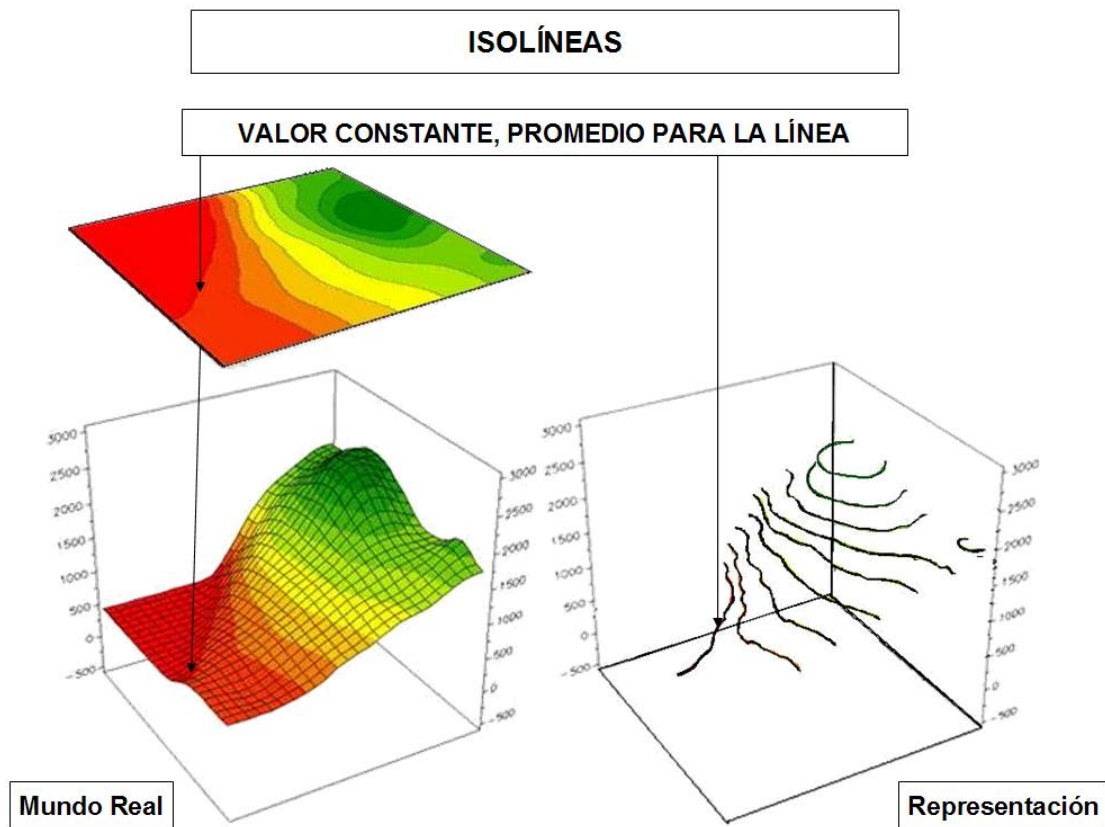
4.3.1.1. Mapa de Redes Irregulares de Puntos de Muestreo en 3D. Una instancia de esta clase es un conjunto de coordenadas en tres dimensiones (Figura 13). En este tipo de representación se va a modelar el conjunto de muestras de Gas Radón.

4.3.1.2. Mapa de Isolíneas. Una instancia de esta clase es un conjunto de líneas, donde cada una posee una cota y las líneas no se interceptan (Figura 14). La estrategia de la representación por Isolíneas parte del valor y se determinan todas las posiciones dentro de la región geográfica que cumplen dicho valor de la variable. De esta forma se construye una secuencia de filas ordenada por valor, en donde cada línea representa posiciones adyacentes de un mismo valor.

La representación Isolínea segmenta el espacio en regiones sobre la cual el valor del fenómeno varía. La variación entre filas no es lineal, por lo cual no está definida claramente. La única consideración que se puede hacer es que el valor de la variable, con algunas excepciones, se mantiene dentro de la franja de valores determinada por las filas adyacentes. Las isolíneas, deben ser medidas por niveles de medidas numéricas, la representación Isolínea no debe ser usada para representar datos generados por sistemas de medidas temáticas.

En este tipo de representación se mostrará el mapa de relieve y el mapa Geoquímico de Gas Radón.

FIGURA 14. Representación en isolíneas de una variable GeoCampo

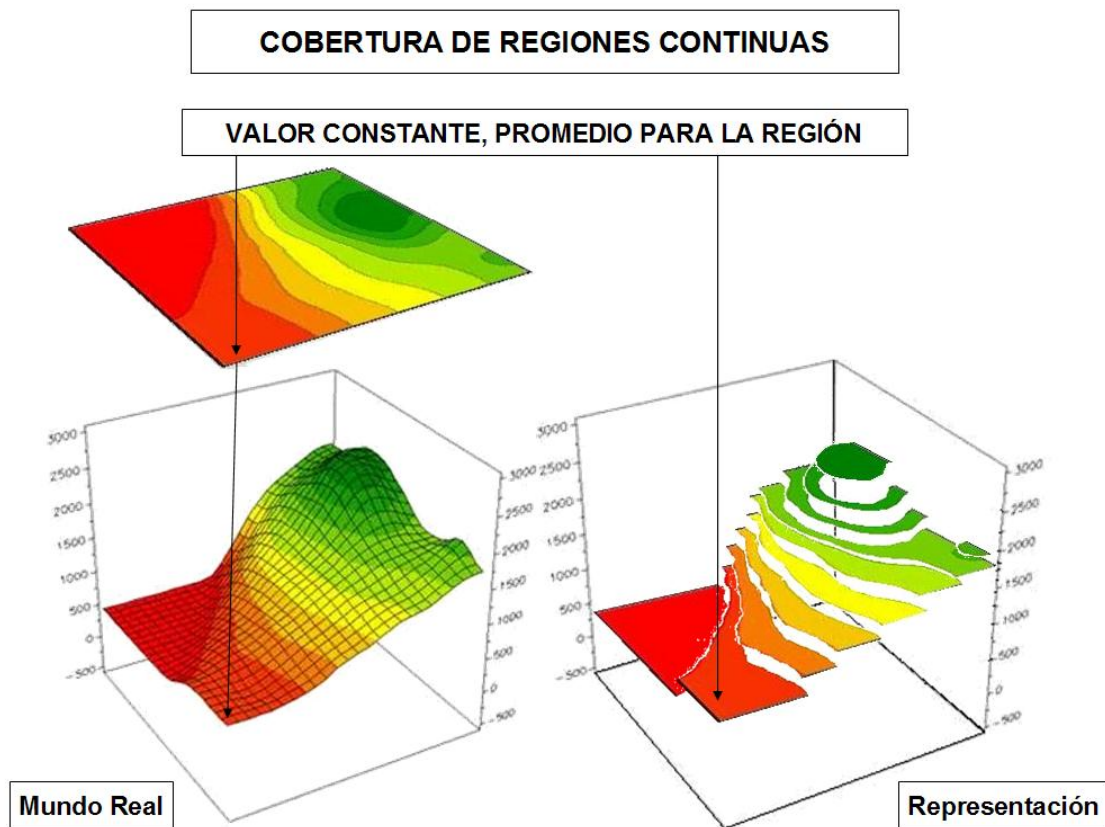


Fuente: autor

4.3.1.3. Mapa de Regiones Continuas en Subdivisiones Planas. Dada una región geográfica R , una instancia de esta clase contiene un conjunto P de polígonos, L de líneas $2D$ y N de nodos $2D$ (Figura 15). La representación en regiones continuas segmenta el dominio espacial de una variable GeoCampo en regiones continuas y con formas normalmente irregulares, atribuyendo a cada región el valor medio estimado de todas las posiciones de la variable dentro de aquella región.

Los limites de cada región, representada por un polígono, pueden ser definidos por características similares de la propia variable. En el presente estudio, los mapas de Geología, Geoquímico de Gas Radón y Uso Actual del Suelo, serán representados en esta forma, para posteriormente rasterizarlos.

FIGURA 15. Representación regiones continuas de una variable GeoCampo



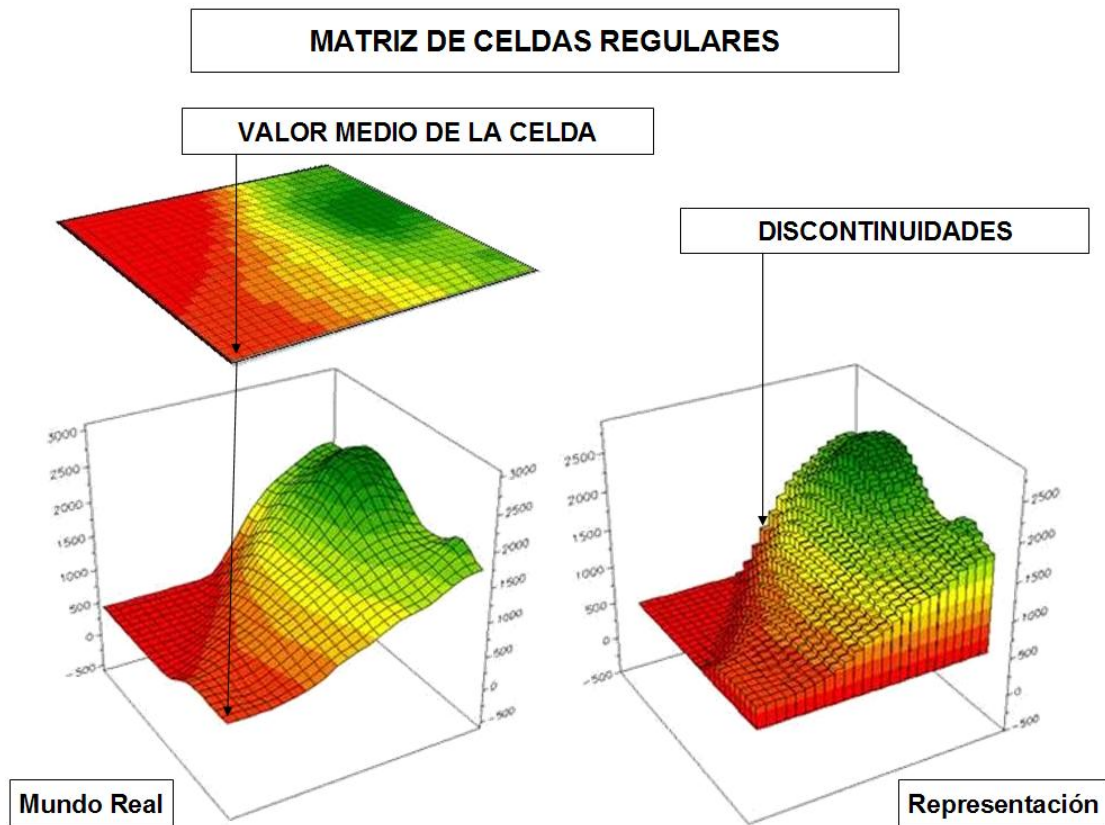
Fuente: autor.

4.3.1.4. Matriz Regular de Celdas. Una retícula regular es una matriz de números reales. La representación red de celdas regulares de una variable GeoCampo divide la región geográfica de estudio (dominio espacial) en una matriz de celdas, y atribuye a cada celda el valor medio de la variable para todas las posiciones dentro de la celda (Figura 16).

Como resultado de esta estrategia, los valores atribuidos a las celdas vecinas pueden ser diferentes, causando variaciones abruptas entre celdas. Los datos adquiridos por satélites de percepción remota normalmente usan la representación en red de celdas regulares. La geografía de una red de celdas regulares puede ser completamente descrita por el ancho y el largo de la celda, por la coordenada de origen de la red, por el número de filas y columnas de la red.

En este estudio se usará este tipo de representación para las imágenes de satélite, los modelos numéricos del relieve y el modelo numérico producto de la inferencia espacial sobre el muestreo de Gas Radón.

FIGURA 16. Representación en matriz de celdas regulares de una variable GeoCampo



Fuente: autor.

4.3.1.5. Imagen En Tonos De Gris. Imagen representada a través de una matriz donde los valores de la matriz representan los valores de gris de la imagen.

4.3.1.6. Imagen Temática. Representación matricial de un GeoCampo TEMÁTICO, en el cual las coberturas de regiones continuas son transformadas a formato Raster. En el presente estudio, los mapas de Geología, Geoquímico de Gas Radón y Uso Actual del Suelo, serán representados en esta forma.

4.3.1.7. Imagen Sintética (O Codificada). Representación de una imagen en colores, utilizada para mostrar imágenes en una composición en colores RGB, en placas gráficas de falso color.

El resultado de la clasificación de imágenes es presentando en este tipo de representación.

4.3.2. Modelo Cartográfico Digital

La semiología gráfica determina el símbolo que trasmite mejor la idea que se desea llevar al lector del mapa. Cada forma de representación tiene un conjunto de símbolos propios (colores, formas geométricas, grafías), susceptible de ser utilizado para expresar una idea o enviar un mensaje; pero es apenas obvio que no todos los símbolos son aptos para expresar una misma idea.

Por esto se hace necesario crear un catálogo de símbolos denominado "Modelo Cartográfico Digital"; este modelo se encuentra documentado en el Anexo B, Catálogo de Objetos y Símbolos.

5. UNIVERSO DE LA IMPLEMENTACIÓN – MODELADO FÍSICO

El universo de implementación, como nivel final del proceso de modelado, tiene por objetivo separar el universo de representación de las particularidades en la construcción de las estructuras de datos utilizadas en la implementación computacional de representaciones geométricas. En este nivel se trabaja principalmente con formas eficientes de acceso a los datos sobre estructuras de datos matriciales y vectoriales, con decisiones concretas de programación, que pueden admitir un gran número de variaciones. Estas decisiones deben tener en cuenta la aplicación para la cual el sistema está dirigido desde su conceptualización, la disponibilidad de algoritmos para el tratamiento de datos geográficos y el desempeño del hardware.

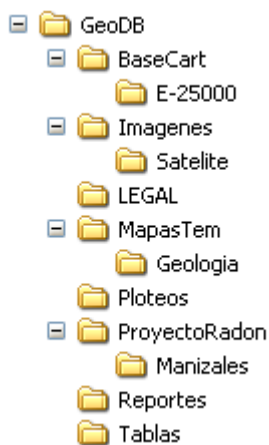
5.1. ESTRUCTURA DE DIRECTORIOS

La organización de la información se constituye en un factor definitivo en el éxito de un proyecto, por eso es primer tema a tratar en este capítulo (ver figura 17).

El directorio principal de la estructura recibe el nombre de GeoDB, haciendo alusión a su carácter de base de datos geoespacial. Este se encuentra dividido en ocho subdirectorios, cada uno de los cuales cumple una función específica. El primero es BaseCart, en el cual se almacenaría la información de planchas topográficas digitalizadas para SIG, en formato DXF, según la escala de esta. Inicialmente solo se cuenta con una plancha en escala 25.000 por lo cual solo tiene un subdirectorio cuyo nombre le ha sido asignado en función de la escala (E-25000).

El contenido de la segunda Carpeta, Imágenes, esta constituido por subdirectorios con el nombre del tipo de imagen que van a almacenar; como en el caso actual, solo posee del tipo satélite y por tanto solo tiene un subdirectorio. El tercer directorio lleva por nombre LEGAL, y en él se almacenan los scripts de programación creados para el SIG.

FIGURA 17. Estructura de directorios del proyecto



Fuente: Autor.

La cuarta carpeta, MapasTem, tiene por objetivo almacenar los mapas temáticos en formato DXF que se digitalicen para el SIG, dividiéndolos en subdirectorios según su temática. La quinta carpeta, como su nombre lo indica, almacenará los archivos de ploteo que se lleguen a generar en el SIG.

El sexto directorio hijo es quizás el de mayor relevancia, pues en el se encuentra la Base de datos propiamente dicha. Inicialmente solo cuenta con el proyecto Manizales, almacenado en el subdirectorio

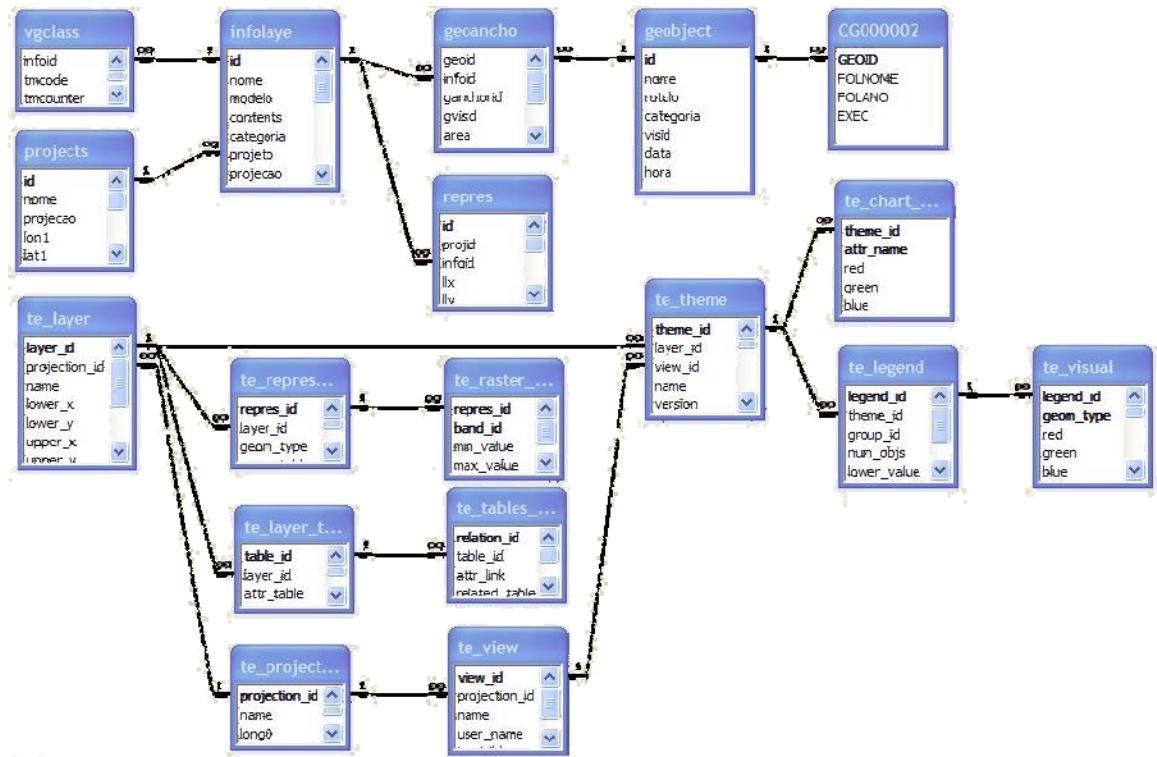
de dicho nombre, pero en caso de generarse nuevas áreas geográficas de investigación, se crearían otros proyectos (directorios).

Finalmente los directorios séptimo y octavo, almacenarían los reportes en formato texto que genere el sistema y las tablas en formato DBF que se pretendan ingresar al sistema.

5.2. ARQUITECTURA DE LA GDBMS EN EL SIG

En este aparte se hace un breve resumen del modelo de datos de la GDBMS, para la comprensión de la operatividad del sistema.

FIGURA 18. Diagrama de entidad relación para las clases del modelo



Fuente: Autor.

Varias tablas serán creadas y mantenidas por SPRING en el directorio correspondiente al banco de datos. Se presenta a continuación los archivos asociados al banco y sus descripciones.

5.2.1. category.dbf y category.mdx

Esta tabla almacena todas las categorías y clases creadas para un Banco de Datos cualquiera. La estructura de esta tabla es:

```

Nome = Nombre de la categoría o clase temática;
Código = Código de la categoría, valor atribuido en la creación;
Índice = Índice asociado a las clases de una categoría temática;
Pai = Índice referente a cual categoría temática pertenece la
clase;
Modelo = *Indica a que modelo de datos pertenece la categoría o
clases temática;

```

Tabla = Nombre de la tabla "CG*****.dbf" o "CL*****.dbf" asociada a las categorías o clases respectivamente;
Vivualid = Código de la visual, a partir de la cual se recuperan los atributos visuales (de línea, polígono, punto o texto) de la categoría o clase.

Para Modelo se tienen los siguientes códigos:

- Para Imagen = 1
- Para Temático = 4
- Para Numérico = 8
- Para Catastral = 64
- Para Red = 62
- Para Objeto = 128
- Para No-Espacial = 16

5.2.2. nextids.dbf y nextids.mdx

Nextids es una tabla generada al inicio de la creación del Banco de Datos. Es un "contador" interno al SPRING que controla la generación de identificadores de cualquier elemento introducido en el banco.

Son identificadores del próximo ítem que será creado en el Banco. La estructura de esta tabla es:

Iditem = Identifica cual es el tipo del elemento: categoría, proyecto, infolayer, representación y objeto;
Idnext = Identificador del último elemento introducido en el sistema, a este es siempre sumado "uno" para obtener el próximo;

5.2.3. projecti.dbf y projecti.mdx

Esta tabla y archivo index contienen las proyecciones (Proyección cartográfica y demás parámetros dados por el usuario) definidos para proyectos presentes en el Banco de Datos. Su estructura es la siguiente:

Id = Identificador único del banco;
Nombre = Nombre de la proyección cartográfica;
Datum = Nombre del datum;
Code = Identificador de proyección;
Gbcode = Código del archivo GRIG (imagen);
Gbcode1 = Código de la proyección del GRIB;
Bits = Parámetros necesarios del mask
Pdatum = Datum planimétrico;
Dx, Dy, Dz = Translación del elipsoide en los ejes X, Y y Z;
Rd = Radio de la tierra en metros;
Flt = Achatamiento;
Offx, Offy = Offset X y offset Y;
Gphemis = Hemisferio;
Gplat0, Gplon0 = Paralelo y Meridiano de origen;
Gpstlat1, Gpstlat2 = Paralelo patrón 1 y 2;
Spri = Ángulo del sensor (para proyección satélite);
Spis, Spjs = Coordenada X e Y de punto del satélite;

```
Sprsd = Radio del Satélite (metros);
Splao, Splo0 = Latitud Longitud del punto del satélite;
Sprj, Spscn, Spyaw = Parámetros del barrido del satélite.
```

5.2.4. projects.dbf e projects.mdx

Tabla con las características de los proyectos del Banco de Datos. Su estructura es repetida para cada proyecto:

```
Id = Código del proyecto (identificador único);
Nome = Nombre del proyecto;
Projecao = Código de la proyección definida en Projecti.dbf;
Lon1, Lat1, Lon2 e Lat2 = Área del Proyecto en coordenadas
geográficas;
X1, Y1, X2 e Y2 = Área de Proyecto en coordenadas planas;
Data e Hora = Fecha y hora de creación del proyecto.
```

5.2.5. repres.dbf y repres.mdx

Describen las representaciones existentes de un PI en un Proyecto:

```
Id = Código de representación del PI;
Projid = Código del proyecto;
Infoid = Código del PI;
Llx y Lly = Coordenadas X e Y inferior izquierda;
Urx y Ury = Coordenadas X e Y superior derecha;
Type = Tipo de representación;
Contents = Contenido de la representación;
Endian = Orden de representación;
Visid = Código de la visual.
```

5.2.6. visual.dbf y visual.mdx

Describe la visual de presentación de los datos en un PI:

```
Vid = Identificador de la visual;
Repid = Representación del ID;
Viscat = Si la visual es de la categoría 1 si no 0;
Type = Tipo de representación;
Xred, Xgreen, Xblue = valores rojo, verde y azul de líneas;
Style, Width, Patname = Estilo, ancho y patrón de la línea;
Pointtype = Representación del punto (marca o símbolo);
Marktype = Tipo de punto;
Markred, Markgreen, Markblue = valores rojo, verde y azul del
punto;
Sybname = Nombre del símbolo;
Syheight, Sybangle = Dimensión y ángulo del símbolo;
Polyred, Polygreen, Polyblue = valores rojo, verde y azul de
polígonos;
Fillmode = Modo de relleno del polígono;
Fillhash = Modo de tramado del polígono;
```

```

Fillangle, Fillspace = Ángulo y espaciado del relleno;
Iconname = Nombre del icono;
Txtfont = Fuente del texto;
Txtred, Txtgreen, Txtblue = valores rojo, verde y azul del
texto;
Txtheight, Txtthickn = Altura y espesor de los caracteres;
Txtangle = Ángulo de rotación del texto;
Txtspace = Espacio entre caracteres;
Txtexpans = Expansión del texto;
Txtalignhz, Txtalignvt = Alineamiento horizontal y vertical del
texto;
Txtprecis = Precisión del texto;
Txtpath = Posición del texto.

```

5.2.7. infolaye.dbf infolaye.mdx

Describe las definiciones de un PI:

```

Id = Código del plano de información;
Nome = Nombre del plano de información;
Modelo = Modelo al cual pertenece el PI
Contents = Contenido del plano;
Categoria = Categoría a la cual pertenece el PI;
Proyecto y Projecao = Proyecto y proyección al cual pertenece el
PI;
Lon1, Lat1, Lon2 e Lat2 = Área del proyecto del PI (menor o
igual al del Proyecto);
X1, Y1, X2 e Y2 = Área de proyecto del PI;
Escala = Escala en la que fue creado el PI;
Resolucionx, Resolucaoy = Resolución cuando existe
representación raster;
Data e Hora = Fecha y hora en que fue creado el PI

```

5.2.8. geoancho.dbf geoancho.mdx

Tabla y archivo index de las anclas. Esta tabla es creada sólo en el momento que un objeto es asociado a una representación gráfica en algún plano de información del modelo catastral. Su estructura es:

```

Geoid = Código del plano de información;
Infoid = Nombre del plano de información;
Ganchorid = Identificador del ancla;
Gvisid = Visual asociada a la representación del objeto en el
infolayer;
Area e Perimetro = Área y perímetro del objeto;
Demanda = Usado para PIs del modelo Red;
Impedancia = Usado para PIs del modelo Red.

```

5.2.9. geobject.dbf geobject.mdx

Tabla y archivo index de los objetos geográficos existentes en todo banco de datos. Esta tabla es creada sólo en el momento que pasa a existir un objeto en un proyecto. Su estructura es:

```
Id = Código del objeto dado por el sistema;  
Nome = Nombre dado al objeto por el usuario;  
Rótulo = Rótulo del objeto definido por el usuario;  
Categoria = Código de la tabla a la cual pertenece un objeto  
(ejemplo: código de la categoría Hospitales);  
Visid = Visual de cada objeto, inicialmente tiene la visual de  
la categoría;  
Data e Hora = Fecha y hora en que fue creado el objeto;
```

5.2.10. cg000000.dbf y cg000000.mdx

Tablas y archivos index creados automáticamente por el sistema. Estas tablas son utilizadas por el usuario para definir los atributos alfanuméricos de los objetos. Su estructura es:

```
Geoid = Código del objeto creado por el sistema;  
XXX = Atributo definido por el usuario;
```

5.3. MÓDULO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La información de la Red Neuronal implementada se puede apreciar en el Anexo C, Código Fuente. La información sobre los resultados de las pruebas realizadas se puede consultar en el Anexo D, pruebas.

6. CONCLUSIONES

Se desarrolló una nueva metodología ecléctica entre las redes neuronales y la metodología tradicionalmente utilizada en la elaboración de mapas geoquímicos de gas radón, para el uso en investigaciones de premonición sísmica.

La metodología desarrollada permite mejorar de manera heurística la selección de los puntos de localización para nuevas estaciones de medición radiológica con cámaras Electret.

La nueva metodología habilita al análisis espacial en la clasificación no supervisada de información espacial bajo el uso de algoritmos de redes neuronales competitivas SOM.

Este algoritmo muestra un desempeño adecuado para la clasificación de imágenes de satélite, además permite el análisis de datos provenientes de mapas temáticos e imágenes para encontrar relaciones entre estos. Este tipo de análisis espacial hasta el momento no se ha encontrado presente en ninguna herramienta software del mercado evaluada por el autor.

El algoritmo y por ende el software desarrollado es eficaz porque realiza la clasificación de los datos ingresados en el sistema, es eficiente porque esta clasificación soporta el análisis de correspondencia con clases temáticas y es abierto al usuario porque le permite a este jugar con los parámetros de clasificación. Esto le permite al experto usar su criterio, así que los resultados dependen de la elección que el haga.

Una limitación de la herramienta software desarrollada Neuromap, está en las restricciones de entrada de los datos. Estos deben corresponder en las coordenadas de la caja del mapa y la resolución espacial en norte y este. Además se debe asegurar que tanto los temas, como las clases temáticas a ingresar tengan el mismo orden del usado en el entrenamiento de la red.

El uso de la inteligencia artificial como complemento de la clasificación de datos espacialmente distribuidos en forma compleja, ayuda a un mejor entendimiento de los mismos. En el caso de la presente investigación, ha permitido visualizar la relación entre propiedades físicas de difícil determinación como la reflectancia, el tipo de sustrato rocoso y el uso del suelo.

El parámetro encontrado por el procesamiento de las variables aparentemente tiene una relación más cercana a la composición química de las rocas presentes en el área, que a la emisión de gas radón. Este comportamiento puede deber su origen a las variables de entrada seleccionadas para el procesamiento, pues hasta el momento no se conoce exactamente la cantidad y tipo de variables que deben ingresar a la red por contribuir en el fenómeno de movilidad del gas radón.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda extender esta metodología a otras áreas de estudio para verificar la consistencia de los parámetros predichos por la red neuronal.

Es necesario que el usuario experto temático establezca nuevas variables físicas que deben considerarse en futuras investigaciones, para ajustar mejor el entrenamiento de la neurona. De la presente investigación se recomienda el uso de porosidad y permeabilidad de las rocas por unidades estratigráficas a manera de modelo digital del terreno en lugar de mapa geológico como mapa temático.

Se recomienda utilizar topologías del mapa auto organizado diferentes a las dos generadas por la presente investigación, que permitan establecer más relaciones entre los parámetros a ajustar y por ello mejores predicciones de los mismos.

Se recomienda depurar los mapas de entrada a la red para evitar un sobre-entrenamiento de la misma con sus consecuencias: Bajo-predicción y Sobre-predicción. De la presente investigación se evidenció la contaminación en la clasificación del píxel en la neurona al trabajar con el mapa geológico, que posee áreas sin cartografiar.

8. RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

[AGUILAR, 1996]. AGUILAR ALONSO, Miguel. Guía Para La Elaboración De Estudios Del Medio Físico. Contenido y Metodología. 1 Madrid, España. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente. 1996 . Pp 809

[DÍAZ, 1999]. DÍAZ, Abel. Diseño Estadístico de Experimentos. 1 Medellín, Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. 1999 . Pp 346

[TAMAYO, 1995]. TAMAYO Y TAMAYO, Mario. Serie Aprender a Investigar. 1 Santafé de Bogotá, Colombia. ICFES. 1995 . Pp

[FARIA, 1997]. FARIA BARBOSA, Cláudio Clenote. Map Algebra And Its Application In Remote Sensing And Geoprocessing 1 São José de los Campos, Brasil. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciales INPE. 1997 . Pp 140

[CROSS, 1985]. CROSS, M.; MOSCARDINI, La. Learning the Art of Mathenatical Modeling. 1 New York, USA. Halsted Press 1985 . Pp

[SALAZAR, 2002]. SALAZAR VELÁSQUEZ, Sonia Patricia. Mapa Geoquímico del Gas Radón para el Suroriente del Municipio de Manizales. 1 Manizales, Colombia. Universidad de Caldas. 2002 . Pp 106

[KEMP, 1992]. KEMP, K. Environmental Modelling with GIS: A Strategy for Dealing with Spatial Continuity. Ph.D. thesis, NCGIA Technical Report 93-3. 1 Santa Barbara, California. USA. Department of Geography, University of of California. 1992 . Pp

8.1. BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO DUARTE, LEONARDO Aplicaciones De La Teoría Fuzzy Al Desarrollo Del Sistemas Expertos De Ingeniería Analítica De Publicaciones Seriadas 11 2 Dic-89 47 a 74
- ANDRIOLE, Stephen J. Applications In Artificial Intilligence. 1 Princeton, New Jersey. USA. Petrocelli Books. 1985 . Pp 528
- BOSQUE SENDRA, Joaquin. Sistemas de Información Geográfica: Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI. 1 Madrid , España. Rama. 1994 . Pp 478
- CÁCERES, John. Ingeniería de SIG 2. Material Educativo de la Especialización en SIG, UIS. 1 Bucaramanga, Colombia. Ingeniería Civil, UIS. 2001 . Pp 30
- CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de Teledetección Espacial. 3 Madrid, España. Ediciones Rialp, S.A. 2000 . Pp 571
- CORREDOR MONTAGUTH, Martha Vitalia. Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. 1 Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. . Pp 125
- DAVIS, Alan. Software Requirements. 1 New Jersey. USA. Prentice-Hall. 2000 . Pp
- GARZÓN, G., et al. A model of diffuse degassing at three subduction-related volcanoes Bulletin of Volcanology 62 2000 130 a 142
- GARZÓN, V., G Monitoreo del isótopo Radón-222 para el estudio de eventos geodinámicos Revista Red Sismológica Regional del Eje Cafetero Viejo Caldas y Tolima 4 1999 37 A 42
- GARZÓN, V., G Método de cámaras ionizantes, utilizado para la determinación del radón 222 Observatorio Vulcanológico y sismológico de Manizales, segunda jornada técnica 1998 29
- JACOBSON, J. RUMBAUGH, I. BOOCH, G. El Lenguaje Unificado De Modelado. Manual De Referencia. 1 Madrid, España. Addison Wesley. 2000 . Pp 526
- JENSEN, J.R. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 1 Englewood - Cliffs, New Jersey. USA Prentice – Hall. 1986 . Pp
- LLAMOSA, Ricardo. Conferencias Del Curso de Evaluación de Proyectos. Certificación en Administración de Contratos. Santafé de Bogotá. Colombia. Instituto Nacional de Vías, INVIAS. 1998 . Pp
- MARTÍNEZ, Juan Manuel; VARGAS, Germán. Ingeominas En La Vigilancia, Prevención Y Atención De Fenómenos Geológicos Utilizando Técnicas Modernas De Sensores Remotos. Revista Ingeniería Geológica. UPTC, Sogamoso, Colombia. Año 1 Número 1 May-95 74 a 83
- MARTÍNEZ, Y. A. Evolución Histórica y Futuro de los Análisis Espaciales en los SIG. Revista Cartográfica. Sociedad Cartográfica de Colombia. 01/02/1998. 39 a 45
- MILLER, Tyler. Ecología y Medio Ambiente. México. México. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. 1994 . Pp
- NILSSON, Nils J. Problem-Solving Methods In Artificial Intelligence. 1 New York. USA. McGraw-Hill. 1971 . Pp 255
- O. GRADY, Jeffrey System Requirements Analysis. 1 New York. USA. McGraw-Hill. 2000 . Pp
- OGC, Open Gis Consortium, Inc Open Gis Simple Features Specification for SQL. 1.1 USA. Open Gis Consortium Technical Committee. 1999 . Pp 74
- OGC, Open Gis Consortium, Inc Open Gis Reference Model. 0.1.2 USA. Open Gis Consortium Technical Committee. 2003 . Pp 91

- PARK, John Kyongyoon Cluster Analysis Based On Density Estimates And Its Application To Landsat Imaginery. 1 Fort Collins, Colorado. USA. Fort Collins: Colorado State University. 1979 . Pp 39
- PRESSMAN, Roger S. Ingeniería del Software. Un Enfoque Práctico. 5 New York, USA. McGraw-Hill. 2002 . Pp
- RAUCH-HINDIN, Wendy B. A Guide To Commercial Artificial Intelligence; Fundamentals And Real-World Applications. 1 Englewood Cliffs. Prentice-Hall. 1988 . Pp 523
- RICHARDS, John Alan. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. 2 Berlín. Alemania. Springer-Verlag. 1993 . Pp 340
- RUSSELL, Stuart J. Inteligencia Artificial: Un Enfoque Moderno. 1 México. México. Prentice-Hall. 1996 . Pp 979
- SCHILD, Herbert. Utilización de C en Inteligencia Artificial. 1 Madrid , España. McGraw-Hil. 1990 . Pp 340
- SCHOWENGERDT, Robert A. Techniques For Image Processing And Classification In Remote Sensing. 1 Orlando, Florida. USA. Orlando, Fl.: Academic Press. 1983 . Pp 249
- SKLANSKY, Jack. Pattern Recognition:Introduction And Foundations. 1 Stroudsburg. PE. Dowden, Hutchinson and Ross. 1973 . Pp 421
- SOMMERVILLE, Ian. Sawyer, Pete. Requeriments Engineering. A Good Practice Guide. 1 New Jersey. USA. Prentice-Hall. 2000 . Pp
- VICENT, Robert K. Fundamentals Of Geological And Enviromental Remote Sensing. 1 Upper Saddle River, New Jersey, USA. Prentice-Hall. 1997 . Pp 370

ANEXO A
ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA

Estimación De La Presencia De Gas Radón, Basada En Teledetección Espacial E Inteligencia Artificial, Para Prospección Telúrica

ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA

INFORMACIÓN GENERAL DEL DOCUMENTO

Circulación : Restringida al personal vinculado al equipo de desarrollo.
Objetivo : Informe final de la especificación de requerimientos de usuario

FIRMAS DE ACEPTACIÓN

DOCUMENTACIÓN

APROBACIÓN

cc:

cc:

HISTORICO DEL DOCUMENTO

Versión	Registro histórico	Fecha
1.0	: Documento original	15 / 01 / 2002
1.1	: Revisión posterior a la visita a INGEOMINAS Manizales	1 / 05 / 2003

DEFINICIONES

Término	Explicación
Datos geográficos	: Datos con referencia explícita ó implícita a una posición sobre la superficie terrestre.
Calidad	: Conjunto de características de los datos geográficos que describen su capacidad de satisfacer un uso específico.
Modelo	: Representación a escala de un objeto real.
Coordenadas	: Parejas de números reales que expresan distancias sobre ejes ortogonales; alternativamente, pueden ser tripletas de números que expresan distancias horizontales verticales.
Requerimiento	: Manifestación o pregunta que se hace para intimar a dar cumplimiento, ejecución o abstinencia de algo.
Documentación	: Nombre y firma del funcionario representante del Usuario que fue entrevistado.
Aprobación	: Nombre y firma del asesor que realice la función de interventoría.

ACRÓNIMOS

Término	Explicación
UIS	: Universidad Industrial de Santander
INGEOMINAS	: Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química

ABREVIATURAS

Término	Explicación
SIG	: Sistema de Información Geográfica.

9. INTRODUCCIÓN

Las actuales especificaciones han sido elaboradas con base en el punto de vista del autor de la investigación, con base en el criterio de que el tema fue estudiado junto a los técnicos científicos de INGEOMINAS y por tanto el autor se encuentra en capacidad de discernir sobre sus características.

9.1. PROPÓSITO DEL SISTEMA

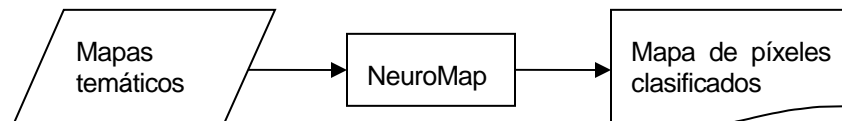
1. El sistema de clasificación de píxeles por red neuronal, permitirá a INGEOMINAS facilitar sus procesos de correlacionar información de diferentes tipos de mapas temáticos, imágenes y modelos digitales del terreno.

9.2. ALCANCE DEL SISTEMA

2. El sistema de información estará soportado bajo un SIG, el cual se encarga de la administración, consulta, depuración y verificación de la información y el producto software de apoyo al sistema, el cual es el objeto de este documento, se denominará "NeuroMap".
3. Este sistema estará en capacidad de cubrir el área de amenazas GeoAmbientales del INGEOMINAS, en donde la información geográfica ocupa un lugar importante, pues allí se almacenan y administran todos los archivos y documentos de la empresa, respondiendo a las necesidades de estos usuarios.

9.3. APRECIACIÓN GLOBAL DEL SISTEMA

FIGURA 19. Diagrama general de entrada de información del sistema NeuroMap



El sistema de clasificación de píxeles por red neuronal es una combinación de almacenamiento de información espacial georreferenciada y procedimientos de clasificación de datos por red neuronal, cuyo objetivo es satisfacer la necesidad de una herramienta que genere un mapa de conjuntos de píxeles que se pueda comparar con el mapa Geoquímico de gas radón desde el SIG en una consulta sencilla de los científicos que interpretan estos datos.

10. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

A continuación, en este capítulo se dará una visión general del sistema.

10.1. CONTEXTO DEL SISTEMA

El sistema está diseñado de tal forma que pueda crecer a medida que se requieran clasificar nuevos niveles de información, y su única restricción es el modo.

FIGURA 20. Entorno del sistema

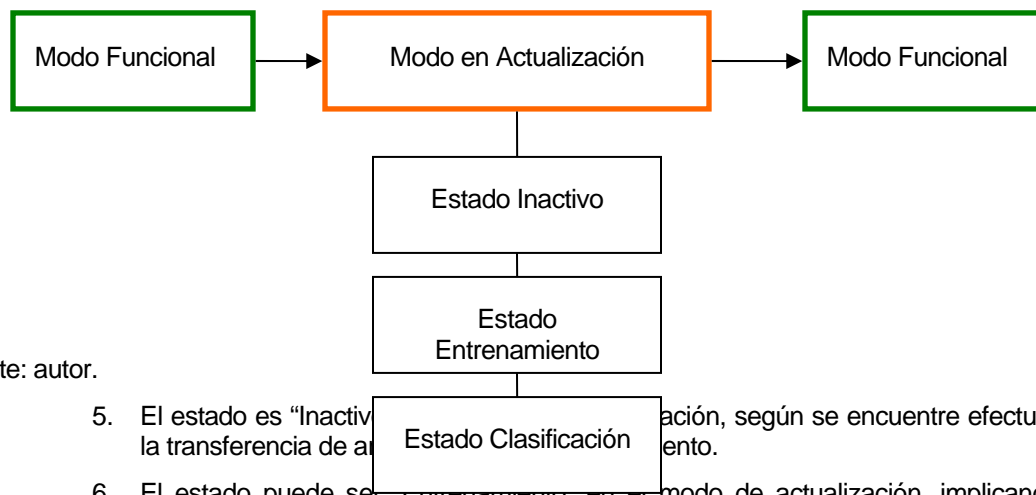


Fuente: Autor.

10.2. MODOS Y ESTADOS DEL SISTEMA

- El sistema posee dos modos definidos como "Modo Funcional" y "Modo En Actualización". Una vez terminado este modo, el sistema deberá pasar a estado "Funcional", en donde se reanudarán todas las operaciones.

FIGURA 21. diagrama de modos y estados del sistema



Fuente: autor.

- El estado es "Inactivo" cuando se encuentra realizando una operación, según se encuentre efectuando la transferencia de datos.
- El estado puede ser "Entrenamiento" en el modo de actualización, implicando el proceso de entrenamiento de la red neuronal.


```

GRIDREG
INFO
//Retícula Regular de Modelaje Numérico
//Archivo ASCII creado por el Sistema SPRING
//Proyecto: Brasilia - Plano de información: Mapa Altimetrico
//Categoría: Altimetria - Modelo: DIGITALMODEL
PROJECTION GAUSS/Hayford, HEMIS 1, ORIG.LAT n 4 35 56.57,
ORIG.LONG o 74 4 51.30, LAT1 n 0 0 0.00, LAT2 n 0 0
0.00
DATUM Hayford, Prd 6378388.000000, Pflt 0.003367, Pdx
0.000000, Pdy 0.000000, Pdz 0.000000
OFFSETX 1000000.000000 OFFSEY 1000000.000000
SCALEFACTOR 1.000000
BOX 841376.055077, 1046955.260141, 848009.048996,
1050718.167133
UNITS Metros
SCALE 25000.000000
//Formato GRIDDEF <ncols> <nlins> <X1> <Y2> <resX>
<resY> <nodatavalue>
GRIDDEF 5 10 841376.055077 1050718.167133 30.000000
30.000000 3.400000000e+037
INFO_END
1091.385010 1090.706055 1090.019897 1089.305298 1088.582031
1091.784302 1091.105347 1090.425171 1089.727905 1089.007446
1092.183594 1091.504639 1090.825684 1090.142212 1089.440674
1092.574585 1091.892090 1091.200073 1090.510254 1089.818481
1092.880127 1092.179688 1091.496948 1090.835083 1090.172363
1093.162598 1092.484985 1091.826416 1091.167969 1090.509521
1093.477173 1092.817871 1092.159424 1091.500854 1090.842407
1093.809204 1093.150635 1092.492188 1091.845215 1091.217651
1094.149170 1093.509888 1092.887329 1092.264648 1091.638794
1094.559692 1093.937256 1093.314453 1092.688721 1092.059937
END

```

los de tipo mapa imagen.

```

GRIDREG
INFO
//Retícula Regular de Modelaje Numérico
//Archivo ASCII creado por el Sistema SPRING
//Proyecto: Brasilia - Plano de información: TM_3
//Categoría: Imagem_TM - Modelo: IMAGEMODEL
PROJECTION GAUSS/Hayford, HEMIS 1, ORIG.LAT n 4 35 56.57,
ORIG.LONG o 74 4 51.30, LAT1 n 0 0 0.00, LAT2 n 0 0
0.00
DATUM Hayford, Prd 6378388.000000, Pflt 0.003367, Pdx
0.000000, Pdy 0.000000, Pdz 0.000000
OFFSETX 1000000.000000 OFFSEY 1000000.000000
SCALEFACTOR 1.000000
BOX 841376.055077, 1046955.260141, 848009.048996,
1050718.167133
UNITS Metros
SCALE 0.000000
//Formato GRIDDEF <ncols> <nlins> <X1> <Y2> <resX>
<resY> <nodatavalue>

```

```

GRIDDEF      5  10  841376.055077  1050718.167133  30.000000
30.000000  0
INFO_END
 68 59 68 73 68
 59 68 68 68 68
 64 68 82 86 73
 73 68 59 59 73
 59 68 68 68 59
 68 73 59 68 68
 68 59 59 68 68
 64 64 73 64 64
 68 73 73 73 64
 73 68 68 68 68
END

```

9. Función 2: Exportar a archivo en formato ASCII el producto de la clasificación de píxeles. El tipo de archivo es el de un mapa temático. La leyenda de clasificación tendrá tantas clases temáticas como neuronas genere el sistema, y su forma es del tipo número, Red, Green, Blue, nombre:

```

GRIDCLASS
 1 255 255 0 cluster1
 2 255 217 0 cluster2
 3 255 127 0 cluster3
 4 255 37 0 cluster4
 5 157 103 239 cluster5

```

10. Función 3: Entrenamiento de la Red. Se efectúa por medio de puntos de control que se ingresan al sistema por las coordenadas. Estos puntos de control corresponden a la ubicación de los puntos en los cuales se calculó la presencia de gas radón. El tamaño de la muestra en cada punto es definida por el usuario.
11. Función 4: Clasificación bajo el algoritmo de redes neuronales SOM, el número de neuronas a obtenerse será decisión del usuario.

10.4. CONDICIONES MAYORES DEL SISTEMA

Las condiciones del sistema están dadas en función de sus capacidades mayores.

12. Función 1: Los mapas temáticos, imágenes y modelos numéricos del terreno que se importen en el sistema deberán tener la misma resolución y el mismo número de filas y columnas.

```

//Formato GRIDDEF <ncols> <nlines> <X1> <Y2> <resX>
<resY> <nodatavalue>
GRIDDEF      5  10  841376.055077  1050718.167133  30.000000
30.000000  0

```

13. Función 1: Los mapas temáticos, imágenes y modelos numéricos del terreno que se importen en el sistema deberán corresponder a la misma proyección, datum y área geográfica.

```

PROJECTION  GAUSS/Hayford, HEMIS 1, ORIG.LAT n 4 35 56.57,
ORIG.LONG o 74 4 51.30, LAT1 n 0 0 0.00, LAT2 n 0 0
0.00
DATUM Hayford, Prd 6378388.000000, Pflt 0.003367, Pdx
0.000000, Pdy 0.000000, Pdz 0.000000
OFFSETX 1000000.000000  OFFSETY 1000000.000000
SCALEFACTOR 1.000000

```

BOX	841376.055077, 1046955.260141, 848009.048996, 1050718.167133
UNITS	Metros

14. Función 2: El archivo de salida tendrá las mismas características de proyección, datum, área geográfica, resolución, filas y columnas que los archivos de importación.
15. Funciones 3 y 4: no presentan condiciones.

10.5. RESTRICCIONES MAYORES DEL SISTEMA

Las siguientes son las restricciones generales del sistema:

16. El software NeuroMap no dispondrá de una interface gráfica para interpretación visual de la información.
17. El sistema trabajará sobre una plataforma software basada en el sistema operativo Microsoft Windows XP, Microsoft Windows NT y Microsoft Windows Millenium.

10.6. CARACTERÍSTICAS DEL USUARIO

Los usuarios deben ser:

18. Personal adscrito a INGEOMINAS, estudiantes en proyectos de investigación y personal externo con permiso de acceso a los mapas del SIG.

10.7. SUPUESTOS Y DEPENDENCIAS

19. El sistema parte del supuesto de que la información temática y geográfica se encuentra a disposición y en perfecto estado.

10.8. ESCENARIOS OPERACIONALES

El sistema será usado en la siguiente forma:

20. Paso 1: En el SIG se seleccionan los mapas temáticos que entran a ser parte del sistema, según el modelo del fenómeno que el experto ha generado.
21. Paso 2: En el SIG se procede a recortar el mapa y darle la resolución con la cual va a ser procesado. Luego se exporta a formato ASCII.
22. Paso 3: Los archivos ASCII son importados al NeuroMap. Una vez cargados todos los mapas, se procede a entrenar la red neuronal. Para este procedimiento se ingresan las coordenadas de los puntos en donde se efectuó muestreo de gas radón y un número de píxeles a ser considerados como representativos según la resolución.
23. Paso 4: En el NeuroMap, con la red entrenada, se procede a clasificar todo el mapa, generando un nuevo mapa de "neuronas".
24. Paso 5: En el NeuroMap, este mapa es exportado a formato ASCII de SPRING.
25. Paso 6: En el SIG se importa el archivo generado.
26. Paso 7: Realizar una matriz de confusión entre las clases temáticas del mapa Geoquímico de gas radón y el generado por la red neuronal.

11. CAPACIDADES, CONDICIONES Y RESTRICCIONES

- 11.1. FÍSICOS
- 11.1.1. Construcción

El ambiente en el cual el sistema va a ser instalado tiene las siguientes características:

27. Los usuarios deben tener su computador personal, con suficiente espacio para gozar de libre movimiento y ubicar sus implementos de trabajo.
28. La información será almacenada sobre el motor de bases de datos ACCES con el cual cuentan las instituciones interesadas, este se operará desde el SIG.

11.1.2. Durabilidad

29. La empresa definirá el tiempo de vida del sistema según sus políticas internas.
30. Es deber de la empresa evaluar el funcionamiento del sistema y determinar su continuidad o posibles mejoras para nuevas versiones si así se requiere.

11.1.3. Adaptabilidad

31. El sistema debe estar en capacidad de soportar nuevos niveles de información geográfica, cada vez que INGEOMINAS, maneje un nuevo mapa temático o un modelo digital del terreno, será ingresado al NeuroMap para un nuevo proceso de entrenamiento de la red.

11.1.4. Condiciones ambientales

32. En los componentes hardware del sistema se encuentran los computadores, estos deben estar ubicados sobre superficies planas y estables para evitar problemas en los discos duros. Las oficinas deben ser cerradas, con acondicionamiento climático que conserve su temperatura entre 15 grados centígrados y 21 grados centígrados (°C), aisladas de interferencias electromagnéticas, ruido y polvo.

11.2. CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO DEL SISTEMA

33. El acceso al sistema será continuo.
34. El tiempo de respuesta a una clasificación no está limitado.
35. El tiempo de actualización en estado Inactivo, no debe ser mayor a un minuto (1).
36. El tiempo de actualización en estado Entrenamiento, no debe ser mayor a cuatro horas (4).

11.3. SEGURIDAD DEL SISTEMA

37. El acceso al sistema estará restringido al personal técnico científico de la empresa y a consultores externos autorizados por la misma. Todos considerados un usuario único.
38. No existen restricciones de permisos, pues se considera un único rol de usuario.

11.4. ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

39. La administración de la información debe ser llevada a cabo por una persona bajo el rol de Ingeniero de soporte en el SIG. Entendiéndose limpieza de la base de datos, copia de seguridad, integridad del SGBD, etc.
40. Este tendrá igualmente la responsabilidad por el componente software del sistema SIG, además de controlar y supervisar el flujo de la información geográfica desde su levantamiento, hasta su inclusión.

11.5. OPERACIONES DEL SISTEMA

11.5.1. Factores humanos del sistema

- 41. Los riesgos por errores humanos deben ser minimizados.
- 11.5.2. Mantenibilidad del sistema
 - 42. El mantenimiento preventivo consiste en la integridad de la información.
 - 43. Escaneo completo de discos duros con antivirus.
 - 44. Escaneo completo de discos duros para detectar errores en pistas.
- 11.5.3. Confiabilidad del sistema
 - 45. El componente software SIG del sistema deberá suministrar resultados con precisión, escala y con datos actualizados a las consultas hechas por los usuarios.
- 11.6. POLÍTICAS Y REGULACIONES
 - 46. El único actor (componente humano) del sistema deberá cumplir con las regulaciones de la empresa en cuanto a confidencialidad de la información.
- 11.7. SOSTENIMIENTO DEL CICLO DE VIDA
 - 47. El proceso de transferencia de la información será complementado con el establecimiento de un convenio para la retroalimentación de las experiencias. De tal forma que se plantee el lanzamiento de una nueva versión en el plazo de los dos años siguientes.

12. INTERFACES DEL SISTEMA

- 48. El software NeuroMap está concebido para operar bajo una única interface gráfica, desde la cual se llamará a los diferentes estados. Sin embargo, todos los componentes estarán bajo la misma arquitectura.
- 12.1. INTERFACE DE IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN
 - 49. La importación y exportación de archivos estarán disponibles en un menú de cascada y en iconos gráficos en la barra de herramientas.
 - 12.1.1. Interface gráfica
 - 50. Cada archivo importado tendrá los datos de su encabezado visibles, pero no así la información de la matriz
 - 51. El archivo de exportación generado será igualmente visible solo en sus datos de encabezado.
- 12.2. INTERFACE DE ENTRENAMIENTO Y CLASIFICACIÓN
 - 52. el entrenamiento y la clasificación estarán disponibles en un menú de cascada y en iconos gráficos en la barra de herramientas.
 - 12.2.1. Interface gráfica
 - 53. La pantalla de entrenamiento tendrá los campos de coordenadas X e Y del punto, y el campo para el número de píxeles a ser considerados en el proceso (ventana cuadrada). Así mismo mostrará los nombres de los mapas a ser procesados y el número de neuronas a considerar.

54. los archivos de entrenamiento podrán ser almacenados en el sistema, por lo cual también es necesario disponer de una opción abrir y guardar en el menú de cascada.

55. la interface de clasificación solo dispondrá del botón INICIO y de un aviso "procesando".

12.2.2. Interface de impresión

56. No dispone de interface de impresión

13. REFERENCIAS

1. : Requirements Engineering. A good practice guide. Ian Sommerville & Pete Sawyer. John Wiley.
2. : Software Requirements, Alan Davis, PTR Prentice Hall.
3. : System Requirements Analysis, Jeffrey O. Grady, McGraw Hill.
4. Practical Software Requirements. A Manual of Content & Style. Benjamin Kovitz. Manning.
5. : IEEE 1233-1998: Guide for Developing System Requirements Specifications.
6. : Interpretación de la norma IEEE estándar 1233: 1998; Guía IEEE para desarrollar especificación de requisitos de sistemas. CIDLIS, 26/01/01.
7. : ISO/IEC 9126 : 1991, Information technology - Software product evaluation - Quality characteristics and guidelines for their use.
8. : IEEE 1016-1998: Recommended Practice for Software Design Descriptions.
9. : IEEE 830-1998: Recommended Practice for Software Requirements Specifications.
10. : Bosque Sendra, Joaquín, Sistemas De Información Geográfica, Ediciones Rialp, S.A., 2ª edición, 1997. ISBN: 84-321-3154-7

ANEXO B
CATÁLOGO DE OBJETOS Y SIMBOLOS

Estimación De La Presencia De Gas Radón, Basada En Teledetección Espacial E Inteligencia Artificial, Para Prospección Telúrica

CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS

INFORMACIÓN GENERAL DEL DOCUMENTO

Circulación : Restringida al personal vinculado al equipo de desarrollo.
Objetivo : Especificar las características de los objetos geográficos

FIRMAS DE ACEPTACIÓN

DOCUMENTACIÓN

APROBACIÓN

cc:

cc:

HISTORICO DEL DOCUMENTO

Versión	Registro histórico	Fecha
1.0	: Documento original	15 / 10/ 2003

DEFINICIONES

Término	Explicación
Datos geográficos	: Datos con referencia explícita ó implícita a una posición sobre la superficie terrestre.
Aprobación	: Nombre y firma del asesor que realice la función de interventoría.



ACRÓNIMOS



Término	Explicación
UIS	: Universidad Industrial de Santander
INGEOMINAS	: Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química



ABREVIATURAS

Término	Explicación
SIG	: Sistema de Información Geográfica.



14. TRANSPORTE



MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Carretera	3101
Tema:	Transporte 3000	
Grupo:	Transporte Terrestre 3100	
Información:	Vía de superficie estable dispuesta para el paso de automotores.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Rojo 7. Ancho: 1	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Camino	3102
Tema:	Transporte 3000	
Grupo:	Transporte Terrestre 3100	
Información:	Vía estrecha trazada principalmente para el paso de peatones.	
Símbolos:	Línea: trazos. Color: Rojo 7. Ancho: 0	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003



MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Ferrocarril	3103
Tema:	Transporte 3000	
Grupo:	Transporte Terrestre 3100	
Información:	Vía constituida por carriles sobre la cual se desplaza un tren.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Naranja 1. Ancho: 1	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003



15. HIDROGRAFÍA



MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Drenaje Doble	5101
Tema:	Hidrografía 5000	
Grupo:	Superficies de agua 5100	
Información:	Corriente de agua continua, incluye ríos y quebradas. El ancho es mayor a 12,5 metros.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Azul 6. Ancho: 2	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Drenaje sencillo	5124
Tema:	Hidrografía 5000	
Grupo:	Superficies de agua 5100	
Información:	Corriente de agua continua, incluye ríos y quebradas. El ancho es menor a 12,5 metros.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Azul 1. Ancho: 1	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003



16. RELIEVE



MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Curva	6101
Tema:	Relieve 6000	
Grupo:	Terreno 6100	
Información:	Línea imaginaria que une puntos del terreno con la misma altura sobre el nivel del mar.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Mostaza. Ancho: 1	
Atributos:	Altura sobre el nivel del mar	
		Noviembre de 2003



MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	TIN	6110
Tema:	Relieve 6000	
Grupo:	Terreno 6100	
Información:	Modelo digital de elevaciones basado en la representación de las facetas triangulares de las laderas.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Gris 1. Ancho: 0	
Atributos:	Altura sobre el nivel del mar	
		Noviembre de 2003


MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	GRID	6111
Tema:	Relieve 6000	
Grupo:	Terreno 6100	
Información:	Modelo digital de elevaciones basado en la representación de la altura en un punto a manera de barra.	
Símbolos:	Color: Escala de gris.	
Atributos:	Altura sobre el nivel del mar	
		Noviembre de 2003


17. ÁREAS


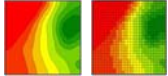
MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Agua	7601
Tema:	Áreas 7000	
Grupo:	Unidades de Uso Actual 7600	
Información:	Aguas corrientes o represadas, tanto natural como artificialmente.	
Símbolos:	Área: Sólido. Color: Azul 1.	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003


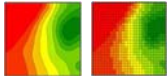
MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Bosque	7602
Tema:	Áreas 7000	
Grupo:	Unidades de Uso Actual 7600	
Información:	Cobertura vegetal arbustiva y arborícola.	
Símbolos:	Área: Sólido. Color: Verde 3.	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003


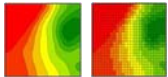
MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Cultivo	7603
Tema:	Áreas 7000	
Grupo:	Unidades de Uso Actual 7600	
Información:	Cobertura vegetal de pastizales, rastrojos y agricultura.	
Símbolos:	Área: Sólido. Color: Verde 2	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

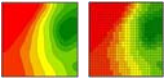
MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Urbano	7604
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades de Uso Actual	7600
Información:	Cobertura de obras civiles, incluyendo vías y edificaciones.	
Símbolos:	Área: Sólido. Color: Naranja 2	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

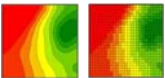
MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Suelo	7605
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades de Uso Actual	7600
Información:	Cobertura de roca y suelo desnudos.	
Símbolos:	Área: Sólido. Color: Beige	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

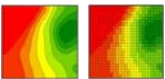
MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Quebradagrande	7701
Tema:	Áreas 7000	
Grupo:	Unidades Geológicas 7700	
Información:	Formación litoestratigráfica.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Negro. Ancho: 1 Área: Sólido. Color: Verde 2	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

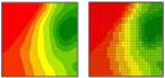
MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Casablanca 7000	7702
Tema:	Áreas 7700	
Grupo:	Unidades Geológicas	
Información:	Formación litoestratigráfica.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Negro. Ancho: 1 Área: Sólido. Color: Amarillo 1	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

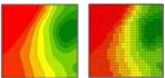
MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Sancansio	7703
Tema:	Áreas 7000	
Grupo:	Unidades Geológicas 7700	
Información:	Formación litoestratigráfica.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Negro. Ancho: 1 Área: Sólido. Color: Gris 1	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003


MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Lusitania	7704
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geológicas	7700
Información:	Formación litoestratigráfica.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Negro. Ancho: 1 Área: Tramado diagonal 1. Color: Gris	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003


MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Escombros	7705
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geológicas	7700
Información:	Formación litoestratigráfica.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Negro. Ancho: 1 Área: Tramado diagonal 2. Color: Gris :	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003


MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Abanico Maltería	7706
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geológicas	7700
Información:	Formación litoestratigráfica.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Negro. Ancho: 1 Área: Tramado diagonal 3. Color: Gris :	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003


MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Aluviales	7708
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geológicas	7700
Información:	Formación litoestratigráfica.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Negro. Ancho: 1 Área: Tramado diagonal 4. Color: Gris :	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003


MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Piroclastos	7709
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geológicas	7700
Información:	Formación litoestratigráfica.	
Símbolos:	Línea: continua. Color: Negro. Ancho: 1 Área: Tramado diagonal 5. Color: Gris :	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003


MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Alto	7801
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geoquímicas	7800
Información:	Registro de nivel de gas Radón superior a 800 pCi/l	
Símbolos:	Área: Sólido. Color: Rojo 7	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Medio	7802
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geoquímicas	7800
Información:	Registro de nivel de gas Radón entre 400 pCi/ y 800 pCi/l	
Símbolos:	Área: Sólido. Color: Amarillo 1	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

MODELO DE DATOS - CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Bajo	7803
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geoquímicas	7800
Información:	Registro de nivel de gas Radón inferior a 400 pCi/l	
Símbolos:	Área: Sólido. Color: Verde 1	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Muestras	7804
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geoquímicas	7800
Información:	Valores puntuales registrados en terreno para el nivel de gas Radón	
Símbolos:	Punto: Circulo. Color: Azul 8. Altura 3.	
Atributos:	Nivel de gas Radón en la roca	
		Noviembre de 2003

MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	GRID	7805
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Unidades Geoquímicas	7800
Información:	Modelo digital del terreno para el nivel de gas Radón	
Símbolos:	Color: Escala de Gris	
Atributos:	Nivel de gas Radón en la roca	
		Noviembre de 2003

MODELO DE DATOS – CATÁLOGO DE OBJETOS Y SÍMBOLOS		
Nombre:	Landsat-TM	7901
Tema:	Áreas	7000
Grupo:	Imágenes	7900
Información:	Bandas de cada escena capturada por la misión Landsat.	
Símbolos:	Color: Escala de Gris	
Atributos:	Ninguno	
		Noviembre de 2003

**ANEXO C
PRUEBAS**

Estimación De La Presencia De Gas Radón, Basada En Teledetección Espacial E Inteligencia Artificial, Para Prospección Telúrica

PRUEBAS

INFORMACIÓN GENERAL DEL DOCUMENTO

Circulación : Restringida al personal vinculado al equipo de desarrollo.

Objetivo : Evaluación del sistema

FIRMAS DE ACEPTACIÓN

DOCUMENTACIÓN

APROBACIÓN

cc:

cc:

HISTORICO DEL DOCUMENTO

Ver sió n	Registro histórico	Fecha
1.0	: Documento original	25 / 11/ 2003

DEFINICIONES

Término	Explicación
---------	-------------

ACRÓNIMOS

Término	Explicación
---------	-------------

ABREVIATURAS

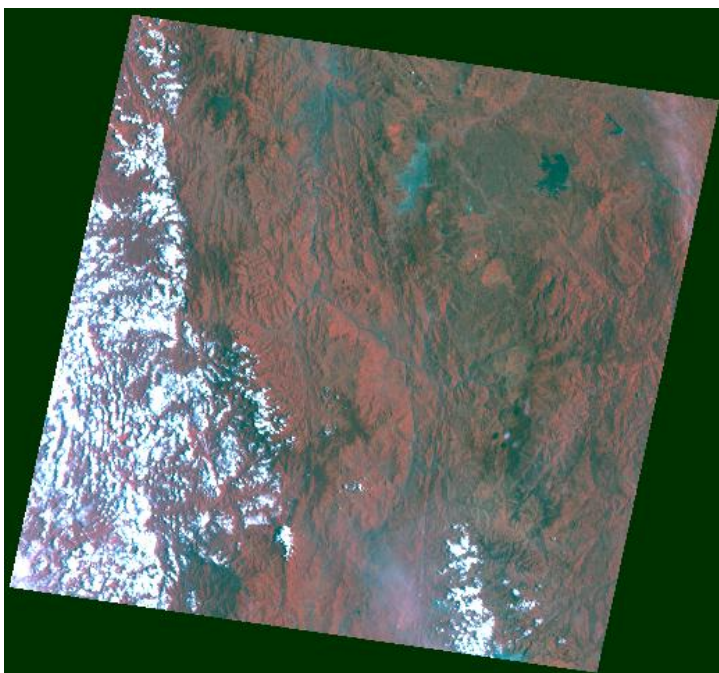
Término	Explicación
---------	-------------

18. INSUMOS

A continuación, se presenta el proceso de adquisición de los insumos necesarios para el funcionamiento del sistema.

18.1. IMÁGENES DE SATÉLITE

La imagen a usar fue descargada del programa institucional Global Land Cover Facility, GLCF, convenido entre la Universidad de Maryland y la NASA. El archivo descargado es el Landsat, TM WRS-2, Path 9, Row 56 1986-09-08 TM, EarthSat, Orthorectified Colombia - Medellín Online ID: 15715.



Fuente: <ftp:glcf.umiacs.umd.edu> o <http://glcf.umiacs.umd.edu>

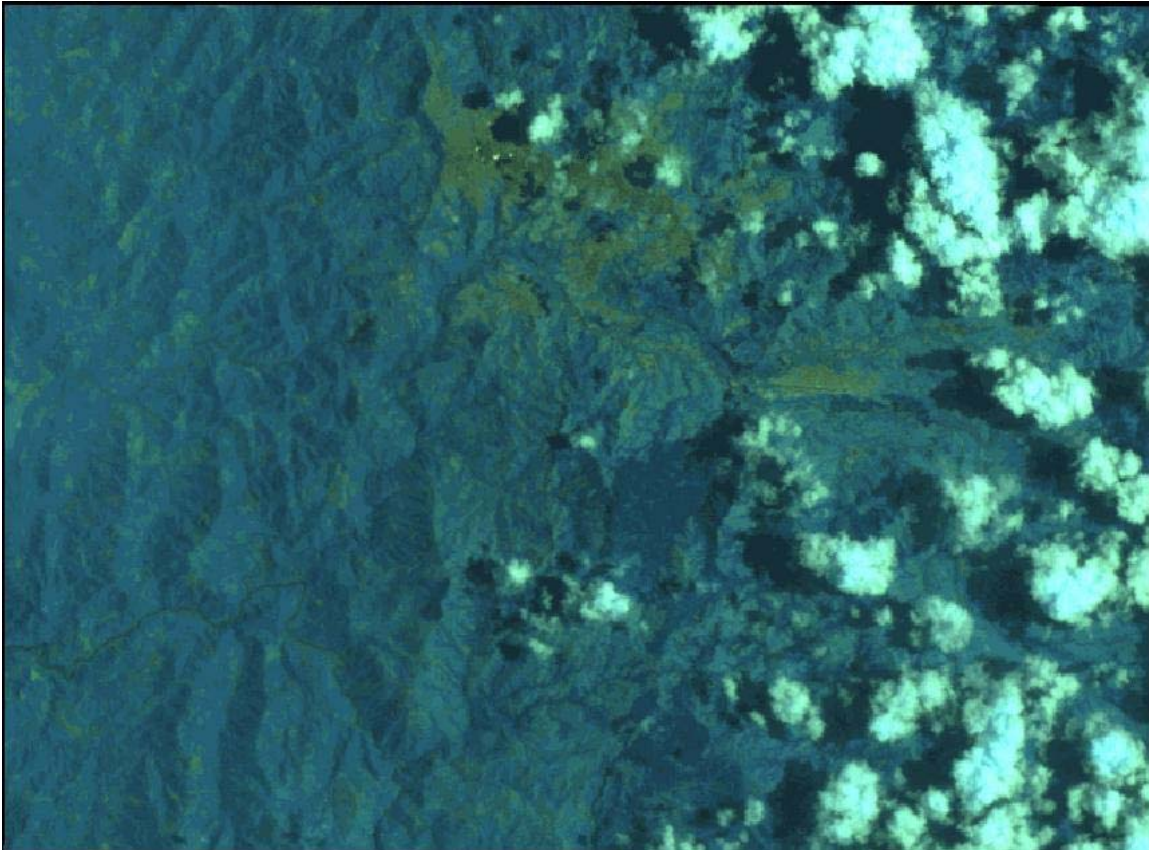
Metadatos de la imagen:

```
NDF_REVISION=2.00;
DATA_SET_TYPE=EDC_TM;
PRODUCT_NUMBER=014001128012900037;
PIXEL_FORMAT=BYTE;
PIXEL_ORDER=NOT_INVERTED;
BITS_PER_PIXEL=8;
PIXELS_PER_LINE=6937;
LINES_PER_DATA_FILE=6299;
DATA_ORIENTATION=UPPER_LEFT/RIGHT;
NUMBER_OF_DATA_FILES=7;
DATA_FILE_INTERLEAVING=BSQ;
TAPE_SPANNING_FLAG=1/1;
START_LINE_NUMBER=1;
START_DATA_FILE=1;
LINES_PER_VOLUME=44093;
BLOCKING_FACTOR=1;
```

```
RECORD_SIZE=6937;
UPPER_LEFT_CORNER=0762849.1201W,0064235.1620N,19385322.848,-
849.317;
UPPER_RIGHT_CORNER=0744240.0525W,0062719.1267N,19398680.836,19
6374.832;
LOWER_RIGHT_CORNER=0745638.0410W,0045057.2624N,19577763.548,18
4245.563;
LOWER_LEFT_CORNER=0764229.5530W,0050610.6779N,19564405.560,-
12978.586;
REFERENCE_POINT=SCENE_CENTER;
REFERENCE_POSITION=0754239.0652W,0054648.0961N,19481543.198,91
698.128,3469.00,3150.00;
REFERENCE_OFFSET=-88.31,-0.28;
ORIENTATION=-86.125276;
MAP_PROJECTION_NAME=SPACE_OBLIQUE_MERC;
USGS_PROJECTION_NUMBER=22;
USGS_PROJECTION_PARAMETERS=6378137.000000000000000,6356752.314
140000400000,5.000000000000000,9.000000000000000,0.000000000000
0000,0.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000,0.0
000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000,0.00000000
000000,1.000000000000000,0.000000000000000,0.000000000000000;
HORIZONTAL_DATUM=WGS84;
EARTH_ELLIPSOID_SEMI-MAJOR_AXIS=6378137.000;
EARTH_ELLIPSOID_SEMI-MINOR_AXIS=6356752.314;
EARTH_ELLIPSOID_ORIGIN_OFFSET=0.000,0.000,0.000;
EARTH_ELLIPSOID_ROTATION_OFFSET=0.000000,0.000000,0.000000;
PRODUCT_SIZE=FULL_SCENE;
PIXEL_SPACING=28.5000,28.5000;
PIXEL_SPACING_UNITS=METERS;
RESAMPLING=CC;
PROCESSING_DATE/TIME=2000-11-29T01:57:29;
PROCESSING_SOFTWARE=NLAPS_4_1_6e4;
NUMBER_OF_BANDS_IN_VOLUME=7;
WRS=009/056;
ACQUISITION_DATE/TIME=1986-09-08T14:39:16Z;
SATELLITE=LANDSAT_5;
SATELLITE_INSTRUMENT=TM;
PROCESSING_LEVEL=08;
SUN_ELEVATION=55.76;
SUN_AZIMUTH=87.71;
BAND1_NAME=TM_BAND_1;
BAND1_FILENAME=LT5009056008625110.I1;
BAND1_WAVELENGTHS=0.45,0.52;
BAND1_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.6024314,-1.5200000;
BAND2_NAME=TM_BAND_2;
BAND2_FILENAME=LT5009056008625110.I2;
BAND2_WAVELENGTHS=0.52,0.60;
BAND2_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=1.1750981,-2.8399999;
BAND3_NAME=TM_BAND_3;
BAND3_FILENAME=LT5009056008625110.I3;
BAND3_WAVELENGTHS=0.63,0.69;
BAND3_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.8057647,-1.1700000;
BAND4_NAME=TM_BAND_4;
BAND4_FILENAME=LT5009056008625110.I4;
BAND4_WAVELENGTHS=0.76,0.90;
BAND4_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.8145490,-1.5100000;
BAND5_NAME=TM_BAND_5;
```

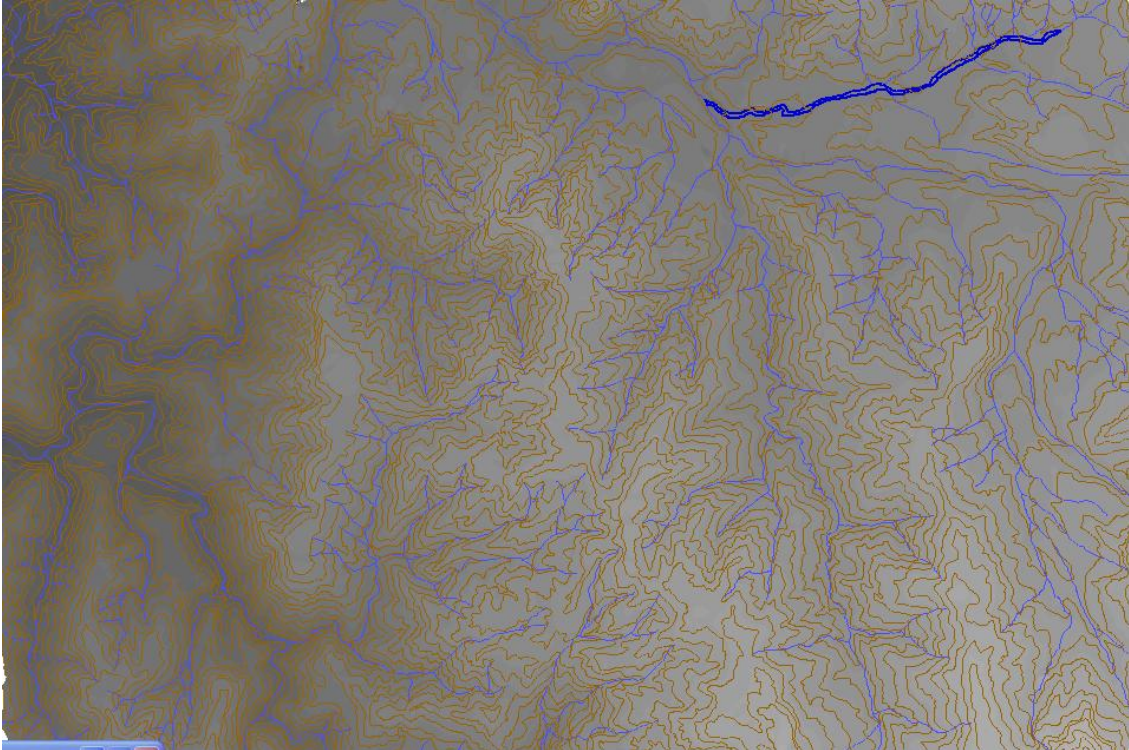
```
BAND5_FILENAME=LT5009056008625110.I5;  
BAND5_WAVELENGTHS=1.55,1.75;  
BAND5_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.1080784,-0.3700000;  
BAND6_NAME=TM_BAND_6;  
BAND6_FILENAME=LT5009056008625110.I6;  
BAND6_WAVELENGTHS=10.40,12.50;  
BAND6_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.0551584,1.2377996;  
BAND7_NAME=TM_BAND_7;  
BAND7_FILENAME=LT5009056008625110.I7;  
BAND7_WAVELENGTHS=2.08,2.35;  
BAND7_RADIOMETRIC_GAINS/BIAS=0.0569804,-0.1500000;  
END_OF_HDR;
```

La georeferenciación de la imagen se realizó sobre un recorte del área de estudio

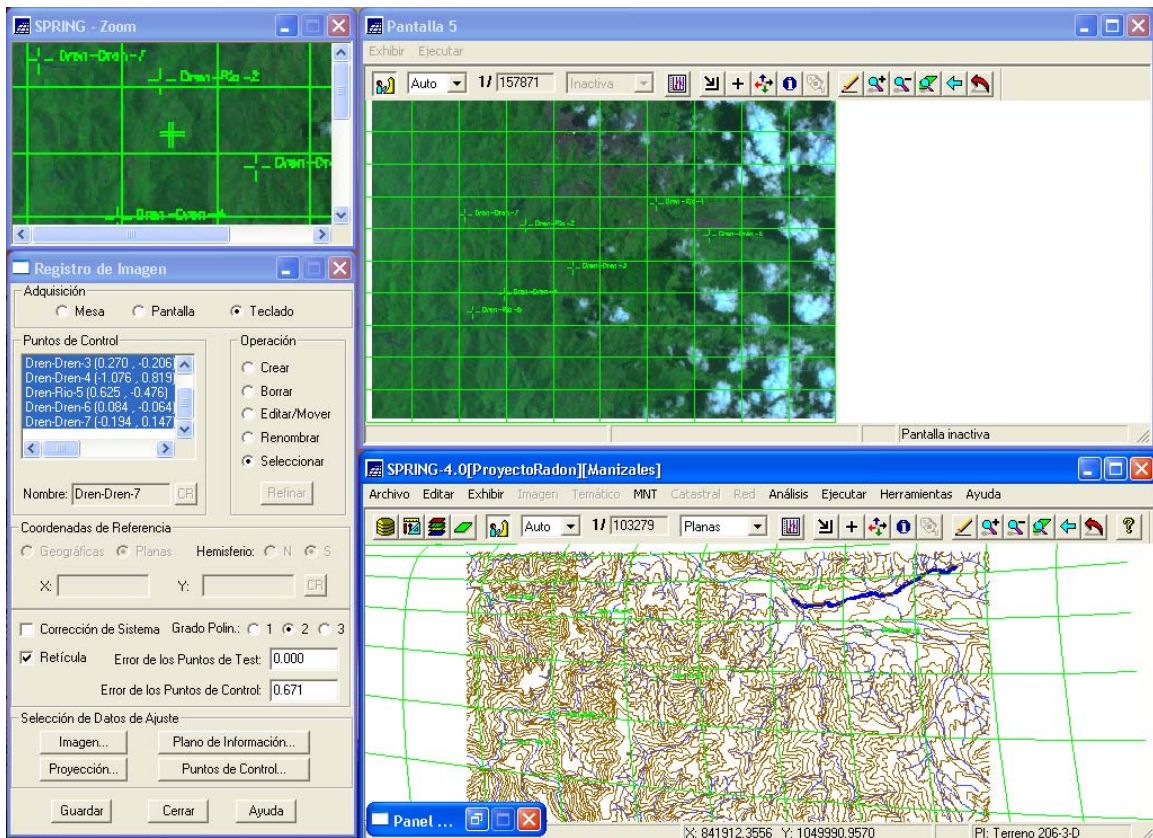


Representación 754 RGB con resolución de 28,5 metros.

Se utilizó para la selección de los puntos de control la plancha del IGAC 206 - III - D, digitalizada sobre meza.



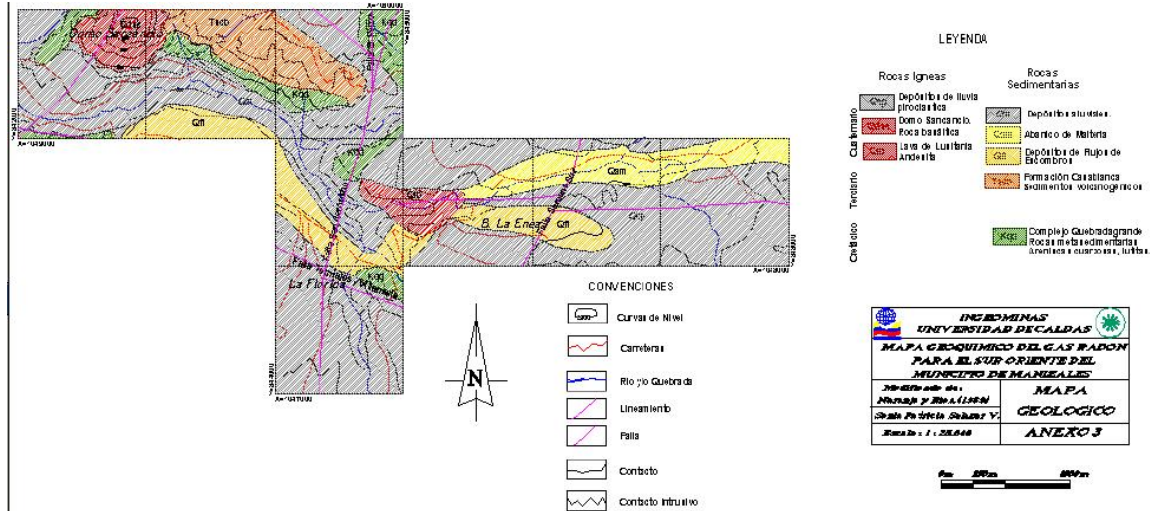
La georeferenciación del recorte se realizó con 7 puntos de control y obtuvo un error medio cuadrático de 0,671 usando un polinomio de segundo grado.



Posteriormente al proceso de georeferenciación, se procedió a una ampliación de la resolución pasando de 28.5 metros a 15 metros.

18.2. MAPA TEMÁTICO DE GEOLOGÍA

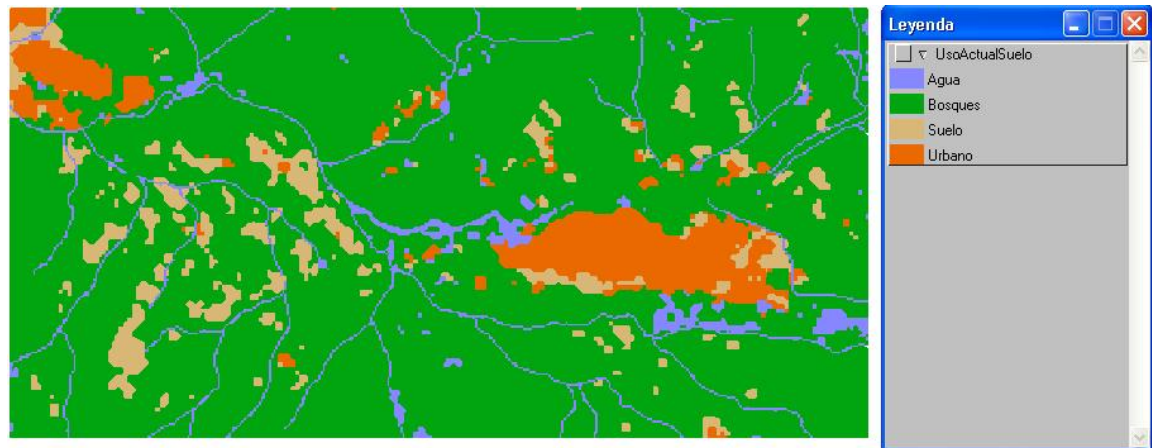
El mapa geológico fue tomado de la tesis de grado de SALAZAR, 2000.



Posteriormente se introdujo al sistema en formato vectorial para ser rasterizado con la resolución de 15*15 definida para las pruebas.

18.3. MAPA TEMÁTICO DEL USO DEL SUELO

Se obtuvo a partir de la clasificación supervisada de la imagen original el mapa del uso del suelo, dividido en cuatro clases temáticas generales.



Matriz de confusión para los errores de clasificación, en las columnas se ubican los datos de referencia.

<i>Clase</i>	<i>aguas</i>	<i>bosques</i>	<i>urbano</i>	<i>suelos</i>	<i>Abstención</i>	<i>Suma</i>
Aguas	61	15	0	0	15	91
	4.32%	1.06%	0.00%	0.00%	1.06%	
Bosques	0	963	0	0	16	979
	0.00%	68.20%	0.00%	0.00%	1.13%	
Urbano	0	0	289	2	6	297
	0.00%	0.00%	20.47%	0.14%	0.42%	
Suelos	0	0	0	45	0	45
	0.00%	0.00%	0.00%	3.19%	0.00%	
Suma	61	978	289	47	37	1412

Estadística general de la exactitud del sistema

<i>Clase temática</i>	<i>Exactitud del sistema</i>	<i>Exactitud del usuario</i>
aguas	100.00%	80.26%
bosques	98.47%	100.00%
urbano	100.00%	99.31%
suelos	95.74%	100.00%

Estadísticas generales del proceso de clasificación del uso del suelo.

Desempeño general: 96.18 %

Error medio: 1.20 %

Abstención media: 2.62 %

Estadística KHAT: 92.07 %

Variación KHAT: 1.017e-004

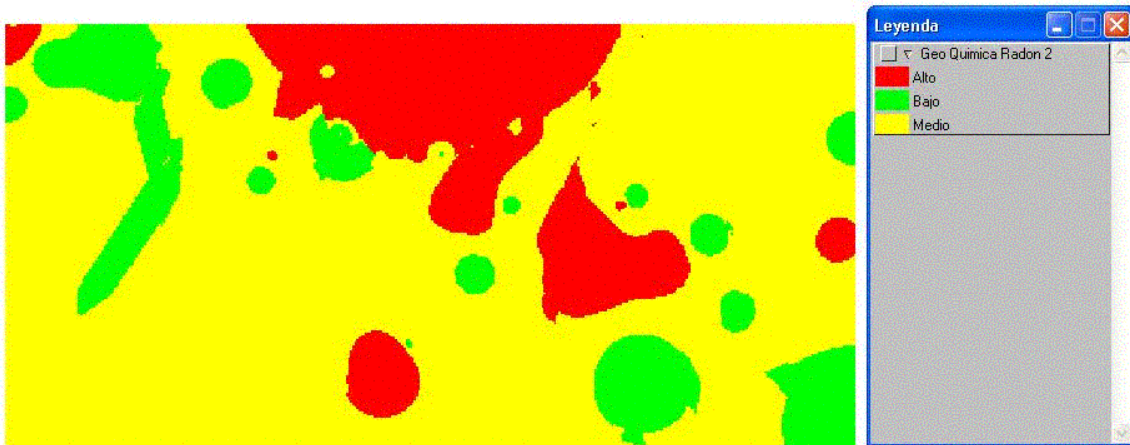
Estadística TAU: 94.90 %

18.4. MAPA TEMÁTICO DE GEOQUÍMICA

Para la obtención del mapa geoquímico de amenaza radiológica por gas radón, se procesaron los datos de las 43 estaciones generados por la tesis de grado de SALAZAR 2000, a través de algoritmos para la generación de modelos digitales del terreno.



El mejor resultado fue obtenido por el algoritmo de medias ponderadas por cota y cuadrantes.



Este modelo posteriormente se procesó a mapa temático para ajustarlo a la clasificación de emisiones de gas radón de la Agencia De La Protección Del Medio Ambiente de los Estados Unidos EPA.

19. CLASIFICACIÓN

Una vez recortadas las áreas de las bandas de la imagen y los dos mapas temáticos (geología y uso del suelo) se procedió a exportarlas a formato ASCII de SPRING, en el cual se llevan al programa de Inteligencia Artificial sobre Red Neuronal SOM "Neuomap".

Se procesa cada banda del infrarrojo (4,5 y 7) con los dos mapa temáticos generando una salida de dos mapas neuronales, el primero de tres filas por tres columnas (nueve neuronas) y el segundo de cinco filas por cinco columnas (veinticinco neuronas). En ambas ocasiones tomando como puntos geográficos para entrenamiento las coordenadas de los puntos de muestreo de SALAZAR 2000.

El radio de captura de píxeles sobre este punto debe asegurar que la red se entrene con el 1% del área geográfica, calculada en 400 columnas por 200 filas, para 80.000 píxeles. El 1% es 800 píxeles y

dividido en 43 estaciones da un total de 18 píxeles por estación. Por esto se tomó un total de 2 píxeles de radio, lo cual genera un total de 25 píxeles por estación, equivalente a 1,34% del área.

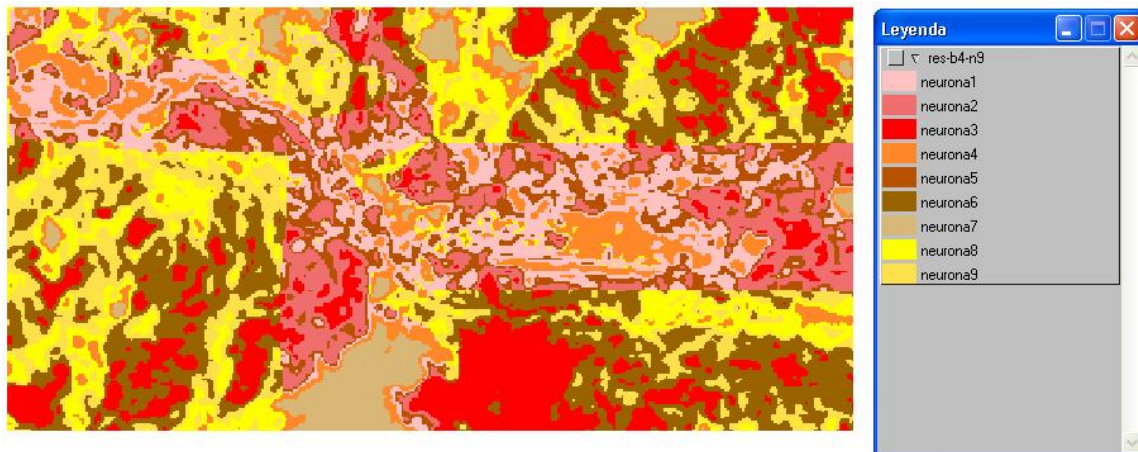
El resultado de esta clasificación es exportado a formato ASCII de SPRING, e importado nuevamente al SIG.

20. ANÁLISIS ESPACIAL

El análisis estadístico de las neuronas tabuladas contra las clases temáticas del uso del suelo arroja los siguientes resultados:

Mapa de nueve neuronas con la banda 4.

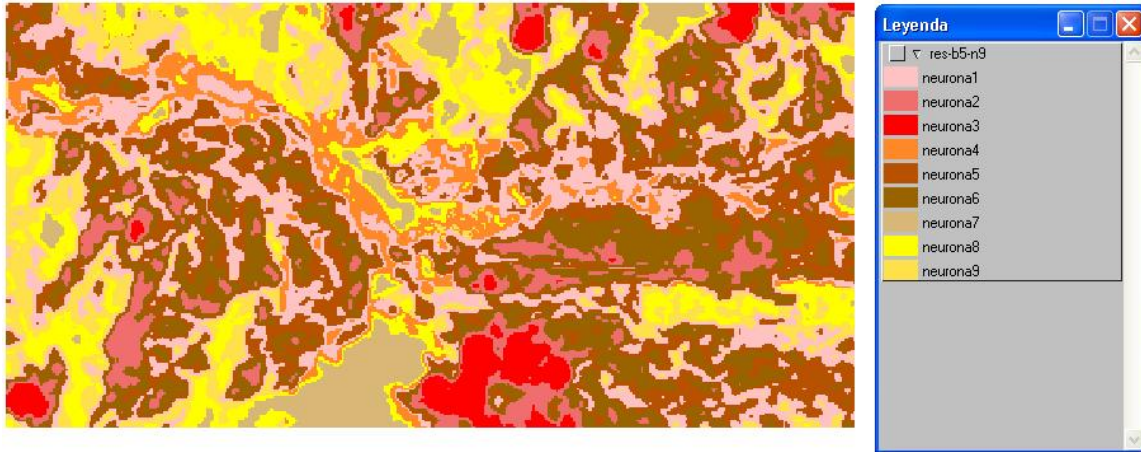
	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0	1095	5921	1874	8890
neurona2	1	559	5137	1262	6959
neurona3	0	819	9415	987	11221
neurona4	0	835	3569	2362	6766
neurona5	0	572	4573	1296	6441
neurona6	0	2574	12194	1548	16316
neurona7	0	68	1727	1458	3253
neurona8	0	1132	5455	1512	8099
neurona9	0	1862	8737	1456	12055
	1	9516	56728	13755	80000



	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0.00%	1.37%	7.40%	2.34%	11.11%
neurona2	0.00%	0.70%	6.42%	1.58%	8.70%
neurona3	0.00%	1.02%	11.77%	1.23%	14.03%
neurona4	0.00%	1.04%	4.46%	2.95%	8.46%
neurona5	0.00%	0.72%	5.72%	1.62%	8.05%
neurona6	0.00%	3.22%	15.24%	1.94%	20.40%
neurona7	0.00%	0.09%	2.16%	1.82%	4.07%
neurona8	0.00%	1.42%	6.82%	1.89%	10.12%
neurona9	0.00%	2.33%	10.92%	1.82%	15.07%
	0.00%	11.90%	70.91%	17.19%	100.00%

Mapa de nueve neuronas con la banda 5.

	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	1	2379	11408	2203	15991
neurona2	0	291	4143	979	5413
neurona3	0	37	2241	274	2552
neurona4	0	655	3141	808	4604
neurona5	0	2526	11518	1857	15901
neurona6	0	1518	10521	2401	14440
neurona7	0	93	2207	1624	3924
neurona8	0	741	5212	1852	7805
neurona9	0	1276	6337	1757	9370
	1	9516	56728	13755	80000

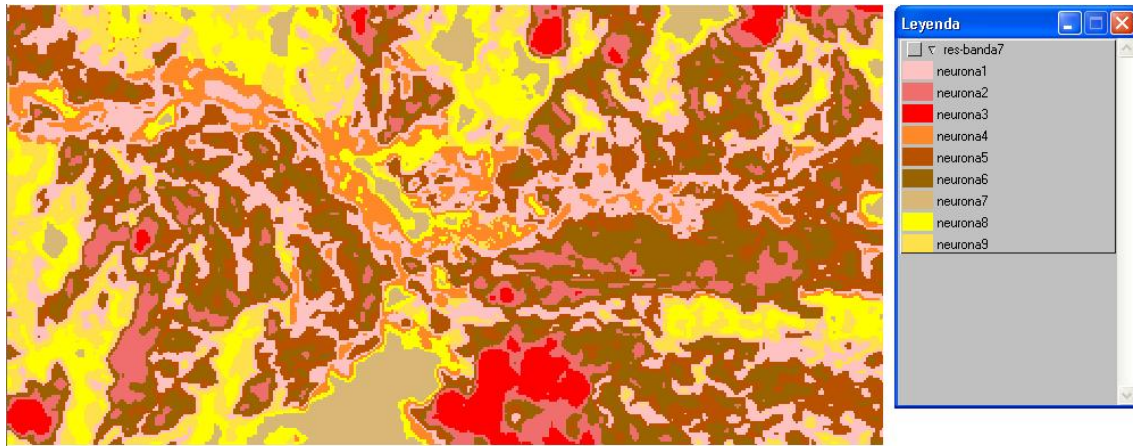


	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0.00%	2.97%	14.26%	2.75%	19.99%
neurona2	0.00%	0.36%	5.18%	1.22%	6.77%
neurona3	0.00%	0.05%	2.80%	0.34%	3.19%
neurona4	0.00%	0.82%	3.93%	1.01%	5.76%
neurona5	0.00%	3.16%	14.40%	2.32%	19.88%
neurona6	0.00%	1.90%	13.15%	3.00%	18.05%
neurona7	0.00%	0.12%	2.76%	2.03%	4.91%
neurona8	0.00%	0.93%	6.52%	2.32%	9.76%
neurona9	0.00%	1.60%	7.92%	2.20%	11.71%
	0.00%	11.90%	70.91%	17.19%	100.00%

Mapa de nueve neuronas con la banda 7.

	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	1	2379	11408	2203	15991
neurona2	0	291	4143	979	5413
neurona3	0	37	2241	274	2552
neurona4	0	655	3141	808	4604
neurona5	0	2526	11518	1857	15901
neurona6	0	1518	10521	2401	14440
neurona7	0	93	2207	1624	3924

neurona8	0	741	5212	1852	7805
neurona9	0	1276	6337	1757	9370
	1	9516	56728	13755	80000

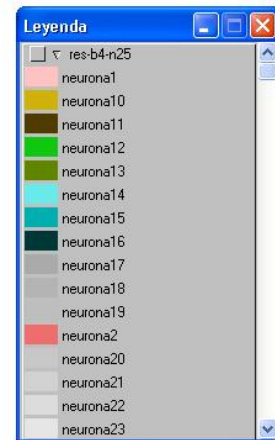
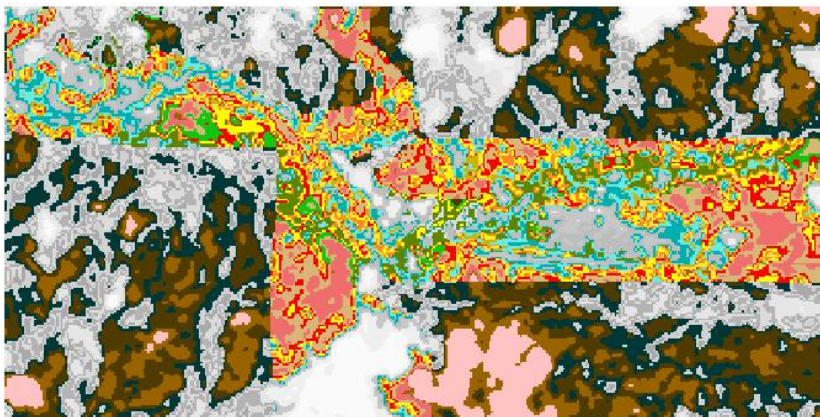


	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0.00%	2.97%	14.26%	2.75%	19.99%
neurona2	0.00%	0.36%	5.18%	1.22%	6.77%
neurona3	0.00%	0.05%	2.80%	0.34%	3.19%
neurona4	0.00%	0.82%	3.93%	1.01%	5.76%
neurona5	0.00%	3.16%	14.40%	2.32%	19.88%
neurona6	0.00%	1.90%	13.15%	3.00%	18.05%
neurona7	0.00%	0.12%	2.76%	2.03%	4.91%
neurona8	0.00%	0.93%	6.52%	2.32%	9.76%
neurona9	0.00%	1.60%	7.92%	2.20%	11.71%
	0.00%	11.90%	70.91%	17.19%	100.00%

Mapa de veinticinco neuronas con la banda 4.

	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0	35	2530	221	2786
neurona2	0	121	1838	319	2278
neurona3	0	225	1974	530	2729

neurona4	0	175	1149	388	1712
neurona5	0	82	419	156	657
neurona6	0	575	4841	457	5873
neurona7	1	287	2699	728	3715
neurona8	0	212	1874	507	2593
neurona9	0	175	825	339	1339
neurona10	0	183	1000	350	1533
neurona11	0	1768	8412	1009	11189
neurona12	0	87	607	51	745
neurona13	0	121	1418	266	1805
neurona14	0	292	1684	497	2473
neurona15	0	317	1580	539	2436
neurona16	0	1411	6715	900	9026
neurona17	0	607	2861	612	4080
neurona18	0	482	2233	642	3357
neurona19	0	280	1150	800	2230
neurona20	0	230	755	573	1558
neurona21	0	806	3794	643	5243
neurona22	0	591	2569	593	3753
neurona23	0	316	1737	925	2978
neurona24	0	110	1031	815	1956
neurona25	0	28	1033	895	1956
	1	9516	56728	13755	80000

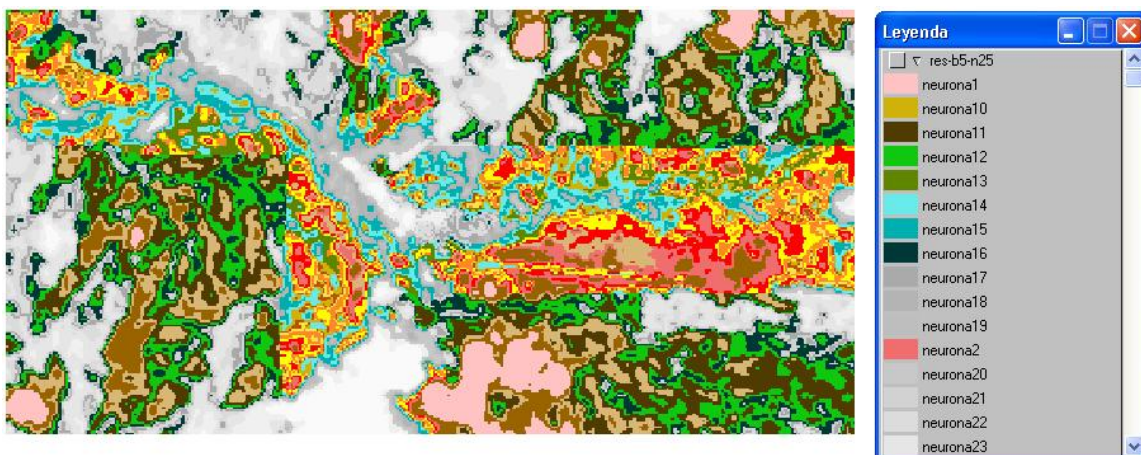


	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0.00%	0.04%	3.16%	0.28%	3.48%
neurona2	0.00%	0.15%	2.30%	0.40%	2.85%
neurona3	0.00%	0.28%	2.47%	0.66%	3.41%
neurona4	0.00%	0.22%	1.44%	0.49%	2.14%
neurona5	0.00%	0.10%	0.52%	0.20%	0.82%
neurona6	0.00%	0.72%	6.05%	0.57%	7.34%
neurona7	0.00%	0.36%	3.37%	0.91%	4.64%
neurona8	0.00%	0.27%	2.34%	0.63%	3.24%
neurona9	0.00%	0.22%	1.03%	0.42%	1.67%
neurona10	0.00%	0.23%	1.25%	0.44%	1.92%
neurona11	0.00%	2.21%	10.52%	1.26%	13.99%
neurona12	0.00%	0.11%	0.76%	0.06%	0.93%
neurona13	0.00%	0.15%	1.77%	0.33%	2.26%
neurona14	0.00%	0.37%	2.11%	0.62%	3.09%
neurona15	0.00%	0.40%	1.98%	0.67%	3.05%
neurona16	0.00%	1.76%	8.39%	1.13%	11.28%
neurona17	0.00%	0.76%	3.58%	0.77%	5.10%
neurona18	0.00%	0.60%	2.79%	0.80%	4.20%
neurona19	0.00%	0.35%	1.44%	1.00%	2.79%
neurona20	0.00%	0.29%	0.94%	0.72%	1.95%
neurona21	0.00%	1.01%	4.74%	0.80%	6.55%
neurona22	0.00%	0.74%	3.21%	0.74%	4.69%
neurona23	0.00%	0.40%	2.17%	1.16%	3.72%
neurona24	0.00%	0.14%	1.29%	1.02%	2.45%
neurona25	0.00%	0.04%	1.29%	1.12%	2.45%
	0.00%	11.90%	70.91%	17.19%	100.00%

Mapa de veinticinco neuronas con la banda 5.

	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0	37	2241	274	2552
neurona2	0	166	1203	793	2162

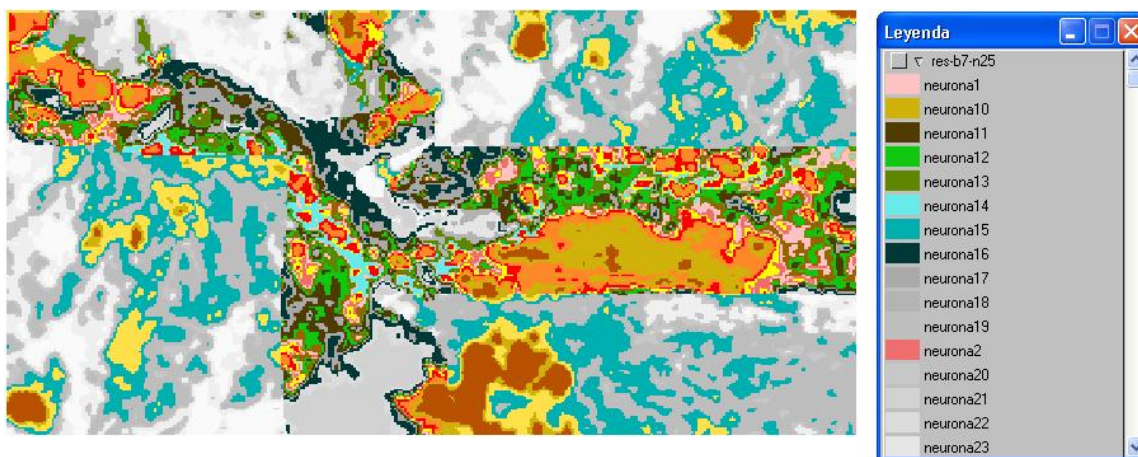
neurona3	0	197	1771	679	2647
neurona4	0	210	1822	399	2431
neurona5	0	100	733	173	1006
neurona6	0	197	3218	756	4171
neurona7	0	566	4548	713	5827
neurona8	0	189	1684	519	2392
neurona9	0	121	848	210	1179
neurona10	0	150	1337	335	1822
neurona11	0	1795	7203	715	9713
neurona12	0	1408	5197	580	7185
neurona13	0	147	1239	39	1425
neurona14	1	302	2262	595	3160
neurona15	0	273	1879	506	2658
neurona16	0	975	3453	608	5036
neurona17	0	446	1946	591	2983
neurona18	0	251	1170	303	1724
neurona19	0	252	878	244	1374
neurona20	0	208	783	274	1265
neurona21	0	571	1930	438	2939
neurona22	0	369	2855	866	4090
neurona23	0	387	3391	1020	4798
neurona24	0	181	1799	1121	3101
neurona25	0	18	1338	1004	2360
	1	9516	56728	13755	80000



	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0.00%	0.05%	2.80%	0.34%	3.19%
neurona2	0.00%	0.21%	1.50%	0.99%	2.70%
neurona3	0.00%	0.25%	2.21%	0.85%	3.31%
neurona4	0.00%	0.26%	2.28%	0.50%	3.04%
neurona5	0.00%	0.13%	0.92%	0.22%	1.26%
neurona6	0.00%	0.25%	4.02%	0.95%	5.21%
neurona7	0.00%	0.71%	5.69%	0.89%	7.28%
neurona8	0.00%	0.24%	2.11%	0.65%	2.99%
neurona9	0.00%	0.15%	1.06%	0.26%	1.47%
neurona10	0.00%	0.19%	1.67%	0.42%	2.28%
neurona11	0.00%	2.24%	9.00%	0.89%	12.14%
neurona12	0.00%	1.76%	6.50%	0.73%	8.98%
neurona13	0.00%	0.18%	1.55%	0.05%	1.78%
neurona14	0.00%	0.38%	2.83%	0.74%	3.95%
neurona15	0.00%	0.34%	2.35%	0.63%	3.32%
neurona16	0.00%	1.22%	4.32%	0.76%	6.30%
neurona17	0.00%	0.56%	2.43%	0.74%	3.73%
neurona18	0.00%	0.31%	1.46%	0.38%	2.16%
neurona19	0.00%	0.32%	1.10%	0.31%	1.72%
neurona20	0.00%	0.26%	0.98%	0.34%	1.58%
neurona21	0.00%	0.71%	2.41%	0.55%	3.67%
neurona22	0.00%	0.46%	3.57%	1.08%	5.11%
neurona23	0.00%	0.48%	4.24%	1.28%	6.00%
neurona24	0.00%	0.23%	2.25%	1.40%	3.88%
neurona25	0.00%	0.02%	1.67%	1.26%	2.95%
	0.00%	11.90%	70.91%	17.19%	100.00%

Mapa de veinticinco neuronas con la banda 7.

	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0	156	1446	231	1833
neurona2	0	128	796	176	1100
neurona3	0	210	1300	374	1884
neurona4	0	344	1532	982	2858
neurona5	0	36	2126	387	2549
neurona6	0	150	1351	230	1731
neurona7	0	5	142	5	152
neurona8	0	150	1066	215	1431
neurona9	0	411	2833	294	3538
neurona10	0	118	1545	1535	3198
neurona11	1	248	2416	522	3187
neurona12	0	191	1976	421	2588
neurona13	0	200	1004	201	1405
neurona14	0	79	785	26	890
neurona15	0	1476	9078	707	11261
neurona16	0	420	1602	600	2622
neurona17	0	195	1546	473	2214
neurona18	0	369	448	308	1125
neurona19	0	2921	10545	1184	14650
neurona20	0	381	2716	471	3568
neurona21	0	45	1105	717	1867
neurona22	0	216	776	309	1301
neurona23	0	465	579	450	1494
neurona24	0	287	4298	1375	5960
neurona25	0	315	3717	1562	5594
	1	9516	56728	13755	80000



	<i>Background</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	
neurona1	0.00%	0.20%	1.81%	0.29%	2.29%
neurona2	0.00%	0.16%	1.00%	0.22%	1.38%
neurona3	0.00%	0.26%	1.63%	0.47%	2.36%
neurona4	0.00%	0.43%	1.92%	1.23%	3.57%
neurona5	0.00%	0.05%	2.66%	0.48%	3.19%
neurona6	0.00%	0.19%	1.69%	0.29%	2.16%
neurona7	0.00%	0.01%	0.18%	0.01%	0.19%
neurona8	0.00%	0.19%	1.33%	0.27%	1.79%
neurona9	0.00%	0.51%	3.54%	0.37%	4.42%
neurona10	0.00%	0.15%	1.93%	1.92%	4.00%
neurona11	0.00%	0.31%	3.02%	0.65%	3.98%
neurona12	0.00%	0.24%	2.47%	0.53%	3.24%
neurona13	0.00%	0.25%	1.26%	0.25%	1.76%
neurona14	0.00%	0.10%	0.98%	0.03%	1.11%
neurona15	0.00%	1.85%	11.35%	0.88%	14.08%
neurona16	0.00%	0.53%	2.00%	0.75%	3.28%
neurona17	0.00%	0.24%	1.93%	0.59%	2.77%
neurona18	0.00%	0.46%	0.56%	0.39%	1.41%
neurona19	0.00%	3.65%	13.18%	1.48%	18.31%
neurona20	0.00%	0.48%	3.40%	0.59%	4.46%
neurona21	0.00%	0.06%	1.38%	0.90%	2.33%
neurona22	0.00%	0.27%	0.97%	0.39%	1.63%
neurona23	0.00%	0.58%	0.72%	0.56%	1.87%

neurona24	0.00%	0.36%	5.37%	1.72%	7.45%
neurona25	0.00%	0.39%	4.65%	1.95%	6.99%
	0.00%	11.90%	70.91%	17.19%	100.00%

20.1. ANÁLISIS ESPACIAL BANDA 4 Y 9 NEURONAS

	<i>Temático</i>	<i>Neuronal</i>	<i>Porcentaje</i>
Bajo	2141100.00	509175.00	23.78%
Medio	12763800.00	6827850.00	53.49%
Alto	3094875.00	1281150.00	41.40%

**ANEXO D
MANUAL DEL USUARIO.
SOFTWARE NEUROMAP.**

Estimación De La Presencia De Gas Radón, Basada En Teledetección Espacial E Inteligencia Artificial, Para Prospección Telúrica

MANUAL DEL USUARIO SOFTWARE NEUROMAP

INFORMACIÓN GENERAL DEL DOCUMENTO

Circulación : Abierto al público
Objetivo : Capacitación en el uso del software Neuromap

FIRMAS DE ACEPTACIÓN

DOCUMENTACIÓN

APROBACIÓN

cc:

cc:

HISTORICO DEL DOCUMENTO

<i>Versión</i>	Registro histórico	Fecha
1.0 : Documento original		25 / 11/ 2003

DEFINICIONES

Término	Explicación
---------	-------------

ACRÓNIMOS

Término	Explicación
---------	-------------

ABREVIATURAS

Término	Explicación
---------	-------------

21. INTRODUCCIÓN

El presente Manual de Usuario corresponde al aplicativo NEUROMAP, desarrollado con el objeto de “Diseñar algoritmos para el procesamiento de imágenes de satélite basados en técnicas de inteligencia artificial y desarrollar una aplicación enfocada a estimar la presencia del gas radón 222 sobre una plataforma software SIG de tercera generación”, ejecutado por el Geólogo Jorge Eduardo Pinto Valderrama en el marco del proyecto de investigación para optar al título de Magíster en Informática “Estimación De La Presencia De Gas Radón, Basada En Teledetección Espacial E Inteligencia Artificial, Para Prospección Telúrica”.

21.1. DESCRIPCIÓN DEL APLICATIVO.

El Aplicativo Neuromap permite la clasificación no supervisada de datos raster, provenientes del Sistema de Información Geográfica SPRING, bajo el uso de algoritmos de redes neuronales tipo Mapas Autoorganizados SOM. De igual forma permite la exportación de los resultados de la clasificación a este sistema SIG.

La metodología utilizada le permite adaptarse a cambios y adición de nuevas variables en forma de nuevos mapas raster. Permite la clasificación tanto de imágenes de satélite como de mapas temáticos.

22. ORGANIZACIÓN DEL MANUAL

El manual gira alrededor de tres capítulos principales:

GENERALIDADES: La Sección Uno trata sobre los objetivos generales y específicos del Aplicativo, metodología utilizada, los perfiles y roles de usuarios definidos y los requerimientos administrativos. Se describe también el ambiente de trabajo y los conocimientos mínimos requeridos para la correcta utilización del Aplicativo en mención.

INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN: La Sección Dos trata del procedimiento para la instalación correcta del aplicativo.

OPERACIÓN DE LA APLICACIÓN: Esta sección final, proporciona las instrucciones para la operación del aplicativo. Inicialmente muestra el apartado Uno: Cómo entrar; luego continúa con el apartado Dos: Cómo operar la aplicación; y finalmente el apartado Tres: Salir del aplicativo.

Para cada uno de los módulos se describe de forma minuciosa la manera de entrar y salir del módulo, sus menús y botones de operación.

23. GENERALIDADES

23.1. OBJETIVO DEL APLICATIVO

El aplicativo Neuromap ha sido realizado con el propósito de proporcionar una herramienta personalizada para la clasificación no supervisada de información matricial proveniente de SPRING⁴⁵, sobre algoritmos de inteligencia artificial.

23.2. INFORMACION GENERAL DEL SISTEMA

Para un mejor entendimiento del aplicativo, se especifica la acepción de los términos a ser usados en el manual.

23.2.1. GLOSARIO

Formato ASCII: formato de importación y exportación de archivos del software SPRING en formato de texto tipo ASCII.

Entrenamiento: Acción del usuario que permite buscar patrones de comportamiento en los datos para describir la posible agrupación de estos en bloques de información.

Clasificación: Acción del usuario que permite tener acceso a la agrupación de la información en conjuntos con características similares, previamente establecidas en los requerimientos del entrenamiento de la información.

Operador: Usuario que puede ingresar y actualizar información al SIG.

23.2.2. REQUERIMIENTOS ADMINISTRATIVOS

Toda la información geográfica recolectada por los diferentes proyectos realizados tiene un gran potencial de reutilización en otras áreas, actividades e instituciones.

La información geográfica debe ser administrada como un activo o inversión que puede producir un retorno, pues la información puede ser compartida con varios usuarios o instituciones evitando con esto la duplicación de esfuerzo, trabajo y costos.

23.3. AMBIENTE DE TRABAJO Y CONOCIMIENTOS MÍNIMOS

A continuación se describe los mínimos requerimientos del sistema:

23.3.1. SOFTWARE SIG

Es importante mencionar el sistema operacional necesario para el funcionamiento del sistema SIG.

Uso de Windows 98, NT, Millenium, o XP.

SPRING 4.00 o superior.

Los usuarios que van a utilizar el sistema deben poseer los siguientes conocimientos:

Básicos de computación.

Uso de las formas de Aplicación del Sistema SIG SPRING.

Conocimientos de los procesos de registro y consulta de la Aplicación SIG SPRING.

⁴⁵ Software SIG desarrollado por el INPE. www.dpi.inpe.br de libre distribución.

23.3.2. SOFTWARE DE IA

Los requerimientos del Aplicativo para la herramienta de clasificación son:

Sistema operativo Windows 98 o superior.

Neuromap 1.00

23.3.3. HARDWARE

Los requerimientos del Aplicativo para las máquinas en las cuales se ejecutará este son:

Procesador Pentium III de 500 Mhz

64 MB de RAM

200 MB de espacio libre en disco.

24. INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN

La aplicación se encuentra en un archivo ejecutable, por lo cual no cuenta en realidad con un proceso de instalación propiamente dicho. Se recomienda copiar el archivo neuromap.exe de 164 Kb contenido en la carpeta neuromap a archivos de programa y luego crearle un acceso directo en el escritorio y en el menú inicio de Windows.

25. OPERACIÓN DE LA APLICACIÓN

La aplicación se accede por doble clic en el icono de acceso directo presente en el escritorio, en el menú de inicio de Windows o directamente sobre el archivo neuomap.exe en el explorador de Windows.



FIGURA 22. Icono del software Neuomap

El operador típico para este tipo de aplicación es aquel que cuenta con las herramientas de Software y Hardware necesarias mencionadas en el AMBIENTE DE TRABAJO Y CONOCIMIENTOS MINIMOS.

25.1. CÓMO OPERAR LA APLICACIÓN

La pantalla principal de Neuomap está compuesta por una barra de menús con una única opción "Archivo". No posee barra de herramientas y la zona de trabajo denominada "Datos Principales" está compuesta por dos secciones, la de "Coordenadas" y la de "Parámetros".

La barra inferior posee dos botones. El primero "Cancelar" termina el uso de la aplicación y cierra el sistema. El segundo "Siguiente" pasa al proceso de entrenamiento y clasificación de la información.

En la sección de "Coordenadas" se cargan las duplas (x, y) de los puntos de control que han de servir para el entrenamiento de la red neuronal. Estas coordenadas al igual que toda la información que ingresa al sistema fueron realizadas pensando en el sistema de datum Colombiano. Las coordenadas se pueden ingresar una a una directamente del teclado o pueden ser leídas de un archivo plano en formato CSV, consistente en columnas separadas por comas.

La sección "Parámetros" sirve para el ingreso de las condiciones de entrenamiento, "Lectura" y clasificación, "Red Neuronal".

Inicialmente "Lectura" posee dos cajas de texto "Radio" en la cual se ingresa el número de píxeles que se desea tome desde el punto de muestreo hacia los lados. De esta forma, un radio de dos hace referencia a tomar un cuadrado de cinco por cinco píxeles correspondiente a veinticinco píxeles. La caja "No. Map" sirve para seleccionar el número total de mapas que se van a ingresar al sistema. Aquí se considera como mapa los mapas temáticos, imágenes y modelos digitales del terreno.

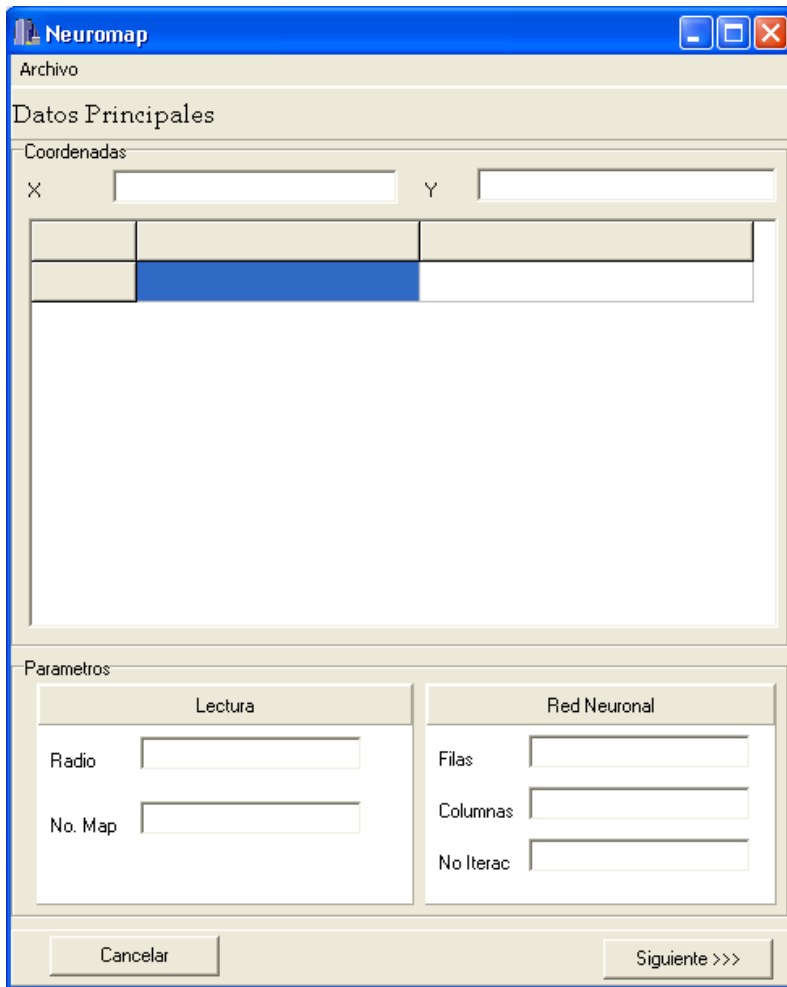


FIGURA 23. Pantalla principal del software Neuromap.

La parte correspondiente a los datos de clasificación denominada “Red Neuronal”, posee tres cajas de texto “Filas”, “Columnas” y “No Iterac”.

En la caja “Filas” se ingresa el número de filas o renglones que posee la matriz raster del mapa autoorganizado de la red neuronal, y en la caja “Columnas” se ingresa el número de píxeles que posee cada fila, es decir el número de columnas del mismo mapa. Es importante anotar que esto marca la topología de la red y por tanto no necesariamente se va producir un mismo resultado de clasificación en una topología de tres por cuatro, que en una topología de cuatro por tres, a pesar de poseer el mismo número de neuronas compitiendo en la clasificación.

La caja “No Iterac” hace referencia a la cantidad de veces que el sistema lee los datos para realizar el entrenamiento. Un mínimo de cien (100) iteraciones es recomendable para que el software tenga la oportunidad de reducir el error a una cifra aceptable, sin embargo lo óptimo es que se realicen al menos unas quinientas iteraciones para asegurar que el error sea inferior a la unidad.

25.2. CÓMO INGRESAR DATOS DE ENTRENAMIENTO

Para la lectura del archivo plano CSV seguir las instrucciones como se muestra a continuación:

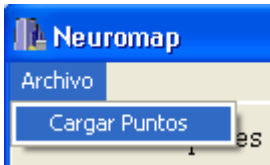


FIGURA 24. Opción para abrir archivos de puntos de entrenamiento.

En la barra de menús, desplegar la cascada vertical del botón “Archivo” y hacer clic en “Cargar Puntos”.

En este momento se despliega la ventana “Abrir”, selecciona el archivo de puntos de control y hace clic en el botón abrir. El archivo de coordenadas puede tener cualquier extensión, solo es imprescindible que esté separado por comas y la coordenada x esté antes que la coordenada y . el siguiente es un ejemplo de un archivo de muestreo con diez referencias relativas a puntos de Manizales, Colombia.

842160.700000,1050416.900000
842501.500000,1050393.400000
842057.200000,1050010.300000
842078.600000,1049936.500000
842287.500000,1049773.200000
841440.100000,1049624.100000
842012.900000,1049457.300000
842539.300000,1049363.900000
842654.800000,1049772.700000
842560.700000,1050700.500000

TABLA 20. Ejemplo de un archivo de puntos de entrenamiento

Nótese que la coordenadas están dadas según el sistema cartesiano en donde x son las cotas del eje horizontal, y las del eje vertical son las y .

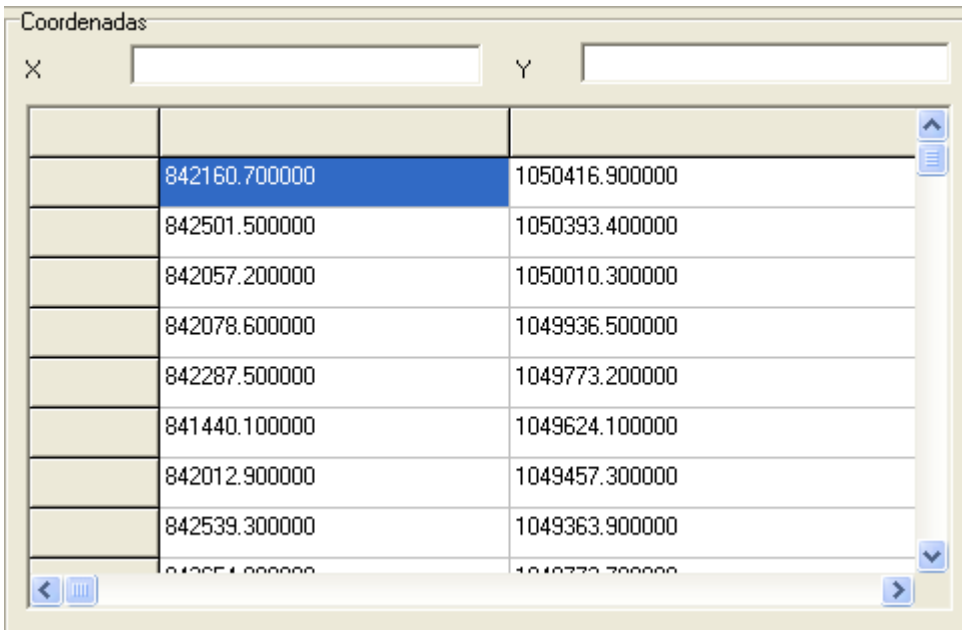


FIGURA 25. Aspecto de la pantalla una vez leídos los puntos de entrenamiento

Una vez leído el archivo la sección de coordenadas en la pantalla principal del sistema tendrá la siguiente apariencia:

25.3. CÓMO REALIZAR UN ENTRENAMIENTO

Una vez cargados los datos de entrenamiento y asignados los valores de parámetros necesarios, se hace clic en el botón "Siguiente" y se cambia a la interface de entrenamiento y clasificación.

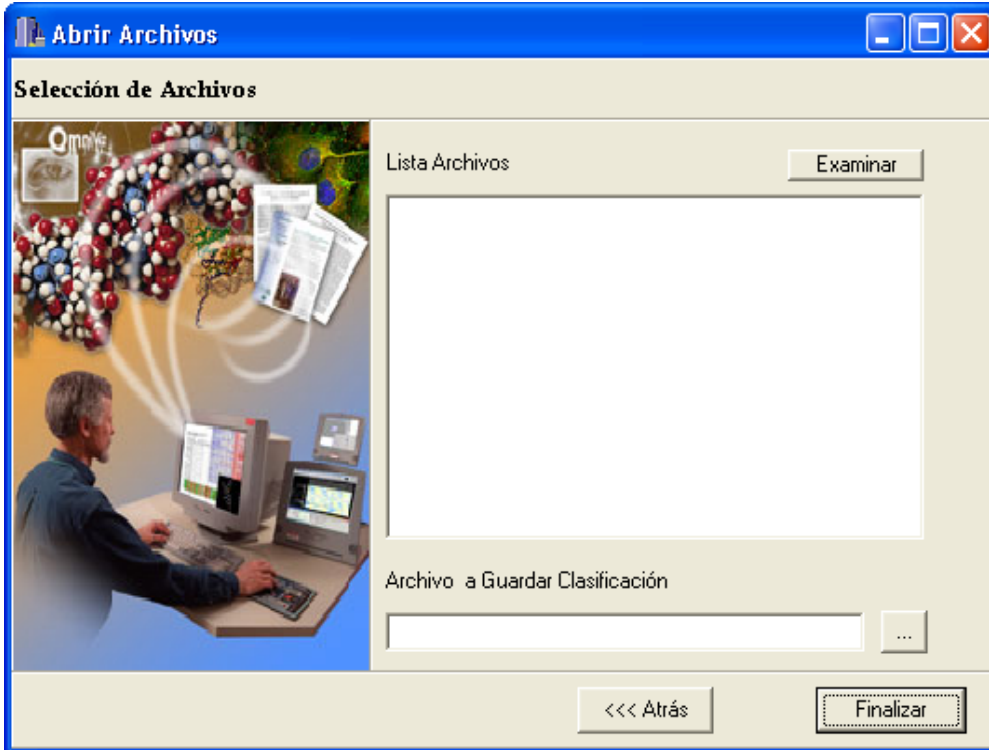


FIGURA 26. Aspecto de la pantalla de cargar mapas para la clasificación.

Desde esta pantalla se procede a leer los archivos provenientes de SPRING en formato ASCII, con extensión SPR. Es importante anotar que una restricción del sistema es que todos los mapas deben corresponder a la misma área geográfica y su resolución espacial o tamaño del píxel debe ser la misma en todos.

Para abrir los archivos SPR se hace clic en el botón "Examinar", aparece la ventana "Abrir" y se selecciona el archivo deseado. Esta operación se repite con cada mapa a ingresar en el sistema, pues en este momento el programa solo está validando la información del encabezado en el archivo para asegurar que los mapas ingresados si corresponden a la misma área, resolución espacial, formato de tipo matricial, e igual sistema coordenado. Otra importante restricción del sistema es el obligatorio ingreso de los mapas en el mismo orden en cada oportunidad que se realice una nueva clasificación para asegurar que el sistema les aplique el mismo tratamiento.

Una vez seleccionados los mapas a importar en el sistema, se requiere asignar un nombre y ruta para guardar el archivo SPR producto de la clasificación neuronal del software. Este proceso se realiza llamando la ventana "Guardar Como" mediante el botón "." que se ubica frente a la caja "Archivo a Guardar Clasificación". El nombre del archivo debe terminar en .SPR para que el software SPRING lo reconozca como archivo de importación de mapas en formato ASCII.

Para que el aplicativo proceda al entrenamiento se hace clic en el botón "Finalizar". Tras esta operación aparece una nueva ventana de información del estado del sistema en la cual se informa al operador que se están procesando los datos.

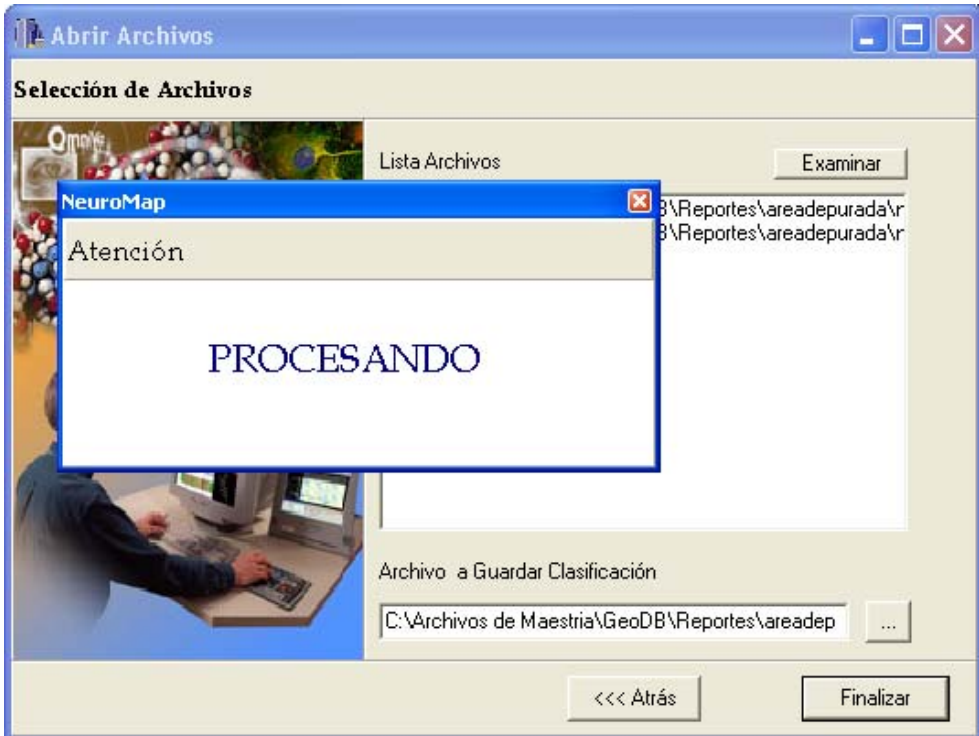


FIGURA 27. Mensaje al operador del estado de procesamiento de los datos.

Esta operación puede durar varios minutos, dependiendo de las capacidades del hardware y de la cantidad de datos ingresados en el sistema. Inicialmente el sistema lee los datos de cada archivo y simultáneamente extrae de estos las áreas de entrenamiento. Posteriormente procede a entrenar la red con el número de iteraciones especificadas. Finalmente clasifica los demás datos según el resultado de la clasificación y guarda el resultado en el archivo y ruta que le asignó para tal fin.

Cada oportunidad que se desee realizar una nueva clasificación es recomendable reiniciar el sistema.

25.4. SALIR DEL APLICATIVO

Cuando el usuario termine de trabajar con la aplicación podrá salir de ella a través del botón "X" de color rojo, ubicado en la barra de título sobre la parte superior derecha de la pantalla.



FIGURA 28. Botón para salir del aplicativo.

También se puede elegir la opción "Cerrar" ubicada en el menú en cascada de la barra de título. Para operar la cascada se hace clic en el icono del extremo superior izquierdo, junto al texto "Abrir Archivos".



FIGURA 29. Menú para salir del aplicativo.

O simplemente se procede a realizar la combinación de teclas "Alt + F4", que ya es de norma en Windows para cerrar aplicativos.