UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

SECRETARÍA GENERAL DE CIENCIA Y TÉCNICA

FACULTAD DE INGENIERÍA – CENTRO DE GEOCIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO DE UNA METODOLOGÍA PARA LOCALIZAR EL EMPLAZAMIENTO DE RELLENOS SANITARIOS EN EL ÁREA DEL GRAN RESISTENCIA UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y RELEVAMIENTOS DE CAMPO

INFORME FINAL

CORRESPONDIENTE A LA BECA DE POSGRADO

- CATEGORÍA PERFECCIONAMIENTO -

Autor

Dante René Bosch

Ing. en Construcciones – M.Sc.

Director: Ing. Eliseo Popolizio

Co-Director: Ing. Arturo Borfitz

Resistencia - Chaco

1998

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a las siguientes personas e instituciones:

A la Secretaria General de Ciencia y Técnica de la U.N.N.E., por el apoyo financiero que posibilitó el desarrollo de este trabajo.

A los Profesores orientadores: Eliseo Popolizio y Arturo Borfitz, por el constante apoyo estímulo y sugerencias instructivas recibidas durante el desarrollo de este trabajo.

Al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la U.N.N.E. por el auxilio suministrado a través de técnicos y equipamientos que posibilitaron la realización de los ensayos de suelo.

A mis colegas del Centro de Geociencias Aplicadas por el apoyo y auxilios recibidos.

A todos los que directa o indirectamente colaboraron en la elaboración de este trabajo, mi reconocimiento.

SUMARIO

LISTA DE FIGURAS vi

LISTA DE TABLAS xiii

1 INTRODUCCION 1

1.1 Origen y fundamentos de la investigación 1

1.2 Objetivos del estudio 2

1.3 Hipótesis de trabajo 3

1.4 Organización del informe 3

2 ANTECEDENTES DEL TEMA EN ESTUDIO 5

2.1 Introducción 5

2.2 Sistemas de Información Geográfica 5

2.2.1 Generalidades 5

2.2.1.1 Entrada de datos 6

2.2.1.2 Almacenamiento y organización de los datos 7

2.2.1.3 Análisis y transformaciones 8

2.2.1.4 Representación gráfica 8

2.2.2 Evaluación multicriterio 8

2.2.2.1 Selección de factores y restricciones 9

2.2.2.2 Transformación de los factores seleccionados a una escala común 9

2.2.2.3 Elaborar las restricciones 9

2.2.2.4 Establecer los pesos de los factores 9

2.2.2.5 Realizar la evaluación multicriterio 10

2.3 Rellenos sanitarios 10

2.3.1 Generalidades 10

2.3.2 Aspectos epidemiológicos y ambientales relacionados con los residuos sólidos 11

2.3.3 El ecosistema del relleno sanitario 13

2.3.4 Aspectos tecnológicos de los rellenos sanitarios 13

2.3.4.1 Conceptos y aspectos generales 13

2.3.4.2 Estructuras de control 15
2.3.4.3 Clasificación y métodos de operación 16
2.3.5 Utilización del área del relleno 17
3 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS..... 18
3.1 Revisión bibliográfica y recolección de la información..... 18
3.2 Definición de las variables medioambientales..... 18
3.3 Primera etapa: etapa eliminatoria..... 19
3.4 Segunda etapa: etapa selectiva 19
3.5 Análisis de la metodología empleada..... 19
4 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 20
4.1 Delimitación de la zona de estudio..... 20
4.2 Urbanización y demografía..... 21
4.3 El sistema natural..... 24
4.3.1 Geología 24
4.3.2 Geomorfología..... 24
4.3.2.1 La Llanura Chaqueña (1.) 26
4.3.2.2 Valles del Paraná y Paraguay (4.) 29
4.4 Disposición final de residuos sólidos urbanos: breve descripción de la situación actual del Gran Resistencia 29
4.4.1 Producción: volumen y composición 29
4.4.2 Actual sistema de disposición final 31
4.4.3 Evaluación del actual sistema de disposición final 32
5 ETAPA ELIMINATORIA..... 34
5.1 Introducción 34
5.2 Metodología de geoprocesamiento propuesta para la etapa eliminatoria 35
5.2.1 Relevamiento de la documentación existente 35
5.2.2 Definición de los factores, criterios y restricciones 38
5.2.3 Digitalización de los elementos medioambientales..... 39
5.2.4 Codificación de los factores 43
5.2.5 Estandarización de los factores 43
5.2.6 Codificación de los criterios..... 43

5.2.7 Codificación de las restricciones 44
5.2.8 Ponderación de los criterios 48
5.2.9 Evaluación multicriterio 49
5.2.10 Creación de una base de datos 51
5.3 Análisis de los resultados 54
5.4 Comentarios finales 57
6 ETAPA SELECTIVA 59
6.1 Introducción 59
6.2 Metodología propuesta para la etapa selectiva 59
6.3 Definición de los factores y criterios 60
6.3.1 El efecto de las inundaciones 60
6.3.2 Superficie y forma de los sectores 62
6.3.3 Aspectos legales 63
6.3.4 Condiciones geotécnicas 66
6.4 Estudio geotécnico 66
6.4.1 Descripción de los ensayos y estudios realizados 67
6.4.1.1 Ensayos y estudios de campo 67
6.4.1.2 Ensayos y estudios de laboratorio 68
6.4.2 Conclusiones del estudio geotécnico 70
6.5 Comentarios finales 71
7 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS 73
7.1 Conclusiones 73
7.1.1 Etapa eliminatoria 73
7.1.2 Etapa selectiva 74
7.1.3 Generales 74
7.2 Sugerencias 75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 76
ANEXO I: INFORMACIONES COMPLEMENTARIAS 79

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: Localización de la zona de estudio. 22
Figura 4.2 : Mapa geológico de la República Argentina. (Russo, A. y otros,1979) . 25
Figura 4.3: Unidades geomorfológicas de las provincias de Chaco y Formosa. (Popolizio 1989). 27
Figura 5.1: Diagrama de flujo de la metodología empleada. 36
Figura 5.2: Imagen satelital Landsat TM del sector en estudio. Composición falso color de las bandas 2, 3 y 4. 37
Figura 5.3: Carta con los elementos medioambientales digitalizados. 41
Figura 5.4: Codificación de los elementos (a), criterios (b) y restricciones (c), correspondientes a la mancha urbana (izquierda) y a la hidrografía (derecha). 45
Figura 5.5: Codificación de los elementos (a), criterios (b) y restricciones (c), correspondientes a las vías de comunicación principales (izquierda) y generales (derecha). 46
Figura 5.6: Codificación de los elementos (a), criterios (b) y restricciones (c), correspondientes a las vías férreas (izquierda) y centros de producción (derecha). 47
Figura 5.7: Mapa temático obtenido como resultado de la evaluación multicriterio. Se observan los diferentes sectores aptos y su correspondiente grado de adecuación (Sistema de coordenadas Gauss Krügger). 50
Figura 5.8: Mapa temático resultado de la asignación de un identificador para cada sector apto. 52
Figura 5.9: Ejemplo del funcionamiento de la consulta a la base de datos generada. 55
Figura 5.10: Ubicación de los sectores aptos sobre la carta digitalizada. 56
Figura 6.1: Localización de los sectores con muy buena adecuación que quedan encerrados por la traza de las futuras defensas del Gran Resistencia. ... 61

Figura 6.2: Localización de los sectores con muy buena adecuación que cumplen con el criterio de superficie y forma..... 64
Figura 6.3: Localización del sector con muy buena adecuación que se ajusta a los usos permitidos por el Código de Planeamiento Urbano del G.R..... 65

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1: Población de las localidades del Gran Resistencia según el Censo Nacional de Población de 1991 23
Tabla 4.2: Posible evolución de la población en el período 1991-2010. 23
Tabla 4.3: Producción de residuos sólidos urbanos para el Gran Reistencia. 30
Tabla 4.4: Composición promedio de los R.S.U. del Gran Resistencia. 31
Tabla 5.1: Factores, criterios y restricciones para la localización del relleno sanitario. 39
Tabla 5.2: Matriz de comparación entre pares de criterios. 48
Tabla 5.3: Resultado de la ponderación de los criterios de localización. 49
Tabla 5.4: Planilla de datos correspondiente a la base de datos generada. 53
Tabla 5.5: Superficies de los sectores con distintos grados de adecuación. 57
Tabla 6.1: Volumen de relleno y superficie de terreno previstos. 62

1 INTRODUCCION

1.1 Origen y fundamentos de la investigación

En los últimos años la preocupación por las cuestiones ambientales ha crecido considerablemente en todo el mundo. Los aspectos ecológicos se transformaron en temas de máxima importancia en todas las actividades humanas, principalmente en los grandes centros urbanos.

Como consecuencia de esto, diversos centros de investigación comenzaron a incluir en sus programas, temas relacionados con la preservación del medio ambiente. Así, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), intenta conciliar el desarrollo con el ambiente natural, y concientizar a los administradores que las inversiones en protección ambiental tienen un retorno garantizado.

Dentro de este contexto, una preocupación especial continua siendo el destino final de los residuos sólidos urbanos, no encontrándose hasta el presente una solución óptima. Toda propuesta debe considerar los aspectos ambientales, técnicos y económicos de la región considerada. En zonas donde existen gran disponibilidad de tierras, la tendencia mundial para solucionar este problema, es la de los rellenos sanitarios.

El *relleno sanitario* es un método recomendado para la disposición final de los residuos sólidos, de forma tal, que no causen grandes daños al medio ambiente y que no generen un peligro para la salud pública; de esta forma, el estudio de la localización y el proyecto de los rellenos sanitarios constituyen un trabajo de ingeniería, Weiss (1974). Este método no debe ser confundido con los depósitos de residuos a cielo abierto, comúnmente encontrados en nuestra región, los cuales no atienden a los mínimos requisitos de control ambiental.

El objetivo ideal para la localización de un relleno sanitario, consiste en identificar un área deteriorada que pueda ser recuperada mediante un relleno

sanitario, y no un área deteriorable por el emplazamiento del mismo. Para alcanzar este objetivo, debe analizarse cuales son las variables del sistema natural, que pueden influir y ser influenciadas por un relleno sanitario. En consecuencia, el tipo y la cantidad de variables medioambientales que deben considerarse, como así también, la importancia relativa de cada una de ellas, serán función de la región estudiada.

Por otro lado, el manejo y análisis de la información geográfica se han visto beneficiados con el surgimiento de los Sistemas de Información Geográfica (GIS), los cuales constituyen una poderosa herramienta para la manipulación de datos espacialmente referenciados, y pueden ser utilizados para resolver complejos problemas de planificación y gestión. Es por esto, que el problema de la localización de los rellenos sanitarios puede ser abordado, en una primera aproximación, utilizando esta moderna técnica de análisis espacial.

Todo lo dicho anteriormente, indica la necesidad de realizar un estudio en busca de una metodología, que sea adecuada a las características propias de la región, para la localización de rellenos sanitarios; como así también, analizar recomendaciones para el proyecto de los mismos, atendiendo condiciones locales.

1.2 Objetivos del estudio

Como objetivo general, la investigación intentará establecer una metodología para la localización y el emplazamiento de rellenos sanitarios considerando las condiciones medioambientales propias de la región.

Como objetivos particulares se establecen:

- Determinar cuales son las variables medioambientales de la región estudiada que influyen y pueden ser influenciadas, por el emplazamiento de un relleno sanitario.
- Mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica, realizar el relevamiento y digitalización de los elementos naturales y antrópicos que serán considerados en el estudio.

- En base a la información bibliográfica y la obtenida precedentemente, se intentará elaborar una metodología para la elección de los sitios y de los sistemas tecnológicos mas recomendables. Como así también, delimitar cuales son las áreas del Gran Resistencia, que pueden ser adecuadas para el emplazamiento de rellenos sanitarios.

1.3 Hipótesis de trabajo

- Los depósitos de residuos sólidos constituyen una fuente de contaminación del medio ambiente, incluyendo principalmente, los suelos subyacentes y las aguas subterráneas.

- Actualmente existen estudios y experiencias sobre las variables condicionantes y los procesos tecnológicos, que permitirían localizar el emplazamiento y sugerir recomendaciones para la construcción de rellenos sanitarios en esta región.

- Los Sistemas de Información Geográfica (GIS), permiten acotar una serie de variables medioambientales que son determinantes para la localización de los rellenos sanitarios.

- Se necesitan además, estudios de campo complementarios para la identificación de las variables que no pueden ser reconocidas y analizadas por los Sistemas de Información Geográfica.

1.4 Organización del informe

El presente informe está estructurado en siete Capítulos. En el *Capítulo 2* se presenta una revisión bibliográfica conteniendo los tópicos específicos tratados en este estudio, abordando temas relacionados con los sistemas de información geográfica y los rellenos sanitarios.

En el *Capítulo 3* se presenta brevemente los métodos y técnicas empleados en este trabajo para alcanzar los objetivos propuestos.

En el *Capítulo 4* se realiza la delimitación y caracterización de la zona de estudio, como así también un análisis de la situación del actual sitio empleado como destino final de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Resistencia.

En el *Capítulo 5* se explica la 1ª etapa de la metodología propuesta, que consiste en un estudio a escala regional utilizando un Sistema de Información Geográfica como método para obtener una zonificación con distintos niveles de adecuación a la instalación de un relleno sanitario.

En el *Capítulo 6* se presenta la 2ª etapa de la metodología propuesta, en la que se utiliza una escala de trabajo local, analizándose cada sector apto en forma particular e incluyéndose un estudio geotécnico para el sector resultante del análisis.

Finalmente en el *Capítulo 7* se resumen las conclusiones del trabajo y presentan sugerencias para futuras investigaciones.

2 ANTECEDENTES DEL TEMA EN ESTUDIO

2.1 Introducción

En este capítulo se presenta una revisión bibliográfica breve y crítica de los temas relacionados con los Sistemas de Información Geográfica y los rellenos sanitarios. Existe abundante bibliografía sobre estos asuntos por lo que no serán abordados en profundidad. Para ampliar los conceptos aquí tratados, se cita la referencia bibliográfica correspondientes a los trabajos utilizados.

2.2 Sistemas de Información Geográfica

2.2.1 Generalidades

Según Chuvieco (1995), los Sistemas de Información Geográfica pueden definirse como bases informatizadas de datos con algún tipo de componente espacial. Esto significa que la información que almacenan está referenciada geográficamente, ya se trate de mapas, estadísticas o datos climáticos sobre un territorio concreto; por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de formas muy diversas. Por cuanto la información que contienen se almacena en formato digital, los SIG almacenan las posibilidades analíticas de los ordenadores facilitando múltiples operaciones que resultan difícilmente accesibles por medios convencionales: generación de cartografía, integración de variables espaciales, análisis de vecindad, etc. En definitiva, amplían enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, además de facilitar su almacenamiento y visualización.

Un SIG esta compuesto por una parte física y por una serie de programas que permiten realizar en forma conjunta el ingreso y análisis de la información espacial. La parte física está compuesta por un ordenador y conectados a él, una serie de periféricos de entrada y salida de datos, entre los que pueden incluirse la mesa

digitalizadora, el escaner, la impresora y el ploter. Los programas que conforman un SIG proporcionan un almacenamiento lógico de la información espacial, la cual puede ser actualizada o manipulada en forma ágil y simple. Permiten obtener y representar modelos cartográficos a partir del análisis de diversas variables geográficas.

Aunque exista gran variedad de SIG en el mercado, la mayoría de ellos presentan los siguientes módulos:

- entrada de información,
- almacenamiento y organización de la base de los datos y
- análisis y representación gráfica.

A continuación se explica como funcionan cada uno de estos módulos.

2.2.1.1 Entrada de datos

Para que las variables puedan ser analizadas por el SIG es necesario que sean compatibles entre ellas. Esto significa que deben estar en el mismo soporte, en este caso digital, con el mismo formato y en un mismo sistema de referencia. La información que se almacena en un SIG puede provenir de fuentes muy variadas como imágenes satelitales, fotografías aéreas, cartografía a diferentes escalas y/o proyecciones, modelos digitales del terreno, etc. Es por esto que un SIG debe incorporar la posibilidad de acceder a todas estas variables y de trasformarlas para que sean relacionables.

En primer lugar, la información debe ser convertida al formato digital, a este proceso se lo denomina digitalización. Dependiendo del tipo de variable que se quiera incorporar al SIG, la digitalización puede realizarse de diversas maneras. La información alfanumérica, como datos de población o climáticos, se introducen en la base de datos a través del teclado. Las cartas temáticas mediante una mesa o tableta digitalizadora que facilita la obtención automática de las coordenadas. En el caso de imágenes analógicas, como ser fotografías aéreas o imágenes satelitales en papel, es necesario utilizar un escaner, que transforma la imagen analógica en digital.

Una vez que las variables estén convertidas al formato digital, se requiere que estén asociadas a un sistema de referencia común. En el caso general, que las variables se encuentren representadas con diferentes sistemas de proyección, los SIG cuenta con una serie de rutinas para transformar las coordenadas de un sistema a otro. Cuando el documento original no se encuentre referido a ningún sistema de proyección, como es el caso de las fotografías aéreas escaneadas, es necesario aplicarles una corrección geométrica, para lo cual deben fijarse puntos de control y determinarse sus coordenadas en el sistema original y en el de referencia actual. A partir de ello el SIG encuentra la función que mas se ajusta a la transformación buscada y convierte las coordenadas originales al nuevo sistema de referencia.

2.2.1.2 Almacenamiento y organización de los datos

La información debe estar almacena en forma coherente, de modo tal que se facilite su almacenamiento, consulta y actualización. Existen dos tipos de estructura de almacenamiento: vectorial y raster.

Chuvieco (1995) explica la diferencia entre ambos sistemas dando un ejemplo ilustrativo. Si se pretende almacenar digitalmente la información contenida en un mapa de suelos, puede optarse entre dos alternativas.

1) El mapa podría definirse por las líneas que separan distintos tipos de suelos, con lo que bastaría con almacenar las coordenadas de esas líneas para contar con toda la información original. Para establecer la categoría a que pertenece cada unidad edáfica, es preciso describir topológicamente el mapa digitalizado.

2) Otra opción para el almacenamiento, sería dividir la superficie que ocupa ese mapa en una matriz de celdas, todas ellas del mismo tamaño que se considerasen como unidades elementales de información. El mapa se convertiría en una malla de pixels, en cada uno de los cuales se almacenaría un valor numérico, descriptor del tipo de suelo que alberga.

En el primer caso, las unidades se definen por sus fronteras, indicando implícitamente su contenido. En el segundo, los contenidos están explícitamente definidos y las fronteras sólo de modo implícito. Una detallada descripción de las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas para el almacenamiento y manipulación de la información puede encontrarse en Chuvieco (1995).

2.2.1.3 Análisis y transformaciones

Incluye cualquier operación que transforme las variables originales para un objetivo determinado. Las posibilidades son muy amplias, como por ejemplo: señalar corredores en torno a un polígono o línea, trazar la ruta óptima entre varios puntos, generar modelos digitales del terreno, calcular distancias, áreas y perímetros, superponer en diversas formas dos o mas mapas, entre otros. Además, cada una de estas funciones puede originar otras aplicaciones, por ejemplo: el análisis topográfico basado en el modelo digital del terreno, a partir del cual pueden realizarse estimaciones de pendientes y orientaciones, calculo de perfiles, áreas visibles y ocultas, etc.

Estas posibilidades constituyen una de las mayores ventajas de un SIG frente a las herramientas analíticas convencionales. La gran capacidad de cálculo de los ordenadores permite abordar operaciones muy complejas o inaccesibles manualmente.

2.2.1.4 Representación gráfica

Un SIG permite aprovechar los numerosos periféricos de representación gráfica accesibles a un ordenador (monitor, impresora, ploters, etc.), facilitando la obtención de resultados en un formato de considerable calidad.

2.2.2 Evaluación multicriterio

Según Bosque Sendra y otros (1994), el objetivo de la evaluación multicriterio es, por ejemplo, determinar las áreas del territorio más adecuadas para la localización de algún tipo de actividad, para los que se debe considerar la incidencia en la posible localización de diversos elementos de la realidad, cada uno de los cuales constituye un mapa de la base de datos del SIG.

Eastman y otros (1993), presentan una exposición detallada de las posibilidades de los SIG en estas tareas, sugiriendo una metodología de trabajo que es sintetizada a continuación.

2.2.2.1 Selección de factores y restricciones

La selección de los factores y las restricciones más adecuados a cada caso concreto responde a las características propias del problema y no requiere el uso específico de ningún procesamiento en el ordenador. Evidentemente, es decisivo realizar la selección de forma adecuada.

2.2.2.2 Transformación de los factores seleccionados a una escala común

Todos los elementos influyentes seleccionados y que sean de tipo cuantitativos deben ser expresados en una misma escala. Por ejemplo una que oscile entre 0 y 255, valores que indican la mínima y máxima adecuación para recibir la actividad a localizar. Generalmente, los factores seleccionados no se encuentran en esa escala, por ello se pueden utilizar diversos procedimientos de un SIG que facilitan su conversión.

Es importante que los valores de todos los factores transformados indiquen lo mismo, el valor 0, la mínima adecuación a una actividad; el valor 255, la mejor adecuación. Puede ocurrir en ocasiones que la situación sea la contraria, para lo cual es necesario invertir los valores, y el procedimiento es el siguiente: 1°) se crea una imagen que contiene en todos los pixels el valor 255; 2°) se resta a esa imagen el mapa del factor a invertir, de este modo, donde había 255 se coloca un 0, y donde había un 0 se sitúa el 255.

2.2.2.3 Elaborar las restricciones

Junto a los factores de tipo cuantitativo, en un proceso de decisión, usualmente es necesario emplear criterios de otro carácter, las restricciones, que solo indican zonas donde la actividad se puede localizar, y aquellas otras donde no es posible situar la actividad estudiada.

2.2.2.4 Establecer los pesos de los factores

Los factores cuantitativos que influyen en la adecuación de una zona para recibir una actividad no suelen tener todos la misma influencia sobre el objetivo buscado, por ello es necesario ponderarlos mediante el cálculo de unos pesos o

ponderaciones multiplicativas. Existen para ello muchos procedimientos, el más conocido es el denominado comparación entre pares de factores.

2.2.2.5 Realizar la evaluación multicriterio

Una vez establecidos los factores y restricciones que deben ser considerados en un proceso de decisión formalizado, cada uno de los cuales es un mapa temático que ha sido medido en una escala única para todos los factores cuantitativos, además de contar con una ponderación de cada uno de estos factores, se puede pasar a determinar el área espacial que representa la mejor combinación de factores y restricciones, y será , por lo tanto, la solución al problema de decisión formulado. Para ello los SIG cuentan con órdenes específicas, que consiste en una combinación de operaciones de superposición y multiplicaciones de cada mapa por una constante, su valor de ponderación.

2.3 Rellenos sanitarios

2.3.1 Generalidades

Podemos definir relleno sanitario como un método apto para la disposición final de los residuos sólidos, de forma tal, que no causen grandes daños al medio ambiente y que no generen un peligro para la salud pública; de esta forma, el estudio de la localización y el proyecto de los rellenos sanitarios constituyen un trabajo de ingeniería, Weiss (1974). Este método no debe ser confundido con los depósitos de residuos a cielo abierto, comúnmente encontrados en nuestra región, los cuales no atienden a los mínimos requisitos de control ambiental.

Según Mansur Aisse y otros (1984), los rellenos de residuos pueden clasificarse en:

- *Rellenos comunes:* donde los residuos son generalmente dispuestos a cielo abierto no habiendo ninguna forma de compactación ni cobertura. Este sistema crea condiciones aptas para la generación de infecciones, poniendo en serios riesgos la salud de la población.

- *Rellenos controlados:* se trata de una práctica mas evolucionada de disposición de residuos, donde los mismos son cubiertos con una camada de material inerte compactado.

- *Rellenos sanitarios:* constituyen un sistema de disposición de residuos, donde son analizados varios parámetros ambientales y poblacionales para escoger el lugar de emplazamiento; como ser: el tipo de suelo, profundidad del nivel freático y distancia a los centros urbanos, entre otros. En este sistema se exige el drenaje de los líquidos, producto de la descomposición de los residuos, para su posterior tratamiento y la ventilación de los gases generados; como así también, el diseño de un eficiente sistema de impermeabilización inferior y superior.

2.3.2 Aspectos epidemiológicos y ambientales relacionados con los residuos sólidos

Según la Norma Técnica Brasileña NBR-10.004, los residuos sólidos son todos aquellos en estado sólido o semi-sólido, que resultan de la actividad de la comunidad de origen industrial, doméstica, hospitalaria, comercial, de servicios, de barrido o agrícola. Según la definición anterior, los residuos sólidos pueden clasificarse en:

- Urbanos: residencial, comercial, de barrido y residuos de servicios.
- Industriales
- De servicio de salud: hospitales, clínicas médicas y veterinarias, farmacias, centros de salud y consultorios odontológicos.
- Radiactivos: residuos atómicos.
- Agrícolas: principalmente recipientes de agrotóxicos.

La composición de los residuos sólidos urbanos (R.S.U.) puede determinar, cuando éste es mal gerenciado, la ocurrencia de problemas de salud pública e de daños ambientales, en función de que:

- Pueden contener materia fecal humana (pañales descartables).
- Puede contener residuos industriales potencialmente tóxicos, recolectados juntos con los residuos domiciliarios.
- Generación de efluentes líquidos, gases, humaredas y liberación de elementos químicos diversos durante la descomposición, dependiendo del proceso de tratamiento adoptado.
- Si la descomposición fuera anaerobia, en su estado final ocurrirá la producción de metano (CH_4), gas combustible pasible de entrar en combustión cuando toma contacto con el aire.
- Posibilita la proliferación de animales que transportan enfermedades.

Los efectos no deseados de los residuos sólidos, como consecuencia de las referencias anteriores, pueden alcanzar al hombre en forma directa o indirecta.

El contacto directo del hombre con los residuos sólidos tiene una importancia secundaria, no existiendo datos concretos que vinculen, por ejemplo, agentes patógenos presentes en los residuos con la contaminación de personas que lo manipulan.

De esta forma, tiene mayor importancia desde el punto de vista de la salud pública, el contacto indirecto. Sustancias químicas eventualmente presentes en la composición de los residuos, como el caso de fertilizantes, pueden alcanzar aguas superficiales y subterráneas y desde allí al hombre. El perjuicio en este caso se daría vías recursos hídricos. Cuando los residuos son incinerados, los subproductos gaseosos pueden llegar al hombre vías aire atmosférico. La experiencia ha mostrado entretanto, que los mayores problemas han ocurrido por la proliferación de enfermedades transmisibles. Siendo los residuos predominantemente de naturaleza biológica, puede contener agentes responsables de infecciones; al mismo tiempo, constituyen un ambiente favorable para ciertos animales que se tornan transmisores de dolencias; como por ejemplo roedores, moscas, mosquitos, cucarachas, animales domésticos y aves.

2.3.3 El ecosistema del relleno sanitario

Una vez que se presenten las condiciones ambientales propicias al establecimiento de poblaciones bacterianas, las cuales evolucionan y se multiplican en el relleno sanitario, este caracteriza un "medio ambiente" en el sentido ecológico de la palabra. Las interacciones existentes internamente y las variables que interfieren externamente en el ecosistema "relleno sanitario" son extremadamente complejas, haciendo difícil su estudio de una manera global.

El origen y la composición física de los R.S.U., que difieren de región en región, son ejemplos de influencias externas. Así, no hay forma de generalizar "a priori" la composición del residuo sólido que compone un relleno y se puede concluir que cada relleno conducirá a un ecosistema particular, con características propias concernientes a interacciones internas. No obstante, parámetros como el pH, concentración de gases, DQO, entre otros, presentan patrones de comportamientos semejantes para diferentes rellenos.

2.3.4 Aspectos tecnológicos de los rellenos sanitarios

2.3.4.1 Conceptos y aspectos generales

Los métodos para la construcción de los rellenos sanitarios, dependen de las condiciones ambientales del lugar y de la cantidad y tipo de residuos que serán depositados, Weiss (1974). Con el objeto de evitar el flujo de líquidos del relleno hacia el medio deben construirse barreras hidráulicas, que pueden estar compuestas por simples camadas de material impermeable compactado, o por complejos sistemas de múltiples camadas que incluyen materiales tecnológicos modernos, como son los geotextiles, Vidal (1994). En países como Francia, Estados Unidos y Alemania, existen normas que dan las recomendaciones mínimas para estos sistemas de aislamiento.

➢ **El relleno procura evitar:**

- proliferación de vectores;
- el establecimiento de cirujas en el área;
- dispersión de papeles, plásticos, etc.;
- alimentación de animales;
- contaminación de las aguas.

➢ **Cuidados especiales:**

- construcción de rellenos;
- drenaje de gases y líquidos;
- tratamiento de líquidos;
- canalización de desagües;
- impermeabilización y sellado;
- urbanización del área.

➢ **Ventajas:**

- recuperación de áreas;
- solución de cualquier volumen;
- simplicidad de ejecución;
- descomposición biológica;
- control de vectores;
- no exige equipamientos especiales;
- posibilidad de recuperar energía y materia orgánica.

➢ **Desventajas:**

- puede necesitar transporte y transbordo;
- producción de líquidos residuales;
- falta de material de cobertura;
- período largo de estabilización;
- contaminación de aire y sonora en la ejecución;
- falta de áreas próximas a la ciudad.

2.3.4.2 Estructuras de control

Para que un relleno sanitario mantenga un buen padrón de funcionamiento se hace necesaria la existencia de estructuras que controlen y protejan el relleno. Son ellas:

- Cercas: construidas en alambre de púas o tejido metálico con la finalidad de impedir la entrada de cirujas en la zona del relleno, como también servir para retener papeles, plásticos y otros desechos acarreados por el viento.

- Portería: tiene la función de controlar la entrada y salida de vehículos del relleno, así como observar el tipo de material que está siendo descargado evitando que residuos que deban sufrir tratamiento previo pongan en riesgo la salud de los operadores o perjudiquen el funcionamiento de las obras.

- Balanza: Debe tener una capacidad de 30 ton para controlar y registrar la entrada de residuos y otros materiales al relleno.

- Instalaciones de apoyo: oficinas, estacionamiento, vestuarios y sanitarios.

- Patio para almacenamiento de materiales varios: área en donde queda almacenado todo el material indispensable para la operación del relleno.

- Galpones para el resguardo de vehículos: tiene la finalidad de preservar las máquinas en períodos en que no estuvieren operando; en ese local pueden ser pequeñas reparaciones en equipamientos.

- Acceso externo e interno: todas las vías de acceso al relleno deben ser mantenidas en condiciones de tráfico, aún en épocas lluviosas, debiendo las vías de acceso ser enripiadas o aún pavimentadas si el movimiento fuere intenso.

- Iluminación: este sistema debe existir en los rellenos, principalmente cuando hubiera régimen de recolección nocturna.

2.3.4.3 Clasificación y métodos de operación

➢ **Método de trinchera:**

Es aplicado cuando el local del relleno fuera plano o levemente inclinado y cuando la producción diaria de relleno, preferentemente no sobrepase 10 ton. Así es un método propio para pequeñas comunidades.

Terminada la abertura de la trinchera el vehículo recolector depositará el residuo al pié de la rampa, de modo de facilitar la dispersión y compactación del relleno. Un tractor de orugas trabajará en el interior de la trinchera empujando el residuo desde abajo hacia arriba, dando de tres a cinco pasadas para la compactación, en una rampa de aproximadamente 1:3. Al final del día de trabajo, el relleno compactado recibirá una cobertura de arcilla de 10 a 15 cm confeccionando de esa forma las células sanitarias. El mismo material excavado es utilizado en el recubrimiento del relleno. Después de 60 días las células deben ser selladas con una cobertura final de 40 a 60 cm de arcilla. Las trincheras son separadas 1 m una de otra.

➢ **Método de excavación progresiva o método de media ladera:**

Es utilizado en áreas secas y de laderas, que dispongan de suelos que puedan ser aprovechados en la cobertura de los residuos. El relleno es ejecutado, depositándose un cierto volumen de residuo en el suelo, el cual es compactado por un tractor de orugas en varias capas, hasta 3 ó 4 m de altura. A continuación, el tractor cubre con suelo el residuo ya compactado, formando así las células sanitarias.

➢ **Método de área o relleno tipo superficial:**

En virtud de falta de locales disponibles, muchas veces se torna necesario, principalmente en las grandes metrópolis, el aprovechamiento de áreas bajas y húmedas para la construcción de rellenos sanitarios. Este método es caro, pues requiere cuidados especiales tales como rebajamiento constante del nivel freático, construcción de diques a lo largo de la línea costera o de los río, con la finalidad de

evitar la contaminación de las aguas por los efluentes, además del bombeo de toda el agua del local antes del inicio de la construcción del relleno. El suelo local también no es apropiado para la cobertura de los residuo.

2.3.5 Utilización del área del relleno

De una manera general, se recomienda que las áreas de rellenos sean transformadas en jardines, parques, plazas deportivas y áreas de recreación. En caso que se tenga la intención de construir edificaciones en estas áreas, deben tomarse precauciones especiales, pues los asentamientos diferenciales que el área de relleno sufren debido a la compresión de las capas superiores y de la descomposición de los residuos, son inevitables y varían de relleno en relleno.

Otro problema que debe ser llevado en cuenta, es el drenaje de los gases producidos por el relleno, dado el alto poder combustible y explosivo del gas metano. Se recomienda esperar por lo menos cinco años para la ejecución de obras de terminación en lugares en donde se ejecutaron rellenos sanitarios.

3 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS

A continuación se presentan en forma sucinta los métodos y técnicas empleados para alcanzar los objetivos propuestos:

3.1 Revisión bibliográfica y recolección de la información

En primer lugar se efectuó una revisión bibliográfica crítica, la cual permitió, por un lado, conocer la forma de aplicar un Sistemas de Información Geográfica al estudio desarrollado, y por el otro, comprender aspectos relacionados con la correcta localización y funcionamiento de los rellenos sanitarios. Los temas que estaban en directa relación con el trabajo fueron descriptos en el capítulo anterior.

Simultáneamente con la revisión bibliográfica, se realizó la búsqueda, ordenación y clasificación de la cartografía, fotografías aéreas, imágenes satelitales y datos medioambientales vinculados a la región en estudio Esta información fue obtenida en la Universidad Nacional del Nordeste y en diferentes organismos oficiales de la Provincia del Chaco.

3.2 Definición de las variables medioambientales

Utilizando la información relevada, se definieron las variables medioambientales que deberían ser consideradas en el estudio, intentando determinar la importancia relativa de cada una de ellas.

Se analizaron las variables definidas anteriormente determinando con que escala de trabajo deberían ser estudiadas. Algunas de ellas fueron consideradas en una primera etapa trabajando a escala regional, y las restantes, en una segunda etapa a escala a escala local. Estas variables fueron introducidas en el análisis como factores y criterios de localización de rellenos sanitarios.

3.3 Primera etapa: etapa eliminatoria

Utilizando un CAD, se realizo la identificación y digitalización de aquellas variables factibles de ser analizadas con un Sistema de Información Geográfica a escala regional.

Se verificaron los resultados de la digitalización, comparándolos con el resto de la información existente, es decir, con fotografías aéreas, cartografía en general y todo otro estudio anteriormente realizado en la zona; como así también, por medio de observaciones en campo en zonas donde existían las mayores incertezas.

Utilizando un Sistema de Información Geográfica específico denominado IDRISI, se realizo la una Evaluación Multicriterio, obteniéndose como resultado una zonificación con cinco diferentes niveles de adecuación para permitir la instalación de un relleno sanitario. Esto permitió reducir, para la segunda etapa, el número de variables inicialmente consideradas en el estudio.

3.4 Segunda etapa: etapa selectiva

Aumentando la escala de estudio, se analizaron las condiciones locales de cada área en particular considerando el resto de las variables definidas inicialmente. Esto fue realizado con el auxilio de fotografías aéreas y de relevamientos en campo, permitiendo seleccionar un sector con muy buenas condiciones de adecuación.

Se realizó un estudio geotécnico como método para determinar las propiedades del subsuelo del sector escogido y evaluar la adecuación del terreno para recibir un relleno sanitario. Entre los estudios realizado se mencionan: descripción visual del perfil del subsuelo, determinación del nivel freático y ensayos de clasificación en laboratorio.

3.5 Análisis de la metodología empleada

Finalmente se realizó una evaluación de la metodología empleada para localizar el emplazamiento de rellenos sanitarios en el área del Gran Resistencia.

4 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se presentan, en primer lugar, los criterios adoptados para la delimitación de la zona de estudio, y posteriormente, las características demográficas y del medio físico vinculadas con el problema de la localización de los rellenos sanitarios. Por último, se realiza un análisis general del actual sistema de disposición final de residuos sólidos utilizado por la municipalidad de la ciudad de Resistencia.

4.1 Delimitación de la zona de estudio

Para este estudio se define como "Gran Resistencia" al conglomerado urbano comprendido por las ciudades de Resistencia, Barranqueras, Puerto Vilelas y Fontana. Geográficamente se encuentra ubicado al sureste de la Provincia del Chaco, próximo a la margen derecha del río Paraná.

Con el objetivo de delimitar el área circundante al Gran Resistencia que será considerada en el estudio, se tomaron en cuenta los siguientes dos criterios:

1. Tamaño, forma y distribución de la zona urbana:

El tamaño forma y distribución de la zona urbana influyen sobre el número y la localización de los centros de producción de residuos sólidos a ser considerados en el análisis. En este caso en particular, el Gran Resistencia posee una forma extendida a lo largo de un eje con dirección NO-SE; en consecuencia, se consideraron tres centros de producción localizados en los baricentros de las localidades de Resistencia, Fontana y Barranqueras - Puerto Vilelas.

2. Distancia máxima de transporte:

Según criterios adoptados por otros estudios (e.g. Metroplan, 1991), la distancia máxima de transporte recomendada desde los centros de producción hasta el destino final varia entre 15 y 20 km. En este trabajo, con el objetivo de abarcar

la mayor superficie posible para el análisis inicial y no excluir anticipadamente potenciales áreas aptas, se adoptó un valor de 20 km.

De acuerdo con los criterios antes mencionados, se estableció como área de estudio un rectángulo de 45 km en sentido E-O por 46 km en sentido N-S con una superficie de 2.070 km^2; quedando delimitado, en coordenadas Gauss-Krüger, por los paralelos de 6.990.000 m al norte, 6.944.000 m al sur, 5.575.000 m al oeste y 5.620.000 m al este, Figura 4.1.

4.2 Urbanización y demografía

El principal núcleo urbano localizado dentro de la zona de estudio es la ciudad de Resistencia, fundada en 1878 como cabecera para el ingreso de los colonizadores al interior del territorio chaqueño y a otros centros del oeste argentino y que a partir de la década del 60 ha visto acentuado su proceso de urbanización debido a la gran migración de pobladores rurales hacia los centros poblados. En cuanto a la ocupación del espacio, la ciudad inicialmente contaba con cuatro chacras correspondientes al actual casco céntrico, cuya expansión desde 1916 se da hacia el SO y SE. Esto se modifica a partir de 1937, iniciando un crecimiento proporcional en todo el perímetro del casco céntrico. Desde de 1958 y hasta 1980 el crecimiento se dio principalmente hacia el N y SE, llegando hasta la margen del río Negro y la ruta N°11 respectivamente. A partir de 1980 y debido a las inundaciones de 1982-83, la expansión de la ciudad cambia hacia el sector sur, en donde se comienzan a construir gran cantidad de barrios de viviendas produciendo un rápido crecimiento del área.

En la Tabla 4.1 se presentan los datos obtenidos por el Censo Nacional de Población de 1991, observándose el número de habitantes por localidad y el total general para todo el Gran Resistencia. Se aprecia que la mayor concentración de población se encuentra en la ciudad de Resistencia (78 %), seguido por el núcleo Barranqueras-Pto. Vilelas y por último con solo un 6 % la ciudad de Fontana.

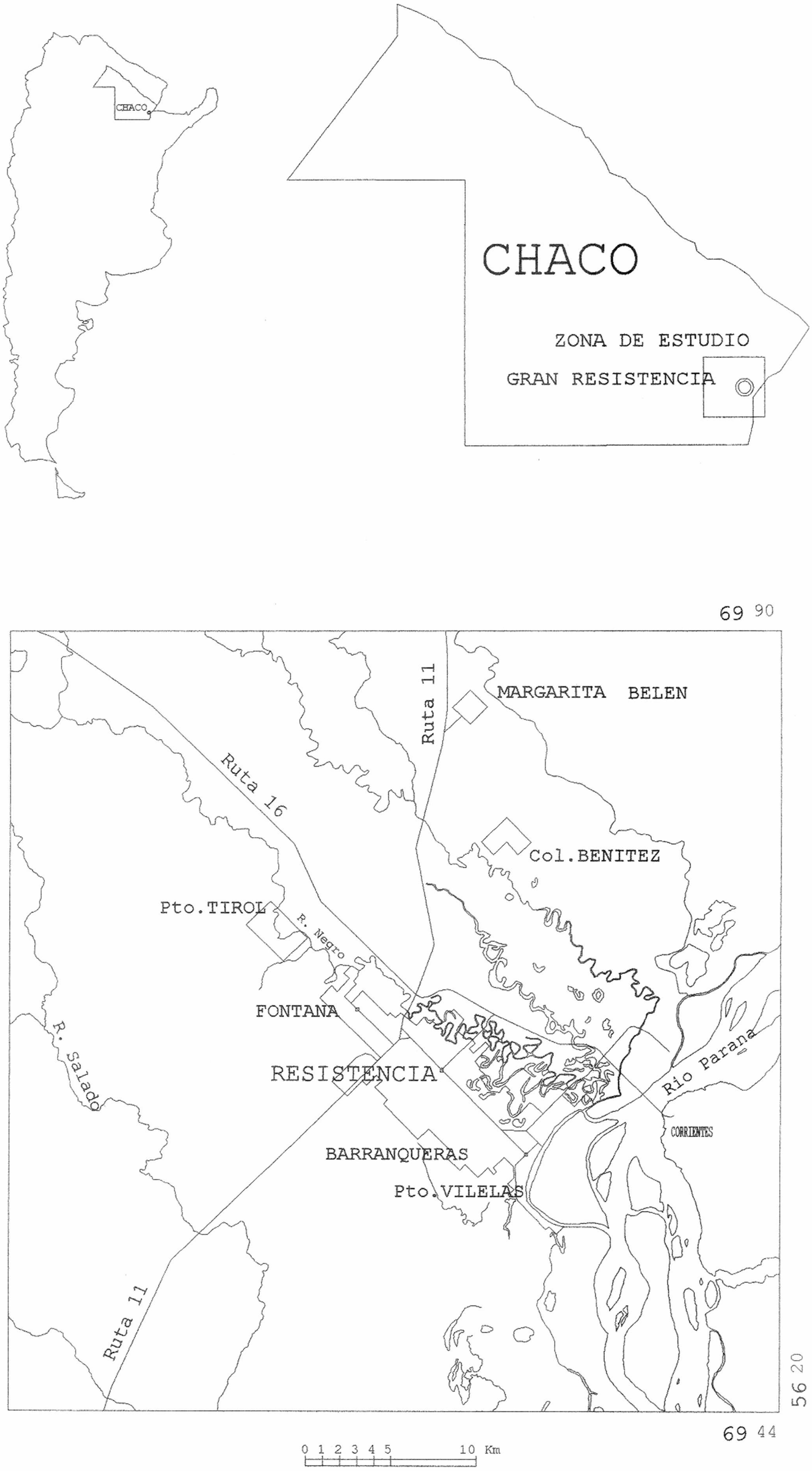


Figura 4.1: Localización de la zona de estudio.

Tabla 4.1: Población de las localidades del Gran Resistencia según el Censo Nacional de Población de 1991.

LOCALIDAD	POBLACION 1991 (habitantes)			PORCENTAJE [%]
	Area Urbana	Area Rural	Total por localidad	
Resistencia	228.199	1.761	229.960	78
Barranqueras	42.055	548	42.603	14
Fontana	14.892	1.274	16.166	6
Puerto Vilelas	5.937	156	6.093	2
TOTAL GENERAL	291.083	3.739	294.822	100

Con el objetivo de estimar el número de habitantes que tendrá el G.R. en años posteriores al de este estudio, se realizó una proyección a partir del año 1991 utilizando la tasa de crecimiento dada por la Dirección General de Planeamiento Urbano que es del 2,36 % anual. En la Tabla 4.2 se presenta la posible evolución de la población en el período 1991-2010; los datos correspondientes a 1991 fueron extraídos del Censo Nacional de Población a partir de los cuales se realizó una proyección exponencial para todos los años de interés.

Tabla 4.2: Posible evolución de la población en el período 1991-2010.

AÑO	POBLACIÓN (habitantes)		
	Departamento San Fernando	Gran Resistencia	Resistencia
1991	298.572 (1)	294.822 (1)	229.960 (1)
1996	335.966 (3)	331.746 (3)	258.761 (3)
2000	369.227 (3)	364.589 (3)	284.378 (3)
2010	467.505 (3)	461.634 (3)	360.072 (3)

Fuentes: (1) Censo Nacional de Población 1991.

(3) Proyección: $p = p_o.e^{(r.t)}$.

(3) r = 2,36 %: Dirección General de Planeamiento Urbano.

4.3 El sistema natural

4.3.1 Geología

El área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca Chaco Paranense dentro de la región geológica denominada Llanura Chaco Pampeana, Figura 4.2. Su rasgo morfológico más característico es la ausencia casi total de relieve. Coincide con una parte poco móvil de la corteza, de tendencia negativa, donde en el pasado geológico se acumularon espesas series sedimentarias, marinas y continentales. Actualmente en ella se depositan sedimentos en cantidades variables, provenientes en su mayor parte de la destrucción de las elevaciones montañosas situadas al Oeste, llevados a los lugares de depósitos por los ríos y los vientos. Podría considerarse como un amplio piedemonte o una gran llanura aluvial. El espesor de la sucesión sedimentaria no se manifiesta uniforme a través de toda el área.

Es muy posible que para los términos más antiguos, paleozoicos, toda el área se haya comportado como una única zona negativa. Posteriormente, a consecuencia de movimientos tectónicos intensos ocurridos en el Jurásico, esa cuenca sedimentaria mayor debió separarse en una serie de cuencas menores que, posteriormente, se colmataron con sedimentos cretácicos y terciarios.

El basamento cristalino no aflora dentro de la Llanura Chaco Paranense, aunque sí lo hace en los cordones montañosos que la rodean. Según estudios realizados por Yacimientos Petrolíferos Fiscales en base a perforaciones, en el área del Gran Resistencia el basamento cristalino se encontraría a una profundidad entre 1000 y 2000 m. Russo, A. y otros (1979).

4.3.2 Geomorfología

Según Popolizio y Serra 1980, en escalas medias de trabajo, la importancia de la geomorfología se vuelve dominante en los estudios ecológicos de llanura. Esto debido a que las correlaciones entre las formas, su génesis, su fisiología y la dinámica de los sistemas ecológicos son muy grandes.

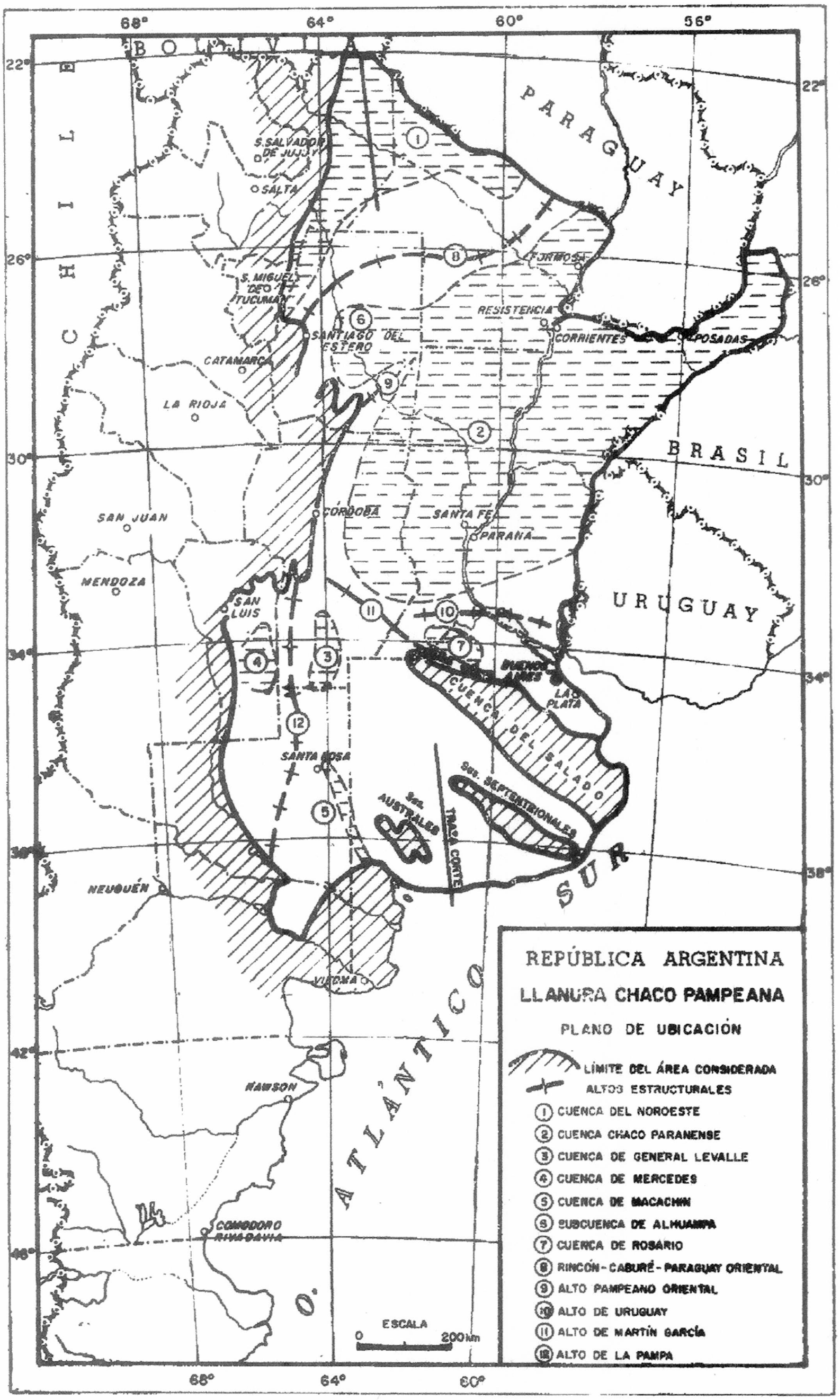


Figura 4.2 : Mapa geológico de la República Argentina. (Russo, A. y otros,1979)

En la Figura 4.3, se representa un mapa con las unidades geomorfológicas de las provincias de Chaco y Formosa. Según esta clasificación el área en estudio se encuentra dentro de las unidades de primer orden denominadas *Llanura Chaqueña* (1.) y *Valles del Paraná y Paraguay* (4.), y de las unidades de segundo orden denominadas *Llanura Oriental Chaqueña* (1.4.) y *Conoides Aluviales del Bermejo y Pilcomayo* (1.5.). A continuación se describen las principales características de cada una de estas unidades y subunidades.

4.3.2.1 La Llanura Chaqueña (1.)

Esta gran unidad se extiende desde el río Salado al sur hasta el Chaco Paraguayo al norte y desde los valles del Paraná y Paraguay al este hasta las estribaciones serranas al oeste. Dos unidades de segundo orden están comprendidas dentro del área de estudio: la *Llanura Oriental Chaqueña* (1.4.) y los *Conoides Aluviales del Bermejo y Pilcomayo* (1.5.).

Llanura Oriental Chaqueña (1.4.) :

Esta unidad de segundo orden comprende dos subunidades: la Planicie de acumulación de bosques y sabanas inundables (1.4.1.) y la Planicie subestructural del Chaco con sabanas, parques y cañadas (1.4.2.).

La Planicie de acumulación (1.4.1.), constituye el área de los típicos Bajos Submeridionales en la provincia del Chaco, se encuentra sometida a periódicas inundaciones a causa de los aportes provenientes del oeste, las bajísimas pendientes y la ineficacia de la red de escurrimiento para atravesar la planicie subestructural. Tectónicamente corresponde a un área negativa rellenada por sedimentos modernos y en muy lento proceso de colmatación (Popolizio, 1989).

La *Planicie subestructural* (1.4.2.), se encuentra localizada entre la Planicie de acumulación y el valle del Paraná, corresponde a un elemento positivo del basamento, constituyendo el *Dorso Oriental del Chaco*. El desnivel con la Planicie de acumulación es muy pequeño pero suficiente para endicar las aguas de aquella y formar redes flabeliformes en los cursos que han logrado atravesar el dorso. (Popolizio, E. 1989).

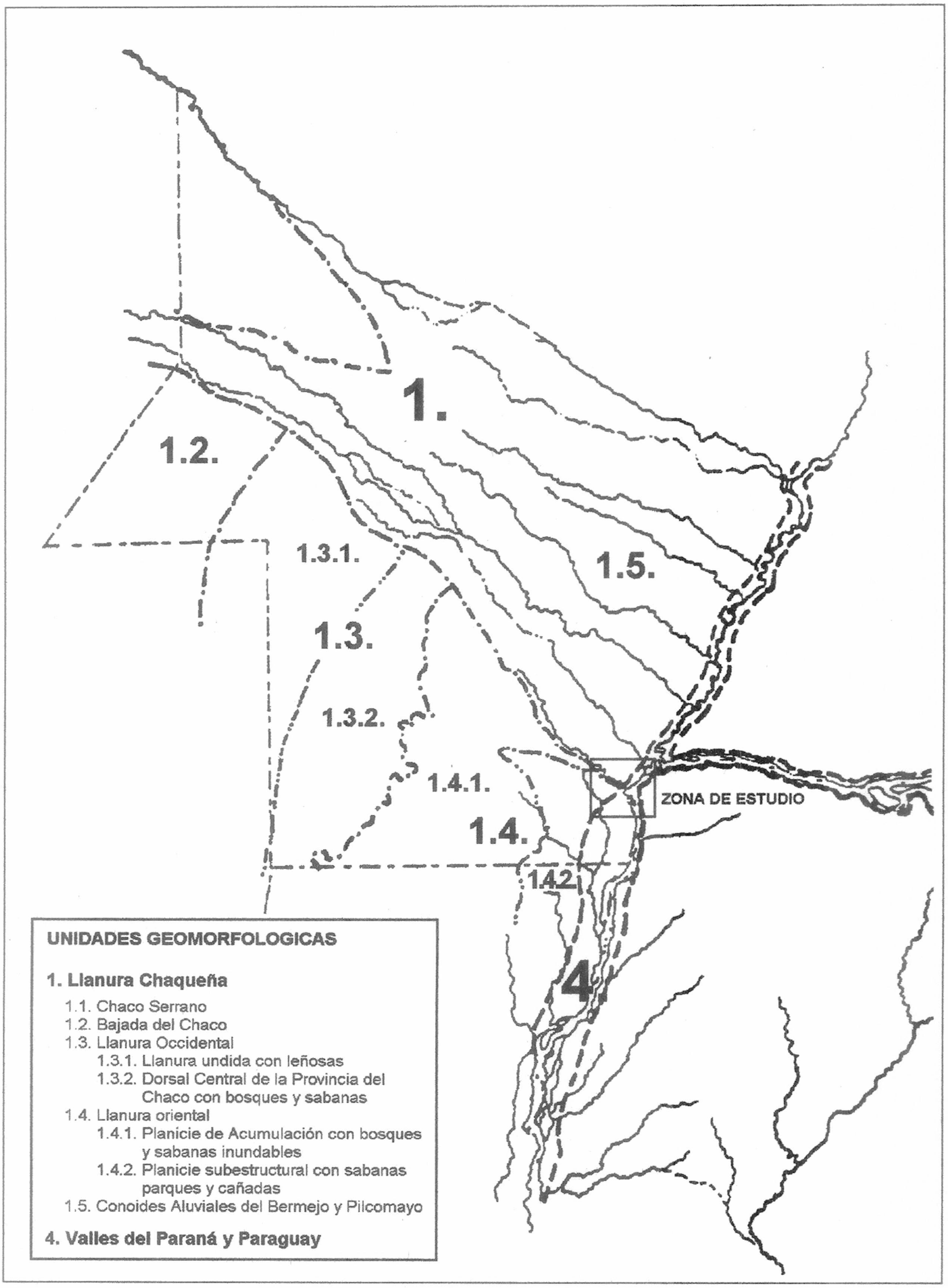


Figura 4.3: Unidades geomorfológicas de las provincias de Chaco y Formosa. (Popolizio 1989).

Conoides aluviales del Bermejo y Pilcomayo (1.5.) :

Corresponde a la zona situada al Norte del río Negro llegando hasta el Chaco Paraguayo. La morfología generada está constituida por gigantescos conos de deyección formados por desplazamientos y derrames de los actuales ríos Bermejo y Pilcomayo, los cuales se comportaron como macrotorrentes bajo condiciones paleoclimáticas más secas y frías que las actuales. (Popolizio, E. 1985).

El área se caracteriza por la presencia de antiguos cauces difluentes y en parte laberínticos. En sus partes terminales, se han instalado muchos de los actuales cursos, como el río Negro, el Guaicurú y el de Oro, entre otros; los cuales presentan una disposición en abanico que puede observarse claramente en los documentos cartográficos. (Popolizio, E. 1989).

Los actuales cauces corren en valles limitados por paleoderrames laterales que se elevan sobre las planicies y que son morfológica y morfogenéticamente diferentes a los albardones. De esta forma las divisorias de aguas se encuentran sobre dichos derrames y corren mas o menos paralelas a los cursos, terminando por encerrar sectores de planicies que se convierten en cuencas cerradas sin escurrimiento franco o dificultosamente conectadas con el escurrimiento fluvial. Hacia el este las planicies embutidas se vuelven cada vez más dominantes en el paisaje y sustentan ambientes de cañadas y esteros de gran extensión. (Popolizio, E. 1978, 1986).

La cobertura vegetal está muy condicionada por la morfología existiendo bosques altos sobre los derrames y sabanas, pastizales y pajonales en las planicies embutidas. De la misma forma la agricultura se corresponde con los primeros y la ganadería con las segundas. Esto permite distinguirse claramente en las imágenes satelitarias y fotografías aéreas. (Popolizio, E. 1986).

Al producirse crecientes, las aguas corren sobreelevadas dentro de los cursos, de manera que si sobrepasan los derrames laterales, ellas escurren hacia las planicies originando la inundación de las mismas. (Popolizio, 1985). Como consecuencia de las bajísimas pendientes, las dificultades de integración y la eficiencia de las redes, durante los años de grandes precipitaciones las depresiones se inundan totalmente sobresaliendo únicamente los paleoderrames. (Popolizio, 1986).

4.3.2.2 Valles del Paraná y Paraguay (4.)

El valle del río Paraguay se presenta con un modelo muy sinuoso y con terrazas bien desarrolladas, exhibiendo una planicie meándrica bastante amplia.

El valle del río Paraná, aguas abajo de la desembocadura del Paraguay, posee una vasta planicie fluvial con amplias terrazas que pueden superar los 30 km de extensión. En esas terrazas se instalaron las ciudades de Barranqueras y Resistencia, (Popolizio, 1989).

El tramo del río Paraná, desde la confluencia con el río Paraguay hasta la localidad de Rosario, corresponde al denominado Paraná Medio. Según Drago 1990, en este sector el río forma una planicie aluvial que oscila entre 6 y 40 km de ancho, desarrollada extensamente sobre la margen derecha hasta la localidad de Diamante, donde comienza el delta entrerriano; el diseño es fundamentalmente anastomosado, existiendo una importante presencia de islas y bancos de arena.

4.4 Disposición final de residuos sólidos urbanos: breve descripción de la situación actual del Gran Resistencia

4.4.1 Producción: volumen y composición

Un dato de gran importancia para la selección del emplazamiento de un relleno sanitario es la producción diaria de residuos sólidos que generan los centros urbanos. Esta producción está en relación directa con el volumen de almacenamiento necesario y en según la solución técnica adoptada, determina la superficie que debe ser reservada para la instalación del relleno.

La producción de residuos sólidos de una población normalmente se expresa en kilogramos por habitante y por día (kg/hab/día), incluyendo lo producido directamente por las personas en sus hogares y lo que les corresponde proporcionalmente por los residuos generados en los lugares de trabajo, en las calles, paseos y lugares públicos.

En un estudio realizado por la municipalidad de Resistencia en 1984 se determinó que la producción de residuos sólidos era de 90 ton diarias. Considerando que la ciudad de Resistencia tenia en 1984 una población aproximada de 195.000 habitantes, se obtendría como resultado una producción de 0,46 kg/hab/día.

Al momento de obtenerse los datos para este trabajo (año 1996) no existían en la municipalidad estudios actualizados. Sin embargo, los responsables del área estimaron que se recolectaban aproximadamente 120 ton diarias, incluyendo residuos domésticos, comerciales y del barrido de calles; evidenciando que la producción se mantuvo constante en 0,46 kg/hab/día. En consecuencia, éste valor puede ser adoptado como constante para todo el G.R. y para los distintos años de interés sin que se cometan grandes errores. En la Tabla 4.3 se resumen los datos utilizados y los resultados obtenidos en el cálculo de los futuros valores de producción.

Tabla 4.3: Producción de residuos sólidos urbanos para el Gran Reistencia.

AÑO	RESISTENCIA			GRAN RESISTENCIA		
	Población	Producción		Población	Producción	
		Diaria total	Diaria por habitante		Diaria total	Diaria por habitante
	hab	kg/día	kg/hab/día	hab	kg/día	kg/hab/día
1984	195.000[2]	90.000[3]	0,46	254.000[2]		
1991	229.960[1]			294.822[1]		
1996	258.761[2]	120.000[3]	0,46	331.746[2]	153.000[2]	0,46
2000				364.589 [2]	168.000[2]	0,46
2010				461.634 [2]	212.000[2]	0,46
2020				584.509 [2]	269.000[2]	0,46

Fuentes: [1] Censo Nacional de Población 1991.
[2] Proyecciones.
[3] Municipalidad de la Ciudad de Resistencia.

Según Diaz Colodrero, J.M. (1995) la composición promedio de los residuos sólidos producidos en el Gran Resistencia es la presentada en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Composición promedio de los R.S.U. del Gran Resistencia.

TIPO DE RESIDUO	PORCENTAJE [%]
Restos orgánicos	51.25
Papeles y cartones	16.25
Plásticos	32.50
TOTAL	100.00

4.4.2 Actual sistema de disposición final

En la Provincia del Chaco, la Constitución Provincial y la Ley Orgánica de Municipios obligan al Gobierno Provincial o a los Municipios a producir y prestar servicios públicos. Debido a esta disposición la gestión de los residuos sólidos urbanos generados en el área del Gran Resistencia está a cargo de los correspondientes municipios. La disposición final de estos residuos es realizada por los municipio en vertederos a cielo abierto localizados en diferentes puntos del Gran Resistencia.

En el caso específico de la ciudad de Resistencia, principal productor de R.S.U. del área de estudio, el municipio utiliza desde 1992 un terreno con una superficie total de 64 has que se encuentra ubicado en la Chacra 321 Parcela 01 Para el funcionamiento del vertedero se desmontó el terreno, se construyeron caminos internos, una casilla de control y un canal que desagua en el riacho Arazá y posteriormente en el río Paraná. Los residuos son descargados por los camiones y distribuidos por una retroexcavadora dentro de una cava abierta para tal fin, posteriormente son cubiertos por una capa de suelo compactado.

4.4.3 Evaluación del actual sistema de disposición final

Sin ser objetivo de este trabajo evaluar el actual sistema de disposición final de R.S.U., daremos a modo de ejemplo alguno de los principales inconvenientes observados en el vertedero utilizado por el municipio de Resistencia.

➢ Con respecto a su localización:

- Se encuentra ubicado muy próximo a la sector sur de la zona urbana de Resistencia, lo que resulta desfavorable considerando que los vientos de dirección sur son predominantes en la región.

- En épocas de inundaciones, la zona se ve frecuentemente afectada por los desbordes del diferentes cursos y lagunas.

- A muy pocos metros del lugar, se observa la existencia de viviendas familiares habitadas.

➢ Con respecto a su operación:

- El principal inconveniente en la operación lo constituye la falta de una rigurosa impermeabilización tanto superior como inferior, lo que origina muchos de los problemas que son presentados a continuación.

- Aunque la parte superior del vertedero se cubre con una capa de suelo, esta se ejecuta sin ningún tipo de control; dando como resultado una cubierta irregular y discontinua de suelo mal compactado y frecuentemente mezclado con residuos.

- Como la cubierta no presenta continuidad, el agua de lluvia escurre entre los residuos hacia las lagunas más cercanas y/o se infiltra hacia la napa freática, contaminando el sistema de escurrimiento superficial y subterráneo.

- Se generan frecuentemente focos ígneos lo que produce la contaminación atmosférica por la emisión de compuestos tóxicos en forma de gases o como cenizas.

- Se beneficia la generación y propagación de vectores, que son la principal fuente de transmisión de enfermedades infecciosas.

- El nivel de la napa freática se encuentra muy próximo a la superficie del terreno natural, que ante la falta de impermeabilización inferior entra en contacto con los residuos depositados.

- Los líquidos producto de la descomposición de los residuos son evacuados sin ningún tipo de procesamiento hacia el riacho Arazá que posteriormente desemboca en el río Paraná.

- No existe un correcto vallado perimetral, beneficiando el cirujeo para retirar materiales que puedan tener algún valor económico y el ingreso de animales domésticos en busca de alimentos; como ser cerdos, vacas y perros. Esto propicia la transmisión directa o indirecta de enfermedades a los animales y el hombre.

En resumen, el actual vertedero de la ciudad de Resistencia no reúne las mínimas condiciones de emplazamiento y operación, debiendo adoptarse una solución para instalar un relleno sanitario con un emplazamiento, diseño y operación que minimice el impacto sobre el medio ambiente y consecuentemente sobre la salud de la población.

Como se observa, Resistencia no escapa a la generalidad de las ciudades de la región, las cuales aún no han resuelto adecuadamente el problema de la disposición final de los residuos sólidos producidos por sus pobladores ocasionando una serie de problemas ambientales, algunos de los cuales han sido presentados anteriormente.

5 ETAPA ELIMINATORIA

5.1 Introducción

En los últimos años, el manejo y análisis de la información geográfica se han visto beneficiados con el surgimiento y perfeccionamiento de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales constituyen una poderosa herramienta para la manipulación de variable geográficas, y pueden ser utilizados para resolver complejos problemas de planificación y gestión.

La mayoría de los SIG incluyen un conjunto de órdenes que permiten implementar complejos métodos para la toma de decisiones, considerando en forma simultanea diferentes factores y criterios; uno de estos métodos recibe el nombre de "evaluación multicriterio". Según Bosque Sendra 1994, el principal objetivo utilizado en la evaluación multicriterio, es el de determinar áreas del territorio mas adecuadas para la localización de algún tipo de actividad. En consecuencia, el problema de la identificación de áreas aptas para la instalación de un relleno sanitario puede ser abordado, en una primera aproximación, utilizando esta moderna técnica de análisis espacial.

En este estudio, el objetivo de utilizar un SIG consiste en desarrollar una metodología sistemática que permita determinar las zonas más adecuados para la localización de un relleno sanitario, mediante una zonificación de sectores con distintos grados de adecuación, observando las condiciones medioambientales propias de la región estudiada.

Para alcanzar este objetivo, deben considerarse los siguientes aspectos:

1) Los datos disponibles y la viabilidad de su ingreso al SIG.
2) Un método de análisis que contemple la interrelación entre las variables geográficas y un relleno sanitario.
3) La correcta interpretación y verificación de los resultados obtenidos, por parte del investigador.

5.2 Metodología de geoprocesamiento propuesta para la etapa eliminatoria

Los procedimientos tradicionales de selección de terrenos se basan en la consideración simultánea de numerosos criterios de localización, los que dependen de las condiciones particulares de cada región y determinan el grado de complejidad del problema. La aplicación de estos criterios puede simplificarse considerablemente mediante la utilización de un procedimiento incluido en la mayoría de los sistemas de información geográfica, denominado *evaluación multicriterio*.

En este trabajo se propone un método alternativo para realizar una primera aproximación, que combina procedimientos tradicionales de selección de terrenos presentados por LaGrega (1996) y técnicas de geoprocesamiento en base a la evaluación multicriterio mediante un SIG propuesta por Eastman y otros (1993).

Para la evaluación multicriterio se utilizó el SIG IDRISI, la elección se basó en las potencialidades ofrecidas para aplicaciones medioambientales y a su compatibilidad con la mayoría de otros software del mercado. A continuación se describen las distintas etapas seguidas en la metodología propuesta y que es presentada en forma de diagrama de flujo en la Figura 5.1.

5.2.1 Relevamiento de la documentación existente

En primer término se procedió a la búsqueda, ordenación y clasificación del material cartográfico sobre la región en estudio. Como material no tradicional se empló una imagen satelital Landsat TM, Figura 5.2. Asimismo, se utilizaron cartas generada por el Instituto Geográfico Militar (cartas topográficas en escala 1:250.000 y 1:100.000), la Dirección de Catastro de la Provincia del Chaco (mapas catastrales en escala 1:100.000 y 1:12.500) y el Centro de Geociencias Aplicadas de la UNNE (cartas geomorfológicas en escala 1:75.000).

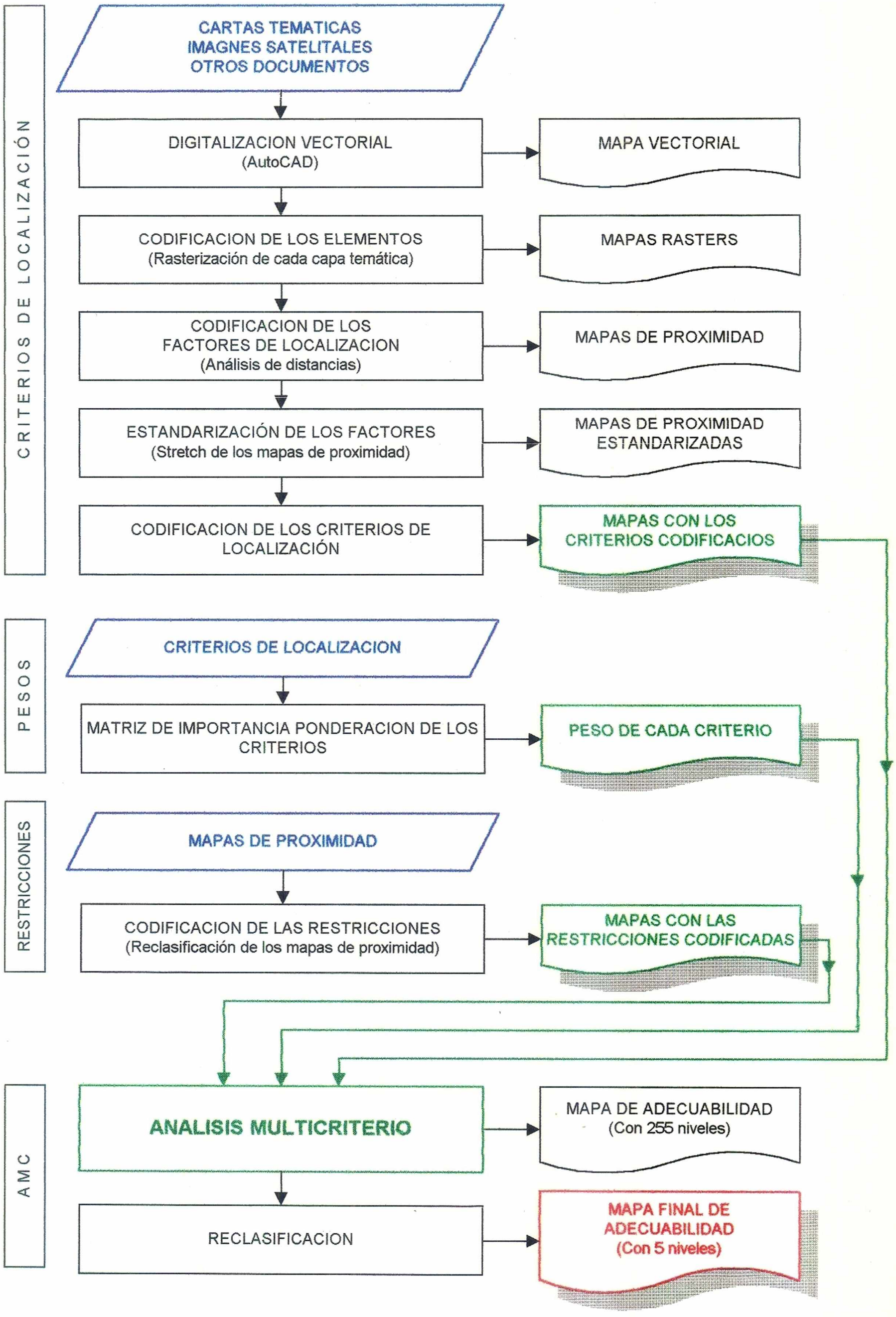


Figura 5.1: Diagrama de flujo de la metodología empleada.

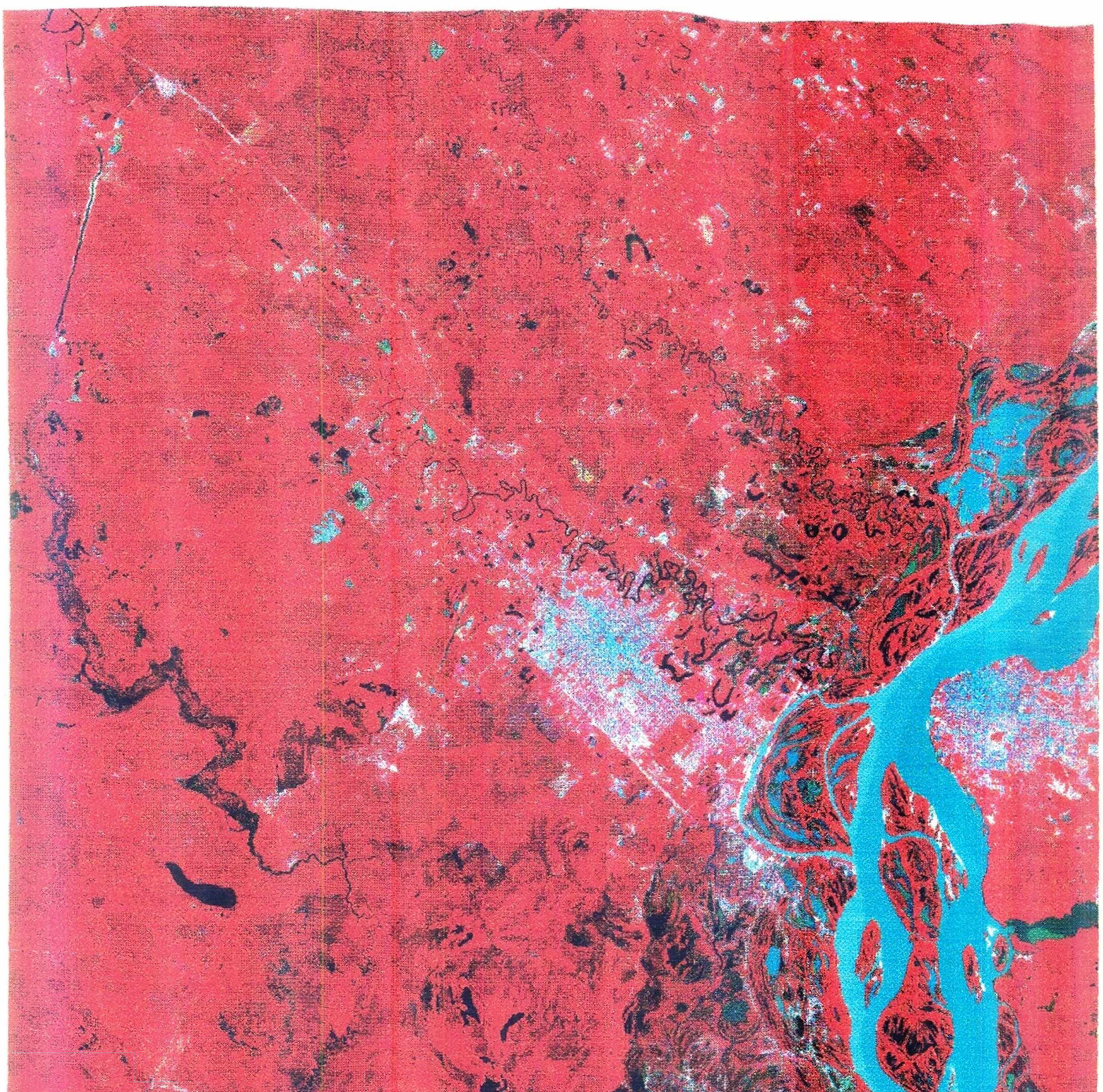


Figura 5.2: Imagen satelital Landsat TM del sector en estudio. Composición falso color de las bandas 2, 3 y 4.

5.2.2 Definición de los factores, criterios y restricciones

Todo tipo de instalación sanitaria conlleva cierto grado de riesgo ante la posible ocurrencia de fallas. Así, los rellenos sanitarios pueden constituirse en fuentes de emisión de contaminantes líquidos y gaseosos, y en focos generadores de vectores, razón por la cual los criterios de localización deberían minimizar los riesgos para la salud pública y el medio ambiente.

Una de las acciones para alcanzar este objetivo consiste en realizar un análisis de distancias, en donde el grado de aptitud de un terreno será función de la mayor o menor proximidad, según corresponda, al elemento considerado. Dentro de este proceso de ponderación existen distancias límites máximas y/o mínimas por debajo o por encima de las cuales se restringe el uso del terreno para la localización de un relleno sanitario, es decir son clasificadas como no aptas. En forma general, por un lado se trata de establecer la mayor distancia posible a elementos medioambientales susceptibles de ser afectados por la instalación y/o funcionamiento de un relleno sanitario; y por el otro, de buscar la menor distancia posible a los centros de producción y vías de comunicación pavimentadas para minimizar los costos de transporte y construcción de caminos.

Si tomamos como ejemplo los efectos negativos que un relleno sanitario tiene sobre la población que transita por una ruta, deberíamos tomar como criterio de localización que exista la mayor distancia posible a este elemento. Sin embargo, si consideramos los costos de construcción de los accesos, el criterio adoptado sería que exista la menor distancia posible. Los límites restrictivos estarían dados por una distancia mínima por seguridad y una distancia máxima por razones económicas.

Debido a la complejidad del medio natural en el que se encuentra emplazado el Gran Resistencia, los factores, criterios y restricciones de localización considerados en esta primera etapa del estudio, se limitaron a aquellos que solo podían ser analizados mediante una escala de trabajo regional. Los factores, criterios y restricciones de localización se presentan en forma resumida y en función del objetivo buscado en la Tabla 5.1.

Los restantes factores que intervienen en la localización, tales como la susceptibilidad a inundación, las propiedades geotécnicas del subsuelo y la

hidrología subterránea, entre otros, serán considerados en una segunda etapa (Capítulo siguiente), empleando métodos más apropiados para una escala de trabajo local.

Tabla 5.1: Factores, criterios y restricciones para la localización del relleno sanitario.

OBJETIVO	FACTOR DE LOCALIZACION	CRITERIO DE LOCALIZACION	RESTRICCIONES
Proteger la salud pública de la población	Distancia a la mancha urbana	Máxima distancia posible a la mancha urbana	Zonas con distancias menores a 2.000 m de la mancha urbana
Preservar la calidad de los reservorios de agua superficial	Distancia a los cursos y espejos de agua permanentes	Máxima distancia posible a cursos y espejos de agua permanentes	Zonas con distancias menores a 500 m de cursos y espejos de agua permanentes
Minimizar la construcción de caminos permanentemente transitables	Distancia a vías principales (pavimentadas)	Mínima distancia posible a vías principales	Zonas con distancias mayores a 2.000 m de vías principales
Minimizar los malos efectos de los olores y estéticos desde las vías de comunicación	Distancia a vías de comunicación	Máxima distancia posible a las vías de comunicación	Zonas con distancias menores a 200 m de vías de comunicación
Minimizar los costos de transporte	Distancia a los centros de producción	Mínima distancia posible a los centros de producción	Zonas con distancias mayores a 20.000 m de los centros de producción

5.2.3 Digitalización de los elementos medioambientales

En función a los factores de localización, fueron seleccionados los elementos medioambientales a ser incluidos en el proceso de evaluación. Estos elementos son enumerados a continuación:

- *Mancha urbana:* comprende las actuales zonas urbanas existentes dentro del sector en estudio; es decir, de las localidades de Resistencia, Barranqueras, Puerto Vilelas, Fontana, Puerto Tirol, Margarita Belén y Colonia Benítez. Su delimitación fue realizada a partir de mapas catastrales, una imagen satelital y resultados presentados en otros trabajos (e.g. Barreto 1993, plan estratégico de la ciudad de Resistencia). Para el caso concreto del Gran Resistencia, la delimitación fue verificada mediante relevamientos en campo.

- *Hidrografía:* debido a que el sistema hídrico de la zona en estudio es bastante complejo, en esta primera etapa, se optó por incluir en el análisis los principales

cursos y espejos de agua. Entre los cursos digitalizados podemos citar los ríos Paraná, Tragadero, Negro, Arazá, Salado y riacho Barranqueras; y como espejos de agua se digitalizaron todas las lagunas correspondientes a los sistemas de meandros abandonados de los ríos Paraná y Negro.

- *Vías principales:* comprende las principales vías de comunicación que aseguran un transito fluido y seguro en cualquier condición climática, tales como rutas y caminos pavimentados. Dentro de éstas fueron incluidas las avenidas troncales del Gran Resistencia, las rutas nacionales N° 11 y 16 y los accesos a las localidades vecinas.

- *Vías secundarias:* incluye aquellos vías de comunicación, que sin estar pavimentadas, son frecuentemente utilizadas. Dentro de estas fueron incluidas las antiguas rutas nacionales N° 11 y 16 y los principales caminos vecinales. También fueron incluidas las lineas del ferrocarril Gral. Belgrano.

- *Centros de producción:* corresponde a los puntos geográficos en donde se supone concentrada toda la producción de una determinada zona de influencia. Para este caso, como ya fuera explicado en el capítulo anterior, se tomaron tres centros de producción coincidentes con los baricentros aproximados de las manchas urbanas de Resistencia, Fontana y Barranqueras – Puerto Vilelas.

La digitalización vectorial de estos elementos se realizó mediante el programa AutoCAD, Figura 5.3. Cada uno de ellos fue digitalizado en diferentes capas temáticas y en forma georreferenciada, utilizando el sistema de coordenadas Gauss Krüger. Este proceso se realizó inicialmente a partir de la cartografía temática existente, que fue completada y corregida mediante el apoyo de puntos de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), una imagen satelital Landsat TM y relevamientos de campo.

Para la digitalización propiamente dicha se procedió de dos formas diferentes en función de los documentos utilizados.

A) Digitalización utilizando cartas temáticas: la información necesaria fue digitalizada a partir de las cartas temáticas mediante el uso de una tableta digitalizadora marca Genitizer de 12 x 12" y el programa AutoCAD V12 para Windows.

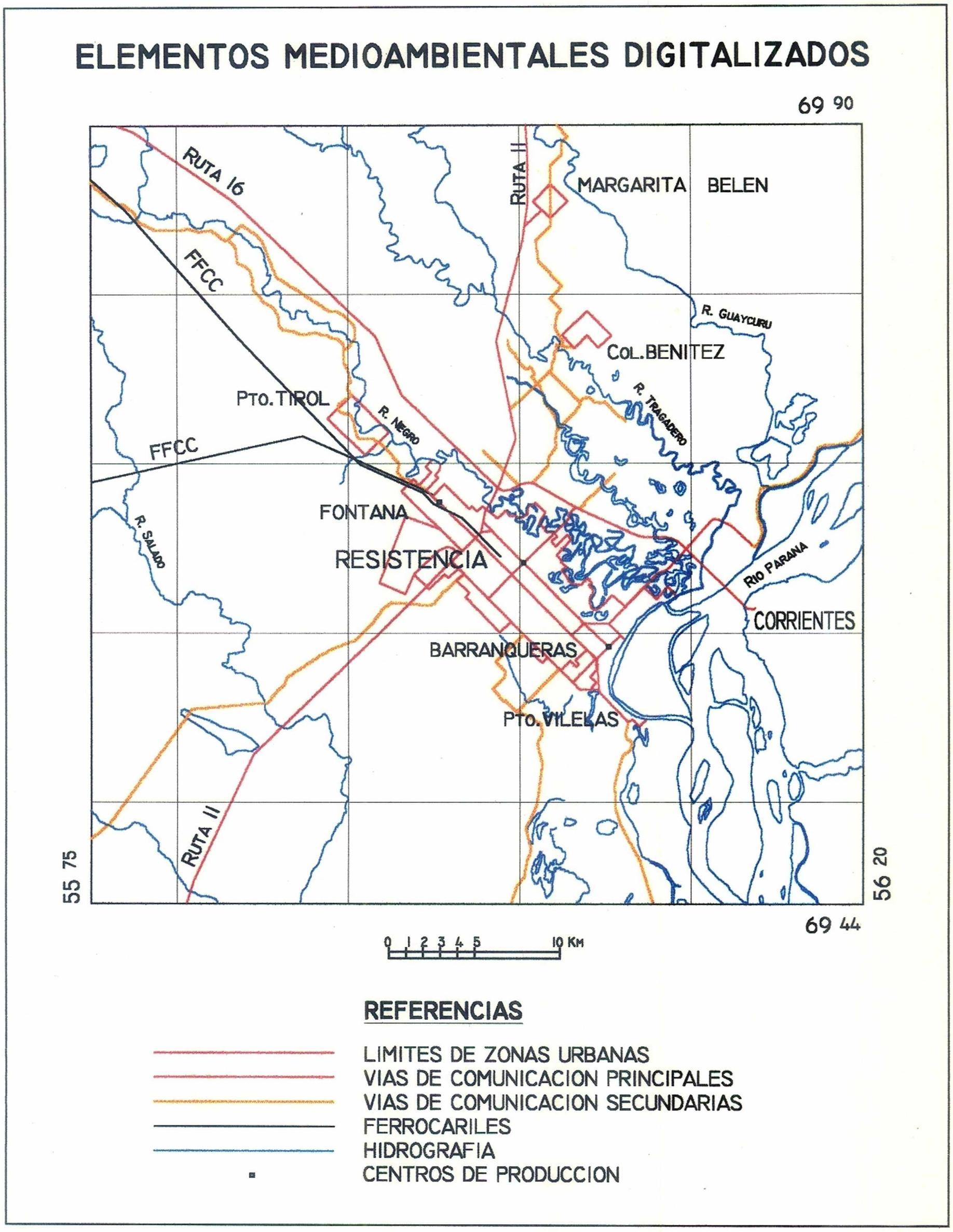


Figura 5.3: Carta con los elementos medioambientales digitalizados.

B) Digitalización utilizando la imagen satelital: primeramente se realizó con el SIG IDRISI una composición falso color con las bandas 2, 3 y 4 de una imagen satelital Landas TM. Posteriormente esta imagen fue convertida al formato TIFF e insertada en forma georreferenciada en el área de trabajo del programa AutoCAD V14. De esta forma la digitalización se realizó directamente sobre la pantalla del monitor mediante una interpretación visual.

En esta etapa pudo observarse que aquellos elementos que habían sido levantados a partir de la cartografía temática, en general presentaban buena concordancia con esos mismos elementos observados en la imagen. Esto indica que en caso de no contarse con una imagen satelital, igualmente pueden obtenerse buenos resultados utilizando cartas temáticas apoyadas en las cartas topográficas del IGM.

Como los elementos medioambientales relevados mediante la digitalización, deben ser introducidos en la base de datos del SIG, cada capa temática debió ser convertida en un archivo con el formato vectorial utilizado por IDRISI y luego ser transformada en una imagen raster para su posterior análisis, Figura 5.4(a), Figura 5.5(a) y Figura 5.6(a).

La conversión de cada capa temática en un archivo vectorial se efectúa mediante la ejecución de una rutina escrita en el lenguaje de programación de AutoCAD y que permite tal operación (ACDTOIDR.LSP). Como IDRISI es un SIG básicamente raster, una vez obtenido el archivo vectorial se lo debe transformar en una imagen raster mediante alguna de las órdenes POINTRAS, LINERAS o POLYRAS, según se traten de archivos vectoriales conteniendo puntos, lineas o polígonos respectivamente. Antes de la ejecución de alguna de esas órdenes se debe crear mediante la orden INITIAL una imagen vacía con valores de cero en todos sus píxeles, esto supone la división del área de estudio en pequeños sectores elementales de dimensiones arbitrarias, cada uno de ellos asociado a un píxel. En nuestro caso el área de estudio posee 45.000 m en sentido E-O por 46.000 m en sentido N-S y fue dividida en sectores elementales de 25 x 25 m, o sea en 1.800 columnas por 1.840 filas.

5.2.4 Codificación de los factores

Los factores de localización definidos en la Tabla 5.1 corresponden todos a factores de distancias, es decir que para codificarlos debemos hallar la distancia de cada píxel al elemento medioambiental mas cercano. Con este objetivo se realizó un análisis de distancia sobre cada una de las capas temáticas conteniendo los elementos medioambientales rasterizados anteriormente. De esta forma, fueron generados *mapas de proximidad*, en los cuales el valor temático de cada píxel representa la distancia que existe entre ese punto y el elemento considerado mas próximo. Para este procedimiento, se empleó el comando DISTANCE de IDRISI, el cual utiliza la función de distancia euclidiana para realizar los cálculos.

5.2.5 Estandarización de los factores

En toda evaluación multicriterio realizada mediante un SIG, los factores codificados deben ser expresados en una escala con un mismo rango de variación, por ejemplo que oscile entre 0 y 255. Con este fin se procedió a utilizar la orden STRETCH de IDRISI, que actúa sobre el mapa raster que contiene una escala arbitraria de valores (mapas de proximidad) y genera un nuevo mapa con el rango de variación adoptado. En este caso se adoptaron como extremos los valores de 0 y 255, que indican respectivamente, la mínima y máxima distancia estandarizada al elemento que está siendo analizado.

5.2.6 Codificación de los criterios

En esta etapa se pretende representar con valores entre 0 y 255 a la mínima y máxima adecuación de un terreno para recibir la instalación de un relleno sanitario, nuevamente según el elemento medioambiental considerado. Cuando el criterio de localización corresponde a "máxima distancia posible", la codificación del criterio coincide con la del factor estandarizado. Sin embargo, cuando el criterio de localización corresponde a "mínima distancia posible" deben invertirse los valores; esto se consigue mediante la utilización de las ordenes INITIAL y OVERLAY de

IDRISI. Con INITIAL se crea una imagen vacía conteniendo valores constantes iguales a 255, a la cual se le substrae mediante la orden OVERLAY la imagen conteniendo la codificación del factor de localización estandarizado correspondiente. De esta forma cada criterio queda codificado mediante una capa temática, adoptando valores extremos de 0 y 255 en los puntos de mínima y máxima adecuación para recibir el relleno sanitario, Figura 5.4(b), Figura 5.5(b) y Figura 5.6(b).

5.2.7 Codificación de las restricciones

Además de los criterios de localización, es necesario codificar las restricciones presentadas en la cuarta columna de la Tabla 5.1. Estas responden a criterios que indican donde no puede localizarse una determinada actividad. Con este objetivo se realizó la reclasificación de los mapas de proximidad, mediante la orden RECLASS de IDRISI, asignándose nuevos valores de 0 a las zonas que deberán ser excluidas de posteriores análisis, Figura 5.4(c), Figura 5.5(c) y Figura 5.6(c).

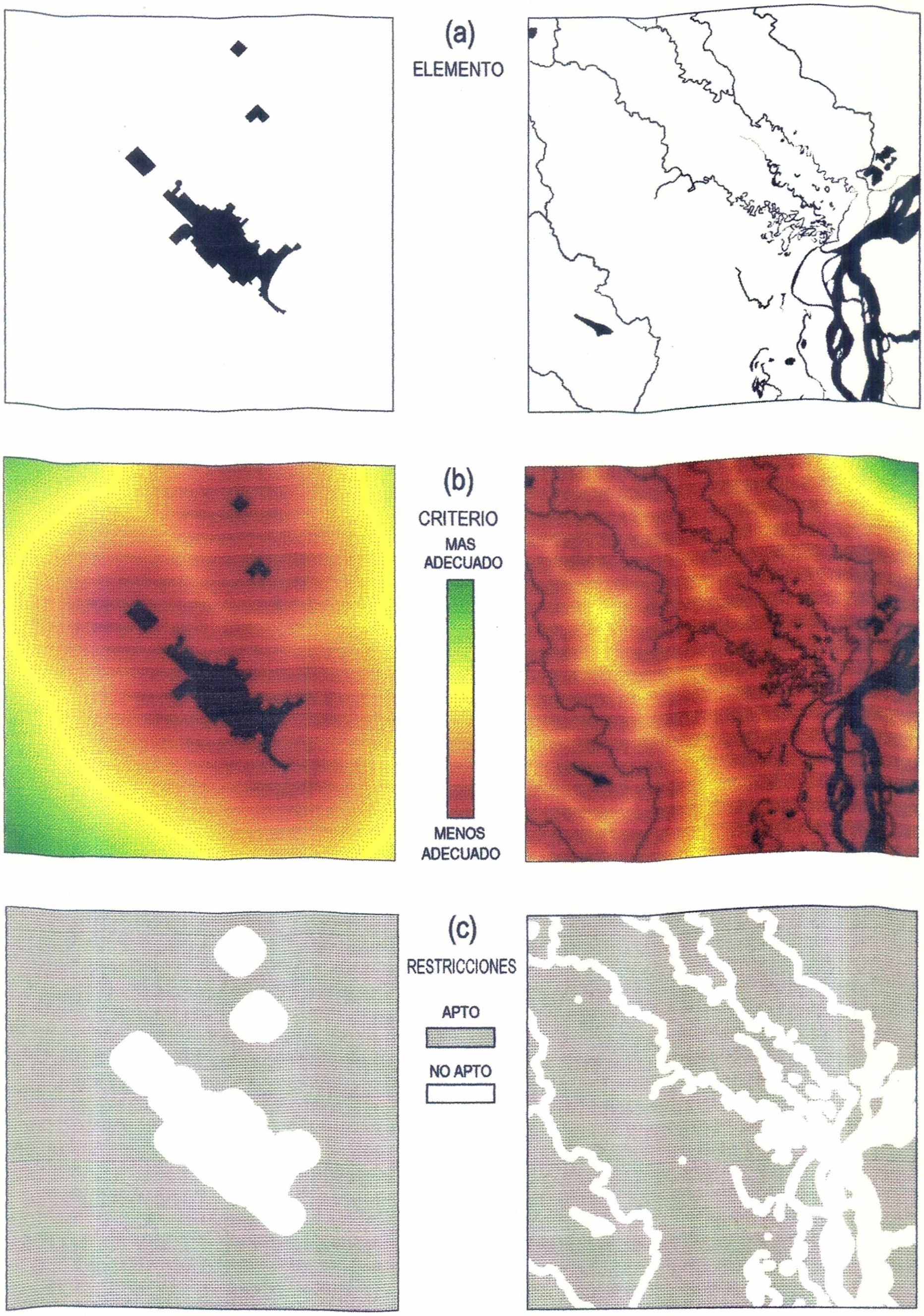


Figura 5.4: Codificación de los elementos (a), criterios (b) y restricciones (c), correspondientes a la mancha urbana (izquierda) y a la hidrografía (derecha).

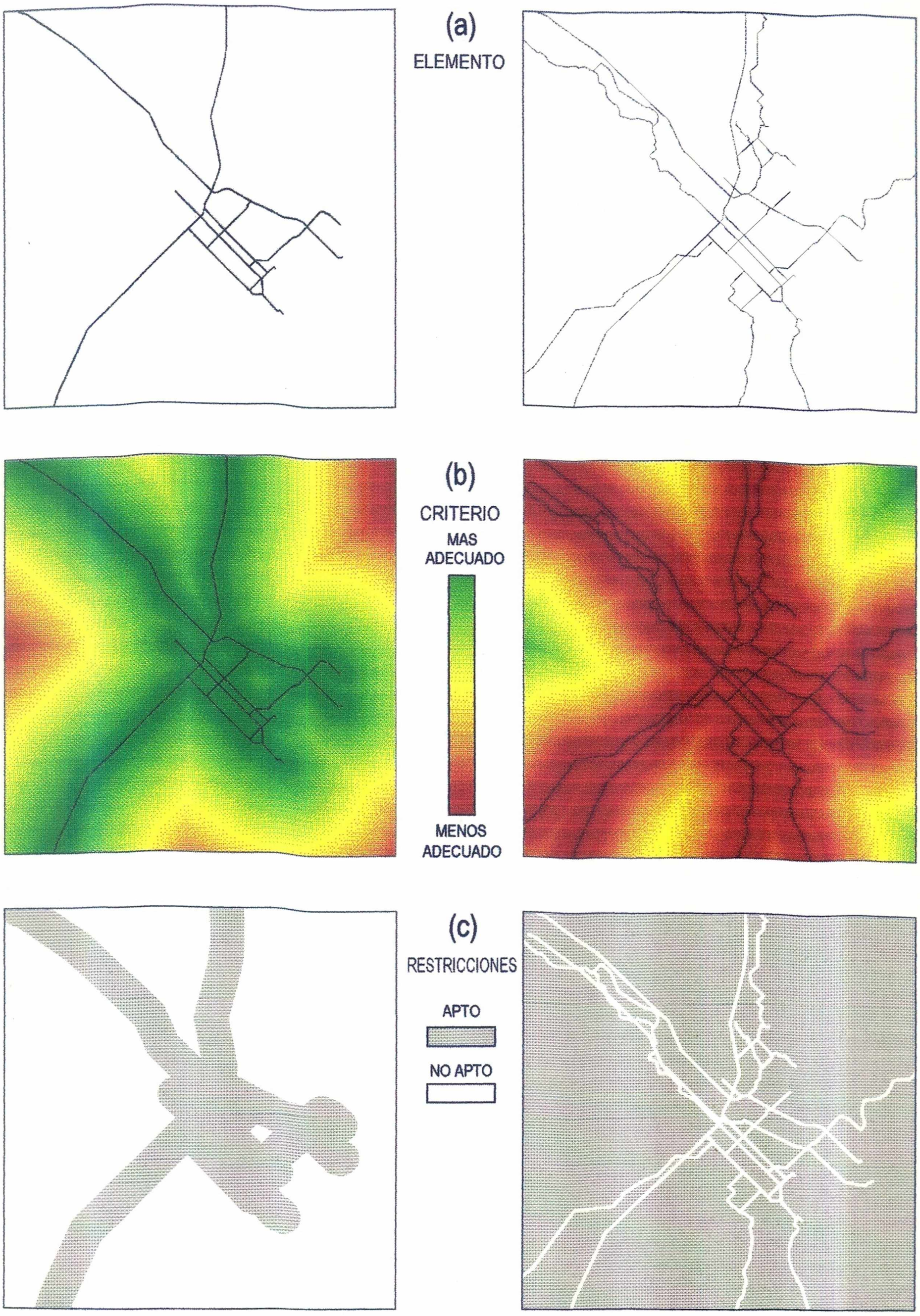


Figura 5.5: Codificación de los elementos (a), criterios (b) y restricciones (c), correspondientes a las vías de comunicación principales (izquierda) y generales (derecha).

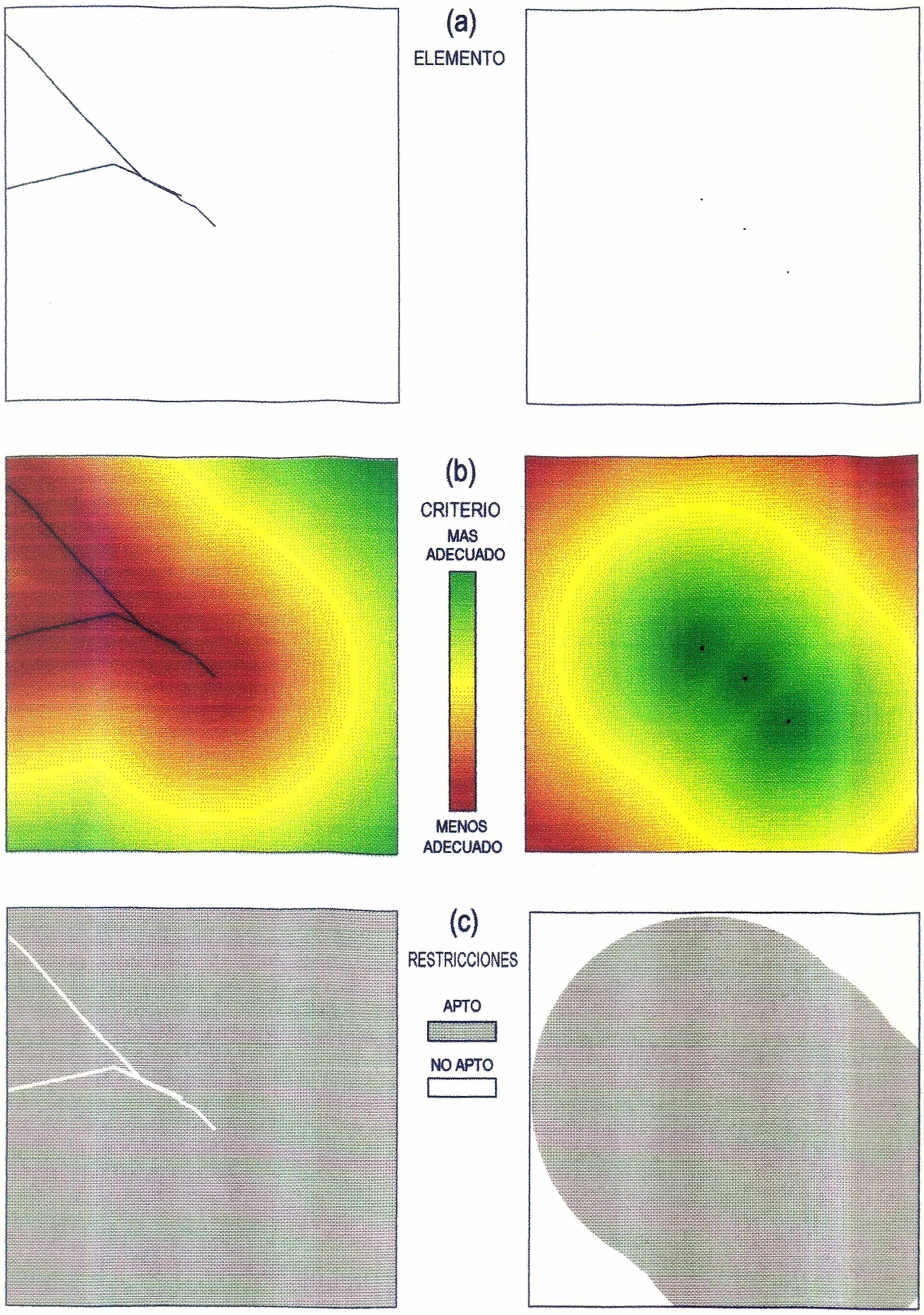


Figura 5.6: Codificación de los elementos (a), criterios (b) y restricciones (c), correspondientes a las vías férreas (izquierda) y centros de producción (derecha).

5.2.8 Ponderación de los criterios

La influencia de los diferentes criterios sobre el objetivo buscado no es la misma en todos los casos. Para definir el peso relativo de cada uno de ellos, se ha utilizado el procedimiento denominado *comparación entre pares de criterios*. En la Tabla 5.2 se presenta la matriz de comparación utilizada para el análisis, en la cual se comparan dos a dos los criterios y se asigna un valor que varia entre 9 y 1/9, según la importancia relativa del criterio de la fila con respecto al criterio de la columna. El valor 9 se asigna cuando el criterio de la fila es absolutamente mas importante que el criterio de la columna y 1/9 cuando el criterio de la fila es absolutamente menos importante que el criterio de la columna. A partir de esta matriz la orden WEIGHT de IDRISI calcula el peso para cada criterio y la consistencia de la matriz a través del índice de consistencia, Tabla 5.3. En caso de no existir buena consistencia en la matriz de comparación, el programa indica en qué celdas pueden estar los posibles problemas para que el usuario modifique criteriosamente esos valores y recalcule los nuevos pesos.

Tabla 5.2: Matriz de comparación entre pares de criterios.

CRITERIOS DE LOCALIZACION	Máxima distancia a la mancha urbana	Mínima distancia a centros de producción	Máxima distancia a cursos y esp. de aguas	Mínima distancia a vías principales	Máxima distancia a vías de comunicación
Máxima distancia a la mancha urbana	1				
Mínima distancia a centros de producción	1/2	1			
Máxima distancia a cursos y espejos de aguas	2	4	1		
Mínima distancia a vías principales	5	7	3	1	
Máxima distancia a vías de comunicación	1/7	1/7	1/9	1/9	1

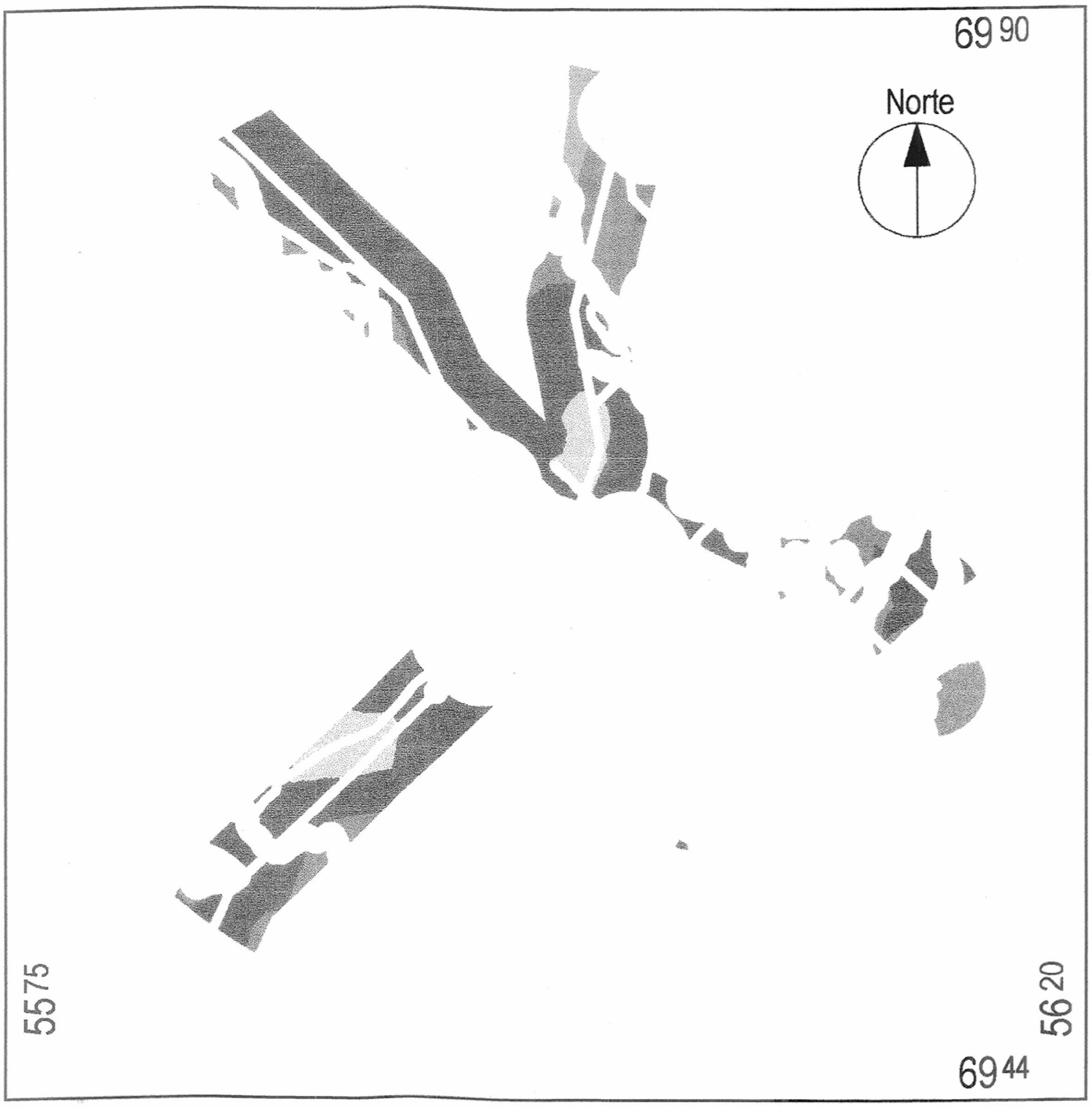
Tabla 5.3: Resultado de la ponderación de los criterios de localización.

CRITERIO DE LOCALIZACIÓN	PESO
Máxima distancia a la mancha urbana	0,13
Mínima distancia a vías principales	0,09
Máxima distancia a vías de comunicación	0,24
Máxima distancia a cursos y espejos de aguas	0,51
Mínima distancia a centros de producción	0,03
Indice de consistencia = 0,08 (Buena consistencia)	

Debe señalarse que la confección de la matriz de comparación, y en consecuencia la ponderación de los criterios, es una tarea que presenta cierto grado de subjetibilidad por parte del evaluador; sin embargo este efecto puede minimizarse realizando una adecuada interpretación de los resultados obtenidos.

5.2.9 Evaluación multicriterio

Luego de establecidos los criterios con sus pesos y las restricciones, se debe proceder a realizar la evaluación multicriterio utilizando la orden MCE de IDRISI. El resultado obtenido consiste en un nuevo mapa temático en donde existen zonas con valores de 0 indicando que fueron excluidas debido a las restricciones, y valores entre 1 y 255 indicando los distintos grados de adecuación. Como el rango de valores entre 1 y 255 es muy amplio para realizar una correcta valoración, se procedió a reclasificar el mapa en forma automática en solo cinco niveles de adecuación, obteniéndose como resultado el mapa temático presentado en la Figura 5.7. En el mismo se representaron con cuatro niveles de grises, correspondientes a los cuatro grados de adecuación, las diferentes zonas aptas para recibir la instalación de un relleno sanitario. El resto de la superficie, representada en blanco, fue clasificada como zona restringida para tal uso.



E = 1:300.000

GRADO DE ADECUACION

- 4 - Muy Bueno
- 3 - Bueno
- 2 - Regular
- 1 - Malo
- 0 - No Apto

Figura 5.7: Mapa temático obtenido como resultado de la evaluación multicriterio. Se observan los diferentes sectores aptos y su correspondiente grado de adecuación (Sistema de coordenadas Gauss Krügger).

5.2.10 Creación de una base de datos

Una de las ventajas de utilizar un SIG en el manejo de la información geográfica, consiste en la posibilidad de crear una base de datos georreferenciada, en donde cada rasgo geográfico está asociado con un registro en una planilla de datos, la que además cuenta con una serie de campos con atributos definidos por el usuario. Haciendo uso de esta propiedad se elaboró una base de datos muy sencilla, en la cual se almacenan las propiedades de aptitud y características geométricas de cada sector. Esta base de datos puede ser completada agregando nuevos campos con cualquier otra información de interés relativa a cada sector.

Como primera medida, se debe asignar a cada sector de la Figura 5.7 un número identificador. Para esto se utilizó la orden GROUP de IDRISI, que enumera en forma consecutiva cada uno de los grupos de píxeles con igual valor y les reasigna como nuevo valor el número de grupo, que pasa a ser el identificador de dicho sector. De esta forma fueron identificados 78 sectores con diferentes grados de aptitud, tamaños y formas, Figura 5.8.

Como atributos iniciales para ser cargados en la base de datos se definieron: el grado de aptitud, la superficie, el perímetro y el coeficiente de forma de cada sector. Como ya se dijo, esta lista de atributos puede modificarse o ampliarse en cualquier momento en función del objetivo buscado. La superficie y el perímetro se calcularon respectivamente a través de las ordenes SURFACE y PERIM. El coeficiente de forma, que puede variar entre 0 y 1 indicando la menor o mayor semejanza con la forma de un círculo, se determinó mediante la orden CRATIO que utiliza la fórmula Cf = SQR(Ap/Ac), donde Cf es el coeficiente de forma, SQR es la raíz cuadrada, Ap es el área del polígono considerado y Ac es el área de un círculo de igual perímetro que el polígono considerado. Los resultados son presentados en forma de nuevos mapas temáticos en donde los distintos sectores tendrán un valor igual al atributo calculado.

Finalmente, se elaboró la planilla de datos en donde las columnas corresponden a los campos (atributos) y las filas a los registros (sectores). Los valores de grado de aptitud, superficie, perímetro y coeficiente de forma, fueron exportados a la planilla de datos (de la base de datos) en el registro correspondiente a cada sector, Tabla 5.4.



Figura 5.8: Mapa temático resultado de la asignación de un identificador para cada sector apto.

Tabla 5.4: Planilla de datos correspondiente a la base de datos generada.

GRUPO Nº	APTITUD	SUP. (ha)	PERIM. (m)	COEF. DE FORMA
0	0	193824.3	582150	0.27
1	2	303.5	13900	0.44
2	4	4378.9	78800	0.30
3	4	392.9	21900	0.32
4	3	238.5	11150	0.49
5	3	624.2	15150	0.58
6	3	58.8	5400	0.50
7	4	2.5	1000	0.56
8	3	55.1	3700	0.71
9	3	43.4	9500	0.25
10	2	10.9	1650	0.71
11	3	15.8	2000	0.70
12	4	16.9	2200	0.66
13	2	0.8	450	0.71
14	3	39.8	3950	0.57
15	4	4.9	1850	0.42
16	3	163.6	8150	0.56
17	3	11.4	2150	0.56
18	4	4.1	1450	0.49
19	4	15.4	2750	0.51
20	3	0.8	450	0.71
21	4	132.6	11700	0.35
22	4	106.4	9050	0.40
23	3	10.3	1900	0.60
24	4	8.1	2200	0.46
25	3	9.2	2250	0.48
26	3	57.4	5200	0.52
27	3	9.9	1650	0.68
28	3	1.9	750	0.66
29	3	0.8	400	0.77
30	4	28.4	3100	0.61
31	4	650.6	14600	0.62
32	1	371.2	11850	0.58
33	1	87.3	9900	0.33
34	0	0.3	250	0.79
35	4	10.8	1900	0.61
36	0	0.9	450	0.74
37	0	0.6	400	0.70
38	0	0.4	300	0.78
39	1	0.4	300	0.78

GRUPO Nº	APTITUD	SUP. (ha)	PERIM. (m)	COEF. DE FORMA
40	4	128.9	10550	0.38
41	1	0.6	400	0.70
42	1	0.7	400	0.73
43	3	213.6	10600	0.49
44	4	128.7	7350	0.55
45	4	162.5	7850	0.58
46	3	17.9	3650	0.41
47	4	20.1	2700	0.59
48	4	33.2	3650	0.56
49	3	28.6	4250	0.45
50	4	265.9	9700	0.60
51	3	18.6	2650	0.58
52	3	52.7	5550	0.46
53	3	6.3	1250	0.71
54	3	24.5	4000	0.44
55	3	8.2	1600	0.63
56	4	308.3	11300	0.55
57	3	471.8	11150	0.69
58	4	66.4	6300	0.46
59	4	1174.6	26950	0.45
60	1	202.4	11950	0.42
61	0	0.3	250	0.71
62	1	286.3	14100	0.43
63	1	88.2	6000	0.55
64	4	1.4	650	0.65
65	0	0.4	300	0.78
66	0	0.8	450	0.71
67	0	0.2	200	0.77
68	4	387.4	12300	0.57
69	4	12.1	3150	0.39
70	3	101.3	6450	0.55
71	4	155.9	7650	0.58
72	4	10.8	1650	0.70
73	3	2.2	700	0.75
74	3	127.0	7550	0.53
75	4	595.4	16000	0.54
76	3	17.9	3300	0.45
77	4	97.9	7700	0.46
78	3	86.5	6300	0.52
	TOTAL=	207000.1		

La consulta a la base de datos se realiza con el mapa temático y la planilla desplegados en forma simultanea en la pantalla del monitor, y puede realizarse de dos formas diferentes:

1) *a partir del mapa temático:* seleccionando un sector de interés con el puntero, el programa nos resaltará el registro correspondiente en la planilla de datos.

2) *a partir de la planilla de datos:* mediante la búsqueda selectiva de información a través de filtros, el programa nos indicará los sectores correspondientes a los registros seleccionados.

Si bien el funcionamiento de la consulta a la base de datos se realiza en forma interactiva con el sistema, en la Figura 5.9 se visualiza un ejemplo en donde con el puntero fue seleccionado un sector y se observa resaltado el registro correspondiente en la planilla de datos, a partir de la cual se pueden conocer sus atributos.

5.3 Análisis de los resultados

Con el objetivo de lograr una mejor localización de los sectores obtenidos en la Figura 5.7, se procedió a representar dicha imagen superpuesta con la carta digitalizada originalmente, obteniéndose la Figura 5.10. Para esto se realizó la vectorización del mapa temático utilizando la orden POLIVEC de IDRISI, resultando un mapa vectorial en donde cada uno de los sectores es representado por un polígono. Posteriormente se procedió a exportar el mapa vectorial con formato DXF, de forma tal que pueda ser incluido en el archivo de AutoCAD como una nueva capa temática de la carta digitalizada originalmente.

De esta forma se observa claramente la influencia que las restricciones de distancias mínimas y/o máximas a cada elemento medioambiental ejercen sobre la distribución espacial de las zonas aptas. Para interpretar la asignación del grado de aptitud resultante de la evaluación multicriterio, existen mayores dificultades. Sin embargo, puede inferirse que en las zonas de grado "muy bueno" los criterios de localización se maximizan.

Considerando el total del área en estudio, existe una predominancia de zonas clasificadas como "no aptas", que responde principalmente a la restricción que imponía una distancia máxima de 2.000 m a las vías de comunicación principales.

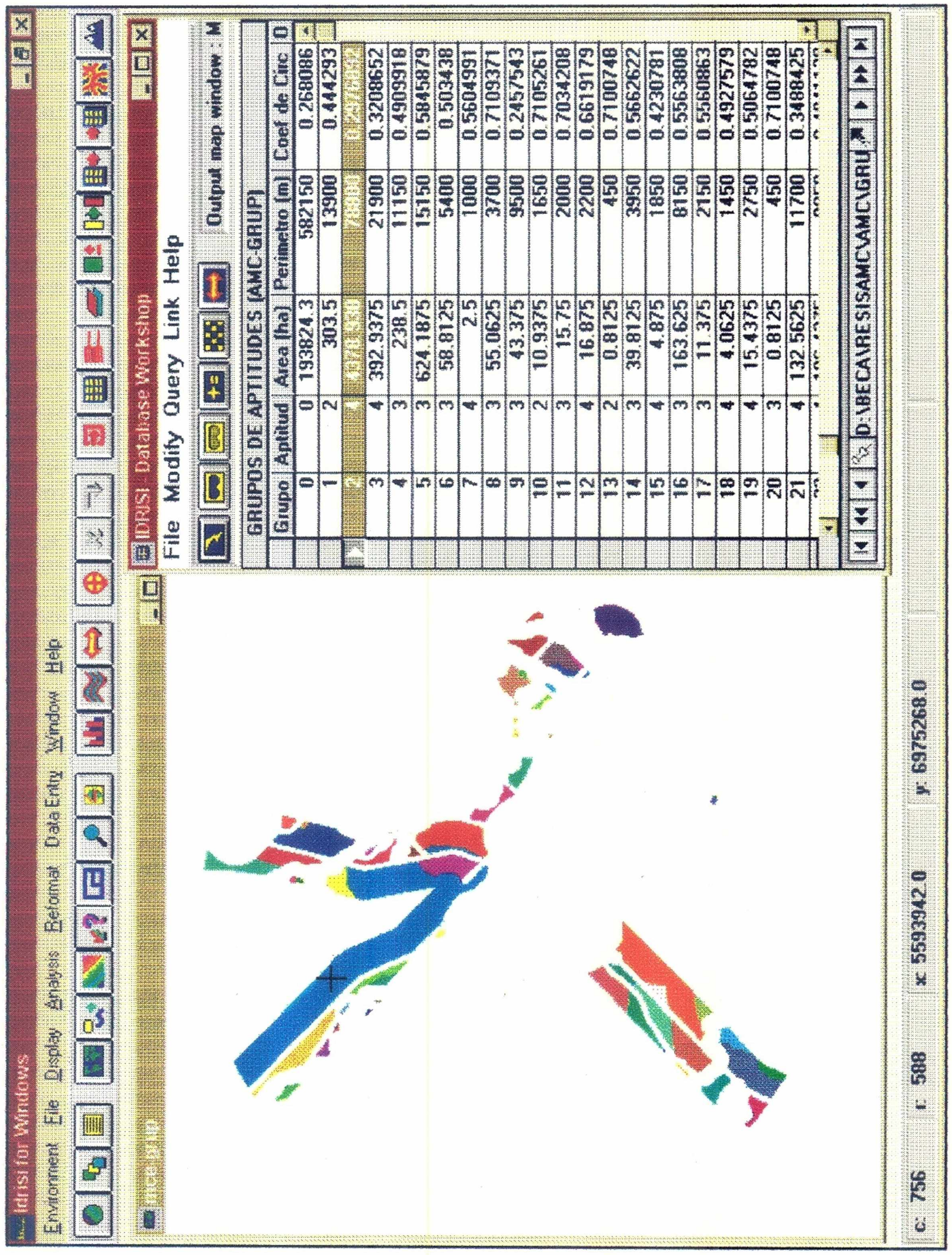


Figura 5.9: Ejemplo del funcionamiento de la consulta a la base de datos generada.

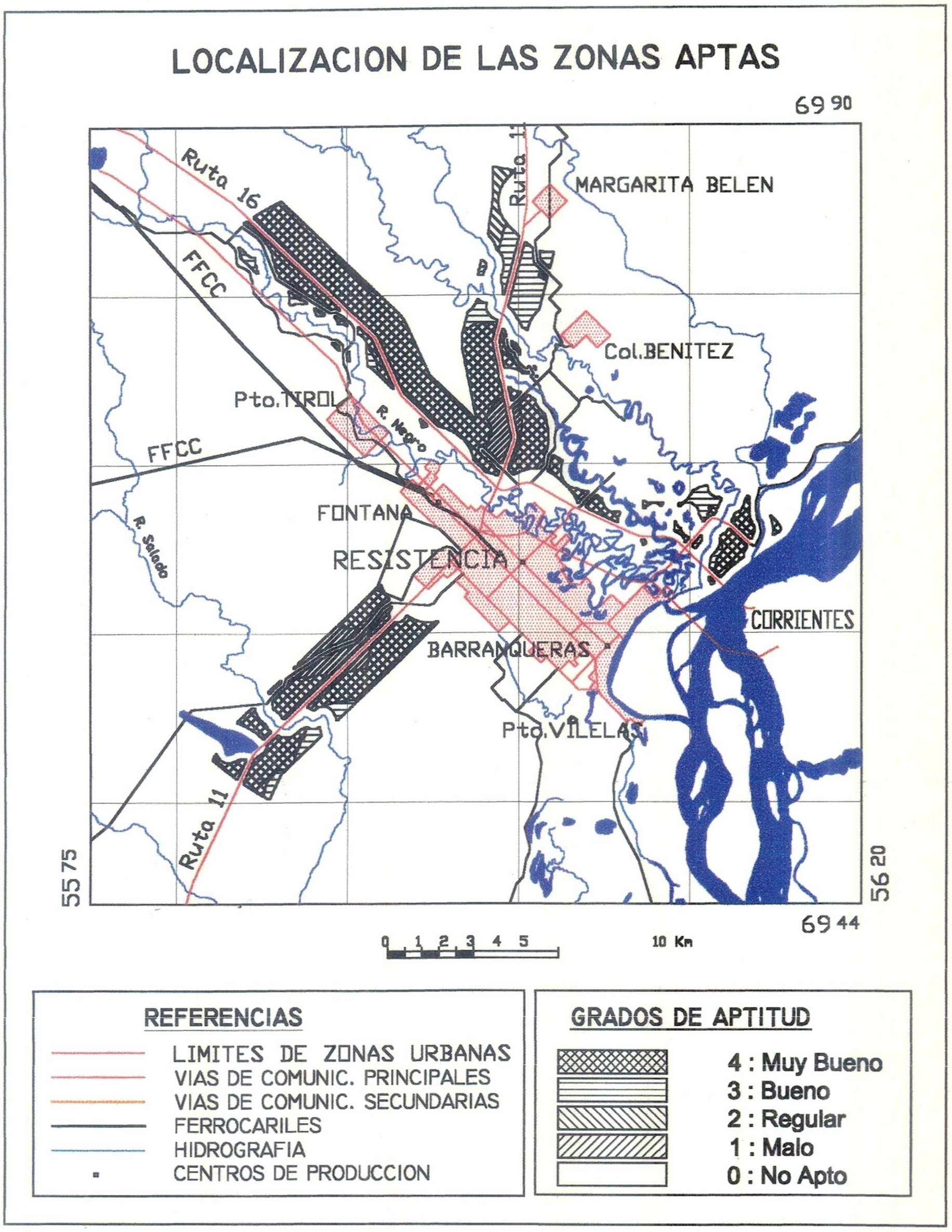


Figura 5.10: Ubicación de los sectores aptos sobre la carta digitalizada.

Esta restricción también condiciona la distribución general de los sectores aptos en todos sus grados, los cuales se ubican mayormente próximos a las rutas nacional N° 11 y provincial N° 16.

Con el objeto de conocer la superficie total correspondiente a cada grado de adecuación, se calculó el histograma de la Figura 5.7 mediante de la orden HISTO de IDRISI, cuyo resultado se presenta en la Tabla 5.5. Se observa que, excluyendo las áreas "no aptas", existe una gran predominancia de superficie clasificada como de muy buena adecuación. Esto indica, por un lado, condiciones hasta aquí favorables debido a la considerable disposición de terrenos, y por el otro, la necesidad de avanzar en el análisis de estas áreas aumentando la escala de estudio mediante métodos mas apropiados y nuevos criterios de localización.

Tabla 5.5: Superficies de los sectores con distintos grados de adecuación.

CLASE	GRADO DE ADECUACIÓN	SUPERFICIE (km^2)	PORCENTAJE (%)	
0	No adecuado	1.938,2	93,63	93,63
1	Malo	10,2	0,50	
2	Regular	3,2	0,15	6,37
3	Bueno	25,3	1,22	
4	Muy Bueno	93,1	4,50	
	TOTALES:	2070,0	100,00	100,00

5.4 Comentarios finales

En este capítulo fue presentada una metodología de geoprocesamiento adecuada para generar una zonificación con el objetivo de localización posibles zonas aptas para el emplazamiento de rellenos sanitarios, analizando el caso especial del Gran Resistencia.

Los resultados preliminares indican que en general existen cuatro grandes zonas que a priori cumplen con los objetivos buscados. Estas grandes zonas están divididas en pequeñas sub-zonas, las que se encuentran agrupadas próximas a las rutas Nacional N° 11 y Provincial N° 16.

La metodología empleada indica que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten relacionar y ponderar una serie de variables

medioambientales que son determinantes para la localización de un rellenos sanitarios y que serian difíciles de analizar mediante técnicas convencionales de selección.

Para continuar con el trabajo, y luego de una primera zonificación, se sugiere aumentar la escala de trabajo para analizar mejor las condiciones locales de cada una de ellas. Esto puede realizarse con el auxilio de la interpretación de fotografías aéreas y relevamientos en campo. Se estima que en base al análisis anterior, se podrá determinar el área que mejor cumpla con todas las condiciones medioambientales definidas en este estudio.

6 ETAPA SELECTIVA

6.1 Introducción

Continuando con la metodología propuesta, en este capítulo se propone abordar una etapa selectiva, que consiste en analizar los sectores resultantes de la etapa eliminatoria, seleccionando aquellas que cumplan con los criterios de localización que no pudieron ser incluidos anteriormente debido al método y escala de trabajo empleados. Para que estos nuevos criterios puedan ser aplicados, los distintos sectores deben ser analizados en forma mas detallada, requiriéndose para esto aumentar la escala de trabajo y emplear métodos de estudio mas apropiados.

6.2 Metodología propuesta para la etapa selectiva

Para esta etapa se sugiere emplear un método que en forma general está basado en el *método de exclusión escalonada* presentado por LaGrega y otros (1996), el cual implica aplicar cada uno de los nuevos criterios de localización en forma secuencial e ir descartando determinados sectores de ulteriores análisis. Dichos criterios pueden ser de tipo medioambiental, técnico, legal, social, económico o político, entre otros.

El método propuesto se inicia seleccionando uno de los nuevos criterios y con él analizar todos los sectores de mayor grado de adecuación, resultando generalmente un grupo menor de ellos. A continuación, se procede a aplicar un nuevo criterio obteniéndose como resultado un segundo grupo; progresando de esta forma con la secuencia total de criterios de localización. Finalmente, se concluirá con la posible identificación de uno o varios sectores aptos. El proceso puede detenerse antes de la aplicación de la totalidad de los criterios, debido a que en un momento dado, se haya conseguido identificar una ubicación apropiada.

Si mediante la aplicación de los criterios de localización sobre los sectores de mayor grado de adecuación, no se consiguiera identificar ninguno apto, se deberá repetir el método propuesto considerando los sectores con un grado de adecuación menor.

6.3 Definición de los factores y criterios

Al ser ésta una metodología que considera los criterios en forma unitaria y secuencial, primeramente debe establecerse el orden en que ellos deben ser aplicados. Para esto, debe tenerse en cuenta la complejidad técnica y los recursos económicos que demandan su aplicación. Con este sentido se presentan a continuación los criterios aplicados en esta etapa de estudio.

6.3.1 El efecto de las inundaciones

Uno de los principales problemas que existen en la selección de terrenos, consiste en el efecto que las inundaciones tienen sobre la zona de estudio. Cualquier sitio escogido deberá asegurar que bajo ninguna circunstancia las crecidas de los ríos puedan afectar las instalaciones. Esto puede lograrse escogiendo un terreno con cota mayor a la alcanzada por una determinada creciente o uno que se encuentre protegido mediante obras de defensa. La dificultad que presenta el primer caso es que demandaría un estudio hidrológico y topográfico bastante complejo comparado con la solución técnica que estamos analizando, por lo que se estima mas conveniente comenzar evaluando aquellos sectores que estén ubicados dentro del futuro recinto que protegerá al Gran Resistencia de las inundaciones.

En la Figura 6.1 se representa la traza de las futuras defensas, según el último proyecto elaborado por la Administración Provincial del Agua. Se observa que dentro del recinto formado por esta traza, existen ocho sectores (indicados en color verde) clasificados como de muy buena adecuación, los cuales serán los únicos considerados en las siguientes etapas descartándose los restantes.

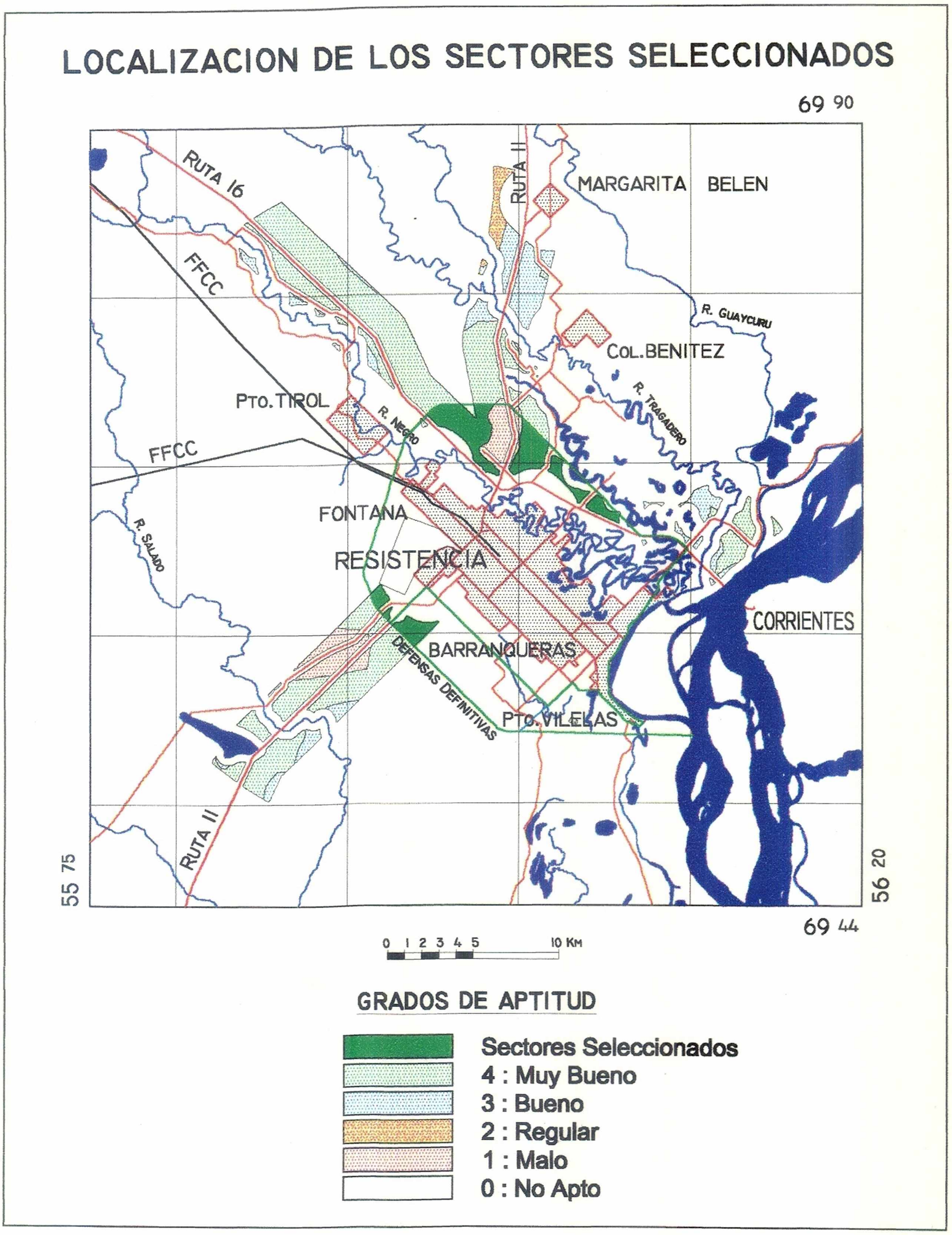


Figura 6.1: Localización de los sectores con muy buena adecuación que quedan encerrados por la traza de las futuras defensas del Gran Resistencia.

6.3.2 Superficie y forma de los sectores

La superficie necesaria para la instalación de un relleno sanitario está en función de: la producción unitaria de residuos sólidos, la tasa de crecimiento de la población, el tiempo de utilización del relleno y de la solución técnica adoptada. Además de la superficie, es importante considerar la forma de los terrenos, que debe ser compatible con las normas de funcionamiento y operación del futuro relleno.

En este estudio consideraremos que el relleno sanitario será utilizado desde el año 2000 hasta el 2010, por lo que según las proyecciones presentadas en el Capítulo IV (utilizando una tasa de crecimiento de 2,36 % anual) la población del G.R. se incrementará en ese período de 364.589 a 461.634 habitantes. Otra observación hecha en el Capítulo IV, fue que la producción unitaria se mantuvo constante en 0,46 kg/hab/día durante los último quince años anteriores a este estudio, por lo que se adoptó ese valor para calcular la producción total durante el período de funcionamiento del relleno. Respecto a la solución técnica, interesa la densidad que alcanzarán los residuos al compactarse y la altura de relleno, adoptándose para estos parámetros valores conservadores de 780 kg/m^3 y 3,00 m respectivamente.

Con el objetivo de obtenerse, en forma anual y total, el volumen de relleno y la superficie de terreno que serán utilizados, se confeccionó la Tabla 6.1; en los cálculos se utilizaron los parámetros mencionados en el párrafo anterior.

Tabla 6.1: Volumen de relleno y superficie de terreno previstos.

Año	Población [hab]	Producción [ton]	Volúmen [m^3]	Superficie [ha]
2000	364589	61215	78480	2.62
2001	373296	62676	80354	2.68
2002	382211	64173	82273	2.74
2003	391338	65706	84238	2.81
2004	400683	67275	86250	2.87
2005	410252	68881	88309	2.94
2006	420049	70526	90418	3.01
2007	430080	72210	92578	3.09
2008	440351	73935	94788	3.16
2009	450867	75701	97052	3.24
2010	461634	77508	99370	3.31
Totales para 10 años		759806	974111	32.47

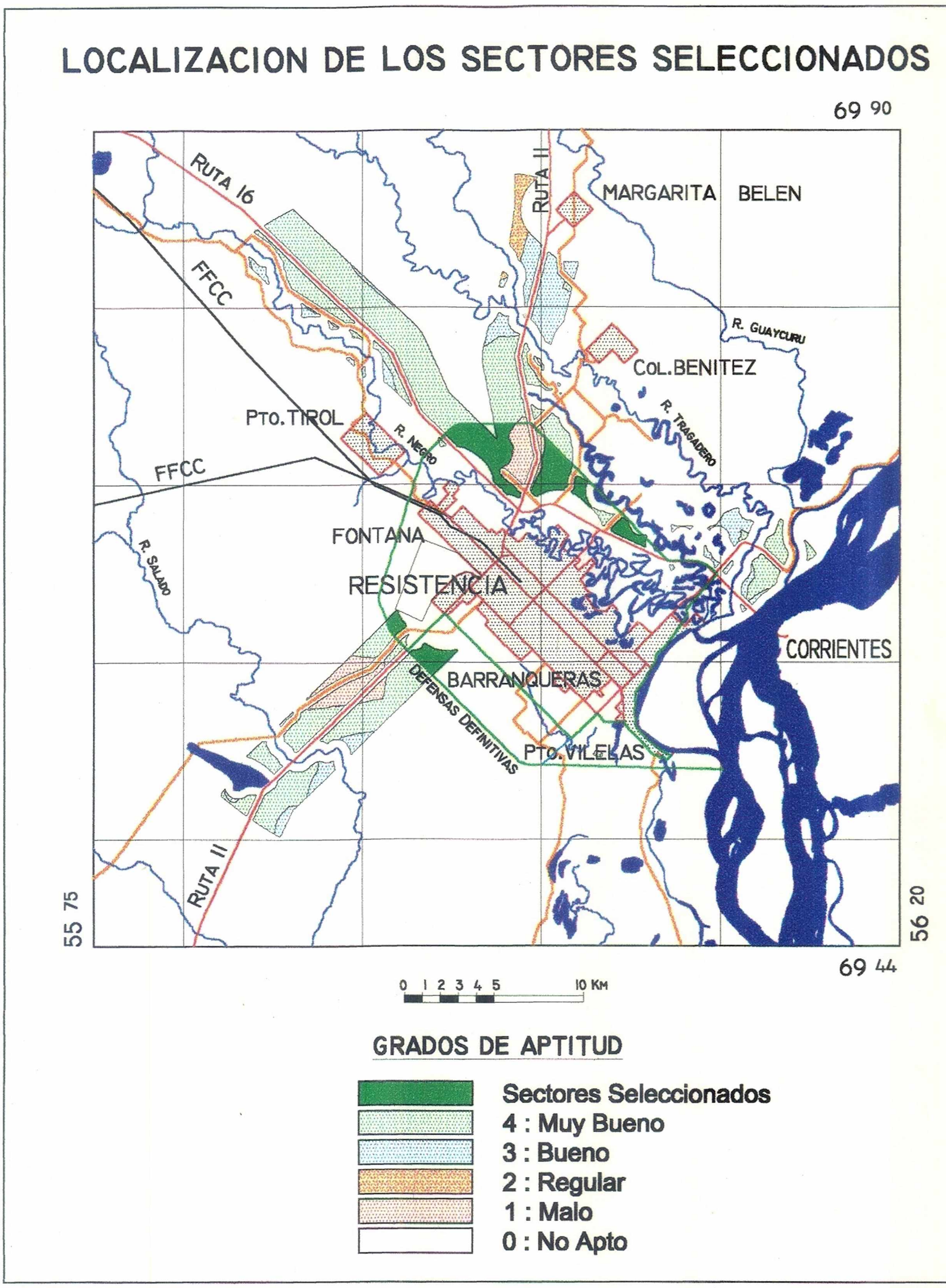


Figura 6.2: Localización de los sectores con muy buena adecuación que cumplen con el criterio de superficie y forma.

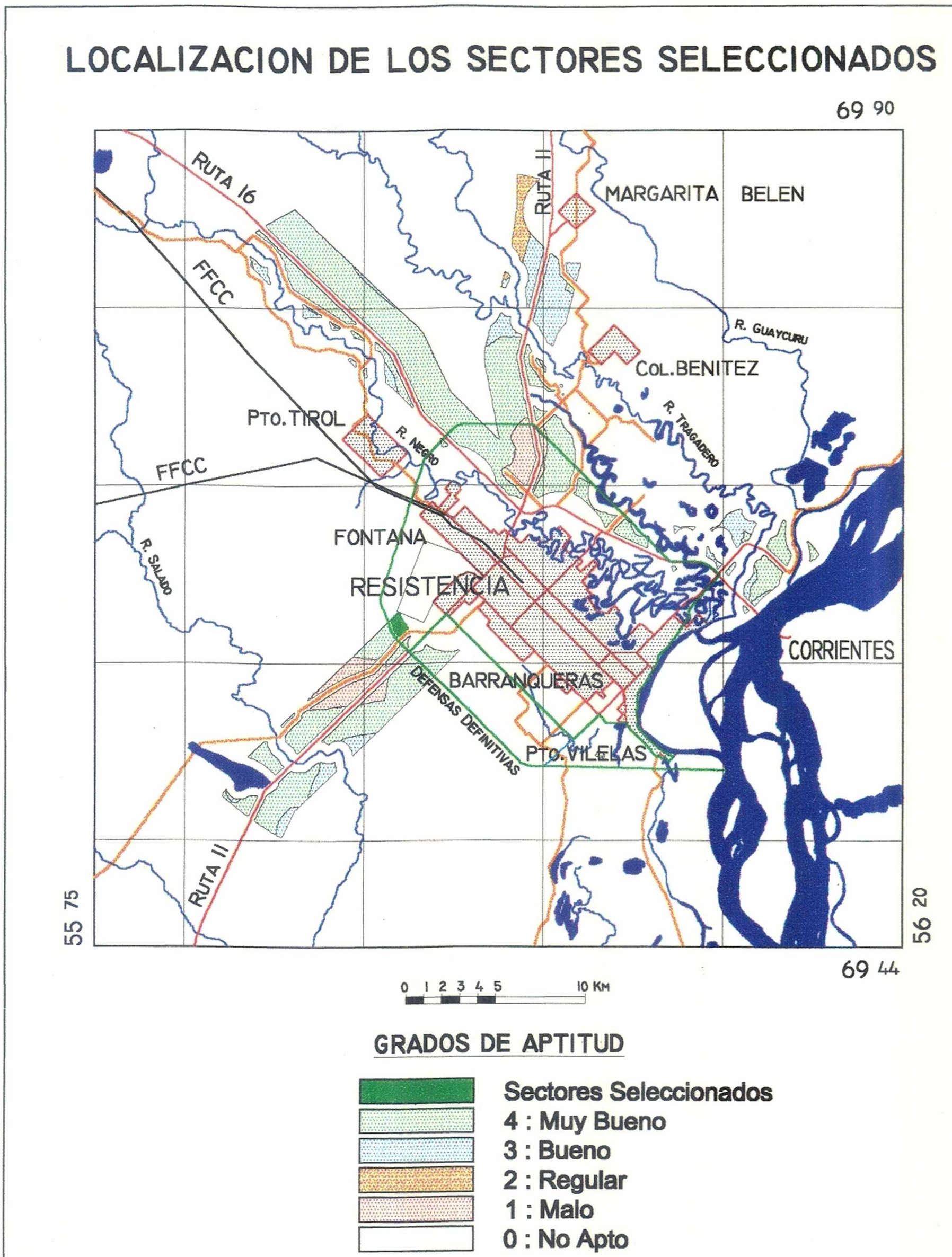


Figura 6.3: Localización del sector con muy buena adecuación que se ajusta a los usos permitidos por el Código de Planeamiento Urbano del G.R.

6.3.4 Condiciones geotécnicas

Según la recomendación dada por varios autores (e.g. LaGrega y otros, 1996; Weiss, 1974), para la instalación de un relleno sanitario es esencial conocer las características del subsuelo realizando una descripción cualitativa y cuantitativa de sus propiedades. Del análisis de los resultados obtenidos en los estudios geotécnicos se concluirá si el terreno analizado es adecuado para localizar la actividad y también cuales deben ser las soluciones tecnológicas a emplearse.

Con este objetivo se realizó un estudio geotécnico en el único sector hasta aquí seleccionado, que debido a las limitaciones presupuestarias inherente a este trabajo es bastante limitado en cuanto a los tipos y cantidades de ensayos ejecutados. No obstante, además de ofrecer una noción general del tipo de suelo existente y de sus propiedades geotécnicas, es adecuado para completar la metodología propuesta y comprobar la viabilidad de su aplicación.

6.4 Estudio geotécnico

La determinación de las propiedades geotécnicas del subsuelo se realizó en base al análisis e interpretación de ensayos y estudios de campo y laboratorio.

En campo se realizó un sondeo de reconocimiento con barreno, el cual objetivó, por un lado identificar los diferentes horizontes de suelo realizando una descripción de sus propiedades físicas, y por el otro recolectar muestras alteradas de los distintos horizontes para ser ensayadas en laboratorio. Complementariamente, la perforación resultante del sondeo con barreno se utilizó para medir la profundidad de la napa freática.

En laboratorio se realizaron ensayos para determinar la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el porcentaje retenido sobre el tamiz N° 200 de cada una de las muestras recolectadas en campo.

Los estudios y ensayos realizados en esta etapa fueron los siguientes:

De campo:

- Sondeo con barreno.
- Descripción de las propiedades del perfil de suelo.
- Recolección de muestras.
- Determinación del nivel freático.

De laboratorio:

- Determinación de la humedad natural.
- Determinación de los límites de Atterberg.
- Lavado sobre tamiz N° 200.
- Clasificación de las muestras según el S.U.C.S.
- Clasificación de las muestras según el H.R.B.

6.4.1 Descripción de los ensayos y estudios realizados

6.4.1.1 Ensayos y estudios de campo

➢ *Sondeos con barreno*

Con el objetivo de poder realizar una descripción del perfil de suelo y extraer muestras alteradas para realizar ensayos de laboratorio, se realizó un sondeo con barreno hasta 3,20 m de profundidad. En este sondeo se reconstruyó el perfil del subsuelo, colocando el suelo extraído con el barreno sobre una lona blanca extendida en la superficie del terreno. Esta lona tiene pintada una escala métrica en donde el cero representa la superficie del terreno natural. El suelo que se extrae con el barreno es colocado sobre la lona a una distancia del cero equivalente a la profundidad de donde fue extraído. Así, al finalizar la perforación puede observarse el perfil del subsuelo a partir del cual se realiza la descripción de sus propiedades físicas y la selección de muestras para ser ensayadas en laboratorio.

➢ *Descripción de las propiedades del perfil del subsuelo*

Sobre el perfil del subsuelo reconstruido en la superficie del terreno, se realizó la identificación de los diferentes horizontes que pudieran reconocerse y la correspondiente descripción de sus propiedades físicas. También se relevaron todos los datos que pudieran ser relevantes para el estudio. Esta descripción en campo del perfil se encuentra volcada en la Planilla N° 1.

➢ *Recolección de muestras*

De cada horizonte identificado se recolectaron muestras de suelo, las que fueron colocadas en bolsas de polietileno cuidadosamente cerradas e identificadas para su posterior análisis en laboratorio.

➢ *Determinación del nivel Freático*

La determinación del nivel freático, referido al nivel del terreno natural en el lugar del sondeo, se realizó mediante la medición directa permitiendo previamente una estabilización de 24 horas. Este nivel se encuentra indicado en la Planilla N° 1.

6.4.1.2 Ensayos y estudios de laboratorio

➢ *Humedad natural, límites de Atterberg y lavado sobre tamiz N° 200*

Mediante la ejecución de ensayos normalizados de laboratorio se determinó, sobre cada muestra recolectada en campo, el contenido de humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el porcentaje de suelo que pasa el tamiz N° 200. Los resultados de estos ensayos se encuentran resumidos en la Planilla N° 2.

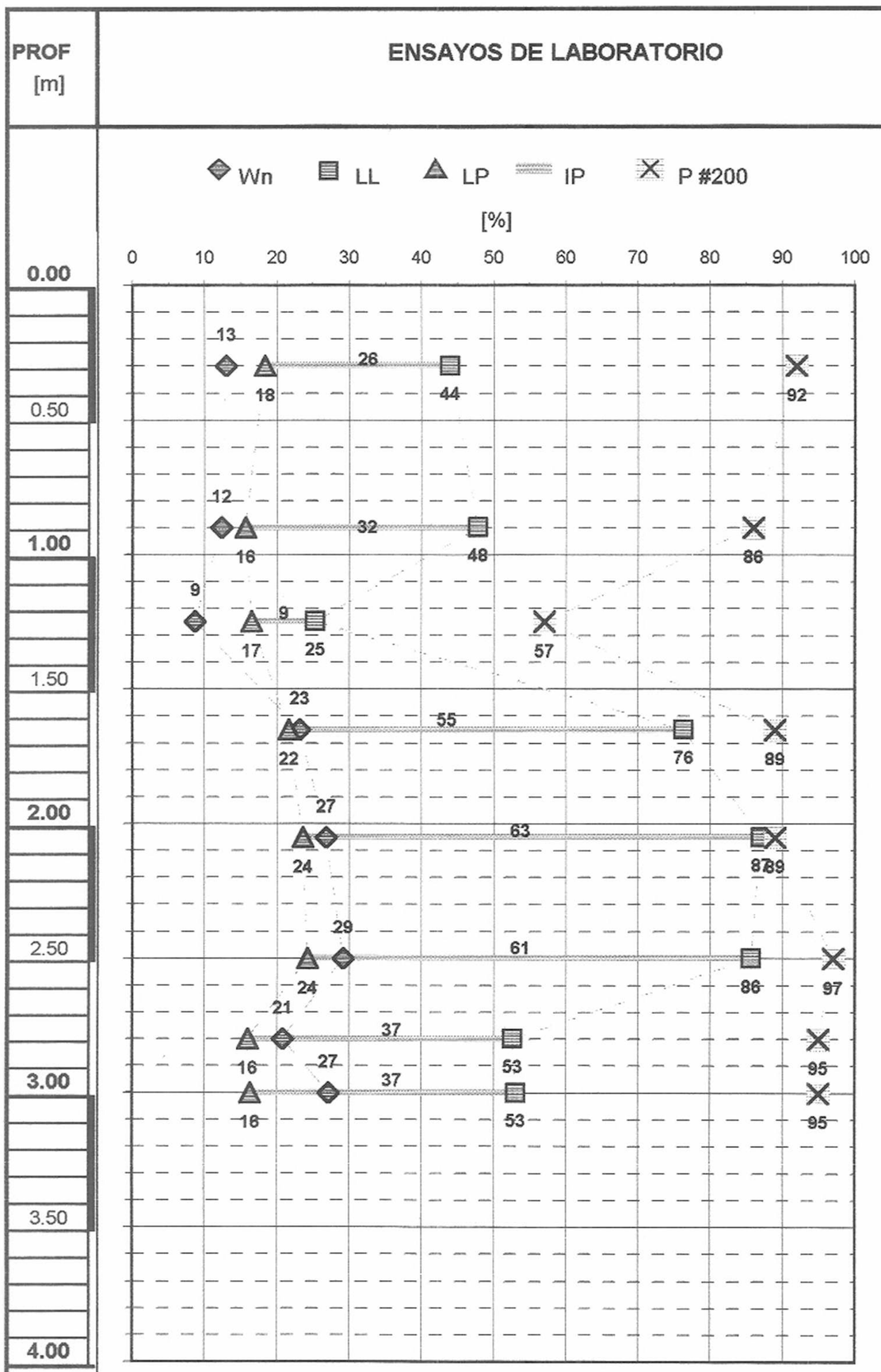
➢ *Clasificación de las muestras según el S.U.C.S. y el H.R.B.*

Con los resultados obtenidos anteriormente, se clasificaron los suelos mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) y el H.R.B. A partir de estas clasificaciones se pueden estimar algunas características sobre el comportamiento de estos suelos.

<u>Planilla N° 1:</u> Perfil estratigráfico y propiedades del suelo.

PERFIL ESTRATIGRAFICO Nº 1

FECHA : 05/05/98



S.U.C.S.	DESCRIPCION EN CAMPO DEL PERFIL
	N T N — 0.00 m
CL	**H1:** Suelo organico de color gris muy oscuro. — 0.60 m
CL	**H2:** Suelo limoso, de solor marrón. — 1.10 m
CL	**H3:** Suelo limoarenoso, de color marrón. — 1.50 m
CH	**H4:** Suelo arcilloso, de color marrón.
CH	
CH	
CH	N.F. 3.00
CH	— 3.20 m
	Fin de la perforación.

Planilla Nº 2: Resumen de los resultados de laboratorio.

BARRIO CRISTO REY

PLANIILA RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

CLASIFICACION DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S. Y H.R.B.

Perf. Nº	Muestra Nº	Profundidad de:	Profundidad a:	Wn %	Pasa Tamiz [%] #10	Pasa Tamiz [%] #40	Pasa Tamiz [%] #200	LL %	LP %	IP %	S.U.C.S.	H.R.B.	DESCRIPCION
1	1	0.0	0.6	13.0	---	---	92.0	43.9	18.3	25.6	CL	A-7-6 (25)	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad
1	2	0.6	1.2	12.3	---	---	86.0	47.8	15.7	32.1	CL	A-7-6 (28)	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad
1	3	1.2	1.5	8.7	---	---	57.0	25.3	16.4	8.8	CL	A-4 (2)	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad
1	4	1.5	1.8	23.2	---	---	89.0	76.3	21.6	54.7	CH	A-7-6 (54)	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
1	5	1.8	2.3	26.8	---	---	89.0	87.0	23.6	63.4	CH	A-7-6 (63)	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
1	6	2.3	2.7	29.1	---	---	97.0	85.6	24.2	61.4	CH	A-7-6 (69)	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
1	7	2.7	2.9	20.8	---	---	95.0	52.6	16.0	36.6	CH	A-7-6 (37)	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
1	8	2.9	3.2	27.1	---	---	95.0	53.1	16.3	36.8	CH	A-7-6 (37)	Arcilla inorgánica de alta plasticidad

6.4.2 Conclusiones del estudio geotécnico

- En base al sondeo con barreno ejecutado en el lugar de estudio se puede realizar una descripción general del perfil de suelo encontrado. Cabe aclarar que debido a la gran extensión del sector en estudio, esta descripción debe considerarse como indicativa, ya que para una mas precisa deberían realizarse sondeos complementarios.

- El perfil de suelo se caracteriza por presentar un estrato superficial, hasta los 0,60 m aproximadamente, de suelo arcilloso orgánico con restos de materia vegetal (CL). Debajo del suelo orgánico y hasta una profundidad de 1,10 m se encuentra un suelo arcilloso de media a baja plasticidad de color marrón (CL). A continuación, entre los 1,10 y 1,50 m, se encuentra un estrato de suelo arcillo-limoso de color marrón clasificado como CL en laboratorio, pero con un contenido de finos marcadamente menor a los otros estratos (57 %). Debajo de los 1,50 m y hasta el final del sondeo, existe un estrato bastante homogéneo de arcilla de alta plasticidad de color marrón.

- El nivel de la napa freática se encontraba estabilizado luego de 24 horas a 3,00 m de profundidad.

- Según los resultados de laboratorio, hasta los 1,50 m de profundidad existen arcillas de media a baja plasticidad (CL) seguidas por arcillas de alta plasticidad (CH).

- De acuerdo con los ensayos de lavado sobre tamiz N° 200, todas las muestras del perfil presentan gran contenido de finos, mas del 85 %, con excepción del estrato de suelo más limoso encontrado entre los 1,10 y 1,50 m.

- Uno de los ensayos esenciales que no pudieron realizarse debido a las limitaciones económicas del presente estudio fue el de permeabilidad in-situ. Entretanto, analizando el conjunto de resultados obtenidos y según una tabla presentada por Terzaghi y Peck (1955) y datos históricos presentados por Lambe y Whitman (1969), puede inferirse que a partir de los 1,50 m de profundidad existen suelos de muy baja permeabilidad, probablemente con un coeficiente "k" menor a 1×10^{-7} cm/seg.

- En cuanto a la utilización de estos suelos como material para la ejecución de barreras impermeables a través de su compactación, puede decirse que presentan buenas aptitudes, ya que según Sharma y Lewis (1994) los suelos clasificados como CH cuando son compactados a la máxima densidad según el ensayo de Proctor modificado alcanzar valores típicos de "k" de hasta 5×10^{-8} cm/seg. Según Sharma y Lewis (1994), este valor de permeabilidad alcanzado sería del mismo orden de magnitud que el máximo recomendado de 1×10^{-7} cm/seg.

6.5 Comentarios finales

En este capítulo se presentó la etapa selectiva del método propuesto para localizar el emplazamiento de rellenos sanitarios. A través de la exclusión escalonada aplicando distintos criterios, fueron seleccionándose grupo de sectores cada vez menos numeroso. Luego de considerarse la totalidad de los criterios, se obtuvo un único sector que se adecuaba a todos ellos.

Entre las principales características de este sector, pueden citarse:

- el cumplimiento de todos los criterios considerados de localización considerados en esta y la anterior etapa.

- su fácil accesibilidad a través de la ruta N° 11 y la antigua ruta N° 11, la que se encuentra enripiada posibilitando su acceso en épocas de lluvias.

- su ubicación suroeste con respecto a la mancha urbana, lo que no afecta la incidencia de los vientos predominantes sobre la población.

- la posibilidad de potenciar la utilización de un área que posee serias restricciones al uso urbano debido a su proximidad con el aeropuerto.

- las favorables condiciones geotécnicas que aseguran un suelo de fundación de muy baja permeabilidad y material apto para ser utilizado en barreras impermeables inferiores y superiores.

7 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Se resumen a continuación las principales conclusiones obtenidas en el desarrollo del trabajo y luego se indican algunas sugerencias para futuras investigaciones, las cuales no se han realizado en este estudio debido a las limitaciones de tiempo y presupuesto.

7.1 Conclusiones

7.1.1 Etapa eliminatoria

En esta etapa se presenta una metodología de geoprocesamiento adecuada para generar una zonificación con el objetivo de localización posibles zonas aptas para el emplazamiento de rellenos sanitarios, analizando el caso especial del Gran Resistencia.

Los resultados de la etapa eliminatoria indican que existen en la zona de estudio cuatro grandes áreas, que a priori, se presentan aptas para el emplazamiento de rellenos sanitarios. Estas grandes áreas se encuentran próximas a las rutas Nacional N° 11 y Provincial N° 16, estando cada una de ellas divididas en pequeñas sub-zonas, las que deben ser analizadas aumentando la escala de estudio mediante métodos mas apropiados.

La metodología empleada indica que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten ponderar y relacionar una serie de variables medioambientales que son determinantes para la localización de un rellenos sanitarios y que serian difíciles de manejar mediante otras técnicas.

Finalmente, las variables seleccionadas permitieron una primera delimitación de zonas. En estudios posteriores se debería estudiar la posibilidad de incluir en esta etapa otras variables para permitir ajustar la metodología presentada.

7.1.2 Etapa selectiva

Los criterios que no pueden ser incluidos en la etapa eliminatoria debido a la escala de trabajo regional utilizada deben ser considerados posteriormente utilizando una escala de trabajo local, analizando cada sector en particular. Estos criterios pueden ser de tipo medioambiental, técnico, legal, social, económico o político, entre otros.

En esta etapa se utilizó con buenos resultados un método basado en el de exclusión escalonada (LaGrega, 1996) en el cual los criterios son aplicados en forma unitaria y secuencial.

Para la aplicación de los criterios se sugiere comenzar con aquellos que menores recursos técnicos y económicos demandan; obteniéndose así una rápida eliminación de numerosos sectores y permitiendo reservar los estudios mas complejos para un pequeño número de terrenos.

7.1.3 Generales

En este trabajo se sugiere una metodología que se juzga adecuada para localizar el emplazamiento de rellenos sanitarios, estudiando el caso particular del Gran Resistencia. La metodología propuesta se subdivide en una etapa eliminatoria y una selectiva, las que se diferencian por la escala de trabajo y métodos utilizados.

El resultado obtenidos para el caso del Gran Resistencia indica que existe sólo un sector que cumple con todos los criterios de localización considerados.

Aunque los criterios aquí presentados son importantes, y aún imprescindibles, en la selección de un área para la localización de un relleno sanitario, existen otros factores que influencían la efectiva utilización y pueden inclusive, eliminar áreas seleccionadas por tales criterios. Estos factores son de orden político, económico y sociales. En lo económico puede citarse, entre otros, el costo de expropiación de los terrenos seleccionados. El aspecto político tiene una importancia relevante en lo que se refiere a las influencias externas que se ejercen al momento de la toma de decisiones para solucionar el problema de la disposición final de los residuos sólidos urbanos. Como factor social se encuentra la resistencia de los vecinos y asociaciones ambientalistas a la implantación de este tipo de instalaciones.

Finalmente, se estima que el método puede ser utilizado con buenos resultados en otras zonas con similares características a la del Gran Resistencia.

7.2 Sugerencias

Si bien el estudio geotécnico llevado a cabo en este trabajo demostró que el sector seleccionado presenta buenas aptitudes, es necesario ampliar el estudio realizado. Esto implicaría ejecutar mayor cantidad de ensayos e introducir algunos nuevos, como por ejemplo, ensayos de permeabilidad en campo, de permeabilidad sobre muestras compactadas, de dispersión y de expansión, entre otros.

Entre los criterios considerados en la etapa selectiva, se sugiere agregar el estudio del impacto ambiental que la nueva localización del relleno sanitario ocasionaría sobre el medio natural y antrópico.

Complementariamente a esta propuesta de cambio de tecnología en el destino final de los residuos sólidos urbanos para el Gran Resistencia, se debería estudiar el saneamiento de todos los antiguos vertederos para asegurar una acción completa de prevención sobre la salud pública y el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barreto, Miguel Angel; Inundaciones en el gran Resistencia durante 1982-1983: Comportamiento del sistema urbano y la Renta del suelo durante la Crisis, en Entorno a las Inundaciones Recurrentes, Cátedra de Sociología Urbana, cuaderno 1, Fac. de Arquitectura y Urbanismo, Resistencia 1993 (Cuaderno Técnico).

Bidone, F.R.A. Tratamento e disposição final de resíduos sólidos domésticos. Instituto de Pesquisas Hidraúlicas. UFRGS. 1996.

Bosque Sendra J., Cebrán de Miguel J., Jiménez Blasco B., Moreno Jiménez A., Muguruza Cañas C., Rodríguez Rodríguez V.,Rojo Pérez F., Santos Preciado J., Vidal Domínguez M., 1988. Aplicaciones de la informática a la geografía y ciencias sociales. Ed. Sintesis S.A., Madrid, España.

Bosque Sendra J., Escobar Martines F.J., Garcia Hernandea E. y Salado Garcia M.J., 1994. Sistemas de Información Geográfica: prácticas con ARC/INFO e IDRISI, Ed. RA-MA, Madrid, España, 478p.

Carbajal, S.M. Evaluación del sistema de optimización de gestión de residuos urbanos sólidos, en la localidad de Saladas. Monografia. Maestria en Gestión Ambiental y Ecología. 1995.

Chuvieco J.; 1995, Elementos de Teledetección.

Daitx Valls, Alvaro Antonio et al. Critérios para a localização de aterros sanitário. METROPLAN, n.2, 1993.

Diaz Colodrero, J.M.; 1995, Monografía. Maestría en Gestión Ambiental y Ecología. 1995.

Drago, E.C. 1990. Geomorphology of large alluvial rivers: lower Paraguay and middle Paraná. Interciencia, 15. 373-387.

Eastman, J.R. y otros; 1993. GIS and Decision Making. Explorations in Geographic Information Systems Technology. Vol.4, Ginebra, UNITAR European Office, 112p.

Eastman, J.R.. IDRISI for Windows - User's Guide. 1995.

Figueiredo C. y Bozza J.L., 1993. Obras de protección al medio ambiente, Manual técnico Geotextil Bidim, San Pablo, Brasil.

Hess, A. Producción y disposición de residuos sólidos urbanos. Monografía. Maestría en Gestión Ambiental y Ecología. 1995.

LaGrega, M.D. y otros; 1996. Gestión de residuos tóxicos - Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos. Ed. McGraw Hill, 1316p.

Lambe W. y Whitman R.; Soil Mechanics, SI Version. John Wiley & Sons, Inc. 1979, 553p.

Mansur Aisse M., Oblanden N.L. y Sherer dos Santos A., 1984. Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos, Ed. Intituto de Tecnologías Apropriadas ao Homem, Porto Alegre, Brasil.

Ministerio de Economía, Obras y Servicios Públicos, Dirección de Estadísticas y Censos, Censo Nacional de Población y Vivienda 1991, 1992, Serie B n.15. Impreso en la Dirección de Estadísticas y Censos en 1992. 14pp.

Motor Columbus y Asociados. 1979. Estudio de crecidas del río Paraná. EBY.

NCGIA, 1990. Core Curriculum. Vol.1: Introduction to GIS. Santa Barbara, CA. National Center for Geographic Information and Analysis. University of California.

Pettri Flores, M.D. Residuos sólidos urbanos, alternativas de tratamiento y disposición final. Breve descripción de la situación actual en la ciudad de Posadas. Monografia. Maestria en Gestión Ambiental y Ecología. 1995.

Popolizio E. y Serra P., 1980. La Geomorfología en los Estudios Ecológicos de la Llanura, Geociencias, Nro.9,pag.1-20, publicación del Centro de Geociencias Aplicadas.

Popolizio E., 1973. Geomorfología de las áreas inundadas e inundables del NEA, Adm. Prov. de R.C. Hídricos, pag. 43-72, Ed. Región, Resistencia.

Popolizio E., 1978. Fotointerpretación aplicada al estudio de la cuenca del rio Negro - Provincia del Chaco. Centro de Geociencias Aplicadas. Serie C - Investigación, Tomo 14. UNNE.

Popolizio E., 1978. Geomorfología de los bajos submeridionales. Centro de Geociencias Aplicadas. Serie C - Investigación, , Tomo 13. UNNE.

Popolizio E., 1980. Bajos submeridionales - Grandes unidades taxonómicas del Chaco. Centro de Geociencias Aplicadas. Serie C - Investigación. UNNE.

Popolizio E., 1982. Geomorfología aplicada a las obras civiles en las llanuras. Geociencias, Nro.10, pag.3-12, publicación del Centro de Geociencias Aplicadas.

Popolizio E., 1985. Criterios para la concepción de obras de infraestructura en áreas afectadas por crecientes e inundaciones. Geociencias, Nro.13, pag.3-18, publicación del Centro de Geociencias Aplicadas.

Popolizio, E. 1989, Algunos elementos geomorfológicos condicionantes de la organización espacial y las actividades del NEA , Geociencias XVII, n.17, pp.3-12.