



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
Y MUSEO

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS  
DE SOPORTE DE DECISIONES MULTIPROPÓSITO  
A ESCALAS URBANA Y RURAL

*Ilda Entraigas*

Director:

Dr. Eduardo Usunoff

Co-Director:

Dr. Eduardo Kruse

## RESUMEN

La toma de decisiones basada en información adecuada requiere tanto de la disposición para establecer los nexos necesarios entre las “lagunas” de datos como del mejoramiento en la disponibilidad de la información. Existen algunas bases de datos en el mundo que son ejemplos de intenciones por satisfacer tales requerimientos, pero a pesar de su utilidad como colecciones sistemáticas de datos y análisis, su potencial de aplicación en planeamiento ambiental y toma de decisiones es muy limitado. Esto se debe a la carencia de un esquema conceptual referente al funcionamiento de los sistemas naturales.

La comprensión completa de la estructura y función del ambiente es particularmente dependiente de la disponibilidad de información confiable que permita a los tomadores de decisiones el usar un criterio científico más que intuitivo, como ocurre a menudo. Esto último ocasiona que muchas decisiones locales y proyectos de gran envergadura sean realmente experimentos que se llevan a cabo directamente sobre el ambiente, y no pasen por una etapa de ensayos de prueba y error previos que permitan la toma de decisiones adecuadas. Esta información no consiste en vastas colecciones de datos, ni aún en su almacenaje y disposición en computadoras. Las raíces de estos desajustes ambientales no son el resultado de la falta de datos sino más bien de la carencia de un flujo de información entre los diferentes componentes de un sistema complejo, como lo es el ambiente.

En Argentina, en la gran mayoría de los estamentos gubernamentales, tanto a escala urbana como rural, se desconoce de qué manera varían espacialmente la mayoría de los diferentes parámetros ambientales y, en aquellos casos en que se tienen algunos esbozos de cómo se distribuyen ciertas variables, no se dispone de mecanismos que posibiliten su consideración simultánea para la toma de decisiones, por ejemplo, en el área del ordenamiento territorial o planificación del uso de la tierra teniendo en cuenta fortalezas y debilidades de la región. Pero además de las típicas cuestiones de localización óptima (de barrios residenciales, industrias, cementerios, basureros, etc.) que se verían notoriamente mejoradas en

caso de contar con bases de datos digitales organizadas y mapas de variación espacial, hay otros aspectos de la vida cotidiana no menos importantes que los citados, que también podrían verse favorecidos en caso de concretarse tal situación. Justamente, la situación problemática observada en este caso, fue la determinación del valor de la tierra libre de mejoras, a escalas urbana y rural y para cada partido de la provincia de Buenos Aires, que llevan adelante Comisiones Asesoras que participan en el Revalúo Fiscal. Los integrantes de dichas comisiones eligen, describen y examinan las variables que consideran relevantes para dicho objetivo y luego, intentando tener simultáneamente en mente dichas variables, proponen los valores para cada unidad de análisis. Ante esta realidad surge la pregunta: ¿no habrá una manera menos subjetiva y automática de determinar el valor de la tierra?

Un Sistema de Soporte de Decisiones (SSD) es una herramienta asistida por computadora que posee características interactivas, gráficas y de modelación con el objetivo de analizar y buscar una solución a problemas específicos y asistir a los individuos en el estudio y búsqueda de soluciones a sus problemas de gestión. Esto posibilita a los tomadores de decisiones combinar el criterio personal con la salida de la computadora en una interfase usuario-máquina que permite producir información de calidad para subsidiar un proceso de toma de decisiones.

Esta investigación pretende realizar un aporte a la implementación de un SSD, esto es, aplicar la integración entre todos sus componentes: la base de datos, las herramientas de evaluación y la aplicación de modelos. Por otro lado, se intentará demostrar la implementación de esta metodología a escalas muy diversas: la urbana (tomando como caso la ciudad de Azul) y la rural (tomando como caso la cuenca del arroyo del Azul). Todo esto con el fin de proveer herramientas que sean útiles a los tomadores de decisiones al momento en que tengan que proponer alternativas de gestión y administración de los recursos naturales de la zona en estudio. Pero, precisamente, que esas decisiones se hagan sobre un fehaciente e integral conocimiento del ambiente; por eso la propuesta de evaluar y considerar una gran diversidad de variables y analizar conjuntamente las mismas.

Los SSD ofrecen la capacidad de elaborar una decisión a partir de la integración de información alfanumérica con parámetros geográficos, y así modelar los procesos y análisis espaciales para generar información nueva

El modelo conceptual fue construido a partir de la lectura de publicaciones especializadas y, sobre todo, de los comentarios de distintos integrantes de las Comisiones Asesoras Locales acerca de sus propias experiencias en la tarea de definir los Valores Básicos Unitarios, específicamente en cuanto a los criterios tenidos en cuenta para tal fin. A partir de allí, quedó claro que:

- A escala urbana, un lote tipo tendría un determinado valor según su distancia a: el centro geográfico de la ciudad, los centros comerciales, las vías de acceso a la ciudad, las avenidas, el asfalto, el agua corriente, el gas, las cloacas, el alumbrado público, los puntos conflictivos, los lugares de mayor valor estético, los focos contaminantes (basureros y rellenos sanitarios, cementerios, industrias de la cerámica, canteras, molinos harineros, plantas de silos, criaderos de pollos, frigoríficos, curtiembre, corralón municipal, parque industrial, plantas transformadoras y estaciones de gas); y según la calidad de las viviendas.
- A escala rural, un campo tipo tendría un determinado valor según su distancia a las rutas, las líneas de media tensión y los centros urbanos; su distancia a los caminos rurales y al estado de los mismos; la anegabilidad de sus tierras; la calidad y el uso actual de sus tierras; la calidad y disponibilidad de agua para los distintos usos (riego, consumo humano y para el ganado).

A escala urbana se construyó cada mapa temático y se planteó su intersección con los restantes aspectos del sistema a partir de una grilla regular de píxeles de 15,3 m de lado, conformando una matriz con 387.464 unidades participantes efectivamente del análisis, es decir que pertenecen a una determinada unidad catastral. Posteriormente, al momento de analizar el modelo resultante y plantear la validación de los escenarios posibles, se eligió como unidad



de análisis la manzana, elemento que en algunos casos presenta una importante variedad de dimensiones, pero que en general posee una cierta homogeneidad funcional y urbanística. En las zonas de la periferia, donde no están demarcadas aún las manzanas, se optó por la unidad catastral existente delimitada por calles, ya sea quinta o chacra. En total, quedaron definidas 2016 unidades catastrales.

A escala rural se construyó cada mapa temático y se planteó su relación con los restantes a partir de una grilla regular de píxeles de 30 m de lado, conformando una matriz de 6.927.216 unidades. Posteriormente, al momento de analizar el modelo resultante y plantear la validación de los escenarios posibles, se eligió como unidad de análisis el cuartel, unidad catastral de amplia aplicación en los estudios rurales y que también gozan de una relativa homogeneidad interna. En total quedaron involucrados (total o parcialmente) 31 cuarteles correspondientes a los partidos de Azul, Las Flores, Rauch, Tapalqué, Olavarría y Benito Juárez.

Para la obtención del valor relativo de la tierra se optó por uno de los métodos de evaluación multicriterio, el denominado Promedio Ponderado Ordenado, el cual ofrece un espectro completo de estrategias de decisión a lo largo de las dimensiones primarias del grado de intercambio involucrado y del grado de riesgo en la solución. Este método involucra dos vectores de pesos: los pesos de importancia para cada criterio y los pesos de orden.

Así, se plantearon seis escenarios a partir de distintas combinaciones, desde el planteo más conservador, asumiendo un riesgo muy bajo y sin ninguna compensación (A), es decir utilizando un operador de mínimos, hasta un escenario de mayor predisposición al riesgo (F), pasando por una combinación lineal ponderada (D), donde todas las posiciones evaluadas tienen igual peso, y escenarios intermedios (B, C, E).

Aquí se destaca claramente cómo en los métodos multicriterio que participan en los sistemas de soporte de decisiones pesa fuertemente el paradigma constructivista, ya que el objetivo primordial es la generación de conocimiento, dándole importancia a la subjetividad del modelador (sus valores, objetivos, preconceptos, cultura, intuición), dentro de su propio cuadro de referencia mental.

## **ABSTRACT**

Taking decisions based on adequate information requires the willingness to establish the links among the lacking data as well as bettering the availability of information. Many databases in the world are examples of how to satisfy such purposes but, in spite of their usefulness as systematic collection of data and analysis, their potential application in environmental planning and decision-making is rather limited. That is due to the lack of a conceptual scheme on the functioning of natural systems.

The complete understanding of the structure and function of the environment is particularly dependent on the availability of trusting information so that, as often happens, decision-makers may rely on scientific criteria instead of mere intuition. As a result, many local decisions or wide-ranging projects become real experiments that are carried out in the environment itself, avoiding previous stages of trial and error essays for taking rational decisions. Such information is not made up of vast collections of data, not even in its storage and availability in computers. The roots of such an environmental disagreement are not the shortage of data, but rather the lack of a proper information flow among the various components of a complex system, such as the environment.

In Argentina, most of the government agencies are not really aware of the spatial variability of most of the environmental parameters (both at the urban and rural scales). Even in those cases where there are sketchy views on the distribution of certain variables, there are no mechanisms for assessing their simultaneous consideration for decision-making purposes, e.g., territorial ordering or land use planning given the region's strength and weak points. But, besides the typical issues of optimal locations (of residential neighborhood, industries, graveyards, rubbish dumps, etc.), which can be obviously improved counting on digital, well-organized databases and maps of spatial variation, there are many aspects of the daily life (no less important than those pointed out) that could also be favored if such shortcomings are solved. Fairly to the point, in this case the problem had its origin in determining the value of lands free of improvements, at urban and rural scales for each county of Buenos Aires Province, which is carried out by Adviser Committees that take part on the Fiscal Value Reassessment. Such

committees choose, describe and examine the variables which they deem relevant for such a purpose and then, keeping in mind those variables, propose the values for each analyzed unit. Given such a procedure, the question is: Is there a less subjective, automatic manner of determining the land value?

This investigation aims at achieving a contribution to the implementation of a Decision Support System (DSS), i.e., to establish the integration among all the components: the data base, the evaluation tools, and the application of models. The methodology has been applied in areas of much different size: urban (the Azul City) and rural (the Azul River Basin). The idea is to come up with tools useful for decision-makers whenever they have to propose alternatives for management and administration of the natural resources in the study area. Those alternatives will be built on the basis of a proper and integral knowledge of the environment, given the proposal of evaluating a great diversity of variables and analyzing their interplay as a whole.

The DSS have the capacity of shaping up a decision from the integration of alphanumeric information together with geographical parameters, giving rise to new information from processes modeling and spatial analyses.

The conceptual model was built taking into account concepts from the available literature and, above all, from comments of members of Local Adviser Committees about their own experience on defining the Unit Basic Values and, more specifically, on the criteria they took into account. It became clear that:

- At the urban scale, a given unit has a value according to its distance to: the geographical center of the city, the shopping centers, the routes to access the city, the main streets, the existence of asphalt, safe water-supply, gas, sewage disposal, public lighting, controversial points, places with a certain aesthetic value, potential contaminant points (waste dumps, sanitary landfills, graveyards, ceramic-type industries, quarries, flour mills, grain storage facilities, chicken breeding places, cold-storage plants, tanneries, municipal-owned yards, industrial clusters, electrical energy transformation plants, and main gas pipes); and according to the quality of the dwelling.

- At the rural scale, a country property would have a value according to the distance to: main routes, the access to electrical energy, urban centers; its distance to country roads and their state; the risk of flooding of the lands; the quality and current land use; the availability and quality of water for several uses (irrigation, human and livestock consumption).

Many thematic maps were built for the urban domain, which were overlapped with other aspects of the system from a regular grid (pixels of 15.3 m), which led to a matrix of 387.464 units that take part of the analysis, that is to say that they belong to a given cadastral unit. Later on, when it came to analyzing the resulting model and to posing and validating the possible scenarios, the unit of analysis was the block, which in some cases is of varying size, although in general shows a certain functional and urban homogeneity. In the outskirts area, where the blocks are not yet defined, the cadastral unit chosen was that limited by streets, being either orchards or smallholdings. In all, 2016 cadastral units were so defined.

The thematic maps for the rural domain were overlapped from a regular grid (pixels of 30 m), yielding a matrix of 6.927.216 units. Later on, when it came to analyzing the resulting model and to posing and validating the possible scenarios, the unit of analysis was the rural quarter, which is a cadastral unit of a relative internal homogeneity of common use in rural studies. In all, 31 quarters were involved (total or partially), which belong to the counties of Azul, Las Flores, Rauch, Tapalqué, Olavarría, and Benito Juárez.

In order to obtain the land relative value, one of the methods of the multi-criteria evaluation was used, the one known as Ordered Weighting Average, which offers a comprehensive spectrum of decision strategies along the primary dimensions of the involved degree of interchange and the risk of the solution. This method considers two weighting vectors: the weight of importance for each criterion, and the weights of order.

Using different combinations, six scenarios were set up, from the most conservative option, assuming a very low risk and without compensation (A) -that is, using a minimum operator-, up to a scenario of much greater risk, including a weighted linear combination (D), where all the evaluated positions have equal weight, and intermediate scenarios (B, C., E).

It stands out that, in multi-criteria methods used for DSSs, the weight is posed on the paradigm of constructivism, inasmuch as the main objective is the generation of knowledge, with proper attention given to the modeler subjectivity (his/her values, objectives, pre-concepts, culture, intuition), within his/her own mental reference framework.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer cariñosamente a:

- ✘ Eduardo Usunoff y Eduardo Kruse, por la libertad y la confianza.
- ✘ Marcelo Varni y Marcelo Gandini, por estar siempre atentos a mis pedidos (muy reiterados, por cierto) y ser tan generosos con su genialidad.
- ✘ Paola Alí, por digitalizar bellamente mis ideas.
- ✘ Georgina Piti Cazenave, Guadalupe Ares, Fabio Peluso, José González Castelain, Pablo Winzettel, Daniel Arias, María Emilia Cabeza Zabala, Enrique Chino Queupán, Lorena Rodríguez, Fabricio Gacela Lerchundi, Raúl Rivas, Luis Vives, Carlos Scioli, Natalia Othax, Sebastián Mola, Adolfo Villanueva, Fernanda Gil, Flavia Pelizardi, Julieta Merli, en fin... mis compañeros del IHLLA (muchos de ellos, además, amigos entrañables) que hacen de nuestro lugar de trabajo el más placentero entre todos.
- ✘ Personal del municipio (Héctor Comparato, Pablo de Martín, Yeni) y de la Cooperativa Eléctrica (Julio Ginepro, David Calá) por la provisión de datos.
- ✘ Mis amigos de la vida (Fabián Grosman, Adriana Confalone, Chino y China Maciel, Vilma Manfreda, Marcela León, Lali Zugasti, Alicia y Batata Combessies), totalmente ajenos a la temática de mi tesis pero que sin pretenderlo me llenan de energía y de ideas continuamente.
- ✘ Fernanda Burgos, Sandra Hollman, Virginia Cabral, Emilia Zafora y Graciela Maccari, por haber cuidado a mis hijitos.
- ✘ Tantos azuleños con quienes comparto sonrisas, miradas y saludos por las calles de la ciudad, por hacer que siga eligiendo este lugar entre todos.
- ✘ Los pobladores rurales de la cuenca, por su amabilidad y hospitalidad.
- ✘ Mis docentes en todas las etapas, desde la primaria hasta el postgrado, por enseñarme que el límite de mi universo es el de mi lenguaje.
- ✘ Los Entraigas, Davies, Sahyueque, Zuccato y Sánchez, por acompañarme siempre.
- ✘ Mis abuelos, padres, hermanos y sobrinos, por ser yo misma en distintos lugares y tiempos.
- ✘ Marcos, Mariana, Manolo y Milena Zuccato...

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
I.1. Formulación del problema y las hipótesis .....	3
I.2. Objetivos .....	4
I.3. Área de estudio.....	6
I.4. Estructura de la tesis .....	11
MARCO TEÓRICO .....	12
II.1. Perspectiva paradigmática.....	12
II.2. Conceptos y características de los Sistemas de Soporte de Decisiones ...	16
II.3. Evolución de los SIG y su aporte a los SSD .....	19
II.4. Situación en la Argentina.....	22
II.5. El valor de la tierra .....	25
PROPUESTA METODOLÓGICA .....	29
III.1. Marco conceptual general de la propuesta metodológica .....	29
III.2. El mundo real .....	32
III.3. El modelo conceptual.....	32
III.4. El modelo digital.....	36
III.4.1. Herramientas informáticas.....	36
III.4.2. Unidades de análisis.....	37
III.4.3. Variables.....	39
III.4.4. Herramientas de evaluación multicriterio .....	47
III.4.5. Herramientas de evaluación de la incertidumbre .....	52
ESCALA URBANA.....	55
IV.1. Aplicación de la metodología .....	55
IV.1.1. Construcción del mapa base .....	55
IV.1.2. Construcción de los mapas temáticos .....	56
IV.1.3. Definición de los parámetros de la evaluación multicriterio.....	70
IV.1.4. Aplicación de las herramientas de evaluación multicriterio y de la incertidumbre.....	75
IV.2. Análisis de los resultados.....	83
ESCALA RURAL.....	90
V.1. Aplicación de la metodología.....	90
V.1.1. Construcción del mapa base.....	90
V.1.2. Construcción de los mapas temáticos .....	92
V.1.3. Definición de los parámetros de la evaluación multicriterio .....	105
V.1.4. Aplicación de las herramientas de evaluación multicriterio y de la incertidumbre.....	110
V.2. Análisis de los resultados.....	118

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES.....	125
VI.1. Conclusiones.....	125
VI.2. Líneas futuras de investigación.....	127
VI.3. Consideraciones finales.....	128
 BIBLIOGRAFÍA CITADA .....	 132
 ANEXO A.....	 144
 ANEXO B.....	 145
 ANEXO C.....	 149
 ANEXO D.....	 155
 ANEXO E.....	 161



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1 Ubicación relativa de la ciudad de Azul y límites del distrito. ....	6
Figura I.2 Vista área de la ciudad de Azul en la que se distingue el curso del arroyo del Azul en dirección Sur-Norte y algunos puntos de interés. ....	7
Figura I.3 Ubicación relativa de la cuenca del arroyo del Azul. ....	9
Figura III.1. Proceso de toma de decisiones espaciales a través del apoyo geotecnológico (adaptado a partir de los conceptos y gráficos propuestos por Reitsma <i>et al.</i> , 1996; Buzai, 1999, 2003 y Bian <i>et al.</i> , 2004). ....	31
Figura III.2. Modelo conceptual para la determinación de los Valores Unitarios Básicos para el Valor de la Tierra Libre de Mejoras a escala urbana.....	34
Figura III.3. Modelo conceptual para la determinación de los Valores Unitarios Básicos para el Valor de la Tierra Libre de Mejoras a escala rural. ....	35
Figura III.4 Sistema de matrices de datos de la presente investigación. ....	39
Figura III.5. Funciones sigmoideas para la estandarización.....	51
Figura III.6. Funciones lineales para la estandarización. ....	51
Figura III.7. Espacio de decisión en función del riesgo y la compensación. ....	53
Figura III.8. Ubicación aprox. de los escenarios planteados en el espacio de decisión. ....	54
Figura IV.1. Mapa base a escala urbana con la identificación de las unidades catastrales. ....	55
Figura IV.2. Tratamiento de la variable Distancia al centro geográfico. ....	57
Figura IV.3. Tratamiento de la variable Distancia a los centros comerciales. ....	58
Figura IV.4. Tratamiento de la variable Distancia a los accesos a la ciudad.....	59
Figura IV.5. Tratamiento de la variable Distancia a las avenidas.....	60
Figura IV.6. Tratamiento de la variable Distancia al asfalto. ....	61
Figura IV.7. Tratamiento de la variable Distancia al agua corriente.....	62
Figura IV.8. Tratamiento de la variable Distancia al gas.....	63
Figura IV.9. Tratamiento de la variable Distancia a las cloacas. ....	64
Figura IV.10. Tratamiento de la variable Distancia al alumbrado público. ....	65
Figura IV.11. Tratamiento de la variable Distancia a los puntos conflictivos. ....	66
Figura IV.12. Tratamiento de la variable Distancia a los lugares de mayor valor estético.....	67
Figura IV.13. Tratamiento de la variable Distancia a los focos contaminantes...	68

Figura IV.14. Tratamiento de la variable Calidad de las viviendas. ....	69
Figura IV.15. Distribución de las cargas en los componentes 1 y 2.....	72
Figura IV.16. Mapa e histograma del Escenario A de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	76
Figura IV.17. Mapa e histograma del Escenario B de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	77
Figura IV.18. Mapa e histograma del Escenario C de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	78
Figura IV.19. Mapa e histograma del Escenario D de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	79
Figura IV.20. Mapa e histograma del Escenario E de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	80
Figura IV.21. Mapa e histograma del Escenario F de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	81
Figura IV.22. Detalle de la zona central del área de estudio, según los distintos escenarios propuestos.....	82
Figura IV.23. Mapa de valores de la tierra libre de mejoras propuesto por la Comisión Asesora Local. ....	83
Figura IV.24. Diferencia porcentual entre los valores de la C.A. y cada uno de los escenarios propuestos.....	85
Figura IV.25. Reclasificación de las diferencias porcentuales entre los valores de la C.A. y los escenarios propuestos en 9 intervalos.....	86
Figura IV.26. Líneas de acción llevadas adelante para la resolución del problema a escala urbana. ....	89
Figura V.1. Mapa base a escala rural con la identificación de las unidades catastrales. ....	90
Figura V.2. Detalle de las cartas topográficas del IGM (1:50000) involucradas en el área de la cuenca del arroyo del Azul. ....	91
Figura V.3. Tratamiento de la variable Distancia a las rutas.....	93
Figura V.4. Tratamiento de la variable Distancia a las líneas de media tensión. ....	94
Figura V.5. Tratamiento de la variable Distancia a los centros urbanos.....	95
Figura V.6. Tratamiento de la variable Distancia y estado de caminos rurales. ....	96
Figura V.7. Tratamiento de la variable Anegabilidad de las tierras.....	97

Figura V.8. Tratamiento de la variable Calidad de las tierras. ....	98
Figura V.9. Tratamiento de la variable Uso actual de las tierras.....	99
Figura V.10. Tratamiento de la variable Disponibilidad de agua para los distintos usos. ....	100
Figura V.11. Tratamiento de la variable Concentración de nitratos. ....	101
Figura V.12. Tratamiento de la variable Relación de adsorción de sodio. ....	102
Figura V.13. Tratamiento de la variable Conductividad eléctrica.....	103
Figura V.14. Tratamiento de la variable Sólidos totales disueltos. ....	104
Figura V.15. Distribución de las cargas en los componentes 1 y 2.....	106
Figura V.16. Mapa e histograma del Escenario A de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	111
Figura V.17. Mapa e histograma del Escenario B de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	112
Figura V.18. Mapa e histograma del Escenario C de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	113
Figura V.19. Mapa e histograma del Escenario D de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	114
Figura V.20. Mapa e histograma del Escenario E de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	115
Figura V.21. Mapa e histograma del Escenario F de valores relativos de la tierra libre de mejoras. ....	116
Figura V.22. Detalle de la zona central del área de estudio, según los distintos escenarios propuestos.....	117
Figura V.23. Mapa de valores de la tierra libre de mejoras propuesto por la Comisión Asesora Local. ....	118
Figura V.24. Diferencia porcentual entre los valores de la C.A. y cada uno de los escenarios propuestos.....	120
Figura V.26. Líneas de acción llevadas adelante para la resolución del problema a escala rural. ....	124
Figura B.1. Máscaras de agua y mapa de Anegabilidad promedio, con detalle.	148
Figura C.1. Unidades cartográficas (con detalle), Series, Subgrupos y Grupos identificados a partir de las Cartas de Suelo (INTA).....	152

Figura D.1. Dinámica del uso de la tierra para el período abril de 2005 - marzo de 2006. ....	159
Figura E.1. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores de niveles freáticos para la variable Disponibilidad de agua para los distintos usos. ....	164
Figura E.2. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores Concentración de Nitratos. ....	165
Figura E.3. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores RAS. ....	166
Figura E.4. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores Conductividad eléctrica de las aguas subterráneas. ....	167
Figura E.5. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores de TDS. ....	168

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla III.1. Lugares involucrados en la determinación de variables “Distancia a...”	40
Tabla IV.1. Estadísticos básicos de las variables originales (sin estandarizar) y funciones de estandarización y puntos de inflexión.	56
Tabla IV.2. Varianza explicada y valores propios de los componentes seleccionados.	71
Tabla IV.3. Cargas de los componentes seleccionados.	71
Tabla IV.4. Comunalidades de los componentes seleccionados.	73
Tabla IV.5. Pesos de importancia de cada criterio.	74
Tabla IV.6. Pesos de orden para la construcción de cada escenario.	75
Tabla IV.7. Área (ha) afectada por cada intervalo de reclasificación de la diferencias porc. entre los valores de la C.A. y cada escenario propuesto.	87
Tabla V.1. Estadísticos básicos de las variables originales (sin estandarizar) y funciones de estandarización y puntos de inflexión.	92
Tabla V.2. Varianza explicada y valores propios de los componentes seleccionados.	105
Tabla V.3. Cargas de los componentes seleccionados.	107
Tabla V.4. Comunalidades de los componentes seleccionados.	108
Tabla V.5. Pesos de importancia de cada criterio.	109
Tabla V.6. Pesos de orden para la construcción de cada escenario.	110
Tabla V.7. Área (ha) afectada por cada intervalo de reclasificación de la diferencias porc. entre los valores de la C.A. y c/ escenario propuesto.	119
Tabla C.1. Unidades cartográficas, Series, Subgrupos y Grupos identificados a partir de la digitalización de las Cartas de Suelo (del INTA).	153
Tabla C.2. Área (km <sup>2</sup> ) ocupada por los distintos Subgrupos de suelos (se adjuntan, además, las lagunas y ciudades).	154
Tabla D.1. Superficie (km <sup>2</sup> ) de de los usos de suelo discriminados en cada fecha de análisis.	160
Tabla E.1 Coordenadas de los pozos y valores medios utilizados en la interpolación.	162

## RESUMEN

La toma de decisiones basada en información adecuada requiere tanto de la disposición para establecer los nexos necesarios entre las “lagunas” de datos como del mejoramiento en la disponibilidad de la información. Existen algunas bases de datos en el mundo que son ejemplos de intenciones por satisfacer tales requerimientos, pero a pesar de su utilidad como colecciones sistemáticas de datos y análisis, su potencial de aplicación en planeamiento ambiental y toma de decisiones es muy limitado. Esto se debe a la carencia de un esquema conceptual referente al funcionamiento de los sistemas naturales.

La comprensión completa de la estructura y función del ambiente es particularmente dependiente de la disponibilidad de información confiable que permita a los tomadores de decisiones el usar un criterio científico más que intuitivo, como ocurre a menudo. Esto último ocasiona que muchas decisiones locales y proyectos de gran envergadura sean realmente experimentos que se llevan a cabo directamente sobre el ambiente, y no pasen por una etapa de ensayos de prueba y error previos que permitan la toma de decisiones adecuadas. Esta información no consiste en vastas colecciones de datos, ni aún en su almacenaje y disposición en computadoras. Las raíces de estos desajustes ambientales no son el resultado de la falta de datos sino más bien de la carencia de un flujo de información entre los diferentes componentes de un sistema complejo, como lo es el ambiente.

En Argentina, en la gran mayoría de los estamentos gubernamentales, tanto a escala urbana como rural, se desconoce de qué manera varían espacialmente la mayoría de los diferentes parámetros ambientales y, en aquellos casos en que se tienen algunos esbozos de cómo se distribuyen ciertas variables, no se dispone de mecanismos que posibiliten su consideración simultánea para la toma de decisiones, por ejemplo, en el área del ordenamiento territorial o planificación del uso de la tierra teniendo en cuenta fortalezas y debilidades de la región. Pero además de las típicas cuestiones de localización óptima (de barrios residenciales, industrias, cementerios, basureros, etc.) que se verían notoriamente mejoradas en

caso de contar con bases de datos digitales organizadas y mapas de variación espacial, hay otros aspectos de la vida cotidiana no menos importantes que los citados, que también podrían verse favorecidos en caso de concretarse tal situación. Justamente, la situación problemática observada en este caso, fue la determinación del valor de la tierra libre de mejoras, a escalas urbana y rural y para cada partido de la provincia de Buenos Aires, que llevan adelante Comisiones Asesoras que participan en el Revalúo Fiscal. Los integrantes de dichas comisiones eligen, describen y examinan las variables que consideran relevantes para dicho objetivo y luego, intentando tener simultáneamente en mente dichas variables, proponen los valores para cada unidad de análisis. Ante esta realidad surge la pregunta: ¿no habrá una manera menos subjetiva y automática de determinar el valor de la tierra?

Un Sistema de Soporte de Decisiones (SSD) es una herramienta asistida por computadora que posee características interactivas, gráficas y de modelación con el objetivo de analizar y buscar una solución a problemas específicos y asistir a los individuos en el estudio y búsqueda de soluciones a sus problemas de gestión. Esto posibilita a los tomadores de decisiones combinar el criterio personal con la salida de la computadora en una interfase usuario-máquina que permite producir información de calidad para subsidiar un proceso de toma de decisiones.

Esta investigación pretende realizar un aporte a la implementación de un SSD, esto es, aplicar la integración entre todos sus componentes: la base de datos, las herramientas de evaluación y la aplicación de modelos. Por otro lado, se intentará demostrar la implementación de esta metodología a escalas muy diversas: la urbana (tomando como caso la ciudad de Azul) y la rural (tomando como caso la cuenca del arroyo del Azul). Todo esto con el fin de proveer herramientas que sean útiles a los tomadores de decisiones al momento en que tengan que proponer alternativas de gestión y administración de los recursos naturales de la zona en estudio. Pero, precisamente, que esas decisiones se hagan sobre un fehaciente e integral conocimiento del ambiente; por eso la propuesta de evaluar y considerar una gran diversidad de variables y analizar conjuntamente las mismas.

Los SSD ofrecen la capacidad de elaborar una decisión a partir de la integración de información alfanumérica con parámetros geográficos, y así modelar los procesos y análisis espaciales para generar información nueva

El modelo conceptual fue construido a partir de la lectura de publicaciones especializadas y, sobre todo, de los comentarios de distintos integrantes de las Comisiones Asesoras Locales acerca de sus propias experiencias en la tarea de definir los Valores Básicos Unitarios, específicamente en cuanto a los criterios tenidos en cuenta para tal fin. A partir de allí, quedó claro que:

- A escala urbana, un lote tipo tendría un determinado valor según su distancia a: el centro geográfico de la ciudad, los centros comerciales, las vías de acceso a la ciudad, las avenidas, el asfalto, el agua corriente, el gas, las cloacas, el alumbrado público, los puntos conflictivos, los lugares de mayor valor estético, los focos contaminantes (basureros y rellenos sanitarios, cementerios, industrias de la cerámica, canteras, molinos harineros, plantas de silos, criaderos de pollos, frigoríficos, curtiembre, corralón municipal, parque industrial, plantas transformadoras y estaciones de gas); y según la calidad de las viviendas.
- A escala rural, un campo tipo tendría un determinado valor según su distancia a las rutas, las líneas de media tensión y los centros urbanos; su distancia a los caminos rurales y al estado de los mismos; la anegabilidad de sus tierras; la calidad y el uso actual de sus tierras; la calidad y disponibilidad de agua para los distintos usos (riego, consumo humano y para el ganado).

A escala urbana se construyó cada mapa temático y se planteó su intersección con los restantes aspectos del sistema a partir de una grilla regular de píxeles de 15,3 m de lado, conformando una matriz con 387.464 unidades participantes efectivamente del análisis, es decir que pertenecen a una determinada unidad catastral. Posteriormente, al momento de analizar el modelo resultante y plantear la validación de los escenarios posibles, se eligió como unidad



de análisis la manzana, elemento que en algunos casos presenta una importante variedad de dimensiones, pero que en general posee una cierta homogeneidad funcional y urbanística. En las zonas de la periferia, donde no están demarcadas aún las manzanas, se optó por la unidad catastral existente delimitada por calles, ya sea quinta o chacra. En total, quedaron definidas 2016 unidades catastrales.

A escala rural se construyó cada mapa temático y se planteó su relación con los restantes a partir de una grilla regular de píxeles de 30 m de lado, conformando una matriz de 6.927.216 unidades. Posteriormente, al momento de analizar el modelo resultante y plantear la validación de los escenarios posibles, se eligió como unidad de análisis el cuartel, unidad catastral de amplia aplicación en los estudios rurales y que también gozan de una relativa homogeneidad interna. En total quedaron involucrados (total o parcialmente) 31 cuarteles correspondientes a los partidos de Azul, Las Flores, Rauch, Tapalqué, Olavarría y Benito Juárez.

Para la obtención del valor relativo de la tierra se optó por uno de los métodos de evaluación multicriterio, el denominado Promedio Ponderado Ordenado, el cual ofrece un espectro completo de estrategias de decisión a lo largo de las dimensiones primarias del grado de intercambio involucrado y del grado de riesgo en la solución. Este método involucra dos vectores de pesos: los pesos de importancia para cada criterio y los pesos de orden.

Así, se plantearon seis escenarios a partir de distintas combinaciones, desde el planteo más conservador, asumiendo un riesgo muy bajo y sin ninguna compensación (A), es decir utilizando un operador de mínimos, hasta un escenario de mayor predisposición al riesgo (F), pasando por una combinación lineal ponderada (D), donde todas las posiciones evaluadas tienen igual peso, y escenarios intermedios (B, C, E).

Aquí se destaca claramente cómo en los métodos multicriterio que participan en los sistemas de soporte de decisiones pesa fuertemente el paradigma constructivista, ya que el objetivo primordial es la generación de conocimiento, dándole importancia a la subjetividad del modelador (sus valores, objetivos, preconceptos, cultura, intuición), dentro de su propio cuadro de referencia mental.

## **ABSTRACT**

Taking decisions based on adequate information requires the willingness to establish the links among the lacking data as well as bettering the availability of information. Many databases in the world are examples of how to satisfy such purposes but, in spite of their usefulness as systematic collection of data and analysis, their potential application in environmental planning and decision-making is rather limited. That is due to the lack of a conceptual scheme on the functioning of natural systems.

The complete understanding of the structure and function of the environment is particularly dependent on the availability of trusting information so that, as often happens, decision-makers may rely on scientific criteria instead of mere intuition. As a result, many local decisions or wide-ranging projects become real experiments that are carried out in the environment itself, avoiding previous stages of trial and error essays for taking rational decisions. Such information is not made up of vast collections of data, not even in its storage and availability in computers. The roots of such an environmental disagreement are not the shortage of data, but rather the lack of a proper information flow among the various components of a complex system, such as the environment.

In Argentina, most of the government agencies are not really aware of the spatial variability of most of the environmental parameters (both at the urban and rural scales). Even in those cases where there are sketchy views on the distribution of certain variables, there are no mechanisms for assessing their simultaneous consideration for decision-making purposes, e.g., territorial ordering or land use planning given the region's strength and weak points. But, besides the typical issues of optimal locations (of residential neighborhood, industries, graveyards, rubbish dumps, etc.), which can be obviously improved counting on digital, well-organized databases and maps of spatial variation, there are many aspects of the daily life (no less important than those pointed out) that could also be favored if such shortcomings are solved. Fairly to the point, in this case the problem had its origin in determining the value of lands free of improvements, at urban and rural scales for each county of Buenos Aires Province, which is carried out by Adviser Committees that take part on the Fiscal Value Reassessment. Such

committees choose, describe and examine the variables which they deem relevant for such a purpose and then, keeping in mind those variables, propose the values for each analyzed unit. Given such a procedure, the question is: Is there a less subjective, automatic manner of determining the land value?

This investigation aims at achieving a contribution to the implementation of a Decision Support System (DSS), i.e., to establish the integration among all the components: the data base, the evaluation tools, and the application of models. The methodology has been applied in areas of much different size: urban (the Azul City) and rural (the Azul River Basin). The idea is to come up with tools useful for decision-makers whenever they have to propose alternatives for management and administration of the natural resources in the study area. Those alternatives will be built on the basis of a proper and integral knowledge of the environment, given the proposal of evaluating a great diversity of variables and analyzing their interplay as a whole.

The DSS have the capacity of shaping up a decision from the integration of alphanumeric information together with geographical parameters, giving rise to new information from processes modeling and spatial analyses.

The conceptual model was built taking into account concepts from the available literature and, above all, from comments of members of Local Adviser Committees about their own experience on defining the Unit Basic Values and, more specifically, on the criteria they took into account. It became clear that:

- At the urban scale, a given unit has a value according to its distance to: the geographical center of the city, the shopping centers, the routes to access the city, the main streets, the existence of asphalt, safe water-supply, gas, sewage disposal, public lighting, controversial points, places with a certain aesthetic value, potential contaminant points (waste dumps, sanitary landfills, graveyards, ceramic-type industries, quarries, flour mills, grain storage facilities, chicken breeding places, cold-storage plants, tanneries, municipal-owned yards, industrial clusters, electrical energy transformation plants, and main gas pipes); and according to the quality of the dwelling.

- At the rural scale, a country property would have a value according to the distance to: main routes, the access to electrical energy, urban centers; its distance to country roads and their state; the risk of flooding of the lands; the quality and current land use; the availability and quality of water for several uses (irrigation, human and livestock consumption).

Many thematic maps were built for the urban domain, which were overlapped with other aspects of the system from a regular grid (pixels of 15.3 m), which led to a matrix of 387.464 units that take part of the analysis, that is to say that they belong to a given cadastral unit. Later on, when it came to analyzing the resulting model and to posing and validating the possible scenarios, the unit of analysis was the block, which in some cases is of varying size, although in general shows a certain functional and urban homogeneity. In the outskirts area, where the blocks are not yet defined, the cadastral unit chosen was that limited by streets, being either orchards or smallholdings. In all, 2016 cadastral units were so defined.

The thematic maps for the rural domain were overlapped from a regular grid (pixels of 30 m), yielding a matrix of 6.927.216 units. Later on, when it came to analyzing the resulting model and to posing and validating the possible scenarios, the unit of analysis was the rural quarter, which is a cadastral unit of a relative internal homogeneity of common use in rural studies. In all, 31 quarters were involved (total or partially), which belong to the counties of Azul, Las Flores, Rauch, Tapalqué, Olavarría, and Benito Juárez.

In order to obtain the land relative value, one of the methods of the multi-criteria evaluation was used, the one known as Ordered Weighting Average, which offers a comprehensive spectrum of decision strategies along the primary dimensions of the involved degree of interchange and the risk of the solution. This method considers two weighting vectors: the weight of importance for each criterion, and the weights of order.

Using different combinations, six scenarios were set up, from the most conservative option, assuming a very low risk and without compensation (A) -that is, using a minimum operator-, up to a scenario of much greater risk, including a weighted linear combination (D), where all the evaluated positions have equal weight, and intermediate scenarios (B, C., E).

It stands out that, in multi-criteria methods used for DSSs, the weight is posed on the paradigm of constructivism, inasmuch as the main objective is the generation of knowledge, with proper attention given to the modeler subjectivity (his/her values, objectives, pre-concepts, culture, intuition), within his/her own mental reference framework.

## **INTRODUCCIÓN**



La toma de decisiones basada en información adecuada requiere tanto de la disposición para establecer los nexos necesarios entre las “lagunas” de datos como del mejoramiento en la disponibilidad de la información. Existen algunas bases de datos en el mundo que son ejemplos de intenciones por satisfacer tales requerimientos, pero a pesar de su utilidad como colecciones sistemáticas de datos y análisis, su potencial de aplicación en planeamiento ambiental y toma de decisiones es muy limitado. Esto se debe a la carencia de un esquema conceptual referente al funcionamiento de los sistemas naturales.

Algunos autores han descrito cómo la mayoría de los actuales problemas ambientales son el resultado de un concepto de desarrollo excesivamente unidimensional (Holling, 1978; Gallopín, 1981; Carrizosa, 1982; Bernáldez, 1982; Pineda, 1992). La carencia de integración entre los diferentes aspectos del uso de los recursos y sus contingencias socio-económicas, tecnológicas y políticas contrastan con la naturaleza compleja e integrada de la biósfera. Este descuido obstaculiza el conocimiento correcto de los efectos del desarrollo sobre la dinámica de la biósfera e impide la correcta, o al menos sensible, gestión ambiental.

El ambiente puede ser ahora entendido como el sistema en el cual interactúan el hombre y los sistemas naturales. El primero incluye los elementos económicos, sociológicos, culturales y tecnológicos. El último considera los elementos físico-químicos y biológicos. En adición, todos estos elementos son sistemas complejos y sus relaciones son también complejas, incluyendo las diferentes escalas espaciales y temporales.

La comprensión completa de la estructura y función del ambiente es particularmente dependiente de la disponibilidad de información confiable que permita a los tomadores de decisiones el usar un criterio científico más que intuitivo, como ocurre a menudo. Esto último ocasiona que muchas decisiones locales y proyectos de gran envergadura sean realmente experimentos que se llevan a cabo directamente sobre el ambiente, y no pasen por una etapa de ensayos de prueba y error previos que permitan la toma de decisiones adecuadas. Esta información no consiste en vastas colecciones de datos, ni aún en su almacenaje y disposición en computadoras. Las raíces de estos desajustes ambientales no son el resultado de la falta de datos sino más bien de la carencia de un flujo de información entre los diferentes componentes de un sistema complejo, como lo es el ambiente.

Parte de la solución de estas dificultades estaría basada en los Sistemas de Información que contemplan el manejo ambiental a partir de una perspectiva sistemática y dinámica en tiempo y espacio. “La filosofía del diseño de estos sistemas reconoce que el ambiente es *per se* un sistema muy complejo con una alta diversidad de variables interactuantes. Este reconocimiento enfatiza la necesidad de incluir procedimientos lógicos y un entramado conceptual que reflejen el carácter dinámico de los sistemas naturales a la vez que constituyan un modelo para que las decisiones sean tomadas de una manera racional” (de Pablo *et al.*, 1983; Lucas, 1983).

Es entonces, que la combinación entre información confiable, herramienta geotecnológica y criterio científico en el manejo de la información, parece constituirse como un buen modelo a aplicar al momento de elaborar un aporte a la toma de decisiones que implique algún tipo de intervención en el ambiente. En este caso en particular, dirigido a la determinación de los Valores Básicos Unitarios de la tierra libre de mejoras, intentando reducir la subjetividad y lo artesanal que gobierna dicho proceso en la actualidad.

## **I.1. Formulación del problema y las hipótesis**

“Es sin dudas el hombre a través de sus decisiones el que ha organizado el espacio sobre el cual vive. El espacio geográfico es el que provee toda la información necesaria para realizar su ordenamiento y a su vez será impactado por toda acción” (Buzai, 2000). Cuando se decide adoptar como herramienta tecnológica la de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es porque indudablemente se persigue como objetivo el dar respuesta a alguna cuestión problemática del mundo real y en última instancia a mejorar la calidad de vida de la población. Es, justamente, en la búsqueda de precisión ante los problemas cotidianos del hombre (generalmente dotados de una cierta urgencia) que comienza a vislumbrarse un camino continuo desde los SIG hacia los denominados Sistemas de Soporte de Decisiones (SSD). “Son sistemas que, basados en la diferenciación alfanumérica del SIG e incorporando los procedimientos de evaluación multicriterio, intentan mejorar la validez generalista de la tecnología SIG a fin de lograr una mayor eficacia en situaciones específicas que requieren la difícil elección de alternativas” (Buzai, 2000).

En Argentina, en la gran mayoría de los estamentos gubernamentales, tanto a escala urbana como rural, se desconoce de qué manera varían espacialmente la mayoría de los diferentes parámetros ambientales y, en aquellos casos en que se tienen algunos esbozos de cómo se distribuyen ciertas variables, no se dispone de mecanismos que posibiliten su consideración simultánea para la toma de decisiones, por ejemplo, en el área del ordenamiento territorial o planificación del uso de la tierra teniendo en cuenta fortalezas y debilidades de la región. Pero además de las típicas cuestiones de localización óptima (de barrios residenciales, industrias, cementerios, basureros, etc.) que se verían notoriamente mejoradas en caso de contar con bases de datos digitales organizadas y mapas de variación espacial, hay otros aspectos de la vida cotidiana no menos importantes que los citados, que también podrían verse favorecidos en caso de concretarse tal situación. Justamente, la situación problemática observada en este caso, fue la determinación de los Valores Básicos Unitarios a partir de los cuales se obtiene el valor de la tierra libre de mejoras, a escalas urbana y rural y para cada partido de



la provincia de Buenos Aires, que llevan adelante Comisiones Asesoras que participan en el Revalúo Fiscal. Los integrantes de dichas comisiones eligen, describen y examinan las variables que consideran relevantes para dicho objetivo y luego, intentando tener simultáneamente en mente dichas variables (en algunos casos, contando con mapas básicos de algunos parámetros), proponen los valores para cada unidad de análisis. Ante esta realidad surge la pregunta: ¿no habrá una manera menos subjetiva y automática de determinar el valor de la tierra?

A partir de esta situación, se formula la siguiente hipótesis:

- Los Valores Básicos Unitarios a partir de los cuales se determina el valor de la tierra libre de mejoras, son función de un conjunto de variables naturales y socio-económicas factibles de ser incorporadas y procesada en un entorno SIG en el marco de un Sistema de Soporte de Decisiones, reduciendo la subjetividad y ampliando las posibilidades de manejo y visualización de la información.

## **I.2. Objetivos**

Esta investigación pretende realizar un aporte a la implementación de un SSD, esto es, aplicar la integración entre todos sus componentes: la base de datos, las herramientas de evaluación y la aplicación de modelos. Por otro lado, se intentará demostrar la implementación de esta metodología a escalas muy diversas: la urbana (tomando como caso la ciudad de Azul) y la rural (tomando como caso la cuenca del arroyo del Azul, 6.000 km<sup>2</sup>). Todo esto con el fin de proveer herramientas que sean útiles a los tomadores de decisiones específicamente al momento de determinar los Valores Básicos Unitarios de la tierra libre de mejoras.

La primera fase de este gran objetivo a cumplir será la conformación de la base digital de datos y la construcción de los mapas que constituirán interpretaciones visuales de dicha base de datos. El más importante de ellos será el mapa base, ya que éste definirá los límites del proyecto y proveerá los puntos de control para ayudar a mantener la precisión de los demás mapas a generarse (McLaughlin, 2000). Una vez finalizada esta tarea, será tiempo de construir los mapas temáticos de las más diversas variables: a escala urbana los servicios de agua, gas, cloacas, alumbrado público y asfalto, las avenidas, las principales vías de acceso a la ciudad, los focos contaminantes y conflictivos, la calidad de las características de las viviendas, etc., mientras que a escala regional, serán mapeados los tipos de suelo, los usos de la tierra, las lluvias, las características químicas y nivel del acuífero, las zonas de distintas frecuencias de anegamientos, los caminos rurales, las rutas, etc. Esta información provendrá de diversas fuentes: imágenes satelitales, cartas topográficas, cartas de suelo, mapas elaborados por técnicos municipales, base de datos correspondientes a censos de niveles e hidroquímica del acuífero perteneciente al Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA), como así también de informes y publicaciones científicas producidas por los investigadores del IHLLA.

A partir de aquí, vendrá la fase tendiente a transformar la base de datos en una herramienta que ayude a la toma de decisiones en lo que respecta a la determinación del valor de la tierra libre de mejoras. Esto implica la propuesta de una metodología menos subjetiva y rápida que la que actualmente se aplica en la provincia, para luego comparar los resultados y llevar adelante una evaluación de la incertidumbre del modelo propuesto.

### 1.3. Área de estudio

La localidad de Azul, ubicada en el centro geográfico de la provincia de Buenos Aires (Figura I.1), posee 56.545 habitantes (INDEC, 2005) distribuidos en aproximadamente 100 km<sup>2</sup>, a alturas que van desde los 148 a los 125 msnm, conformando una ciudad de dimensiones intermedias si se la compara con las restantes de la provincia. La ruta nacional 3, la provincial 51 y las vías de la empresa Ferrosur Roca SA atraviesan la planta urbana, constituyendo un nodo de accesibilidad importante, sumado a la ubicación estratégica de Azul en la provincia, distante unos 325 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 303 km de La Plata y 352 km de Bahía Blanca, por citar algunos ejemplos. Es la ciudad cabecera del partido homónimo, que cuenta con un territorio de 6.615 km<sup>2</sup>, lindando con los partidos de Las Flores, Rauch, Tandil, Benito Juárez, Olavarría y Tapalqué.

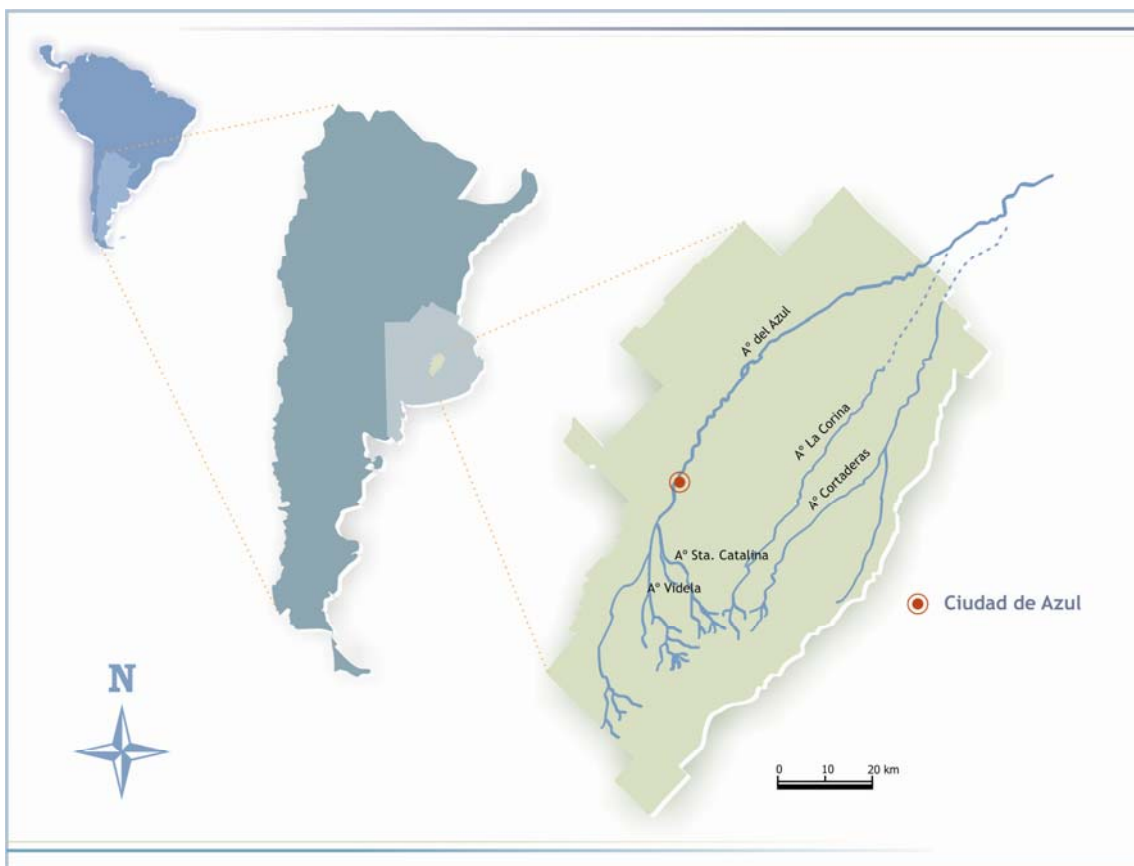


Figura I.1 Ubicación relativa de la ciudad de Azul y límites del distrito.

El arroyo del Azul atraviesa la ciudad en dirección Sur-Norte (Figura I.2), constituyéndose en un elemento de gran relevancia para la población, ya que sus riberas son continuamente frecuentadas por los ciudadanos para llevar adelante actividades recreativas y deportivas. Por otro lado, las aguas del arroyo también son depositarias de los efluentes líquidos pluviales y cloacales de la ciudad y de otros provenientes de las industrias que se asientan en sus cercanías.

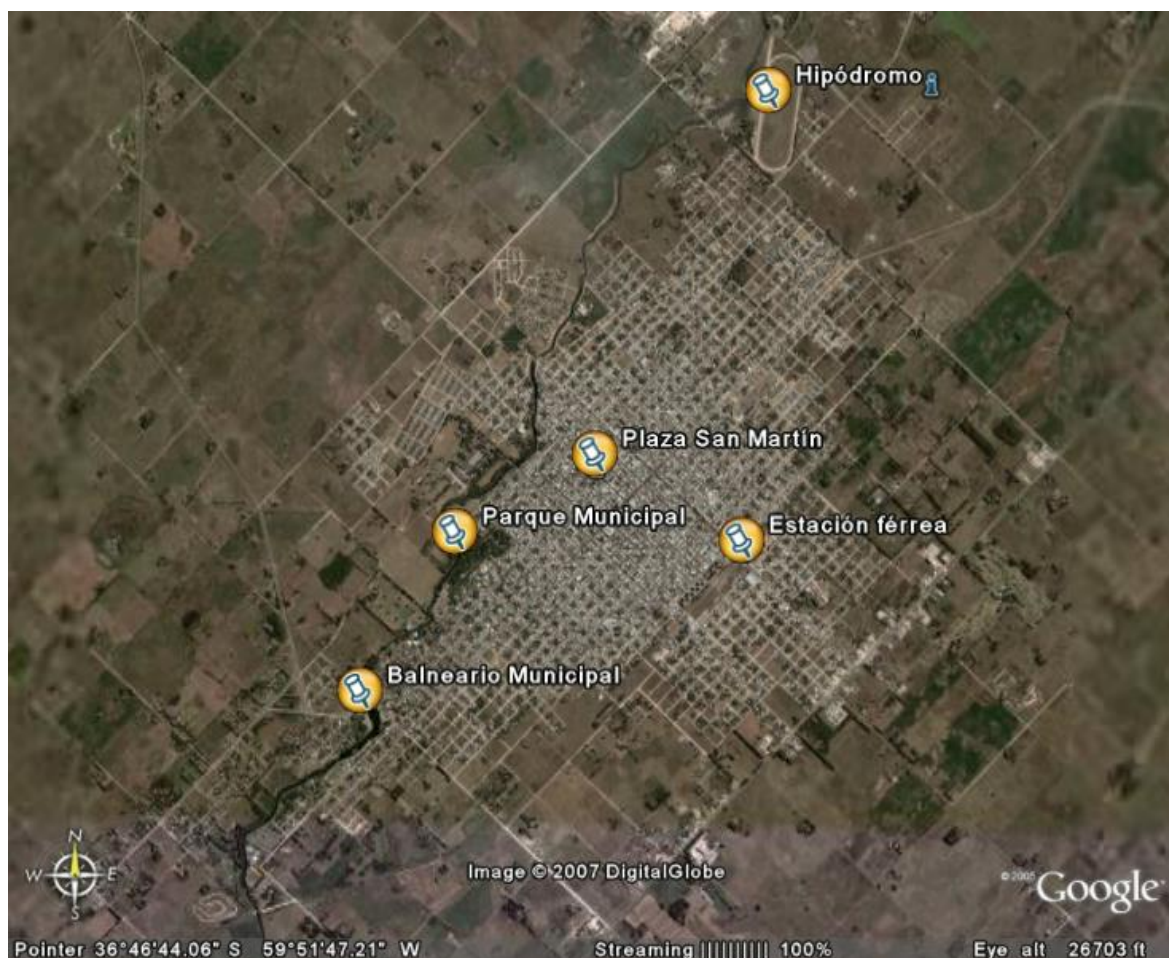


Figura I.2 Vista área de la ciudad de Azul en la que se distingue el curso del arroyo del Azul en dirección Sur-Norte y algunos puntos de interés.

En cuanto a los servicios, es de destacar que un amplísimo porcentaje de la población cuenta con la cobertura de agua potable, cloacas, gas y electricidad. Entre los rubros industriales se destacan los sectores cerámico, minero, de la construcción y agroalimentario. En el sector servicios, Azul es el centro de administración pública más importante de la región a partir de la presencia de

dependencias judiciales, de seguridad, educativas y salud, entre otras. La ciudad cuenta también con servicio de recolección domiciliaria de residuos, produciéndose un volumen de 40.000 kg/día. El municipio cuenta con un predio cerrado sin sanear para la disposición final de los residuos y con un predio urbano provisorio en el que se realiza el destino final a cielo abierto. Con respecto a los espacios urbanos de alto valor estético, se destacan las zonas del Balneario Municipal “Almirante Brown”, el Parque Municipal “Domingo Faustino Sarmiento”, la llamada costanera “Cacique Catriel” a la vera del arroyo del Azul y una buena cantidad y distribución de plazas y plazoletas.

La cuenca del arroyo del Azul (Figura I.3) se ubica entre los 58° 51' y 60° 10' de longitud oeste y 36° 09' y 37° 19' de latitud sur. Abarca una superficie de 6.237 km<sup>2</sup>, cubriendo la casi totalidad del partido de Azul, junto con algunos sectores de los partidos de Las Flores, Rauch, Tapalqué, Olavarría y Benito Juárez. El comportamiento global de la región es el de un ambiente de llanura. Como formas destacables se reconocen un sub-ambiente serrano hacia el sur de la cuenca por sobre los 200 msnm (10 % del total del área), y un sub-ambiente de llanura hacia el norte, por debajo de los 130 msnm. Ambos sub-ambientes están conectados por uno de transición, caracterizado por suaves ondulaciones. La cuenca está surcada por distintos cursos de agua permanentes de los cuales el principal es el arroyo del Azul, que nace en las cercanías de la localidad de Chillar y atraviesa en dirección sur-norte el partido homónimo, donde recibe sobre su margen oriental las aguas de sus principales tributarios, los arroyos Videla y Santa Catalina. Luego el arroyo del Azul continúa con dirección noreste hasta desembocar en el Canal 11, unos pocos kilómetros al sudoeste de la ciudad de Las Flores. Este Canal representa un corte artificial de la cuenca de drenaje, ya que en condiciones naturales, el arroyo del Azul llega a unirse al río Salado a través de las zonas bajas y lagunas temporarias. También están los arroyos La Corina y Cortaderas cuyos tramos inferiores son temporarios y se pierden antes de llegar al Canal 11.

La precipitación media anual (según los registros de la estación Azul Aero del Servicio Meteorológico Nacional, período 1960-2003) es de 984,9 mm. La precipitación media mensual máxima, medida como lámina de agua, se da en

marzo con 136,9 mm, mientras que la mínima se produce en junio con 42,9 mm. La temperatura media es de 14,5 °C, con la máxima media mensual en enero con 21,4 °C y la mínima media mensual en julio con 7,7 °C (estación Azul Aero del Servicio Meteorológico Nacional, período 1966-2003). Según la clasificación climática de Thornthwaite, el clima de la región es subhúmedo-húmedo, mesotermal, con poca o nula deficiencia de agua.

En cuanto a los suelos, los presentes en la parte norte se caracterizan por ser alcalinos y/o hidromórficos con la tosca a poca profundidad, mientras que en el sur presentan un buen drenaje con la tosca a profundidad variable. La principal actividad productiva en la cuenca es la ganadero-agrícola, relacionada íntimamente con la calidad de sus suelos. El uso de la tierra al sur de la ciudad de Azul es principalmente agrícola, siendo los principales cultivos el trigo, el maíz, la soja y los verdes anuales. Al norte, la actividad más importante es la ganadería extensiva, observándose también un uso agrícola en las lomadas.

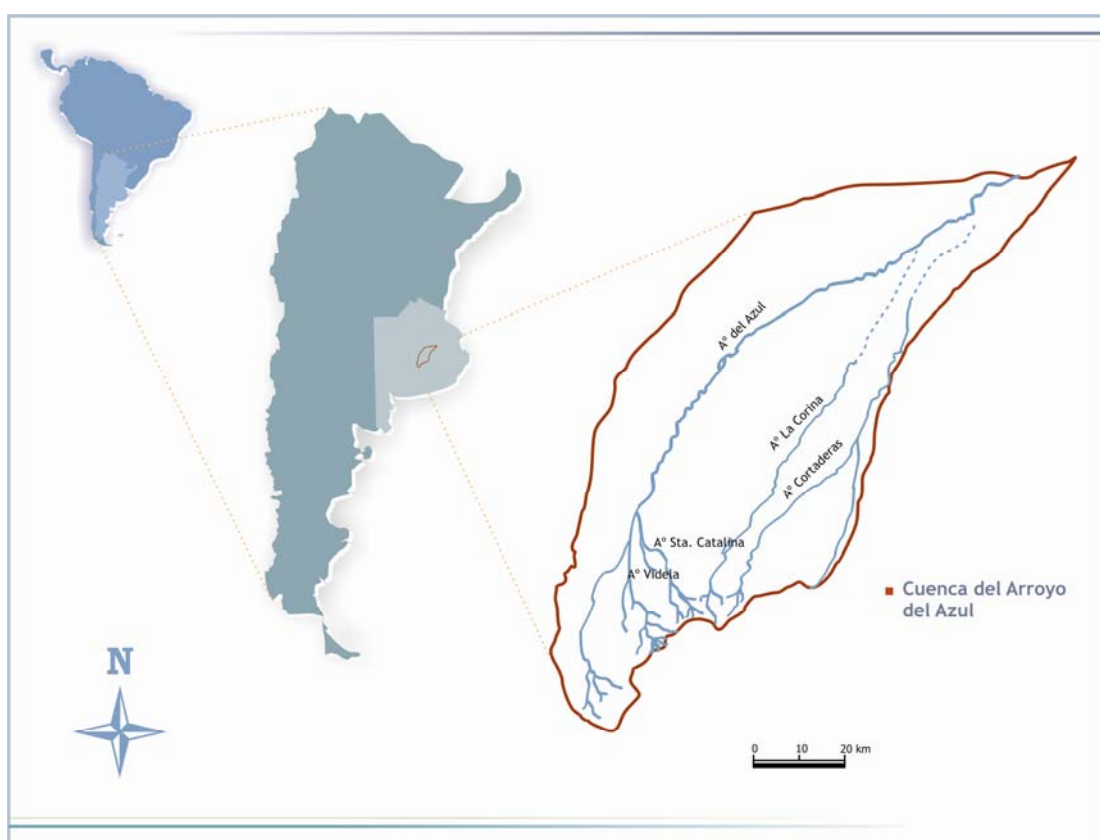


Figura I.3 Ubicación relativa de la cuenca del arroyo del Azul.

La planta urbana y periurbana de Azul cuenta con 2.016 unidades catastrales a las cuales se les debe asignar un valor de la tierra libre de mejoras; lo mismo ocurre con los 31 cuarteles que total o parcialmente integran la cuenca del arroyo del Azul. Y para ambas áreas se carece de una base de datos digital, actualizada y única que permita a los tomadores de decisiones llevar adelante acciones teniendo en cuenta varios criterios y de forma simultánea. En consecuencia, y en virtud de las razones expuestas, los casos de la ciudad de Azul (escala urbana) y la cuenca del arroyo del Azul (escala rural) han sido seleccionados como ámbitos geográficos adecuados para el desarrollo de esta investigación.

#### **I.4. Estructura de la tesis**

La Tesis está organizada en siete Capítulos:

El Capítulo I ha intentado introducir al lector en la motivación de esta investigación, los aspectos concretos del problema a los que se ha pretendido dar respuesta, las hipótesis sustantivas que subyacen en el trabajo y la descripción general de los objetos bajo estudio.

El Capítulo II refleja el cuerpo conceptual que rige la investigación en el que se exponen las definiciones y las proposiciones directamente implicadas en la comprensión del problema y de las hipótesis sustantivas. Intenta explicitar la configuración general de ideas con las que se propone explicar al complejo objeto bajo estudio.

El Capítulo III expone la metodología seguida en las operaciones básicas de la investigación, definiendo las variables puestas en juego, las fuentes y las técnicas empleadas en su observación, clasificación y análisis. Describe la manera en que se realizó el diseño del objeto (su recorte y la elección del sistema de matrices de datos) y de los procedimientos a las que se sometieron las unidades de análisis.

Los Capítulos IV y V exponen y analizan resultados obtenidos a escala urbana y rural, respectivamente; intentando enjuiciar críticamente la incertidumbre de los mismos; es así, que se discute su alcance, su significación y sus limitaciones.

El Capítulo VI contiene en un modo sintético el aporte que se cree que representa esta investigación al conocimiento de uno de los aspectos vinculados al funcionamiento de los sistemas urbano y rural. Se incluye a manera de reflexión final fundamentada sobre el alcance científico de la investigación realizada. También se examinan las nuevas cuestiones que han sido abiertas a partir de los resultados obtenidos.

El Capítulo VII contiene la bibliografía citada en esta investigación.



## **MARCO TEÓRICO**



El desafío de llevar adelante acciones concretas para lograr frenar el deterioro del ambiente, utilizar los recursos disponibles en cada ecosistema con inteligencia y racionalidad, y mejorar la calidad de vida de la población está en manos de los gobiernos nacionales, provinciales y municipales, los organismos de ciencia y tecnología, y las organizaciones no gubernamentales. El conjunto de políticas tendientes a la preservación, mejoramiento y desarrollo del ambiente debe basarse en contenidos concretos, científicamente conocidos y evaluados, que permitan diseñar acciones eficaces. “No es fácil llevar adelante estas ideas en un contexto como el de Argentina, donde las decisiones se toman con un fuerte componente de incertidumbre, falta de información, datos incompletos y dispersión de conocimientos. La falta de información limita las posibilidades de comprender los procesos que generan la degradación ambiental y, a la vez, limita las posibilidades de predecir qué ocurrirá en el futuro ante determinadas acciones. Es por ello que el esfuerzo para producir información deberá orientarse preferentemente en dos sentidos: a mejorar la calidad de la información ambiental, y a introducir tecnologías que permitan hacer un tratamiento dinámico de la misma” (Gray y Gudiño, 1993).

### **II.1. Perspectiva paradigmática**

Siempre que se utiliza el concepto de paradigma se lo considera como “visión del mundo”, esto es, que los fenómenos pueden ser analizados en diversas formas según la disciplina dentro de la cual se enmarque fundamentalmente la investigación, es decir, según la “manera de mirar” que tenga el investigador.

Un paradigma entraña un determinado marco conceptual a través del cual se ve el mundo y en el cual se lo describe, y un cierto conjunto de técnicas experimentales y teóricas para hacer que el paradigma se compagine con la naturaleza. Sin embargo no hay ninguna razón *a priori* para esperar que un paradigma sea perfecto o que sea el mejor del que se dispone. No hay procedimientos inductivos que permitan llegar a paradigmas perfectamente adecuados. En consecuencia, la ciencia debe contener dentro de sí la manera de pasar de un paradigma a otro mejor. Esta es la función que cumplen las revoluciones (Chalmers, 1976). Aunque, de acuerdo con Buzai (2003), a veces ocurre que un paradigma no desplaza por completo a los anteriores; y en la actualidad, la investigación socio-espacial, por ejemplo, demanda la ruptura de muchas dicotomías propias de la era de la modernidad y esto permite que los diferentes estudios puedan moverse sin inconvenientes por diferentes “bordes paradigmáticos” (y científicos) que comienzan a demostrar ser mucho más interesantes y complejos que los núcleos disciplinarios o las posturas paradigmáticas “fuertes”.

Esta investigación se enmarca dentro de la llamada Ecología Regional, que “es una rama de la Ecología que estudia el área de extensión de un fenómeno susceptible de dar individualidad a una parte del espacio. Se encuentra en la interfase entre la Geografía y la Ecología, puesto que estudia las interrelaciones entre los organismos y el medio, pero dentro de un contexto espacial. También se encuentra en una situación intermedia entre una disciplina básica y una aplicada porque, si bien en la mayoría de los casos provee información básica, utiliza conocimientos generales para explicar los fenómenos y se ha realizado siempre con propósitos de uso inmediato, para la resolución de problemas ambientales” (Matteucci, 1979). “En general, su objetivo es obtener una regionalización, que no es más que una clasificación espacialmente explícita, a diversos niveles de percepción” (Matteucci, 2002). “En la práctica, la región es una construcción; los atributos que la definen dependen de los objetivos de la regionalización y, por lo tanto, no existe una única regionalización posible para un territorio” (Matteucci, 1998).

Dentro de este universo disciplinar, se enmarca por su propósito de identificar y delimitar unidades homogéneas sobre la base de varios criterios en dos escalas de análisis diferentes, en el paradigma de la homogeneidad, considerando, además, el rol protagónico de las herramientas informáticas que permiten la construcción de un sistema de decisión, como son los sistemas de información geográfica.

Por otro lado, teniendo en cuenta lo analizado por Buzai (2003), existen paradigmas muy propios de la Geografía que son compartidos en esta investigación. Tal es el caso del paradigma racionalista, surgido en el año 1939 cuando Hartshorne propuso la construcción del espacio con la intervención del accionar racional del investigador, con lo que la región geográfica como objeto de estudio deja de ser una realidad objetiva para pasar a ser construida a través de procedimientos intelectuales precisos que llevan como resultado a la diferenciación de áreas. Y, por último, al considerar las tres nuevas perspectivas que según Buzai (2003) se establecen en la Geografía en la última década del siglo XX (la Ecología de paisajes, la Geografía Posmoderna y la Geografía Automatizada), el presente trabajo se encuadra sobre todo en esta última vertiente debido a su alto contenido geotecnológico y su revalorización del paradigma cuantitativo con un abordaje modelístico y sistémico de la realidad, considerando que la estructura espacial puede definirse y construirse a través de la aplicación de métodos matemáticos de análisis multivariado y que la generalización de los resultados puede brindar la formulación de modelos que identifiquen “leyes científicas” del comportamiento socio-espacial.

Asimismo, se verá que con base en la cuantificación, se tiene una postura sistémica que no descarta el uso de conceptos tomados de otras perspectivas paradigmáticas, posibilidad que surge al considerar la realidad como un “sistema complejo” estructurado de forma jerárquica. Así, “los diferentes niveles (posibles de ser analizados en diferentes escalas) tienen variados grados de desacople y en este sentido, aspectos conceptuales que han sido desarrollados para el abordaje de un nivel específico quizá no demuestren completa aptitud al ser aplicados en otro” (Buzai, 2003). De allí que, a pesar de tener una cierta matriz de datos en la cual se anclará el análisis en cada una de las escalas a considerar, hay variables cuya

génesis proviene de un nivel inferior y, asimismo, en otras ocasiones es preciso recurrir a un nivel superior de matriz de datos para lograr una interpretación más ajustada de un cierto criterio, constituyéndose una dialéctica entre los distintos niveles. Esto es algo semejante a lo que ocurre en las relaciones entre los niveles de organización ecológicos (organismos - poblaciones - comunidades - ecosistemas - ecosistema humano total) o entre los conceptos de la ecología regional (elementos del paisaje - paisaje - región).

También tiene aportes del paradigma racionalista ya que se jerarquiza el rol del investigador en la “construcción” del espacio.

Por otro lado, es importante destacar la participación de los SIG en esta investigación, produciendo una nueva visión de la realidad, creada a través del modelo digital. “Los SIG a través de sus procedimientos de aplicación logran la integración de las posturas ecológicas (en la cual se presta principal atención a la relación sociedad-naturaleza) y corológica (que intenta determinar áreas diferentes sobre la superficie terrestre). Lo logran al incluir variables de muy distinta naturaleza en una misma base de datos para su correlación y especialización” (Buzai, 2000).

## **II.2. Conceptos y características de los Sistemas de Soporte de Decisiones**

“Un Sistema de Soporte de Decisiones es una herramienta asistida por computadora que posee características interactivas, gráficas y de modelación con el objetivo de analizar y buscar una solución a problemas específicos y asistir a los individuos en el estudio y búsqueda de soluciones a sus problemas de gestión” (Simonovic, 1996). Esto posibilita a los tomadores de decisiones combinar el criterio personal con la salida de la computadora en una interfase usuario-máquina que permite producir información de calidad para subsidiar un proceso de toma de decisiones. Andreu (1992) lo describe como “un conjunto de herramientas que ayuda al individuo encargado de tomar decisiones a encontrar su propia solución mediante la posibilidad de realizar experimentos poco costosos y poco arriesgados (simulación) o resolver problemas de optimización”. Algunos autores en sus definiciones hacen hincapié en determinados componentes, por ejemplo, Viglizzo (1999) los define como “sistemas interactivos basados en la computadora que integran sistemas de información geográfica con modelos que describen y predicen procesos productivos diseñados para ayudar a los decisores a utilizar datos y modelos para identificar y resolver problemas y tomar decisiones”. Estos modelos pueden variar en su complejidad, pero son los que permiten aprovechar la base de datos y relacionar la información existente. “Formular dichos modelos implica un excelente ejercicio de comprensión de la realidad, ya que obliga a descomponer la globalidad del problema en partes simples, cuyo comportamiento e interrelaciones debe ser dilucidado y formulado en forma analítica. Esto supone un esfuerzo de inteligibilidad que, además de evidenciar nuestro conocimiento de las cosas, muestra también nuestra ignorancia de las mismas, y las deficiencias de nuestra comprensión de su funcionamiento” (Andreu *et al.*, 1994).

Otros autores evitan definir a los SSD y se concentran en el principal objetivo de esos sistemas, como Guariso y Werthner (1989) que señalan que “los SSD ayudan a los tomadores de decisiones a resolver problemas que están pobremente o insuficientemente estructurados”, y como Peribán Villa (2001) que expresa que “el objetivo principal de los SSD es la complementación de las

capacidades de decisión del ser humano, valiéndose de la potencia que poseen los ordenadores para el procesamiento de datos”.

En la definición de los SSD no es fácil encontrar un consenso general. Por un lado, todas las aplicaciones de computadora ayudan al proceso de toma de decisiones y por lo tanto pueden ser llamadas SSD. Por otro lado, hay numerosas publicaciones que proveen detalladas definiciones de SSD, tratando de dar un marco dentro del cual esos sistemas deberían seguir desarrollándose, usándose y modificándose en el futuro. La palabra sistema es usada para describir un gran número de fenómenos. Alexander (1974) arriba a la siguiente definición: “un sistema es un grupo de elementos, ya sea de naturaleza física o no, que exhiben un conjunto de interrelaciones entre ellos e interactúan juntos hacia uno o más objetivos”. Aplicando esta definición general a los sistemas de información basados en la computadora, “el grupo de elementos son los datos, el conjunto de relaciones es el flujo de datos y el objetivo es tener un usuario bien informado capaz de tomar decisiones eficazmente” (Simonovic, 1996).

Está claro que los SSD, al igual que los modelos y los componentes de manejo de datos subyacentes, no toman decisiones, sino que meramente proveen de información a quienes la necesitan o que potencialmente se pueden beneficiar con ella. Por ejemplo, un SSD para el planeamiento y manejo de los recursos hídricos proporcionará una manera de examinar las numerosas consideraciones involucradas al momento de diseñar y operar de manera sustentable con estos recursos. Estas consideraciones incluirán aspectos referentes al modo en que estos sistemas de recursos hídricos pueden contribuir efectiva y equitativamente al desarrollo económico y social de sus usuarios y, al mismo tiempo, tendrá en cuenta la protección de los ambientes que los soportan.

Los SSD tienen ciertas características principales: incorporan datos y modelos, son diseñados para asistir a los agentes en los procesos de decisión, no reemplazan, sino que apoyan a la toma de decisiones y su objetivo es mejorar la efectividad de las decisiones y no la eficiencia con la que esas decisiones son tomadas (Ferreira *et al.*, 1995; Shaffer y Brodahl, 1998; Milne y Sibbald, 1998). Además, en estos sistemas basados en un proceso lógico para elegir entre las alternativas existentes, también se contempla la evaluación del grado de

incertidumbre, ya sea para gestionarla, reducirla o para tener la mayor cantidad de información sobre la misma para que luego los tomadores de decisión sean los que suman las consecuencias pero sobre esa base de información. Esto último toma particular importancia en cuestiones ambientales debido a su complejidad y singularidad inherente.

Los SSD también representan un avance en cuanto al planeamiento en tiempo real y a la gestión, en los cuales las decisiones tanto como los sistemas que soportan las decisiones, son continuamente actualizados y mejorados. Las herramientas de análisis incluidas dentro de cualquier SSD dependerán del problema que se esté contemplando y de las facilidades, experiencias y criterios de quienes lo desarrollan. Estos sistemas pueden, a partir de una base de datos que recopila distintas capas de información:

- incluir modelos de simulación que permiten encontrar valores de variables de decisión o sistemas que proveen indicadores dados ciertos criterios y restricciones,
- incluir sistemas de información geográfica que permiten la visualización y el análisis de mapas con datos espaciales,
- usar algoritmos que ayuden en la calibración de modelos de procesos físicos y químicos a la vez que determinan valores de parámetros del diseño del sistema y políticas operativas, e
- incluir redes neurales de trabajo que pueden aprender a reproducir resultados de procesos complejos y servir como “cajas negras”.

Los SSD pueden aceptar y presentar datos en una gran variedad de formas, ya sean tablas, textos, gráficos de series temporales o espaciales, visualización de mapas, fotografías animadas, sonido, video y realidad virtual. Lo que incluya un SSD particular depende del equipo que lo desarrolla, de los recursos disponibles y de los requerimientos de los usuarios finales. Además, no solamente pueden servir como herramientas de análisis, sino también como vehículos de comunicación, entrenamiento, predicción y experimentación; también como nexo entre los expertos y los tomadores de decisiones.

### **II.3. Evolución de los SIG y su aporte a los SSD**

En los años 50 y 60, el paradigma que más influyó sobre el desarrollo del planeamiento urbano estaba basado en la teoría general de sistemas. Las ciudades y las regiones eran consideradas como sistemas complejos cuya estructura podría ser entendida en términos de jerarquías de subsistemas, dentro de un marco dinámico cuyas propiedades de equilibrio eran asumidas como poco controlables. Planificar tales sistemas fue visto como el intento por optimizar las propiedades sistémicas tales como utilidad o prosperidad, y el tipo ideal de modelo de sistema representó tal optimización en términos de comportamiento del sistema (Harris, 1959).

En este contexto, el planeamiento abrazó los modelos de sistemas, y estos modelos fueron, a su turno, abrazando a los sistemas de información haciéndolos más operativos. Este proceso de relacionar sistemas de información, modelos y planeamiento a pesar de ser estructurado en un proceso secuencial, comenzó con la descripción y el entendimiento, continuó a través del diseño de sistemas de información a la vez que se relacionaba con los modelos de sistemas, y luego se introdujo en la fase de diseño en la cual los planes alternativos eran generados y evaluados a menudo a través de modelos de sistemas predictivos (Harris y Batty, 1993). Las dos fases naturales de este proceso fueron y continúan siendo denominadas como “análisis-síntesis”, “definición del problema-solución”, “simulación-optimización” y otros (Simon, 1969). Cuando este proceso fue explorado y aplicado en el contexto del planeamiento del uso de la tierra hace ya varias décadas, se hizo sobre la base de la tecnocracia racional en la cual se obtenía el dato requerido para el planeamiento, se producían modelos de sistemas basados en esos datos y se planificaba a partir de la selección ambigua de la alternativa generada más relevante (Batty, 1979).

Los SIG fueron usados por primera vez en los Estados Unidos de Norteamérica en los años 50, principalmente para la producción automática de mapas, y en los años 60 se establecen la mayoría de los conceptos básicos de los SIG, aunque su implementación debió esperar el desarrollo de mayor tecnología en las computadoras. Consecuentemente, eran necesarias computadoras más



poderosas, ya que las aplicaciones espaciales se caracterizan por el manejo de grandes volúmenes de datos si se comparan con el procesamiento convencional de datos de negocios. El desarrollo de SIG sofisticados requirió la introducción de sistemas de computadoras que debían ser más veloces y poseer la capacidad de almacenamiento requerido por las grandes cantidades de datos involucrados.

En los años 70, el concepto de SSD comenzó a desarrollarse notoriamente en la comunidad de los Sistemas de Información (IS), sobre todo debido a los trabajos realizados en el Massachusetts Institute of Technology (Gorry y Scott Morton, 1971; Little, 1971); y, a su vez, comenzó a desarrollarse un estilo de planeamiento a manera de una respuesta más pragmática, basado en la ideología y la teoría social. Fue con este pragmatismo que se desarrollaron los sistemas de información geográfica. La revolución de las computadoras que comenzaron a ser herramientas personales a partir del desarrollo de la microcomputadora a mediados de los años 70, fue claramente necesario para el avance en los gráficos que permitió que el mapeo computacional fuera una rutina. Una vez que ese mapeo fue posible en las microcomputadoras, la demanda por tales sistemas se amplió. Paralelamente, el incremento de los datos espaciales que necesitaban la tecnología que los soportara, y las necesidades de una sociedad compleja crearon una enorme demanda para sistemas de información apropiados. En particular, el almacenamiento y el procesamiento de datos de administraciones locales y de los datos provenientes de los censos de población, y la disponibilidad en aumento de datos digitales a partir de agencias con producción de mapas como el USGS (United States Geological Survey) fueron instrumentos para el desarrollo de sistemas dedicados a la manipulación y visualización de ese tipo de datos.

A medida que el planeamiento se hizo más pragmático y concerniente a sistemas individuales, la demanda para sistemas de datos referidos a facilitar la elección de localizaciones, servicios de emergencia, manejo de recursos y conservación, etc., incrementaron la necesidad por los sistemas de información geográfica (Densham y Rushton, 1988). En corto tiempo, esos sistemas adquirieron más y más las características de un conjunto de herramientas que en su diseño incluían la flexibilidad para acomodarse a un amplio rango de tipo de problemas (Dangermond, 1990).

Usualmente se asume que un SIG debería ser igualmente capaz de representar datos a escalas locales donde los datos catastrales forman la base, hasta escalas regionales y mayores donde el mapeo temático es lo esencial. A escalas más grandes, las proyecciones de los mapas son componentes esenciales del SIG, y en ese contexto el origen de los datos a partir de sensores remotos ha guiado su construcción y uso.

Durante los años 80 los SIG han sido capaces de manejar eficientemente los formatos vectorial y raster, de aplicar fácilmente el mapeo temático y catastral, y de llevar adelante operaciones tales como la superposición y la demarcación de zonas buffer a los datos espaciales. A mediados de los años 80 surgió la idea de los Sistemas Espaciales de Soporte de Decisiones -Spatial Decision Support System (SDSS)- y para el final de la década éstos eran incluidos en una autorizada revisión en el campo de los SIG (Densham, 1991). Esta tendencia fue evidente en el impulso a la iniciativa de investigación sobre los SSD en 1990 por parte del United States National Center for Geographic Information and Analysis (Goodchild y Densham, 1993).

En los años 90 el énfasis se puso en desarrollar fuertemente las relaciones con otros softwares a partir de la estandarización en las rutinas de importación y exportación de archivos, y hay evidencias que muchos sistemas comenzaron a abrazar funciones más específicas como las que se requieren en el planeamiento del uso de la tierra (Batty, 1991). Paralelamente, para principios de los años 90, los SDSS habían conseguido hacerse de un lugar en la comunidad de los SIG y eran reconocidos como un área en crecimiento en la aplicación de esta tecnología (Muller, 1993). El retraso en el reconocimiento de los SSD comparado con el resto de los SDSS en otros dominios refleja la gran demanda del procesamiento espacial en la tecnología. De todas maneras, a pesar de que este desarrollo de los SDSS no ocupa un lugar central en el campo de los SIG, y que muchos textos introductorios a los SIG no mencionan a los SDSS (Clarke, 1997; Bernhardse, 1999), esto puede ser reflejo de un sentimiento generalizado en las disciplinas geográficas acerca de que las aplicaciones SDSS involucran una diversidad de técnicas de diferentes campos más allá del dominio geográfico.

Menos atención se le ha prestado a los SDSS dentro de la comunidad de investigación de los SSD hasta mediados de los 90 cuando algunos trabajos en ese área comenzaron a aparecer (Wilson, 1994). Una de las primeras publicaciones en una revista especializada ilustra la efectividad de la tecnología SDSS (Crossland *et al.*, 1995). Bosque Sendra (2000) los denomina Sistema de Ayuda a la Decisión Espacial; y en esta investigación se los denominará simplemente SSD, aunque está tácita la componente espacial del mismo.

Según Buzai (2000) las aplicaciones en SIG serán efectivamente utilizadas para el proceso de toma de decisiones si se cuantifica gran cantidad de información o se proponen métodos para cuantificar aspectos cualitativos a través de tratamientos matriciales, si se tiene en cuenta que existe información imposible de ser cuantificada y si se considera importante no se la desecha, y finalmente, si el profesional usuario de la información geográfica considera que los problemas que debe intentar resolver están en la vida cotidiana y deja de lado la búsqueda de la “totalidad” a la cual nunca se puede acceder.

#### **II.4. Situación en la Argentina**

En cualquier país, por muy desarrollado que este sea, existe un inevitable desfase entre el estado del arte del análisis de los sistemas naturales y la práctica del día a día en los organismos encargados del tema. “La existencia de este desfase está perfectamente justificada, y su falta implicaría o bien que la investigación y la tecnología no progresan, o bien que los profesionales dedicados a la práctica cotidiana no disponen de suficiente tiempo como para permitirles estar perfectamente al día, cosa que no suele ser habitual en la mayor parte de los casos” (Andreu *et al.*, 1994).

En Argentina, el diseño de SSD que utilicen modelos cuantitativos y elementos de la base de datos a partir de un acercamiento integral a la

identificación y solución del problema está, en el mejor de los casos, aún en una etapa embrionaria, por las varias razones.

- Falta de fondos para la toma de datos.
- Almacenamiento de datos en compartimentos “estancos” (oficinas administrativas, etc.), lo que imposibilita el acceso a los mismos, la verificación de su calidad y su transformación en información.
- Ausencia de estándares y/o protocolos para la recolección de datos y su codificación en bases de datos.
- Inexistencia de flujo de la información entre los estamentos interesados, por lo que muchas veces se duplican esfuerzos y tareas (y por lo tanto fondos) para producir la misma información.
- Deficiente infraestructura informática, tanto a nivel de software como de hardware.
- Escaso nivel de informatización de la información y exigua disponibilidad o manejo de información territorial en formato digital.
- Ausencia de personal técnico formado o con conocimiento de las tecnologías de la información geográfica.
- Ausencia de una concepción integral del funcionamiento de los sistemas naturales, por lo que generalmente los estudios de un mismo sistema natural quedan atomizados temáticamente.

De todas maneras, es justo destacar que, en ocasiones se desarrollan algunos de los componentes de un Sistema de Soporte de Decisiones, comúnmente los relacionados con las herramientas de evaluación multicriterio o con los modelos, pero en pocos casos en forma conjunta, con una visión orgánica de este concepto. Algunos ejemplos de SSD que se desarrollaron o se desarrollan en el país, son:

-Proyecto Nacional de Prevención y Lucha contra la Desertificación para el Desarrollo Sustentable de la Patagonia. Tiene como objetivos el manejo y la evaluación de los recursos naturales, la detección de nichos de mercado para

producciones alternativas y la evaluación ambiental y técnico-económica de nuevas alternativas productivas. Lo lleva adelante el Centro Regional Patagonia Sur del INTA junto con la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), gobiernos provinciales, universidades e institutos de investigación.

- Indicadores de Desertificación y SSD para la Llanura Semiárida Pampeana (Provincia de San Luis). El objetivo es evaluar a nivel de terreno indicadores de desertificación a fin de construir índices temáticos y generales de desertificación a partir de los indicadores seleccionados y probados y desarrollar un SSD para consulta de usuarios de diferente perfil. Las instituciones participantes son la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental y la Estación Experimental Agropecuaria San Luis del INTA.

- Indicadores de Desertificación para la Toma de Decisiones en el Chaco Argentino (Provincias de Chaco y Formosa). El objetivo es la identificación y selección de indicadores socio-económicos en desertificación, para poblaciones de la Región Chaco - Formosa (zonas áridas y semiáridas). Las instituciones que lo llevan adelante son la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental y la Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña del INTA.

- El Sistema de Soporte de Decisiones SSD Neuquén. Pretende contribuir al proceso de toma de decisiones de orden político, tecnológico, económico, social y ambiental en la provincia de Neuquén. Este trabajo fue realizado en el marco del Proyecto de Prevención y Control de la Desertificación para el desarrollo sustentable en la Patagonia (PRODESAR-INTA-GTZ).

- Sistema avanzado, con utilización de imágenes satelitales para el acceso, integración y manejo de información de variables agronómicas y climáticas. El objetivo es desarrollar un sistema de análisis, manejo e inventario actualizado de la información agronómica y climática más utilitario y rápido que los actualmente disponibles en el país. Las instituciones participantes son el Internacional Soil Fertility and Agricultural Development Center, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA-Uruguay), el Instituto de Clima y Agua del INTA y la División de Suelos y Aguas del Ministerio de Ganadería y Agricultura de Uruguay.

- Modelos y Simulación en la Trazabilidad de la Carne. El objetivo es brindar a los productores ganaderos y profesionales de una herramienta destinada a convertir a un establecimiento en una empresa competitiva, adaptándose a los requerimientos de comercialización en los mercados del primer mundo; satisfacer las necesidades de informatización de los investigadores en producción ganadera y auxiliar a un asesor ganadero en la toma de decisiones y en los procesos claves relacionados con la cría del ganado vacuno. Las instituciones que lo llevaron adelante fueron las Facultades de Ciencias Exactas y Naturales y de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Nordeste.

En los casos particulares de la ciudad de Azul y la cuenca del Azul, existe abundancia de información en las oficinas gubernamentales, entidades intermedias e institutos de investigación pero no muchos de esos datos son adecuadamente analizados y efectivamente usados para la formulación de planificación y su implementación. Se requiere un sistema integrado donde todos los datos estén almacenados en un formato uniforme y que se use regularmente en el monitoreo de proyectos, su análisis y todo otro ejercicio de planeamiento. Aunque idealmente se trata de usar los recursos de la mejor manera posible para el logro de determinados objetivos, en la práctica raramente se lleva a cabo, especialmente en los niveles locales (Phansalkar, 2002).

## **II.5. El valor de la tierra**

En los últimos años la práctica de la valuación inmobiliaria se ha convertido en un trabajo de gran importancia y elevada responsabilidad. Su fin es el de formar un juicio objetivo del valor más probable que puede alcanzar un determinado inmueble, inmerso en unas coordenadas de tiempo y espacio propias (Alcázar Molina, 2003). En la provincia de Buenos Aires, la metodología valuatoria se encuentra establecida por la ley que ordena el catastro (Ley 10.707 y sus reglamentarias).

En el caso de los inmuebles ubicados en la zona urbana, la ley contempla que el inmueble debe ser valuado considerando la tierra y el edificio por separado. El valor de la tierra es el resultado de la combinación entre los valores básicos y las condiciones del lote; mientras que el valor del edificio es el resultante del método de reposición, en el cual se establecen valores básicos del metro cuadrado construido según las características y destino de los edificios. A fines del año 2005 la Legislatura Provincial sancionó la Ley Impositiva que autorizó el revalúo inmobiliario urbano debido a que las valuaciones fiscales eran consideradas bajas en relación a los precios de mercado, un promedio del 40% del valor real de los inmuebles (Torres, 2006). Fue así que la Dirección de Valuaciones Catastrales, órgano dependiente de la Subsecretaría de Ingresos Públicos, realizó una serie de estudios preliminares, relevamientos y sondeos de la realidad de valores inmobiliarios de la provincia y, a partir de los mismos, las Comisiones Asesoras de cada partido de la provincia, tuvieron el objetivo de determinar los Valores Básicos Unitarios de la tierra libre de mejoras, reflejando lo más fielmente posible la realidad local y los valores venales vigentes (sobre un lote tipo, ubicado a mitad de cuadra, de 10 m de frente por 30 m de fondo, con el frente sobre vías de comunicación que delimiten a la manzana, quinta o unidad equivalente). Finalmente, esos valores fueron incorporados a la base de datos de la Dirección de Catastro para su análisis y procesamiento, adicionándosele el componente del valor por metro cuadrado edificado con el objeto de determinar las nuevas valuaciones fiscales actualizadas.

Las Comisiones Asesoras son conformadas por un representante por cada uno de los siguientes Consejos o Colegios Profesionales: Ingenieros, Agrimensores, Arquitectos, Escribanos y Martilleros y Corredores Inmobiliarios, también se suma un representante del Banco de la Provincia de Buenos Aires, más dos representantes por cada Municipalidad, y presididas por un representante del Ministerio de Economía.

En el caso de los inmuebles ubicados en la zona rural, la valuación es el resultado de la suma del valor asignado al terreno (tierra libre de mejoras), a las mejoras realizadas (alambrados, silos, molinos, tanques australianos, etc.) y el valor de los edificios cuando correspondiera. El valor de la tierra libre de mejoras

representa el valor óptimo por hectárea en condiciones de secano y son calculados por el Organismo Catastral sobre la base del estudio del mercado inmobiliario. Posteriormente, se conforman Comisiones Asesoras en cada partido de la provincia que tienen como único cometido analizar dichos valores sometiéndolos a su consideración y, trabajando conjuntamente con integrantes de la Dirección Provincial de Catastro, intentar llegar a un consenso. Para la determinación de dichos valores óptimos se tienen en cuenta los valores venales, las operaciones inmobiliarias realizadas en el área y su directa correlación con la aptitud del predio en cuanto a destino y tipo de explotación. Una vez determinado el campo tipo como exponente máximo de tasación dentro de la circunscripción, el valor obtenido será llevado a la aptitud máxima posible que fija el sistema valuatorio vigente (100 puntos de aptitud para el mejor campo de la provincia sobre ruta). El resultado de esta determinación será considerado el campo óptimo desde el punto de vista de la producción y del valor.

Las Comisiones Asesoras son conformadas por un representante por cada uno de los siguientes Consejos o Colegios Profesionales: Ingenieros, Agrimensores, Escribanos y Martilleros y Corredores Inmobiliarios, también se suman representantes de las entidades agropecuarias con representación provincial (Confederación de Asociaciones Rurales de Buenos Aires y La Pampa -CARBAP-, Federación Agraria Argentina y Cooperativas Agrarias) y del Banco de la Provincia de Buenos Aires, más dos representantes por cada Municipalidad, y presididas por un representante del Ministerio de Economía.

La intención de intentar desentrañar la distribución del valor de la tierra sobre la ciudad de Azul y la cuenca del arroyo del Azul justamente reúne conceptos de la Geografía Económica en su faceta de ciencia espacial, sobre todo al considerar que la distancia es considerada como una variable explicativa muy importante en su determinación. Conceptos como el de *renta diferencial de ubicación* planteado por Heinrich Von Thünen en 1826 están tácitamente relacionados con la problemática planteada en esta investigación, ya que al analizar procesos de interacción espacial surge el principio conocido como *distance-decay effect* por el cual dicho fenómeno de flujo tiende a decrecer con el aumento de la distancia. Aparece, entonces, una renta diferencial generada por la



ubicación. También el concepto de plusvalía tiene su participación en la determinación del valor de la tierra ya que, por ejemplo, las inversiones públicas son intervenciones del Estado que generan un incremento del valor del suelo y hay toda una discusión en el ámbito académico acerca de cómo ese beneficio que obtiene el propietario debería retornar a la colectividad y ayudar a financiar el desarrollo en otra zona. En Argentina, en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Rosario se lleva adelante un estudio sobre el funcionamiento del mercado de suelo en Rosario, con el objeto de determinar las variables que inciden en la valoración de las tierras urbanas y la formación de los precios. Para esto, se realizan pruebas piloto que son experiencias de análisis en ciertos sectores de la ciudad destinadas a esclarecer la razón del notable aumento del valor de la tierra en la ciudad durante los últimos años y la enorme dispersión de precios. A diferencia de la presente investigación, dicho proyecto se centraliza en la problemática urbana, teniendo un eje exclusivamente económico y sin la mediación de las herramientas geotecnológicas aquí utilizadas. De todas maneras, la investigación de la presente Tesis también pretende ser un aporte para la generación de políticas de uso del suelo y tributación más equitativas y justas.

## **PROPUESTA METODOLÓGICA**



### **III.1. Marco conceptual general de la propuesta metodológica**

Los SSD ofrecen la capacidad de elaborar una decisión a partir de la integración de información alfanumérica con parámetros geográficos, y así modelar los procesos y análisis espaciales para generar información nueva (David y Reisinger, 1985; Covington *et al.*, 1988; Fedra y Reitsma, 1990; Densham, 1991; Naesset, 1997; Varma *et al.*, 2000). Pero la toma de decisiones espaciales a través del apoyo geotecnológico involucra varios pasos que son necesarios reconocer para valorar en real dimensión dicho proceso. “El espacio geográfico real y el mismo espacio geográfico incorporado al ambiente computacional no son lo mismo. Pasar de uno al otro requiere de simplificaciones cuyas consideraciones teóricas sólo pueden comprenderse a través de los procedimientos intelectuales mediante los cuales el mundo real se transforma en un modelo digital” (Buzai, 1994).

El mundo real es el entorno vivencial de múltiples dimensiones que se organiza como un sistema complejo en el cual pueden determinarse elementos, relaciones y procesos en diferentes niveles de resolución. El hombre (sujeto de conocimiento) aprehende el espacio geográfico y, mediante un procedimiento de selección realiza una primera representación a través de un modelo (esto es, identifica un problema y esboza un modelo de la situación). En la construcción de este modelo conceptual participan todas las fuentes de conocimiento a las que pueda recurrir el investigador, esto es, publicaciones específicas, intercambios con expertos, y las propias experiencias vividas. Este es el espacio geográfico como modelo conceptual que es posible incorporar al ambiente computacional para su tratamiento y análisis pero debe aún atravesar otra transformación conceptual que lo asimilará a las entidades digitales que un ambiente informático está posibilitado de operar. “Los objetos, relaciones y procesos representados a través del modelo

conceptual, en una segunda instancia pasan al ambiente de la informática a partir de diferentes procedimientos técnicos que lo hacen posible, como la codificación de datos alfanuméricos o la geocodificación de entidades gráficas. De esta forma se efectiviza el pasaje del modelo conceptual al modelo digital de la realidad” (Buzai, 1999). En esta etapa la tecnología informática es de vital importancia, ya que posibilita la consideración de enormes bases de datos espaciales con las que es posible procesar la información y aplicar herramientas de evaluación y validación. Desde esta nueva perspectiva, es posible analizar el modelo digital construido y proponer una solución al problema identificado originariamente para impactar así sobre el mundo real. Pero esta “vuelta” al origen sólo es posible a través de una decisión política en la cual intervienen otros actores de la sociedad, los encargados de implementar la propuesta de solución al problema y monitorear su evolución.

La Figura III.1 ejemplifica, de forma esquemática, lo expuesto anteriormente. De izquierda a derecha, se representan las mediatizaciones necesarias para que el mundo real se transforme en un modelo digital, es decir, para que el espacio geográfico sea incorporado sin inconvenientes al ambiente computacional. Cabe señalar aquí que tanto el mundo real como los modelos conceptuales y digitales son dinámicos, es decir, cambian continuamente, modificándose a través del tiempo e influyéndose mutuamente, con lo que se produce lo que Buzai (2000) denomina “una situación dialéctica de infinito desarrollo”.

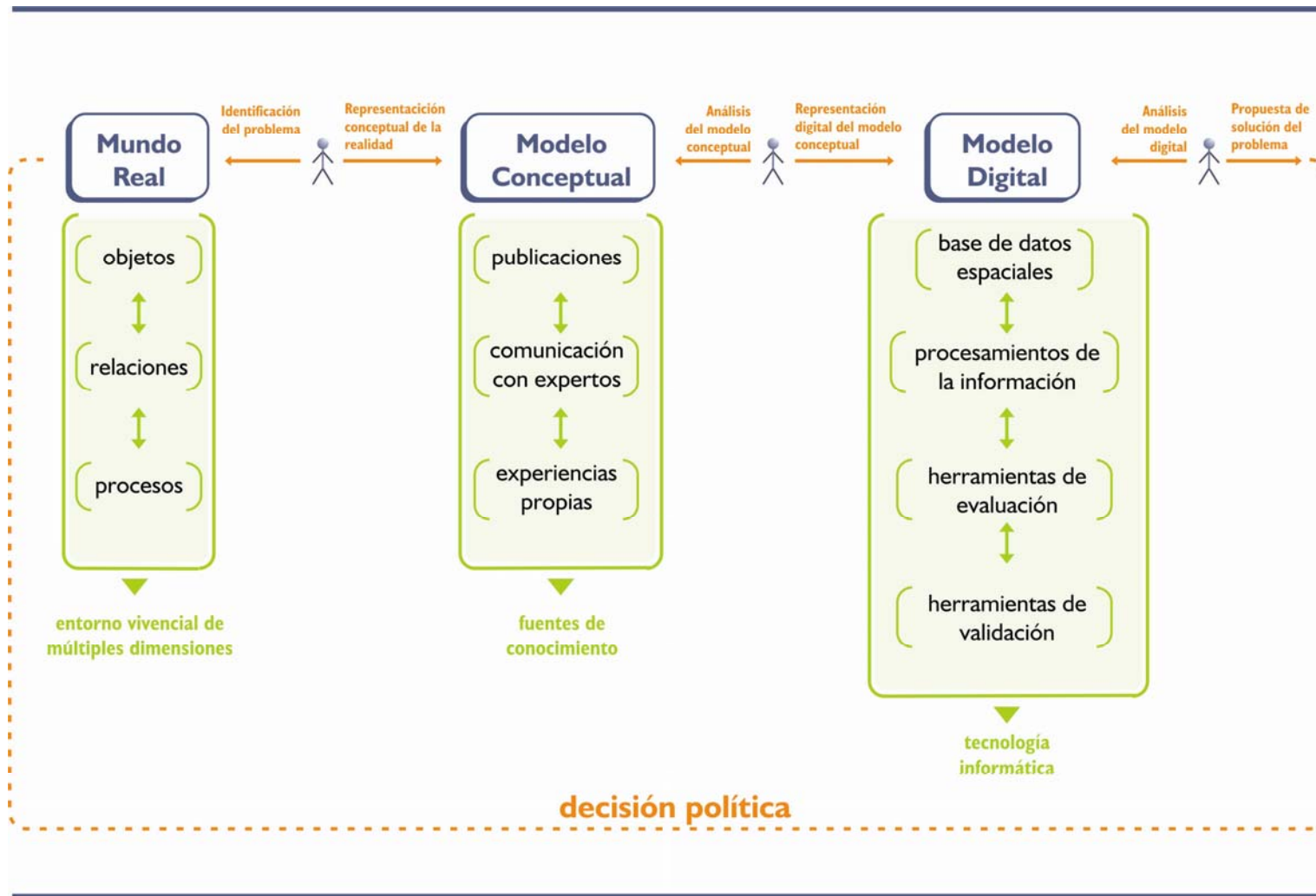


Figura III.1. Proceso de toma de decisiones espaciales a través del apoyo geotecnológico (adaptado a partir de los conceptos y gráficos propuestos por Reitsma *et al.*, 1996; Buzai, 1999, 2003 y Bian *et al.*, 2004).

A continuación, se pretende reflejar lo experimentado por el investigador al momento de hacer frente a cada una de las mediatizaciones que fueron necesarias para completar el objetivo propuesto.

### **III.2. El mundo real**

A partir de la observación del mundo real surgió el problema de la investigación que, aunque ya fuera oportunamente formulado en la Introducción del presente documento, vale la pena traerlo a colación. Se detectó la falta de una base de datos tanto a escala urbana como rural que permita tomar decisiones espaciales menos subjetivas, específicamente en lo relacionado a la determinación del valor de la tierra libre de mejoras. Lo extraído, entonces, de la realidad como una situación problemática fue el proceso de valuación de la tierra.

### **III.3. El modelo conceptual**

El modelo conceptual fue construido a partir de la lectura de publicaciones especializadas y, sobre todo, de los comentarios de distintos integrantes de las Comisiones Asesoras Locales acerca de sus propias experiencias en la tarea de definir los Valores Básicos Unitarios, específicamente en cuanto a los criterios tenidos en cuenta para tal fin. A partir de allí, quedó claro que:

- A escala urbana, un lote tipo tendría un determinado valor según:
  - Su distancia a: el centro geográfico de la ciudad, los centros comerciales, las vías de acceso a la ciudad, las avenidas, el asfalto, el agua corriente, el gas, las cloacas, el alumbrado público, los puntos conflictivos (cárcel e

instituto correccional de menores), los lugares de mayor valor estético (Parque y Balneario Municipales), los focos contaminantes (basureros y rellenos sanitarios, cementerios, industrias de la cerámica, canteras, molinos harineros, plantas de silos, criaderos de pollos, frigoríficos, curtiembre, corralón municipal, parque industrial, plantas transformadoras y estaciones de gas).

- La calidad de las viviendas.
- A escala rural, un campo tipo tendría un determinado valor según:
  - Su distancia a: las rutas, las líneas de media tensión y los centros urbanos.
  - Su distancia a los caminos rurales y al estado de los mismos.
  - La anegabilidad de sus tierras.
  - La calidad de sus tierras.
  - El uso actual de sus tierras.
  - La disponibilidad de agua para los distintos usos (riego, consumo humano y para el ganado).
  - La calidad de sus aguas para los distintos usos (riego, consumo humano y para el ganado).

Las Figuras III.2 y III.3 reflejan esquemáticamente los modelos conceptuales para la determinación de los Valores Unitarios Básicos para el Valor de la Tierra Libre de Mejoras a escalas urbana y rural, respectivamente. Los gráficos XY representan la relación que se considera existente entre los valores que adopta cada variable (eje X) y los valores monetarios de la tierra según dicha variación (eje Y). Cabe mencionar aquí que los integrantes de las Comisiones Asesoras Locales tienen “en mente” dichas variables, es decir, a partir de sus conocimientos de la realidad van “dibujando” mentalmente los mapas que muestran la variabilidad espacial de cada uno de los criterios y así, concensuando entre ellos, van proponiendo los valores para cada unidad de análisis (la cuadra a nivel urbano y el cuartel a nivel rural).



Figura III.2. Modelo conceptual para la determinación de los Valores Unitarios Básicos para el Valor de la Tierra Libre de Mejoras a escala urbana.





Figura III.3. Modelo conceptual para la determinación de los Valores Unitarios Básicos para el Valor de la Tierra Libre de Mejoras a escala rural.



### **III.4. El modelo digital**

Ahora bien, ¿cómo convertir este modelo conceptual en un modelo digital? Éste es el gran desafío: lograr la mediatización entre ambos modelos. Para esto, es necesario definir las herramientas a utilizar, las unidades de análisis, las variables, las fuentes de datos, el tratamiento a que será expuesta cada variable, el modelo que se adoptará para simular la relación entre ellas y la manera de evaluar los resultados. Todo esto exige que el investigador tenga una concepción lo suficientemente clara y ordenada del aspecto del sistema que pretende analizar. En este caso, además, los sistemas son muy distintos (el urbano y el rural) por lo que la naturaleza de las variables también lo es, como así también el tratamiento de las mismas.

#### **III.4.1. Herramientas informáticas**

Las herramientas informáticas para construir el modelo digital fueron, principalmente, dos: ILWIS 3.2 Academic e IDRISI Kilimanjaro. El primero de ellos se utilizó para construir los mapas vectoriales (de puntos, segmentos y polígonos) ya que su módulo de digitalización es sumamente versátil y poderoso, mientras que el segundo se usó para todas las tareas pertinentes a los mapas temáticos, desde el procesamiento de imágenes satelitales hasta las distintas operaciones entre mapas, la aplicación de las herramientas de evaluación multicriterio y de la evaluación de la incertidumbre. En lo que respecta al sistema de proyección utilizado para la georreferenciación de los datos, el mismo fue el Gauss Krüger, faja 5.

Claramente, el elemento indispensable en todo este análisis espacial lo constituye la “matriz de datos geográfica”, que organiza matricialmente los datos y permite sistematizar el trabajo. Es una tabla de doble entrada organizada por filas (unidades espaciales) y columnas (variables) conteniendo la totalidad de los datos intervinientes en el estudio. Un análisis inicial de esta matriz contempla tres aristas (Buzai y Baxendale, 2002):

- Un análisis horizontal: de qué forma una unidad espacial contiene una combinación determinada en los comportamientos de las variables;
- Un análisis vertical: de qué forma una variable se distribuye de manera diferente en las unidades espaciales del área de estudio;
- Un análisis en profundidad: de qué forma las variables (columnas), unidades espaciales (filas) o hechos geográficos (celdas) se comportan a través del tiempo.

La estructura de datos artífice de esta investigación es la raster, que divide el espacio de forma discreta y para ello utiliza una matriz cuadrículada en donde cada una de las celdas contiene la información correspondiente a la categoría del espacio geográfico dominante en ella. Cada celda se llama comúnmente *pixel* (*picture element*) y es la unidad mínima de representación espacial. La base de datos raster se organiza por capas temáticas superpuestas y cada una de ellas es un tema diferente en el nivel cartográfico. El procedimiento técnico básicamente se realiza por superposición temática con procedimientos de análisis que puedan obtener resultados a partir de la combinación de los números del *pixel* que se ubica sobre un mismo espacio. Así, cada capa temática debe representar exactamente el mismo lugar, esto es, tener la misma extensión, la misma cantidad de cuadrícula con el mismo tamaño de *pixel*, sólo así se logra la superposición perfecta que se requiere.

### **III.4.2. Unidades de análisis**

Tal cual lo plantea Samaja (1993), los objetos de investigación son complejos y su estudio conlleva a sumergirse en una dialéctica de matrices de datos conformada por distintos niveles en los que participan diferentes unidades de análisis. Es así que en esta investigación es posible identificar un sistema de matrices de datos en tres niveles de integración para cada una de las escalas analizadas: *pixel*; unidad catastral, ciudad o cuenca.

A escala urbana se construyó cada mapa temático y se planteó su intersección con los restantes aspectos del sistema a partir de una grilla regular de píxeles de 15,3 m de lado, conformando una matriz con 387.464 unidades participantes efectivamente del análisis, es decir que pertenecen a una determinada unidad catastral. Posteriormente, al momento de analizar el modelo resultante y plantear la validación de los escenarios posibles, se eligió como unidad de análisis la manzana, elemento que en algunos casos presenta una importante variedad de dimensiones, pero que en general posee una cierta homogeneidad funcional y urbanística. En las zonas de la periferia, donde no están demarcadas aún las manzanas, se optó por la unidad catastral existente delimitada por calles, ya sea quinta o chacra. En total, quedaron definidas 2.016 unidades catastrales.

A escala rural se construyó cada mapa temático y se planteó su relación con los restantes a partir de una grilla regular de píxeles de 30 m de lado, conformando una matriz de 6.927.216 unidades. Posteriormente, al momento de analizar el modelo resultante y plantear la validación de los escenarios posibles, se eligió como unidad de análisis el cuartel, unidad catastral de amplia aplicación en los estudios rurales y que también gozan de una relativa homogeneidad interna. En total quedaron involucrados (total o parcialmente) 31 cuarteles correspondientes a los partidos de Azul, Las Flores, Rauch, Tapalqué, Olavarría y Benito Juárez.

La Figura III.4 muestra los tres niveles de análisis para las escalas urbana y rural, identificándose en dicha concepción del sistema de matrices de datos a las unidades catastrales como matrices de datos centrales o de anclaje en ambas escalas, y a los píxeles, ciudad y cuenca como niveles complementarios.

Lo anteriormente descripto (variables de diferente naturaleza y unidades de análisis distintas) no hace más que reflejar lo planteado por Samaja (1993), esto es, que las investigaciones científicas de todas las disciplinas involucran la descripción de un objeto complejo (y en principio todo objeto real lo es) conformando un entramado compuesto por datos de distinto tipo y de diferentes niveles de integración.

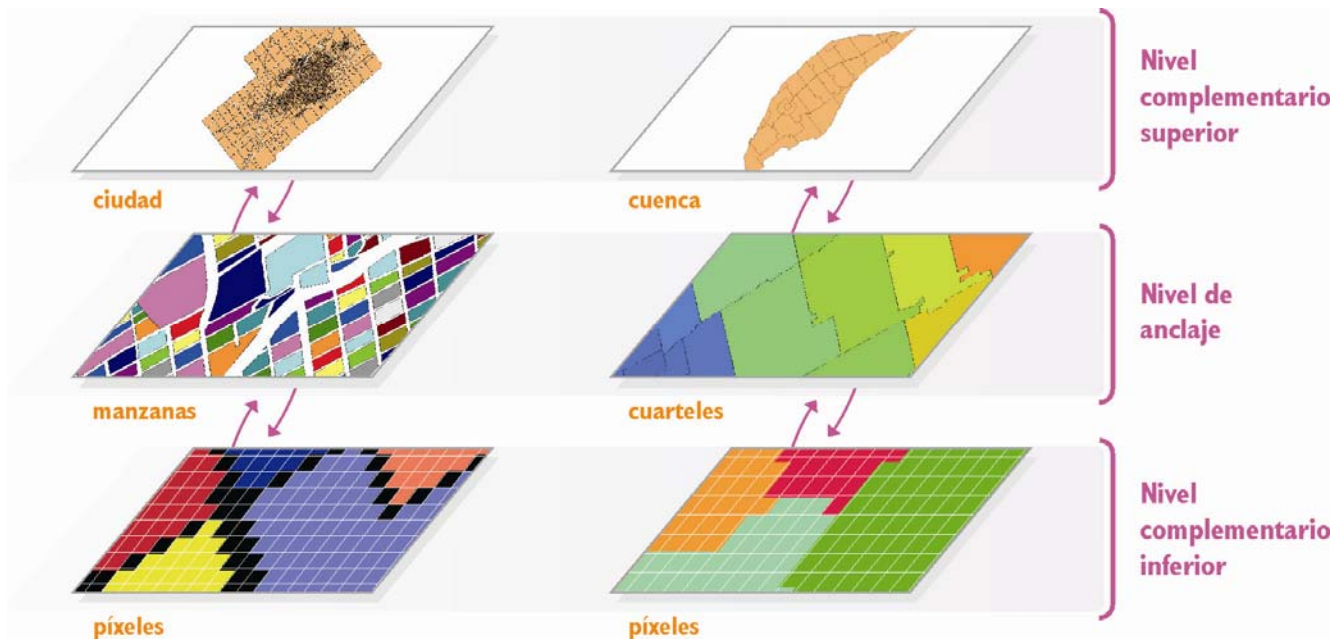


Figura III.4 Sistema de matrices de datos de la presente investigación.

### III.4.3. Variables

#### A escala urbana:

Para las variables “Distancia a...” se digitalizó/aron el/los polígono/s correspondiente/s y luego se convirtieron dicha/s área/s al formato raster para calcular, mediante el módulo DIST de Idrisi, la distancia a dichos píxeles. En la Tabla III.1 se describen los lugares o sectores considerados en la posterior determinación de la distancia que conformaron la mayoría de las variables a escala urbana.

Tabla III.1. Lugares involucrados en la determinación de variables “Distancia a...”

Variable	Lugares específicamente involucrados
Distancia al centro geográfico	Plaza San Martín (aproximadamente 800 m2).
Distancia a los centros comerciales	Distintos centros comerciales de la ciudad (un total de 1.2 km2) según la Ordenanza de Zonificación Preventiva que determina el ordenamiento territorial y uso del suelo para el partido de Azul.
Distancia a los accesos	Segmentos de Ruta Nacional 3, Rutas Provinciales 51 y 226 y vías del Ferrosur Roca.
Distancia a las avenidas	Avenidas J. D. Perón, B. Mitre, Piazza, Mujica, 25 de Mayo, J. B. Justo, Pellegrini, Mons. Cáneva, Cac. Catriel, Gdor. Bidegain y M. Cháves.
Distancia al asfalto	Área de la ciudad que goza de tal servicio (5.8 km2), a partir de la información provista por la Dirección de Hidráulica y Vialidad Urbana de la Municipalidad de Azul.
Distancia al agua corriente	Área de la ciudad que goza de tal servicio (14.1 km2), a partir de la información provista por el Departamento de Servicios Públicos de la Municipalidad de Azul.
Distancia al gas	Área de la ciudad que goza de tal servicio (10.3 km2), a partir de la información provista por el Departamento de Servicios Públicos de la Municipalidad de Azul.
Distancia a las cloacas	Área de la ciudad que goza de tal servicio (7.5 km2), a partir de la información provista por el Departamento de Servicios Públicos de la Municipalidad de Azul.
Distancia al alumbrado público	Área de la ciudad que goza de tal servicio (19 km2), a partir de la información provista por el Departamento de Servicios Públicos de la Municipalidad de Azul.
Distancia a los puntos conflictivos	Unidad Penitenciaria Séptima e Instituto Correccional de Menores “Leopoldo Lugones”.
Distancia a lug. de > valor estético	Parque Municipal “Domingo Faustino Sarmiento” y Balneario Municipal “Guillermo Brown”.
Distancia a focos contaminantes	Basureros y rellenos sanitarios, cementerios, industrias de la cerámica, canteras, molinos harineros, plantas de silos, criaderos de pollos, frigoríficos, curtiembre, corralón municipal, parque industrial, plantas transformadoras y estaciones de gas.

Y en cuanto a la variable Calidad de las viviendas, se recurrió a la base de datos del INDEC sobre el censo 2001, de donde se extrajo la información de un indicador sintético en el que se resumen ciertas características constructivas de las unidades habitacionales -CALMAT- elaborado mediante la combinación de los materiales, los elementos de aislamiento y de terminación utilizados en los principales elementos constitutivos de la vivienda (paredes, pisos y techos) y, para cuyo tratamiento se tuvieron en cuenta los criterios de condiciones de aislamiento, tipo de material utilizado, resistencia de los materiales constructivos y forma de construcción (Olmos *et al.*, 2003). Este indicador posee cinco categorías I, II, III, IV y V, yendo desde aquella vivienda que presenta materiales resistentes y sólidos en todos los parámetros (pisos, paredes y techos) con todos los elementos de aislamiento y terminación, hasta aquella que presenta materiales no resistentes ni sólidos o de desecho en todos los componentes básicos constituyentes de la vivienda (en el Anexo A se detallan las características de las cinco categorías). Los pesos asignados intentan reflejar el hecho de que las categorías más altas de vivienda le aportan un mayor valor a la tierra, por eso la asignación desde un peso de 5 a la categoría I hasta un peso de 1 a la categoría V. Así, se elaboró un nuevo índice integral de la calidad de las viviendas para cada radio censal:

$$IICV = (NVC I * 5 + NVC II * 4 + NVC III * 3 + NVC IV * 2 + NVC V * 1) / NTV$$

Donde:

IICV: Índice integral de calidad de las viviendas

NVC I...V: Número de viviendas con el indicador CALMAT I...V

NTV: Número total de viviendas

Posteriormente, se convirtieron dichos polígonos al formato raster.

### **A escala rural:**

- Distancia a las rutas: Se digitalizaron los segmentos de las distintas rutas que surcan la cuenca del Azul (Nacional 3, Provinciales 50, 51, 60, 80 y 226) a partir de la visualización sobre una imagen Landsat, luego se convirtieron dichos segmentos al formato raster para calcular, mediante el módulo DIST de Idrisi, la distancia a los píxeles involucrados.
- Distancia a las líneas de media tensión: Se digitalizaron los segmentos de las distintas líneas de media tensión existentes en el área de la cuenca del Azul a partir de información cedida por la Oficina Técnica de la Cooperativa Eléctrica de Azul Ltda. Luego se convirtieron dichos segmentos al formato raster para calcular, mediante el módulo DIST de Idrisi, la distancia a los píxeles involucrados.
- Distancia a los centros urbanos: Se digitalizaron los polígonos que involucran las áreas pertenecientes a las ciudades de Azul, Tandil, Olavarría, Las Flores, Tapalqué, Rauch y Benito Juárez, a partir de la visualización sobre una imagen Landsat. Posteriormente, se convirtieron dichos polígonos al formato raster para calcular, mediante el módulo DIST de Idrisi, la distancia a los píxeles involucrados.
- Distancia a los caminos rurales y estado de los mismos: A partir de la digitalización de los caminos rurales y con una codificación de los mismos según su estado (información provista por la Dirección de Vialidad Rural de la Municipalidad de Azul), se construyó una superficie de costo para representar fricciones o barreras al movimiento, asociadas con un desplazamiento a través del píxel, asumiendo que los caminos vecinales son el único medio de transporte hacia la ciudad de Azul. Se utilizó, entonces, la codificación del estado de cada camino -bueno, regular o malo- para representar en dicha superficie de fricción el grado de dificultad para el desplazamiento.
- Anegabilidad de las tierras: Para detectar el patrón de expansión de las aguas en la cuenca, se utilizaron imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+ (escenas 225-85 y 225-86) de siete fechas representativas (28/02/00, 24/04/01,

13/05/01, 23/12/01, 14/04/02, 07/10/02 y 24/11/02) de distintas condiciones hidrológicas, con cobertura nula de nubes. A partir de las mismas, se llevó adelante una clasificación obteniéndose como resultado siete imágenes binarias (máscaras) de zonas no anegadas (0)/anegadas (1) con las cuales se calculó un promedio para cada píxel. En el Anexo B se describen detalles complementarios de esta variable relacionada con la importancia del agua como modeladora del paisaje.

- Calidad de las tierras: La manera elegida para cuantificar la variable edáfica fue recurrir al índice de productividad de los suelos desarrollado por Riquier *et al.* (1970) con las modificaciones agroecológicas locales introducidas por el Instituto de Evaluación de Tierras del INTA-CIRN, el cual resulta de la fórmula multiplicativa cuyos factores son propiedades de los suelos vinculados a la productividad (disponibilidad de agua, drenaje, profundidad efectiva, textura del horizonte superficial y del subsuperficial, contenido de sales solubles, alcalinidad sódica, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, etc.). El índice de productividad modifica su valor en función de limitantes de cada una de las propiedades seleccionadas, y como referencia general se establecen los siguientes intervalos:

100 a 70: Tierras con aptitud agrícola de alta productividad

69 a 50: Tierras con aptitud agrícola-ganadera

49 a 30: Tierras con aptitud ganadero-agrícola

< de 29: Tierras con aptitud ganadera

El mapa temático se construyó a partir de la digitalización de las unidades cartográficas de las cartas de suelo elaboradas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (escala 1:50000) y extrayendo los valores del índice de productividad de los cuadernillos descriptivos pertenecientes a cada carta. En total, se identificaron en la cuenca 99 unidades cartográficas diferentes (70 complejos, 16 consociaciones y 13 asociaciones) pertenecientes a 11 subgrupos de suelos, además de lagunas y afloramientos rocosos. Posteriormente, se



convirtieron dichos polígonos al formato raster. En el Anexo C se describen detalles complementarios de esta variable.

- Uso actual de la tierra: Para determinar esta variable se llevó adelante una clasificación no supervisada de 9 imágenes del satélite SAC-C durante el período abril 2005 a marzo 2006, en la cual el espectro general se divide en clases que, por lo general, están vinculadas a distintos usos de la tierra (Navone y Gargantini, 2003). Para verificarlo y para asignar a cada clase uno o varios usos, debe encontrarse la correspondencia entre esas clases obtenidas y las categorías de usos tal como nos interesa definir las (Chuvienco, 2002). Esto se logra mediante un trabajo de campo en el que se reconocen los usos de la tierra para las fechas de cada imagen y con esta información de verdad de campo se asigna, por reclasificación, los usos del suelo a cada clase obtenida. La lógica con la que trabaja la clasificación no supervisada se conoce como análisis cluster o de grupos, de los cuales se han desarrollado cientos de métodos para una gran variedad de propósitos. Los algoritmos usados para la clasificación no supervisada de datos de sensores remotos generalmente varían de acuerdo a cómo se arman los grupos, teniendo en cuenta que diferentes criterios de eficiencia llevan a diferentes resultados (Haralick y Fu, 1983).

En este caso en particular, se utilizó la técnica máxima de histograma multi-dimensional, que es una variante de la llamada Pico del Histograma (Richards, 1993). Teniendo en cuenta que una vez clasificados los datos, el analista a posteriori asigna esas clases espectrales a las clases de interés y dado que algunos clusters pueden resultar insignificativos en cuanto al número de píxeles involucrados al representar mezclas de clases de los materiales de la superficie terrestre (Jensen, 1996), es que se desecharon aquellos clusters que describían menos del 10% de la imagen, para luego reasignarlos al cluster más similar de los retenidos. En este análisis se emplearon directamente los números digitales de la imagen, ya que no se pretendió conceder un valor físico a los resultados, lo que implica presentar una valoración relativa. Esta metodología es avalada por numerosos autores (Chuvienco, 2002). Una vez finalizada la clasificación de las 9 imágenes, se elaboró un mapa resumen de los usos identificados en la cuenca a

partir del análisis conjunto de las mismas (1: cultivos de verano, 2: pasturas, 3: cultivos de invierno, 4: campo natural, 5: pajonal, 6: lagunas y bajos, 7: montes, 8: afloramientos rocosos, 9: urbano). En el Anexo D se describen detalles complementarios de esta variable.

- Disponibilidad de agua para los distintos usos: Los niveles freáticos se utilizaron como indicadores de la disponibilidad de agua tanto para consumo humano como del ganado, y también como referencia del perfil de humedad en el suelo teniendo en cuenta el crecimiento sin limitante de las raíces de los cultivos. Los datos provinieron de 8 censos estacionales llevados a cabo durante los años 2004 -2005 en 39 pozos distribuidos en la cuenca y pertenecientes a la red de monitoreo del agua subterránea del Instituto de Hidrología de Llanuras. Se utilizó el valor promedio obtenido en los censos que fue adjudicado como identificador a cada pozo para luego proceder a su interpolación con una función de peso inversa de la distancia. En el Anexo E se describen detalles complementarios de esta variable.
  
- Calidad del agua para los distintos usos: Se refiere a las características del agua subterránea que influyen sobre su aptitud para un uso específico. Se utilizaron cuatro variables como indicadoras de la calidad del agua, a partir de datos obtenidos en muestras provenientes de 8 censos estacionales llevados a cabo durante los años 2004 -2005 en pozos distribuidos en la cuenca y pertenecientes a la red de monitoreo del agua subterránea del IHLLA. Se utilizó el valor promedio obtenido en los censos que fue adjudicado como identificador a cada pozo para luego proceder a su interpolación con una función de peso inversa de la distancia. En el Anexo D se describen detalles complementarios de estas variables.
  - Concentración de nitratos: Debido a que el nitrato es uno de los indicadores de la calidad de agua para consumo humano (Custodio y Llamas, 1983) y en la cuenca de estudio presenta valores cercanos o superiores a los límites aceptados por el Código Alimentario Argentino (IHLLA, 2003), se consideró de gran interés su inclusión en este análisis. Su determinación fue

potenciométrica (electrodo específico de nitrato) en muestras provenientes de 36 pozos.

- Relación de adsorción de sodio (RAS): Es un índice de uso muy extendido debido a su efectividad para la consideración de la aptitud de agua para riego, ya que expresa la relación entre los iones de sodio y los calcio y el magnesio existente en el suelo (Ayers y Westcot, 1985). El RAS se define con la siguiente ecuación (donde todas las concentraciones se expresan en meq/l):

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}}{2}}}$$

Su determinación fue por espectrofotometría de absorción atómica sobre muestras provenientes 37 pozos.

- Conductividad eléctrica: Es un indicador de la cantidad total de constituyentes iónicos disueltos en el agua (Freeze y Cherry, 1979). Los valores de conductividad, generalmente estandarizados a una temperatura de referencia, se expresan en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , donde el número creciente corresponde al aumento del contenido de iones en solución, que significa una menor calidad química del agua considerada como recurso. Su determinación fue potenciométrica sobre muestras provenientes de 38 pozos.
- Sólidos Disueltos Totales (TDS): Es la concentración de sólidos totales disueltos en el agua subterránea (Freeze y Cherry, 1979) y es uno de los principales indicadores de la calidad del agua para uso del ganado (Dupchak, 2004). Su determinación fue a partir de la sumatoria de la concentración de iones (expresada en ppm) sobre muestras provenientes de 39 pozos.

### **III.4.4. Herramientas de evaluación multicriterio**

La Evaluación Multicriterio es una técnica que se aplica ante la existencia de diferentes criterios para la evaluación y que contempla la consideración conjunta de los mismos (Voogd, 1983; Carver, 1991). Los SIG poseen un módulo para efectuar este tipo de análisis con el fin de proveer una herramienta para la toma de decisiones.

Una decisión es una elección entre distintas alternativas. Las alternativas pueden involucrar diferentes acciones, diferentes hipótesis acerca de un parámetro, distintas clasificaciones, etc. Al conjunto de alternativas se lo denomina marco de decisión.

El fundamento para la toma de una decisión se denomina criterio. En una evaluación multicriterio, se realiza un intento por hacer una combinación de un conjunto de criterios para obtener una única base compuesta que sirva en la toma de una decisión de acuerdo a un objetivo específico. Los SIG permiten, a través de una evaluación multicriterio, que los mapas de los diferentes criterios sean representados como capas de datos geográficos que puedan ser combinados para formar un único mapa de aptitud a partir del cual surja la elección final.

Los métodos de evaluación multicriterio más comúnmente utilizados en trabajos de aplicación son la Superposición Booleana y la Combinación Lineal Ponderada (WLC, Weighted Linear Combination). En la primera todos los criterios son reducidos a declaraciones lógicas de aptitud para después ser combinados por medio de uno o varios operadores lógicos (intersección y/o unión); mientras que en el segundo los criterios continuos son estandarizados a una escala numérica común, y entonces combinados por medio de un promedio ponderado. El resultado es un mapa de aptitud de variación continua, sobre el cual se pueden imponer máscaras provenientes de una o varias restricciones booleanas para ajustar criterios cualitativos y, finalmente se impone un umbral para elaborar una decisión final. La Combinación Lineal Ponderada permite que los criterios intercambien sus cualidades y así, una cualidad pobre puede ser compensada por la presencia de un conjunto de cualidades más fuertes. De esta manera resulta ser una postura ni

adversa ni favorable al riesgo. Esta última técnica es muy frecuentemente aplicada en diversos campos de investigación aplicada (Pereira y Duckstein, 1993; Eastman, 1993, 1999; Malczewski, 1999; Bojórquez Tapia *et al.*, 1999; Camacho Olmedo *et al.*, 2004; Galacho Jiménez *et al.*, 2004; Muñoz Robles *et al.*, 2005) y se basa en el concepto de los promedios ponderados en el cual se asignan directamente los pesos de importancia relativa a cada criterio y su calificación se obtienen multiplicando el valor de ponderación asignado a cada factor por el valor estandarizado de ese factor, sumando posteriormente todos los productos.

Otro de los métodos de evaluación multicriterio, y que ha sido el adoptado en la presente investigación, es el denominado Promedio Ponderado Ordenado, llamado comúnmente por sus siglas OWA, del inglés Ordered Weighted Average (Yager, 1988). Este método ofrece un espectro completo de estrategias de decisión a lo largo de las dimensiones primarias del grado de intercambio involucrado y del grado de riesgo en la solución (Eastman y Jiang, 1996).

El método OWA involucra dos vectores de pesos: los pesos de importancia para cada criterio ( $w_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ) y los pesos de orden ( $v_j$ ). El peso de importancia  $w_j$  es asignado al criterio  $j$  en todos los lugares para indicar su importancia relativa (de acuerdo a las preferencias del que elabora la decisión) en el marco del conjunto de criterios bajo consideración. Los pesos de orden, en cambio, no se aplican a ningún criterio específico, sino que son aplicados sobre una base de píxel por píxel a los valores de los distintos criterios determinados por su orden de puntaje. El peso de orden 1 es asignado al criterio de menor puntaje para ese píxel (es decir, el criterio con el valor más bajo), el peso de orden 2 es asignado al factor de puntaje siguiente para ese píxel, y así sucesivamente. Así, es posible que un solo peso de orden pueda ser aplicado a los píxeles desde cualquiera de los criterios dependiendo de su orden de puntaje relativo.

Existe una gran variedad de técnicas para el desarrollo de los pesos de importancia. Una de las más exitosamente utilizadas es la de comparación de pares desarrollada por Saaty (1977) en el marco de un proceso de construcción de decisiones denominado Proceso Analítico Jerárquico. La primera introducción de esta técnica en los SIG fue realizada por Rao *et al.* (1991) y en cuanto a su

aplicación en análisis multicriterio, Eastman *et al.* (1993, 1995) han realizado valiosos aportes.

Para la determinación de los pesos de importancia para cada criterio, en esta investigación se procedió de una manera innovadora. En primer lugar se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) a partir de la matriz con datos originales pertenecientes a todos los criterios (variables) en consideración, en el que se retuvieron tres componentes. Las comunalidades expresan la proporción de varianza de las variables originales explicada por los componentes principales. Ahora bien, la intención es ponderar las variables para obtener una combinación lineal de las mismas que exprese de la mejor manera el valor de la tierra libre de mejoras. En primer lugar, parece adecuado considerar a las comunalidades como un índice, pero ocurre que en una variable dada estaríamos ponderando con las comunalidades de los componentes 1 a 3 como si esos componentes tuviesen la misma importancia. Esto no es así: se sabe que el primer componente explica la máxima varianza posible en una “dirección” del espacio  $n$ -dimensional de las  $n$  variables. Luego, el segundo componente explica la máxima varianza remanente en una dirección ortogonal (“independiente”) a la anterior, y así sucesivamente. Entonces, el primer componente explica una varianza mucho mayor que la del segundo, y el segundo que la del tercero. Estas varianzas están expresadas por los valores propios de los componentes, por lo tanto, una manera de expresar la importancia relativa de cada uno de los componentes son sus valores propios. Es así que de todo lo anterior surge la propuesta de ponderar cada variable por el producto entre las comunalidades y el valor propio de cada componente (este valor luego se escala en el intervalo de cero a uno).

En síntesis, el ACP agrupa variables en distintos componentes; así, el primer componente involucra a aquellas variables más importantes, más decisivas, que más explican la determinación del valor de la tierra, y así, en forma decreciente sucede con los otros componentes, en un orden establecido. Por eso se propone esta técnica para la definición de los pesos, bajo el supuesto de que las variables incluidas en el análisis son las que necesariamente participan del proceso estudiado y de que hay ciertas variables que gobiernan su determinación más fuertemente que otras.

Dado, entonces, un conjunto de valores de atributos ponderados ( $w_1 a_{i1}, w_2 a_{i2}, \dots, w_n a_{in}$ ) y un conjunto de pesos de orden ( $v_1, v_2, \dots, v_n; 0 \leq v_j \leq 1$ , y  $\sum(v_j) = 1$ ), OWA puede ser definido como:

$OWA = \sum(v_j b_{ij})$ , donde  $b_{i1} \geq b_{i2} \geq \dots \geq b_{in}$  es la secuencia obtenida a partir del reordenamiento de los valores de atributos ponderados,  $w_1 a_{i1}, w_2 a_{i2}, \dots, w_n a_{in}$ .

Finalmente, debido a que los factores poseen diferentes escalas, es necesario que los mismos sean estandarizados antes de su combinación. Este es uno de los pasos donde el criterio del investigador juega un rol determinante, ya que el resultado final dependerá de su conocimiento acerca del comportamiento de las distintas variables de acuerdo al objetivo final, lo que le permitirá elegir la función adecuada para esta tarea (lineal, forma de J, sigmoideal, etc.; creciente, decreciente o simétrica). Las distintas funciones que posibilitan este análisis conforman lo que se denomina Fuzzy Set Theory (Zadeh, 1965; Schmucker, 1982). Los factores continuos son, en realidad, grupos difusos. Los grupos difusos son grupos (o clases) sin límites bien marcados; es decir, la transición entre la pertenencia y la no pertenencia de una posición en el grupo es gradual. Es decir, un grupo difuso se caracteriza por un grado de pertenencia difusa (también llamado posibilidad) que oscila de 0 a 1 (o en escala byte, de 0 a 255), indicando un aumento continuo de la no pertenencia a la pertenencia completa. Esta teoría brinda una rica base matemática para entender problemas de decisión y para construir reglas de decisión en la evaluación y combinación de criterios.

En la presente investigación se utilizaron dos funciones de estandarización: la sigmoideal y la lineal que, tal cual lo plantea Eastman (2003), son suficientes para la inmensa mayoría de los casos de evaluaciones multicriterio. La función sigmoideal (o en forma de "s") es quizás una de las más utilizadas en el tratamiento de factores, ya sea en su forma creciente, decreciente o simétrica. El módulo del SIG correspondiente para llevar adelante la estandarización de los datos siguiendo esta función, requiere las posiciones (a lo largo del eje de las abscisas) de 4 puntos que gobiernen la forma de la curva. Estos puntos denominados a, b, c y d, representan los lugares de inflexión de la curva de la siguiente manera: a = donde comienza a elevarse sobre 0; b = donde

alcanza el valor 255;  $c$  = donde cae por debajo de 255 y  $d$  = donde alcanza el valor 0. La función lineal también es muy usada para la estandarización de factores. La misma puede ser creciente, decreciente o simétrica. Al igual que en la función anterior, el módulo del SIG requiere los puntos de inflexión (Figuras III.5 y III.6).

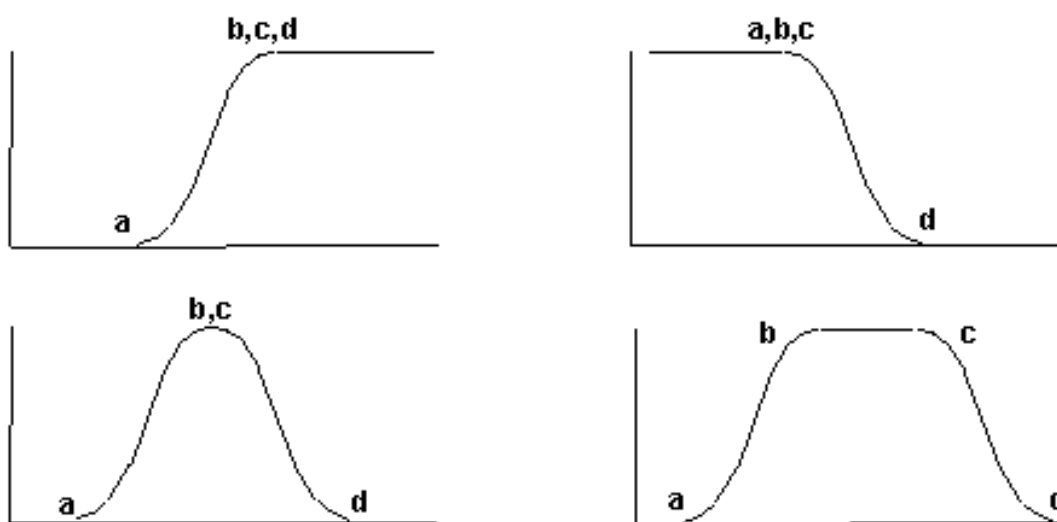


Figura III.5. Funciones sigmoidales para la estandarización.

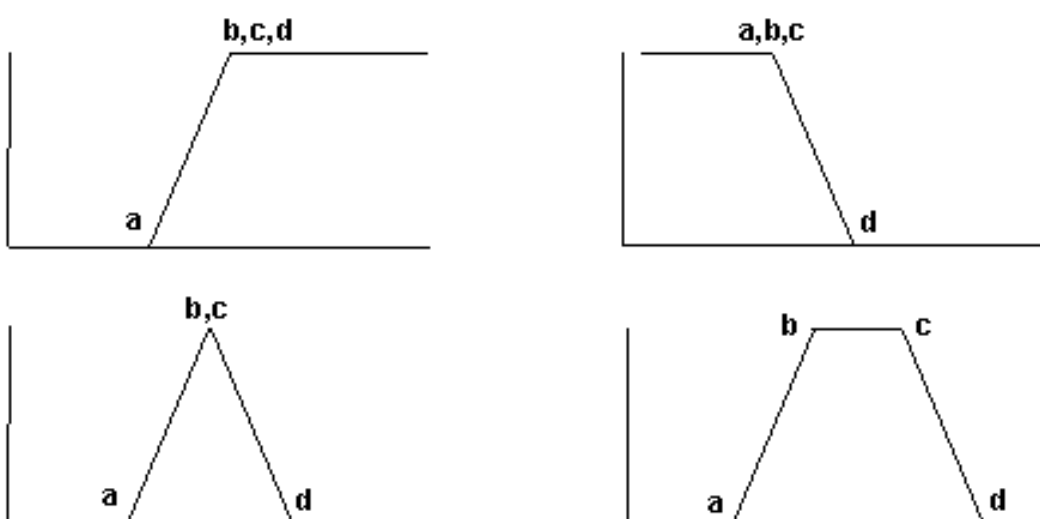


Figura III.6. Funciones lineales para la estandarización.



### **III.4.5. Herramientas de evaluación de la incertidumbre**

La validación es un concepto recurrente en los trabajos de modelación. Una de las definiciones más ampliamente aceptada es la propuesta por Tsang (1990) y por Grunfeldt y Lindbom (1990) en la que consideran que “un modelo conceptual, y el modelo matemático derivado de él, son validados cuando se confirma que ellos proveen una buena representación del proceso que ocurre en el sistema real”. La validación, entonces, se lleva a cabo por comparación de los cálculos con las observaciones a campo y las mediciones experimentales. Pero, tal cual lo señalan Carrera *et al.* (1993), la ambigüedad acerca de qué significa “una buena representación” y el hecho de que al modelar surjan muchas fuentes de incertidumbre, hacen de la validación un concepto un tanto esquivo, probablemente controlado por la formación antecedente y las visiones de la realidad que posea quien lleva adelante la modelación, más que por los hechos reales.

En la presente investigación se sustituye la validación por un análisis de la incertidumbre sobre la estructura del modelo empleado, a partir del planteo de variaciones en las especificaciones del mismo para observar de nuevo el efecto producido en los resultados.

Lo medular en el análisis multicriterio basado en los Sistemas de Información Geográfica es la integración de datos geográficos (capas o mapas temáticos) y juicios (preferencias e incertidumbres o ambigüedades) a fin de proveer una consideración integral de las alternativas de decisión. Esto se consigue a través de una regla de decisión multicriterio apropiada o función de evaluación. Son las reglas de decisión las que dictaminan cómo ordenar las alternativas o decidir qué alternativa es preferida sobre otra (Rinner y Malczewski, 2002).

Una de las principales características de OWA es que permite a los operadores de la decisión cambiar la forma de combinación de los criterios desde un método de riesgo mínimo (AND) donde un valor alto de adecuación agregada para una posición dada (píxel) sólo es posible si todos los factores tienen valores altos, y el valor mínimo para cualquier píxel determina el valor agregado final,

hasta un método de riesgo máximo (OR) donde un valor alto en cualquier factor produce un valor agregado alto, aún si todos los demás factores tienen valores muy bajos, y el valor máximo para cualquier píxel determina el valor agregado final; pasando por todos los tipos intermedios. Así, las distintas combinaciones de los pesos de orden permiten situarse en cualquier punto del espacio triangular de decisión (Figura III.7), permitiendo agregaciones borrosas y continuas entre la intersección (método de riesgo mínimo) y la unión (método de riesgo máximo), ocupando la sumatoria lineal ponderada justo la situación intermedia entre ellas.



Figura III.7. Espacio de decisión en función del riesgo y la compensación (Eastman, 2001).

Se plantearon seis escenarios a partir de distintas combinaciones. El escenario A es claramente conservador, con una aversión al riesgo mayor que el resto. El B es una posición un tanto menos conservadora, con un riesgo tan solo un poco más alto, permitiendo cierta compensación entre los criterios. El C es una posición algo más arriesgada, permitiendo a la vez algo más de compensación. El D presenta todas las posiciones evaluadas con igual peso, esto hace el intercambio completamente posible y posiciona el análisis exactamente a mitad de camino entre la situación sin riesgo y el riesgo total (sumatoria lineal ponderada). En el E los pesos de orden son principalmente asignados a los factores con mayor puntaje, es decir que hay una predisposición al riesgo mayor. El F presenta una mayor predisposición al riesgo aún. (Figura III.8).

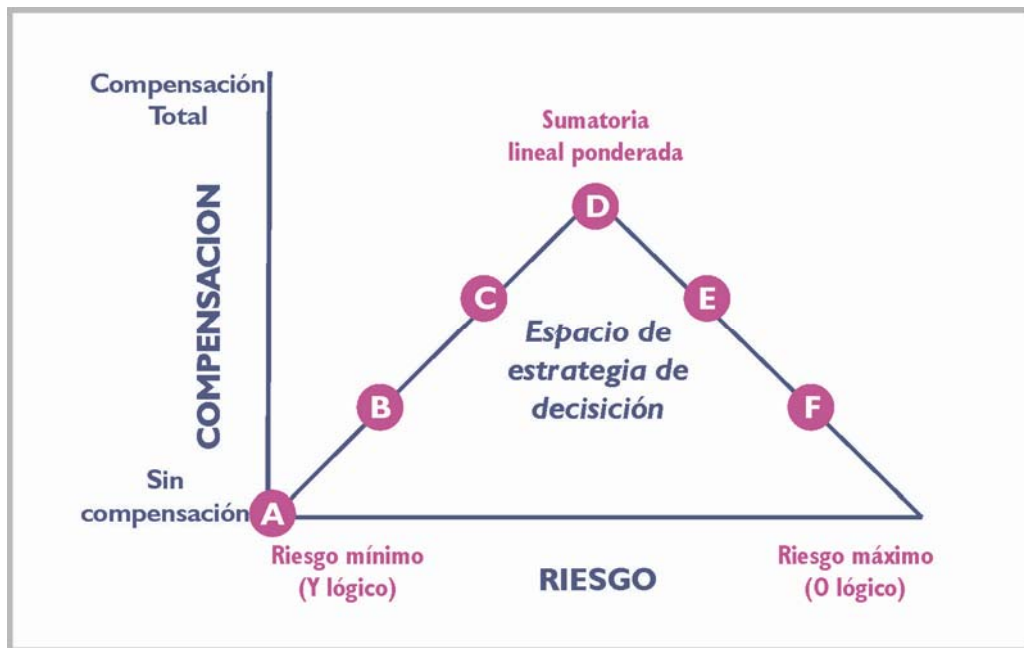


Figura III.8. Ubicación aproximada de los escenarios planteados en el espacio de decisión.

Esta metodología de análisis de incertidumbre y control del riesgo en la toma de decisiones, ha sido aplicada y evaluada por Gómez Delgado y Bosque Sendra (2004).

## ESCALA URBANA



### IV.1. Aplicación de la metodología

#### IV.1.1. Construcción del mapa base

El mapa base, en primera instancia vectorial, fue el que definió los límites del proyecto y quedó finalmente constituido por 2.016 unidades catastrales, cada una de ellas identificada por una denominación de seis campos correspondiente a Circunscripción, Sección, Chacra, Quinta, Fracción y Manzana (Figura IV.1). Esta codificación fue de vital importancia para la correcta y rápida ubicación espacial de los parámetros y, además, permitirá que en un futuro se puedan compartir las bases de datos con organismos que utilizan la misma identificación.

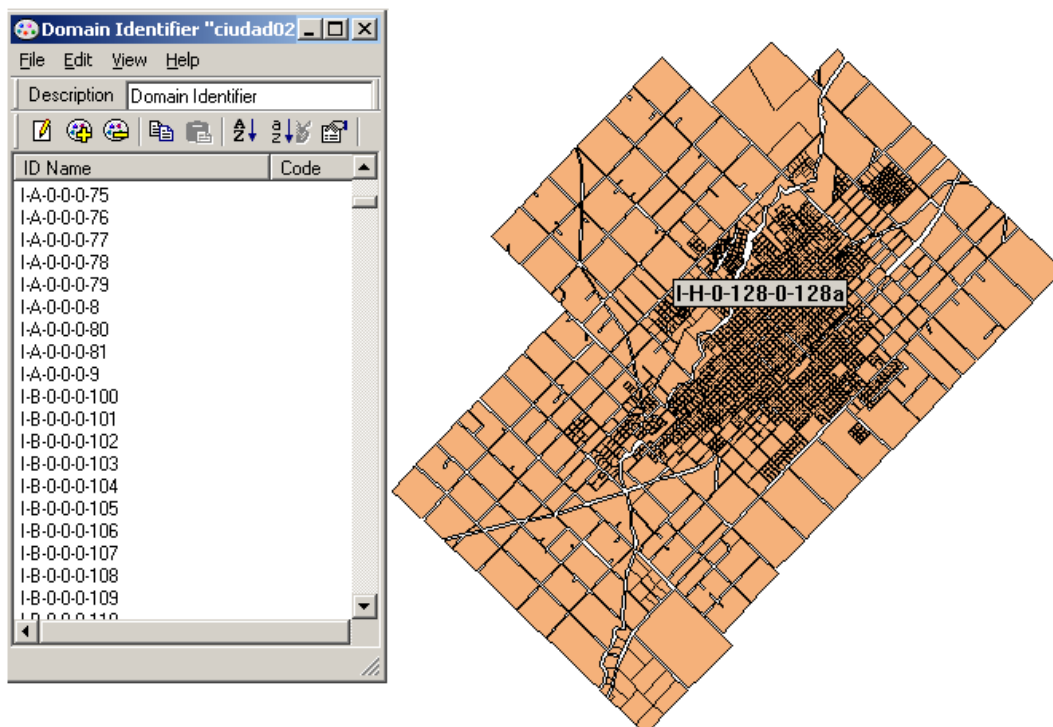


Figura IV.1. Mapa base a escala urbana con la identificación de las unidades catastrales.

## IV.1.2. Construcción de los mapas temáticos

A manera de síntesis, en la Tabla IV.1 se detallan los estadísticos básicos de los mapas temáticos con sus valores originales, extraídos mediante el módulo EXTRACT del SIG, como así también las funciones utilizadas para su estandarización y los puntos de inflexión escogidos. En las Figuras IV.2 a IV.14 se muestran los mapas obtenidos y los módulos del SIG utilizados.

Tabla IV.1. Estadísticos básicos de las variables originales (sin estandarizar) y funciones de estandarización y puntos de inflexión.

Variable o criterio	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Desv. estándar
Distancia al centro geográfico	0	8743.151	4131.239	1790.652
Distancia a los centros comerciales	0	6539.653	2441.514	1505.811
Distancia a los accesos	0	4641.216	1078.761	950.989
Distancia a las avenidas	0	5521.312	1693.734	1180.666
Distancia al asfalto	0	5880.347	2306.544	1333.414
Distancia al agua corriente	0	5769.792	1732.947	1306.398
Distancia al gas	0	5769.792	1783.689	1303.243
Distancia a las cloacas	0	5866.417	1966.973	1327.144
Distancia al alumbrado público	0	55509.091	1380.993	1286.657
Distancia a los puntos conflictivos	0	7325.688	3229.421	1519.851
Distancia a lugares de > valor estético	0	7373.876	3377.05	1550.277
Distancia a los focos contaminantes	0	6979.725	1786.694	1529.705
Calidad de las viviendas	1	5	1.983	1.603

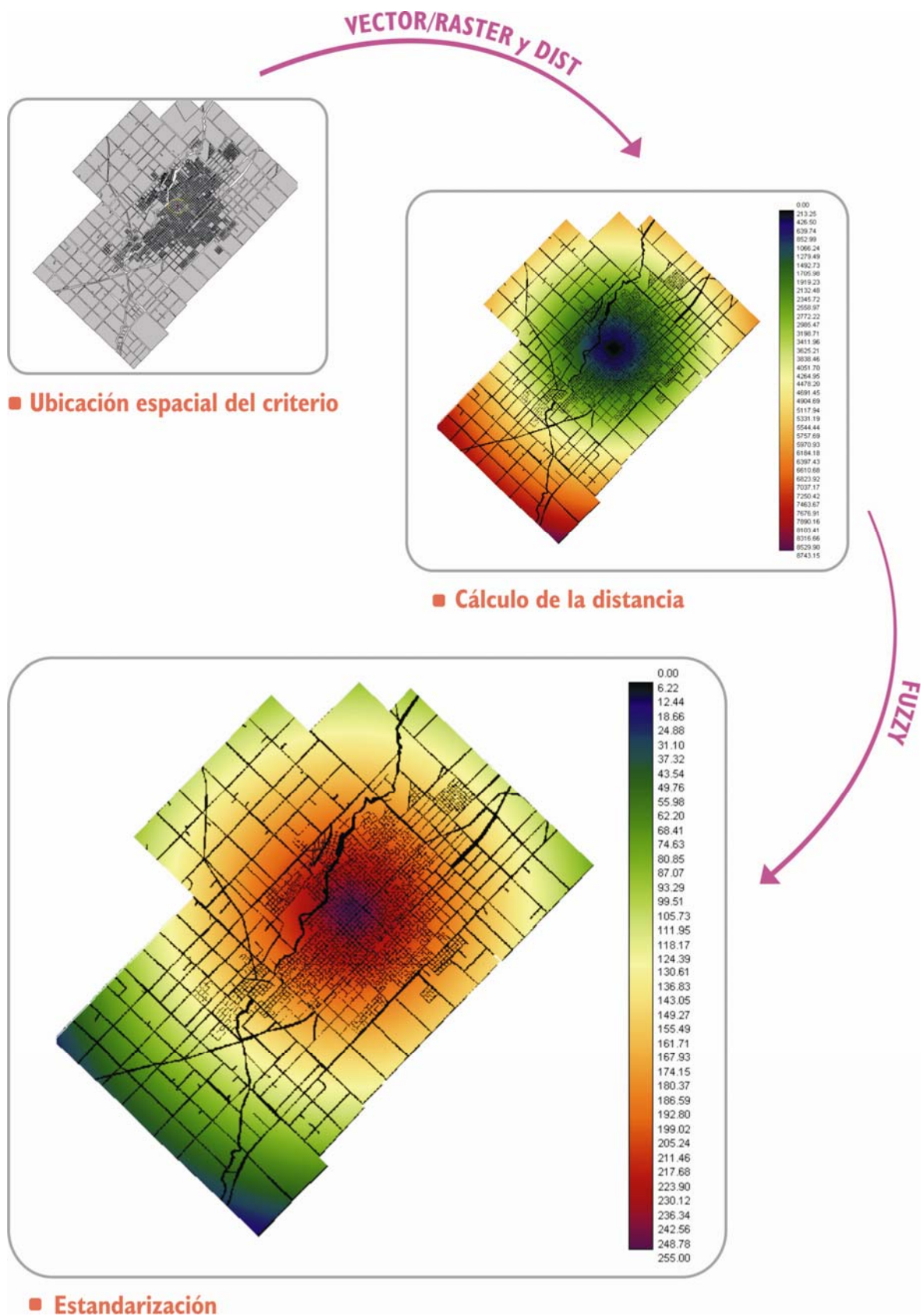


Figura IV.2. Tratamiento de la variable Distancia al centro geográfico.



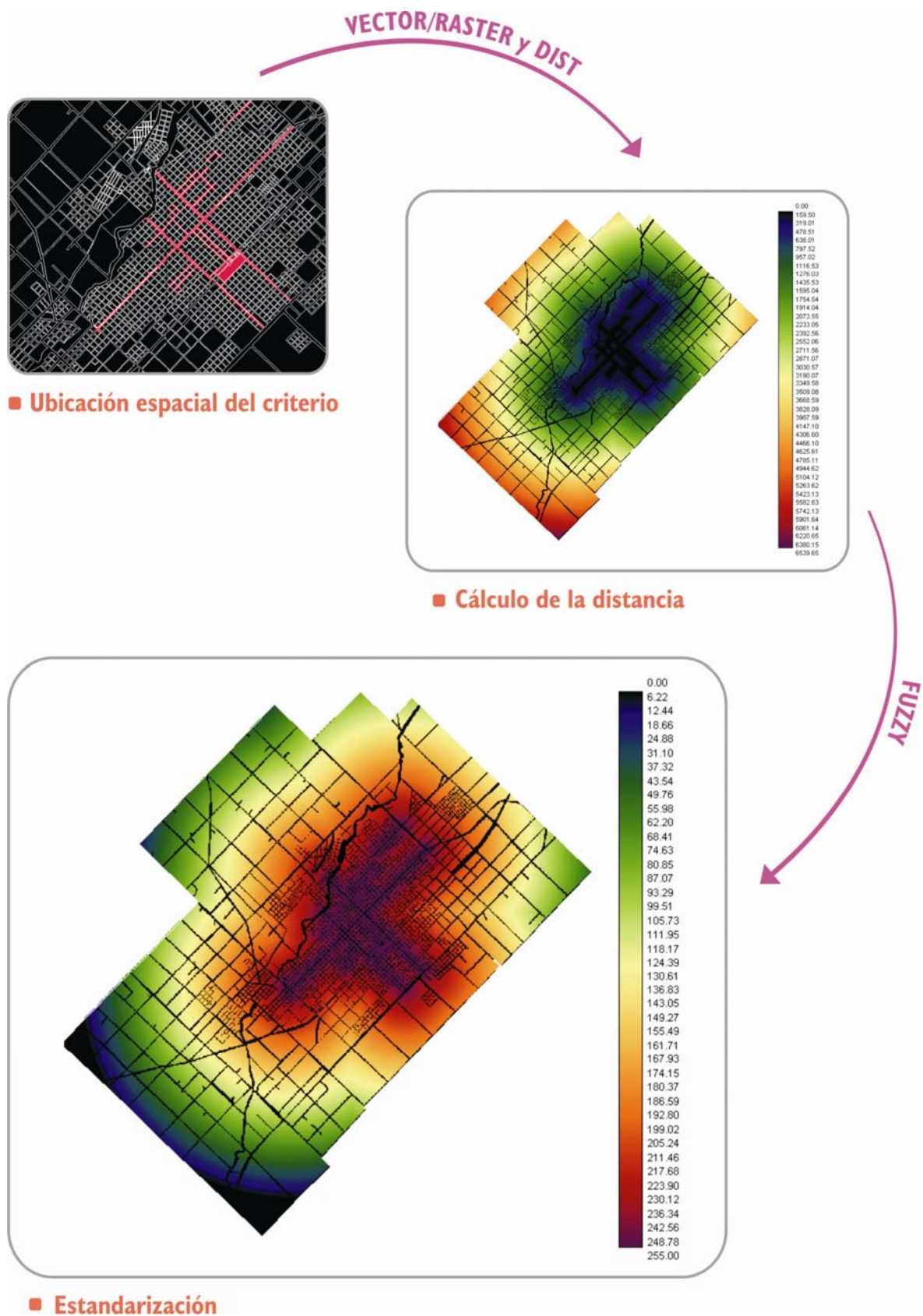


Figura IV.3. Tratamiento de la variable Distancia a los centros comerciales.

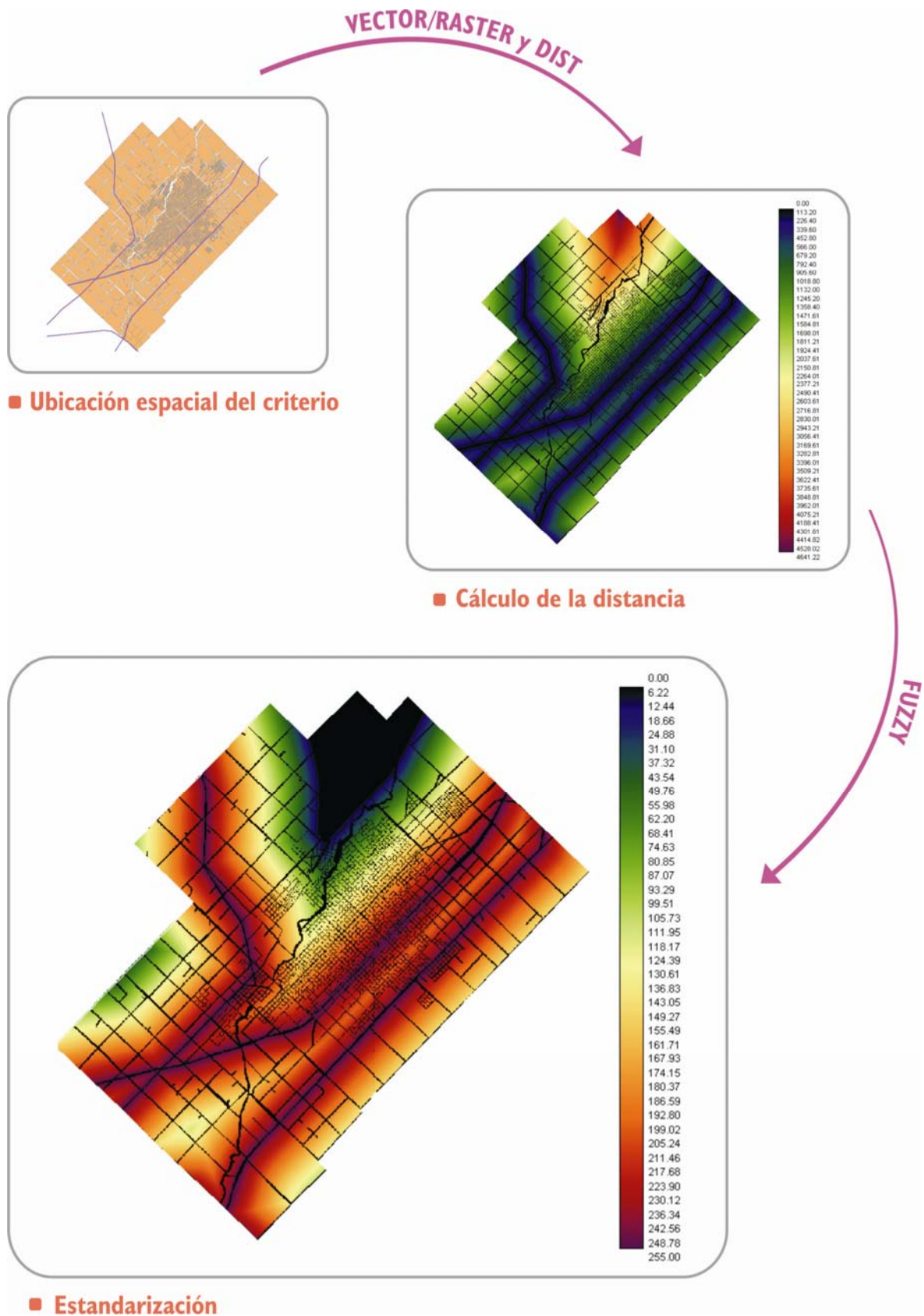


Figura IV.4. Tratamiento de la variable Distancia a los accesos a la ciudad.



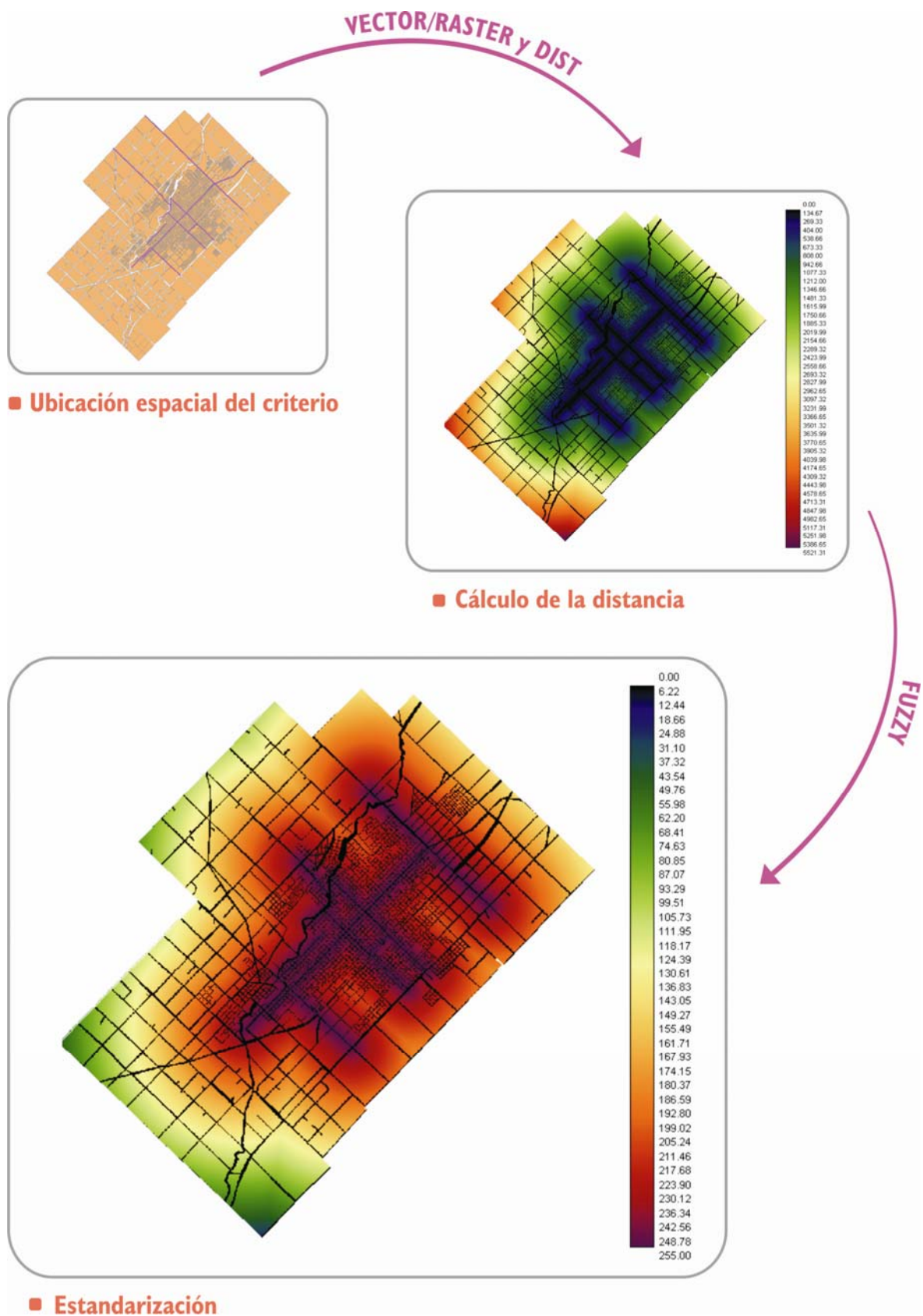


Figura IV.5. Tratamiento de la variable Distancia a las avenidas.

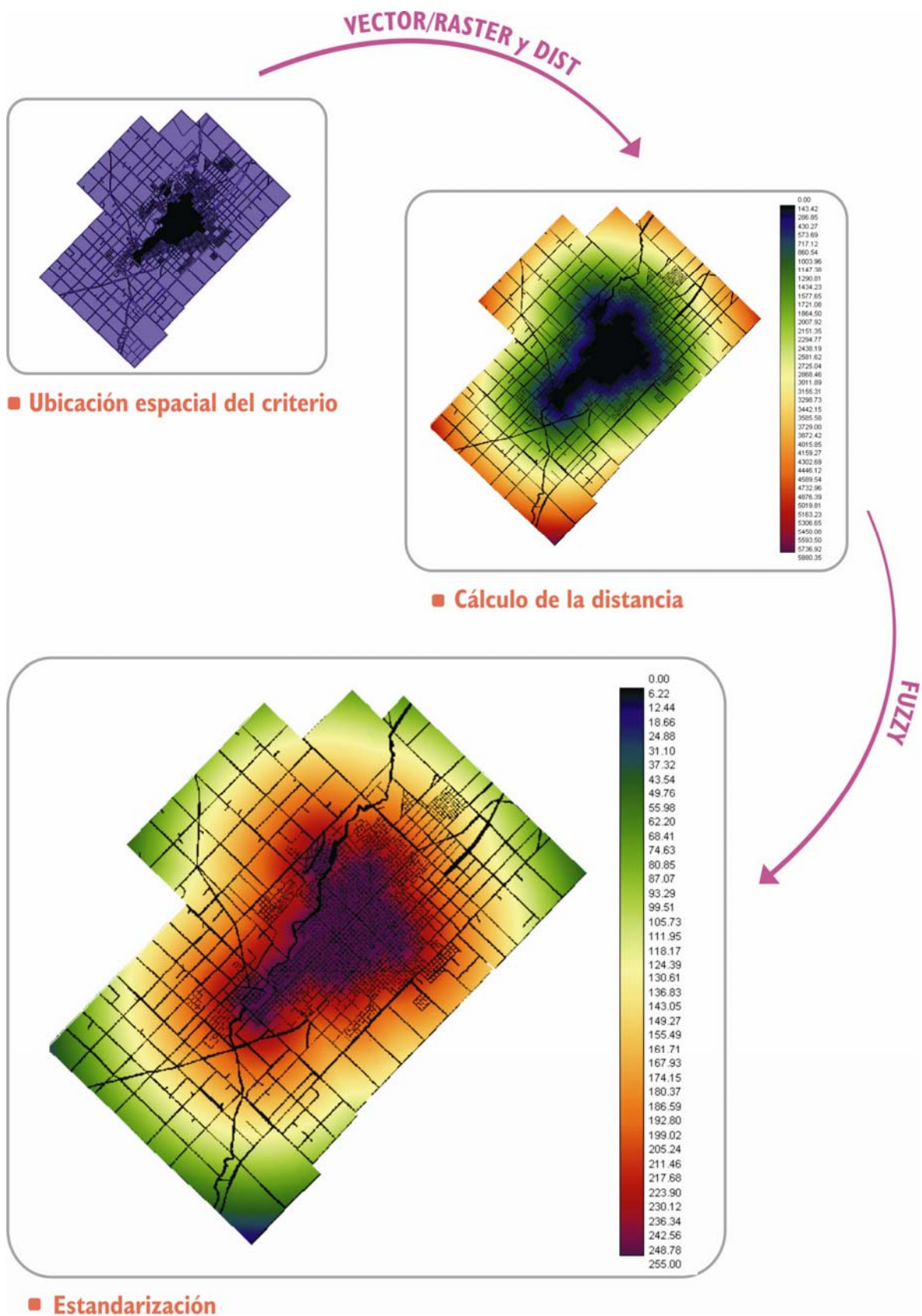


Figura IV.6. Tratamiento de la variable Distancia al asfalto.

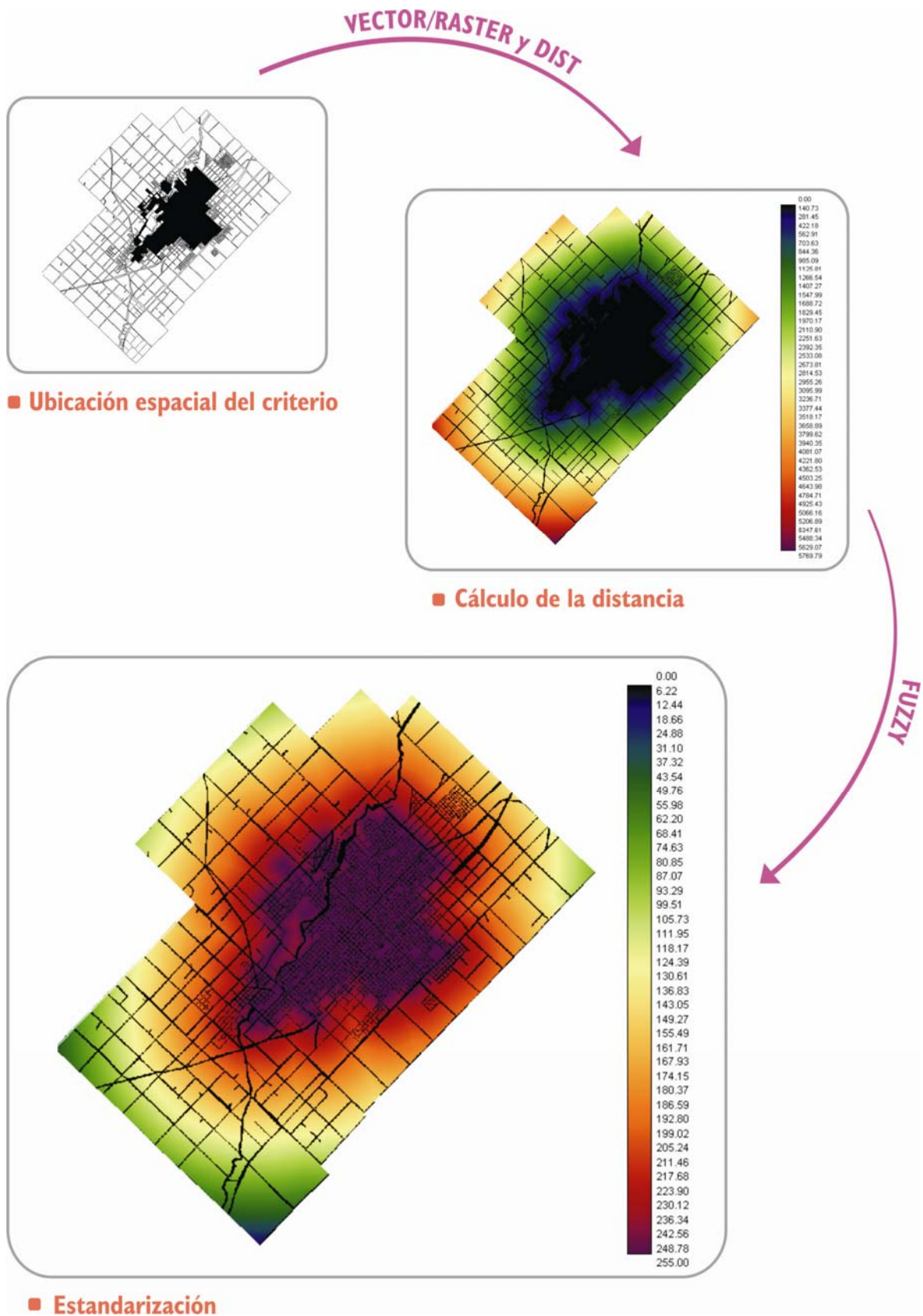


Figura IV.7. Tratamiento de la variable Distancia al agua corriente.



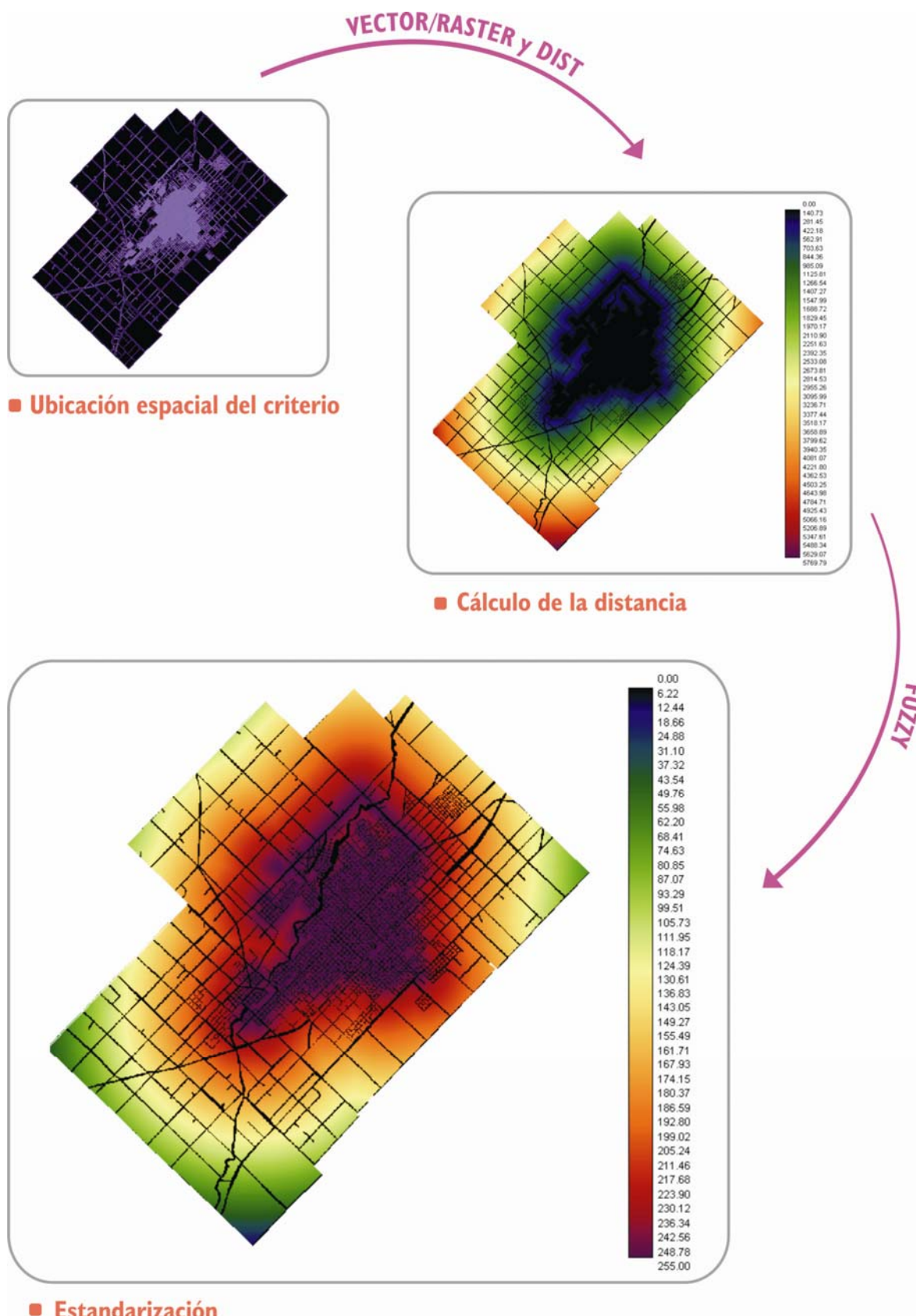


Figura IV.8. Tratamiento de la variable Distancia al gas.

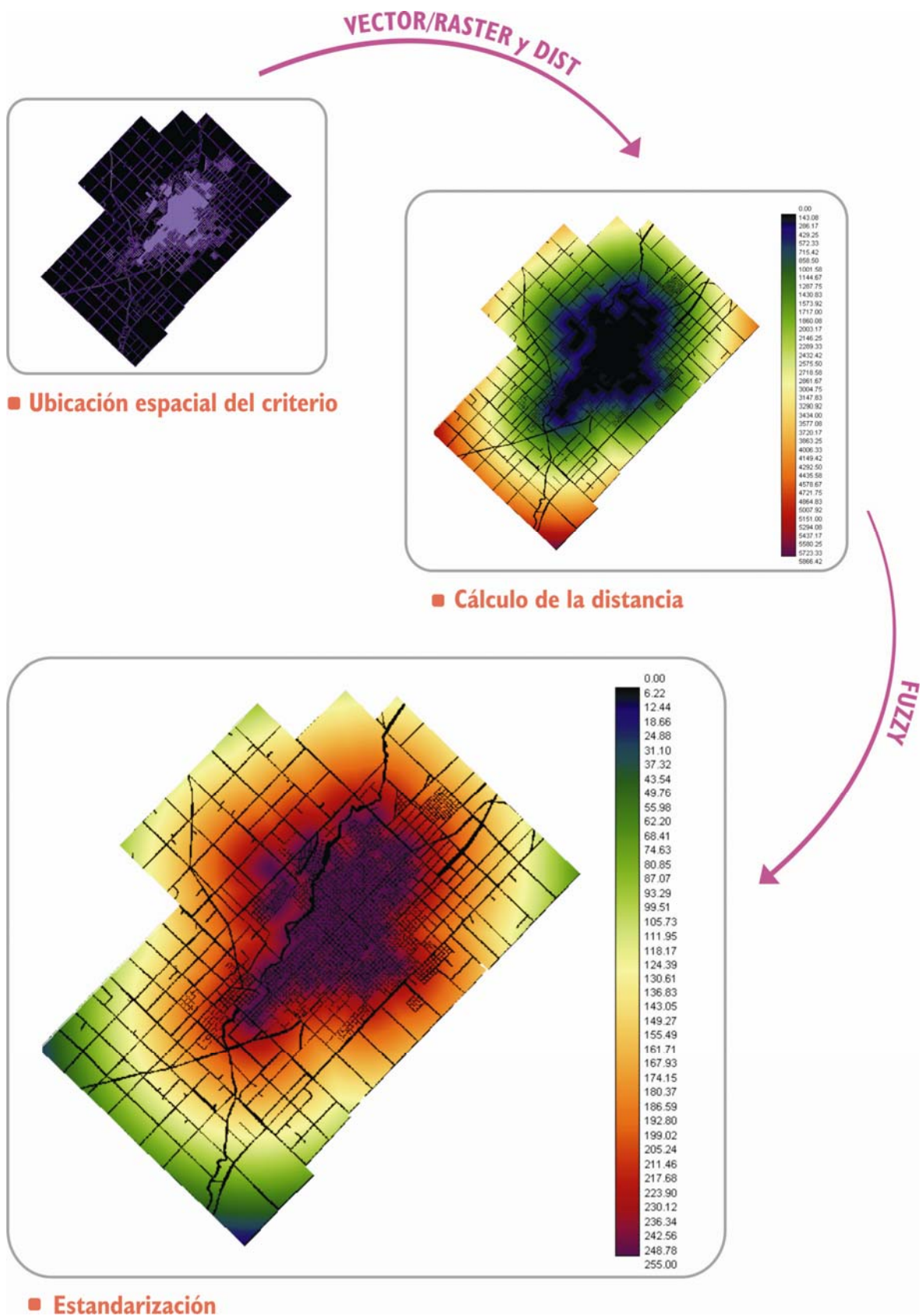


Figura IV.9. Tratamiento de la variable Distancia a las cloacas.

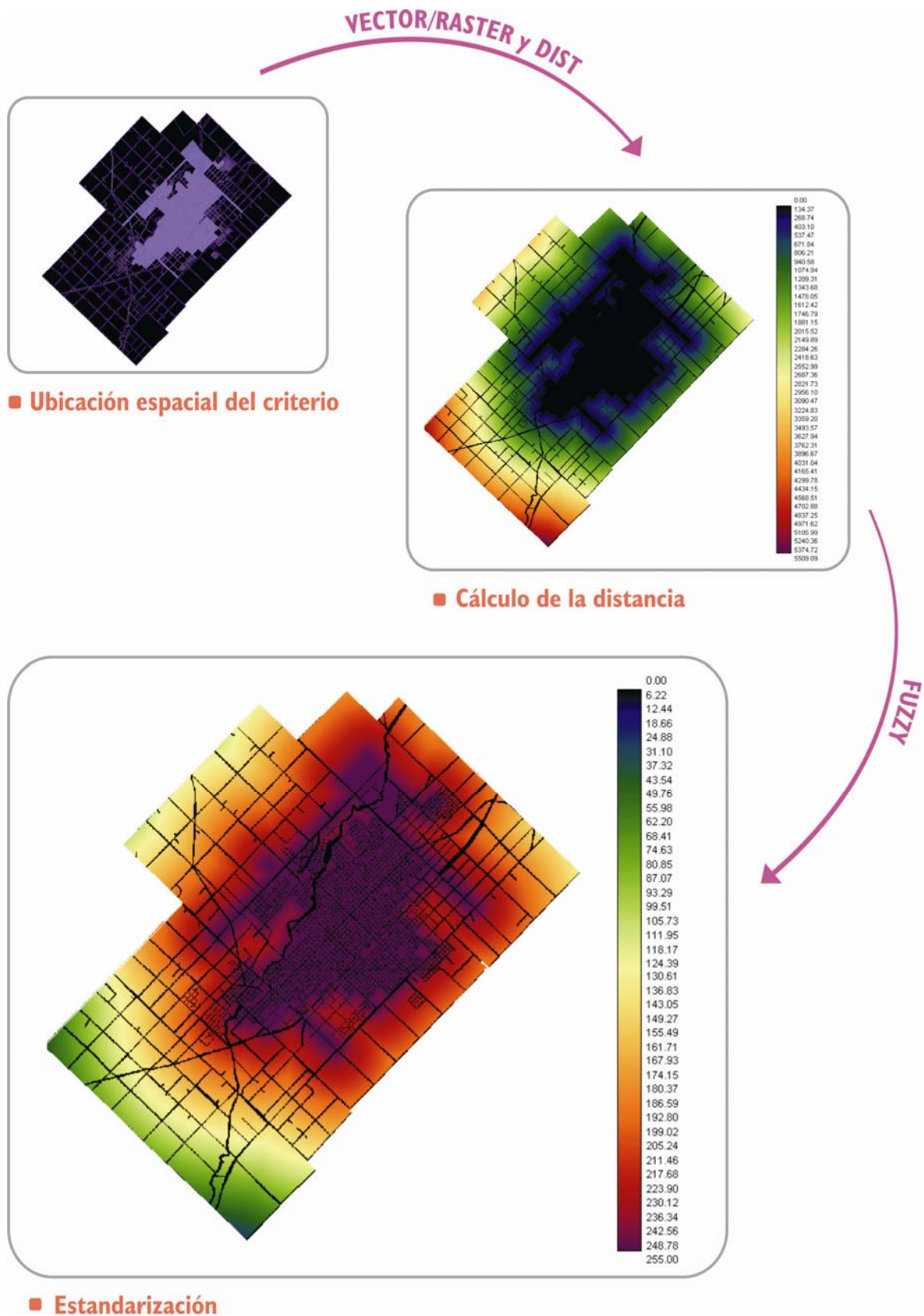


Figura IV.10. Tratamiento de la variable Distancia al alumbrado público.



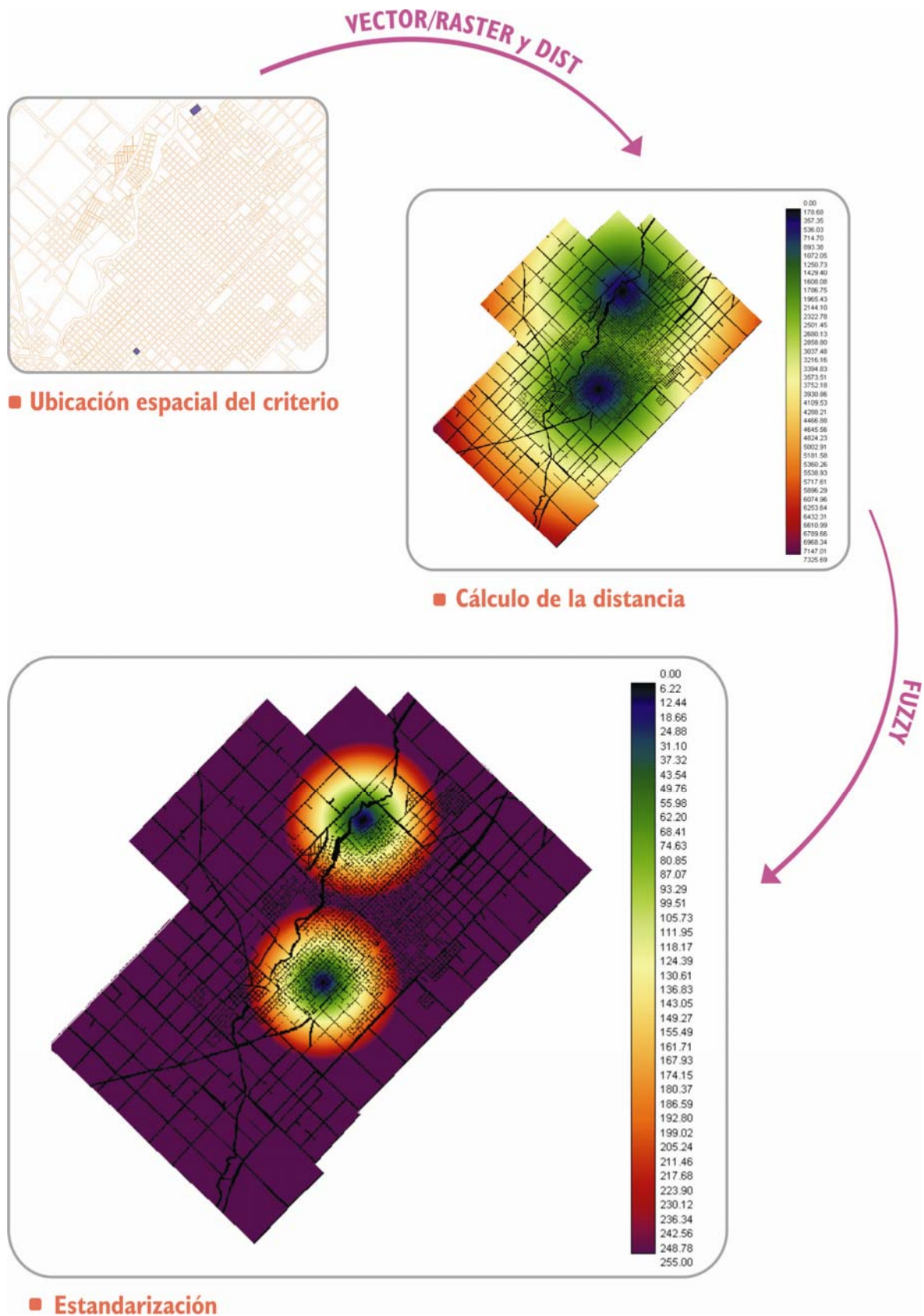


Figura IV.11. Tratamiento de la variable Distancia a los puntos conflictivos.

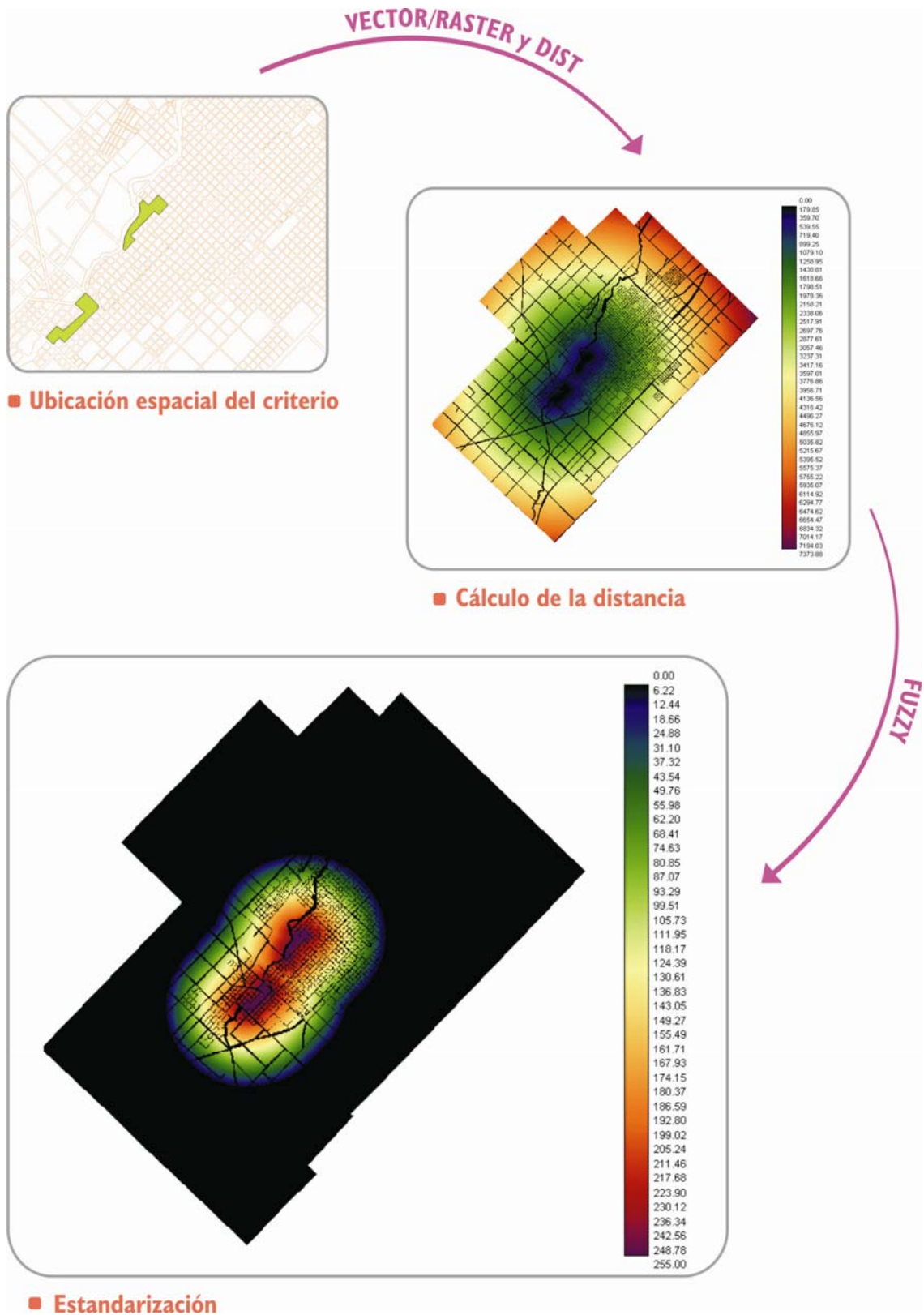


Figura IV.12. Tratamiento de la variable Distancia a los lugares de mayor valor estético.



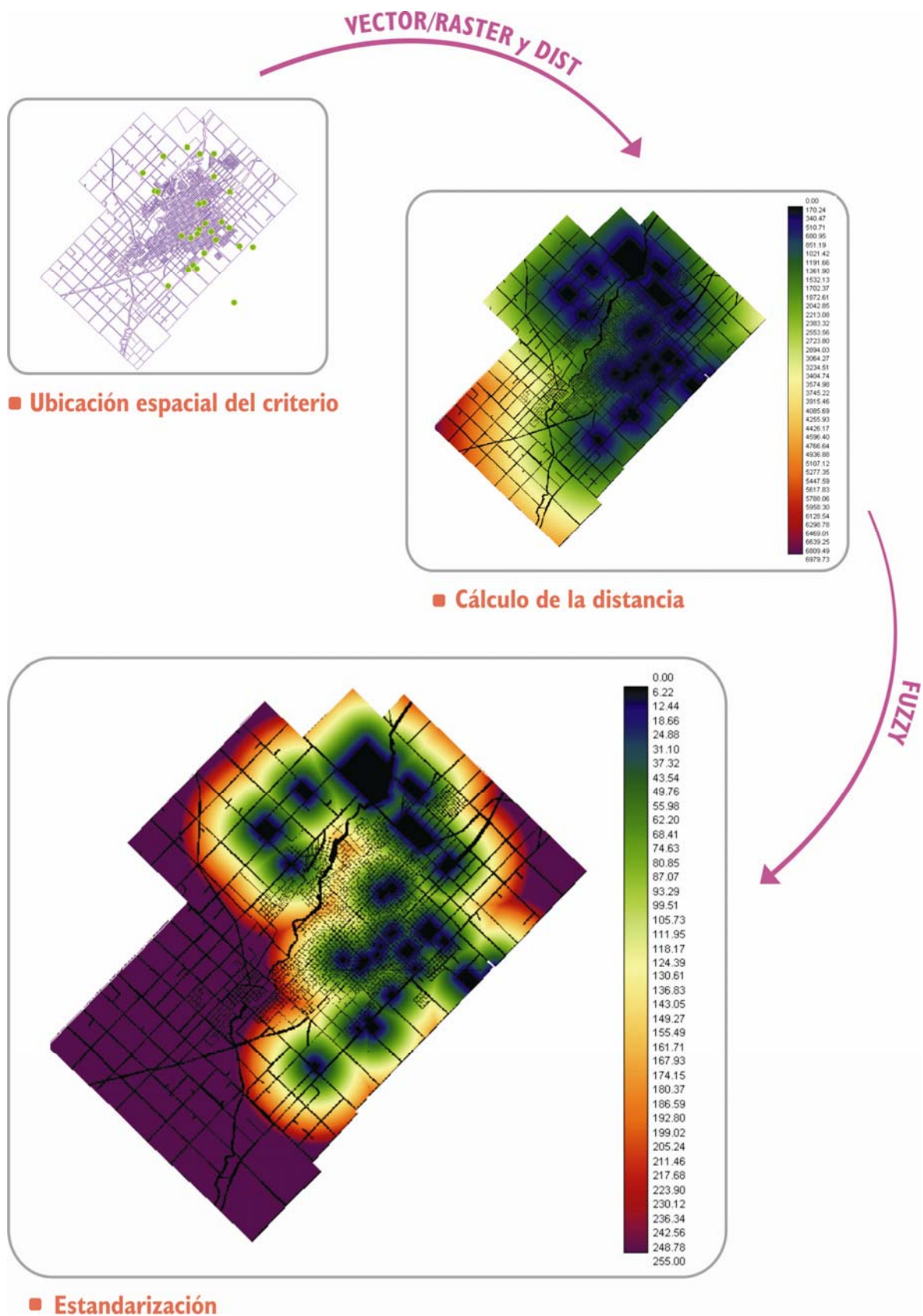


Figura IV.13. Tratamiento de la variable Distancia a los focos contaminantes.

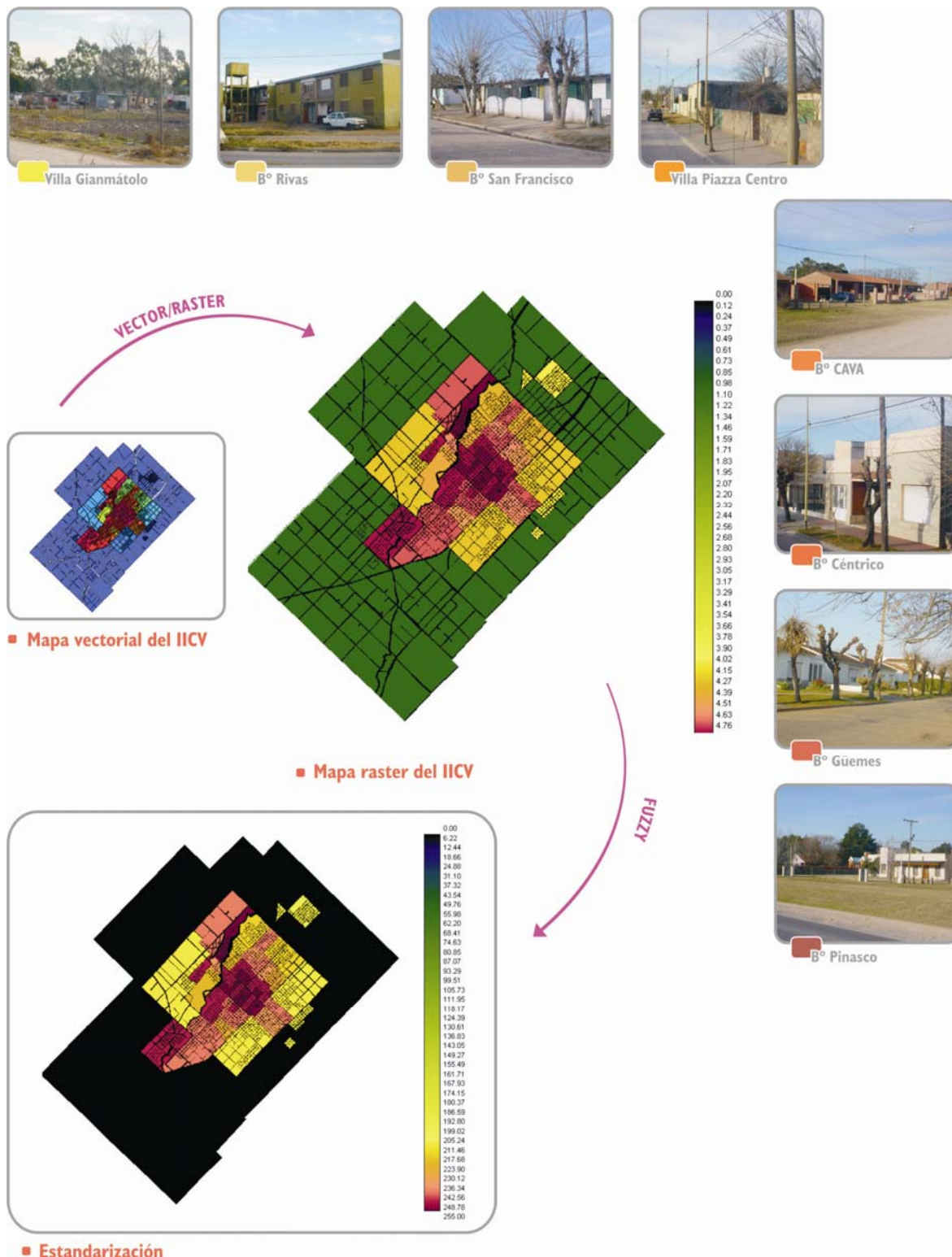


Figura IV.14. Tratamiento de la variable Calidad de las viviendas.

### **IV.1.3. Definición de los parámetros de la evaluación multicriterio**

Para la determinación de los pesos de importancia, se llevó a cabo un análisis de componentes principales a partir de la matriz con datos originales conformada por columnas (variables) representadas por cada uno de los criterios en consideración (13 en total) y por las filas (observaciones) representadas por la ubicación espacial de cada uno de los píxeles pertenecientes al área bajo estudio (387.464). Así, la matriz sujeta al análisis estuvo conformada por 5.037.032 datos.

Se extrajeron 3 componentes con los cuales se logró explicar el 92.24 % de la varianza total original (Tabla IV.2), es decir, que se logra ampliamente el objetivo de la aplicación de este tipo de análisis que es el de reducir la dimensionalidad del problema (se pasa de 13 variables a 3 componentes), con lo que es mucho más fácil descubrir la estructura subyacente de la inmensa matriz de datos originales.

Las cargas (loadings), que son los coeficientes de correlación entre cada componente y los valores de las variables, se detallan en la Tabla IV.3, donde se observa que en el primer componente participan las variables de distancia a los servicios básicos (agua corriente, alumbrado, cloacas y gas), a los centros comerciales, al centro geográfico y a las avenidas, y en sentido contrario la distancia a los focos contaminantes y los puntos conflictivos. En el segundo componente es protagonista la distancia a los paisajes de alto valor estético y al asfalto, y en sentido contrario el índice integral de calidad de las viviendas; mientras que en el tercero contribuye la distancia a los accesos a la ciudad (Figura IV.15). Las comunalidades, que muestran el grado de información que se explica de cada variable al expresar la proporción de varianza de las variables originales que es explicada por los componentes, se detallan en la Tabla IV.4.

Al analizar como una unidad a cada uno de los componentes extraídos con el fin de darles una “identidad”, parecería razonable describir al componente 1 como aquel que contempla los requerimientos más básicos de un individuo al elegir un lugar donde vivir, esto es, cerca de los servicios básicos y lejos de todo lo negativo (focos contaminantes y puntos conflictivos); el segundo, por su parte, parecería

resumir aquellos aspectos, en principio, relacionados con el confort, de allí la participación de las variables de distancia a los lugares de mayor valor estético (parque y balneario), la distancia al asfalto y la calidad de las viviendas. Mientras que el tercer componente parecería estar condicionado por la relación de flujo con el “exterior” (distancia a los accesos).

Tabla IV.2. Varianza explicada y valores propios de los componentes seleccionados.

Componente	Valor propio	Varianza total explicada (%)	Varianza acumulada (%)
1	9.75	75.02	75.02
2	1.48	11.42	86.44
3	0.75	5.80	92.24

Tabla IV.3. Cargas de los componentes seleccionados.

Variable o criterio	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Distancia al centro geográfico	0.819243	0.498370	-0.016895
Distancia a los centros comerciales	0.866365	0.456592	0.006172
Distancia a los accesos	0.089581	-0.96694	-0.981150
Distancia a las avenidas	0.861580	0.398166	0.054233
Distancia al asfalto	0.654044	0.732406	0.64617
Distancia al agua corriente	0.813019	0.562362	0.047992
Distancia al gas	0.786937	0.579900	-0.093529
Distancia a las cloacas	0.813096	0.559599	-0.033863
Distancia al alumbrado público	0.896912	0.366414	-0.074837
Distancia a los puntos conflictivos	-0.816378	-0.401602	0.263608
Distancia a lug de > valor estético	0.161092	0.894792	0.236350
Distancia a focos contaminantes	-0.939434	0.068084	0.122637
Calidad de las viviendas	-0.361655	-0.758926	0.089821

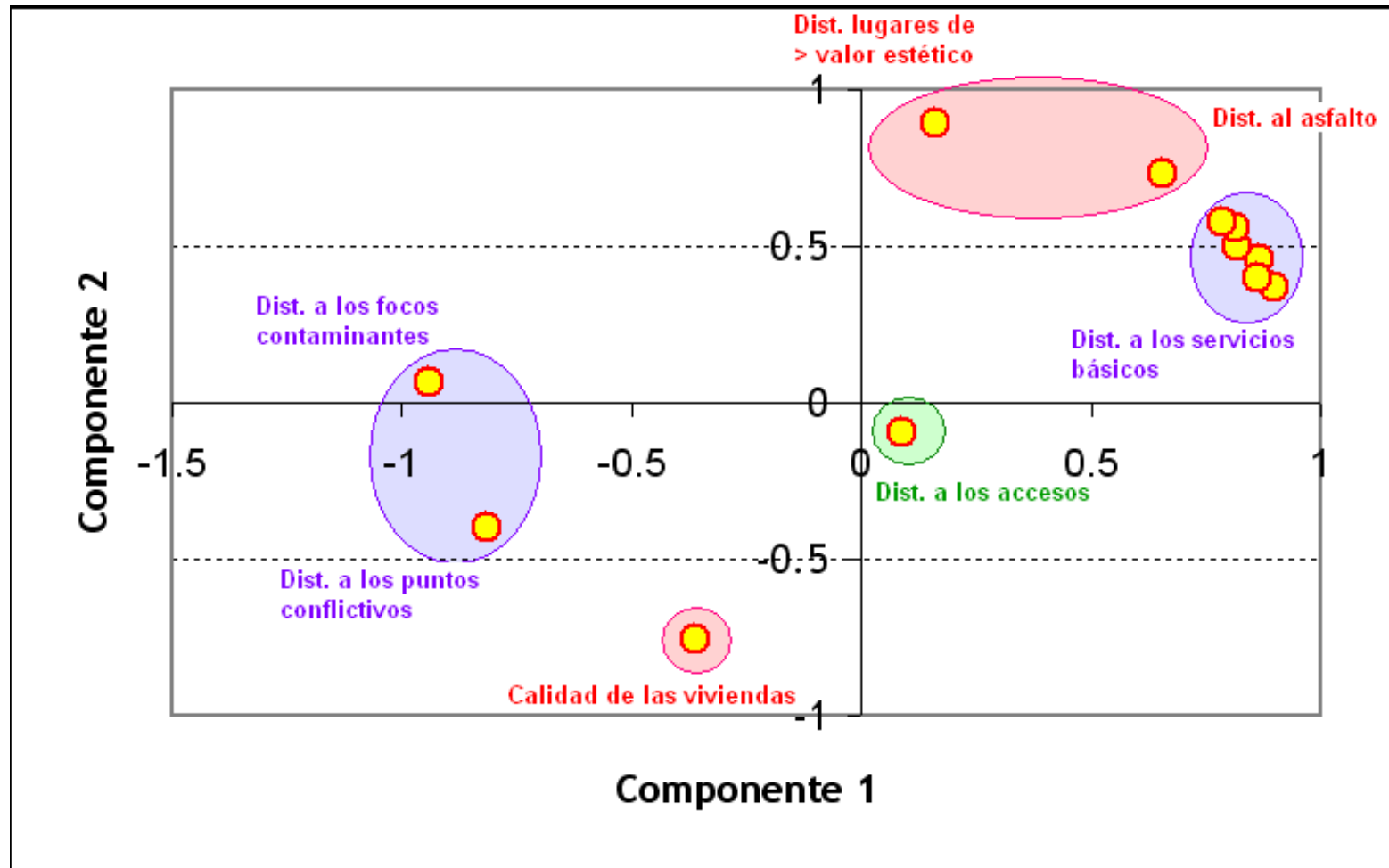


Figura IV.15. Distribución de las cargas en los componentes 1 y 2

(circunscriptos en color lila las variables que aportan al componente 1, en rojo las del 2 y en verde la del 3).



Tabla IV.4. Comunalidades de los componentes seleccionados.

Variable o criterio	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Distancia al centro geográfico	0.671158	0.919531	0.919817
Distancia a los centros comerciales	0.750589	0.959065	0.959103
Distancia a los accesos	0.008025	0.017375	0.980029
Distancia a las avenidas	0.742319	0.900855	0.903796
Distancia al asfalto	0.427774	0.964192	0.968367
Distancia al agua corriente	0.660999	0.977250	0.979554
Distancia al gas	0.619270	0.955554	0.964302
Distancia a las cloacas	0.661126	0.974277	0.975424
Distancia al alumbrado público	0.804452	0.938711	0.944312
Distancia a los puntos conflictivos	0.666473	0.827758	0.897247
Distancia a lug de > valor estético	0.025951	0.826603	0.882464
Distancia a focos contaminantes	0.882536	0.887171	0.902211
Calidad de las viviendas	0.130795	0.706763	0.714831

Para el cálculo de los pesos de importancia, entonces, se estimó el producto de las comunalidades por el valor propio de cada componente (esto se divide por el acumulado de los valores propios para escalar en el intervalo de cero a uno). En la Tabla IV.5 se detallan los pesos de importancia obtenidos. Se destaca esta metodología propuesta como una manera de reducir la subjetividad en la determinación de estos parámetros basándose, justamente, en el análisis de la estructura subyacente de la matriz de datos original que permite llevar adelante un análisis multivariado como el de componentes principales realizado.

En cuanto a los pesos de orden, que son los que permiten moverse en el interior del triángulo de decisiones estratégicas en relación a los dos ejes ortogonales de riesgo y compensación, los mismos se detallan en la Tabla IV.6.

Tabla IV.5. Pesos de importancia de cada criterio.

Variable o criterio	Pesos de importancia
Distancia al centro geográfico	0.092
Distancia a los centroscomerciales	0.101
Distancia a los accesos	0.009
Distancia a las avenidas	0.099
Distancia al asfalto	0.067
Distancia al agua corriente	0.092
Distancia al gas	0.087
Distancia a las cloacas	0.092
Distancia al alumbrado público	0.106
Distancia a los puntos conflictivos	0.089
Distancia a lug. de > valor estético	0.023
Distancia a focos contaminantes	0.113
Calidad de las viviendas	0.030

Tabla IV.6. Pesos de orden para la construcción de cada escenario.

Escenarios					
A	B	C	D	E	F
1	0.350	0.250	0.077	0.006	0
0	0.200	0.200	0.077	0.012	0.002
0	0.150	0.120	0.077	0.015	0.004
0	0.100	0.100	0.077	0.020	0.006
0	0.075	0.080	0.077	0.030	0.013
0	0.050	0.070	0.077	0.040	0.020
0	0.030	0.057	0.077	0.057	0.030
0	0.020	0.040	0.077	0.070	0.050
0	0.013	0.030	0.077	0.080	0.075
0	0.006	0.020	0.077	0.100	0.100
0	0.004	0.015	0.077	0.120	0.150
0	0.002	0.012	0.077	0.200	0.200
0	0	0.006	0.077	0.250	0.350

#### IV.1.4. Aplicación de las herramientas de evaluación multicriterio y de la incertidumbre

Con los parámetros del modelo definidos, se llevó adelante la evaluación multicriterio, obteniéndose así los seis escenarios dentro del espacio de decisión en función del riesgo y la compensación. Las Figuras IV.16 a IV.21 expresan esos escenarios con los valores relativos de la tierra libre de mejoras y también se adjuntan los histogramas respectivos. Éstos últimos varían para cada escenario en cuanto a la amplitud y el sector del espectro total (255) que abarcan. A saber: el A varía entre 1 y 183, el B entre 11 y 225, el C entre 20 y 228, el D entre 70 y 240, el E entre 146 y 242, y el F entre 172 y 254, por lo que, por ejemplo, el B presenta variaciones en un gran sector del espectro (214), mientras que el F lo hace en un sector mucho más reducido (82).



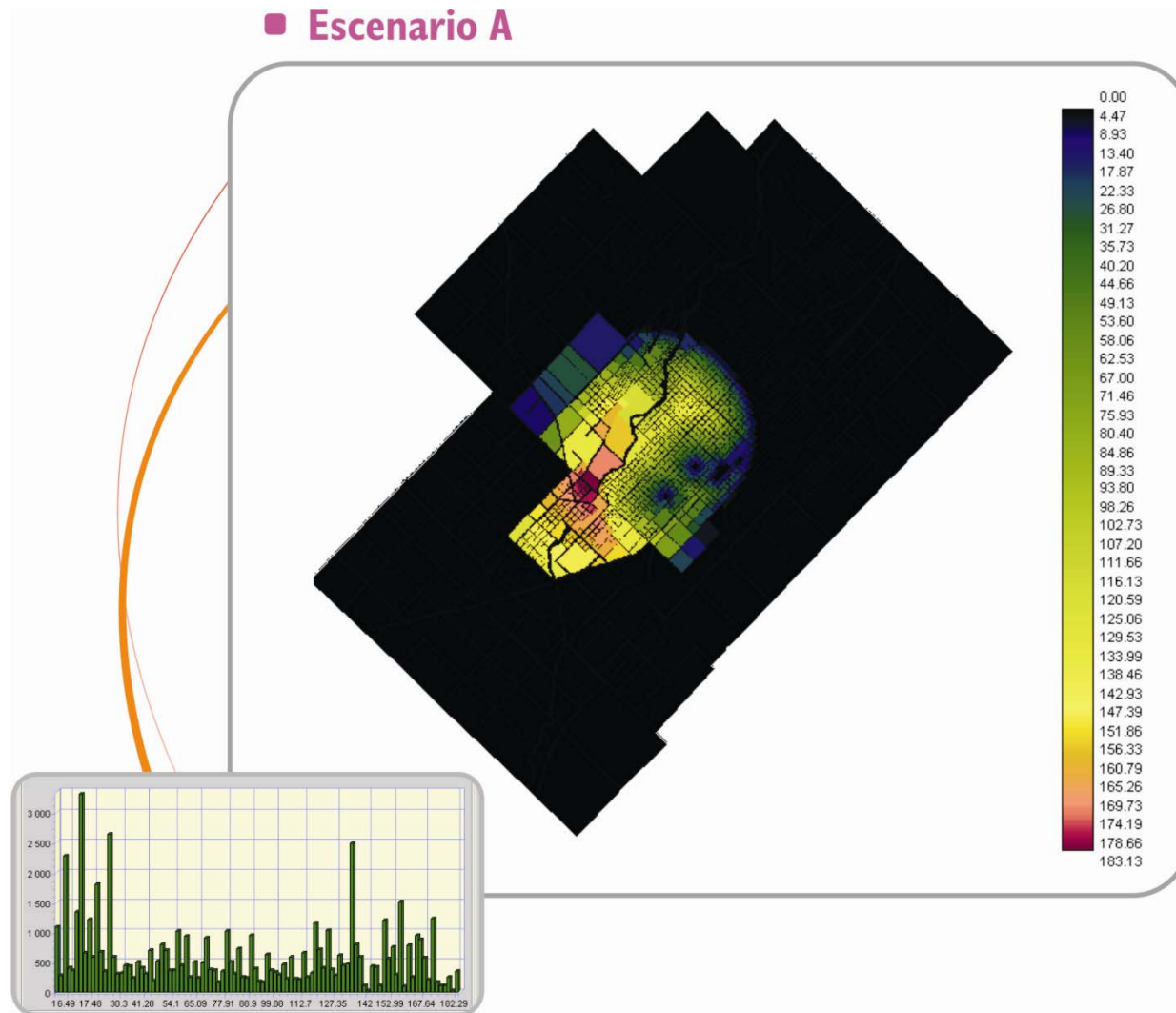


Figura IV.16. Mapa e histograma del Escenario A de valores relativos de la tierra libre de mejoras.

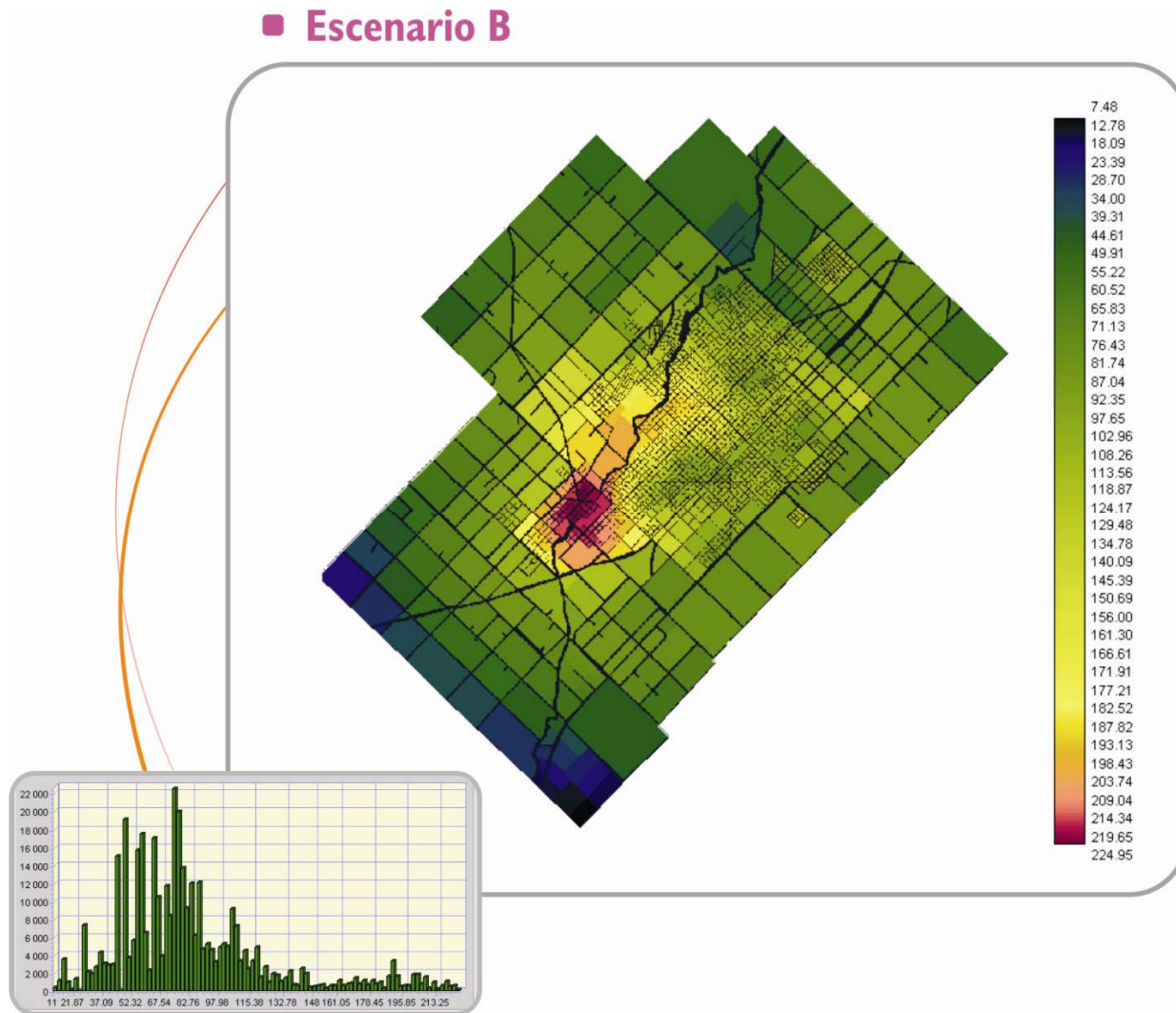


Figura IV.17. Mapa e histograma del Escenario B de valores relativos de la tierra libre de mejoras.

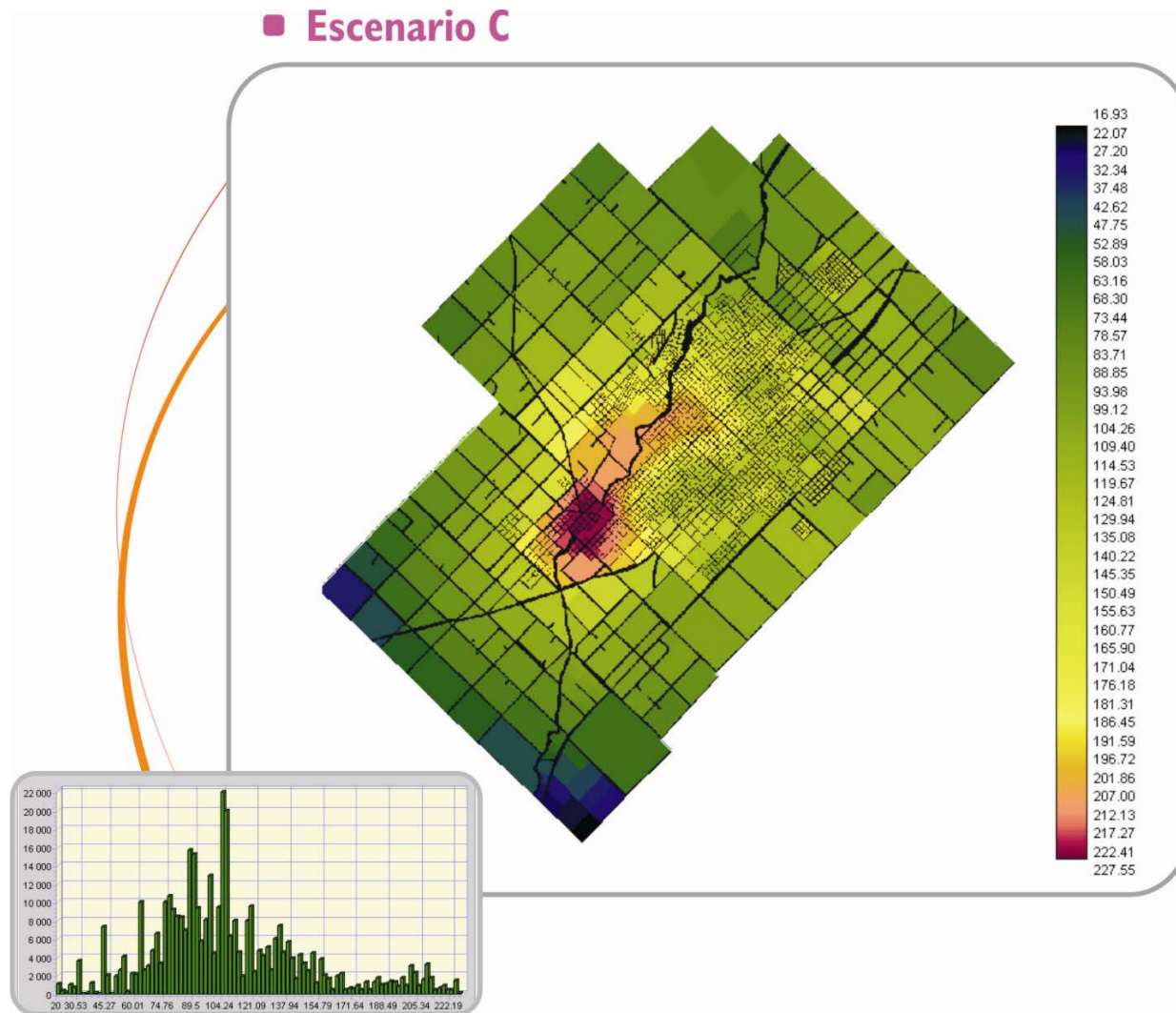


Figura IV.18. Mapa e histograma del Escenario C de valores relativos de la tierra libre de mejoras.

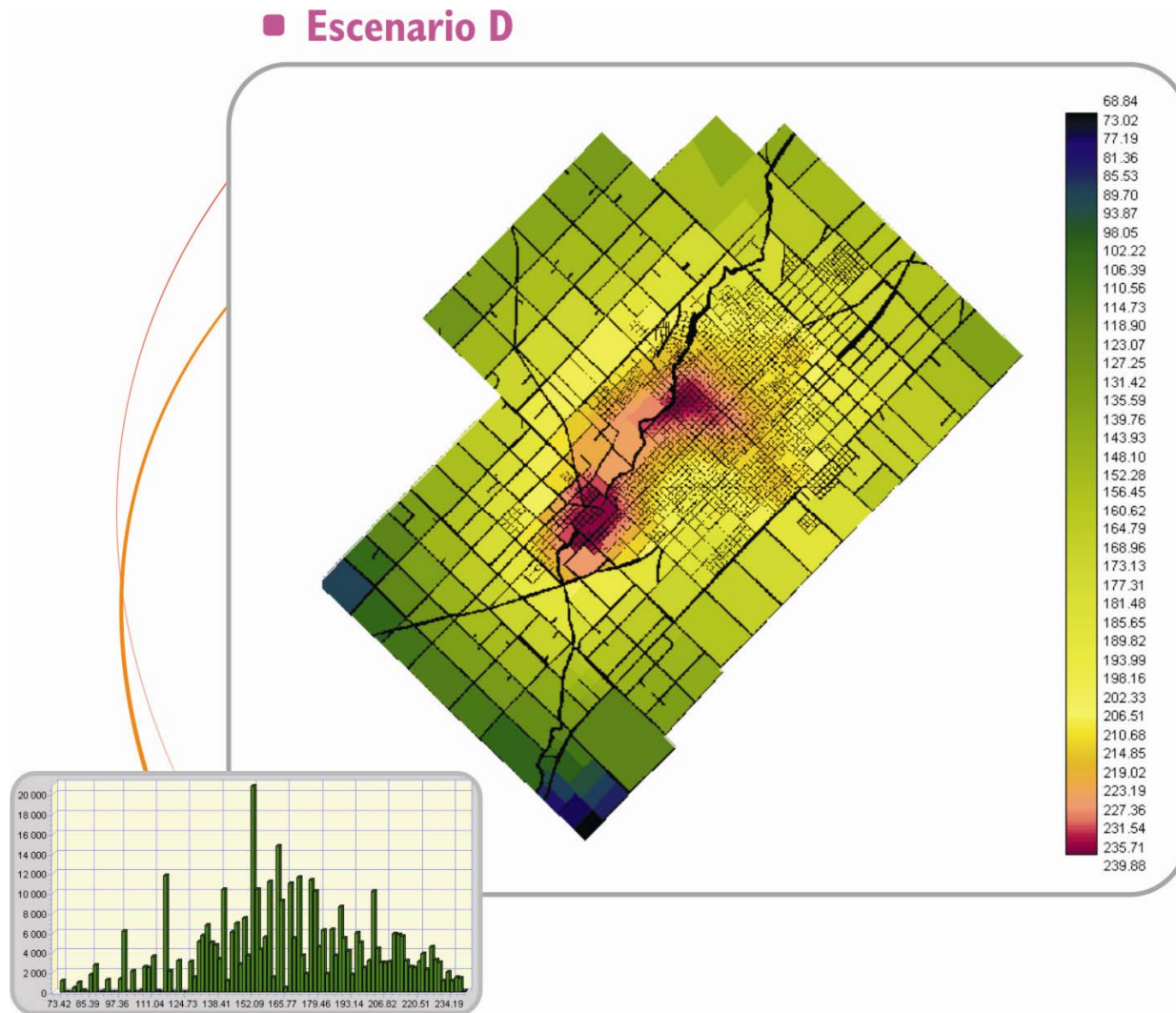


Figura IV.19. Mapa e histograma del Escenario D de valores relativos de la tierra libre de mejoras.



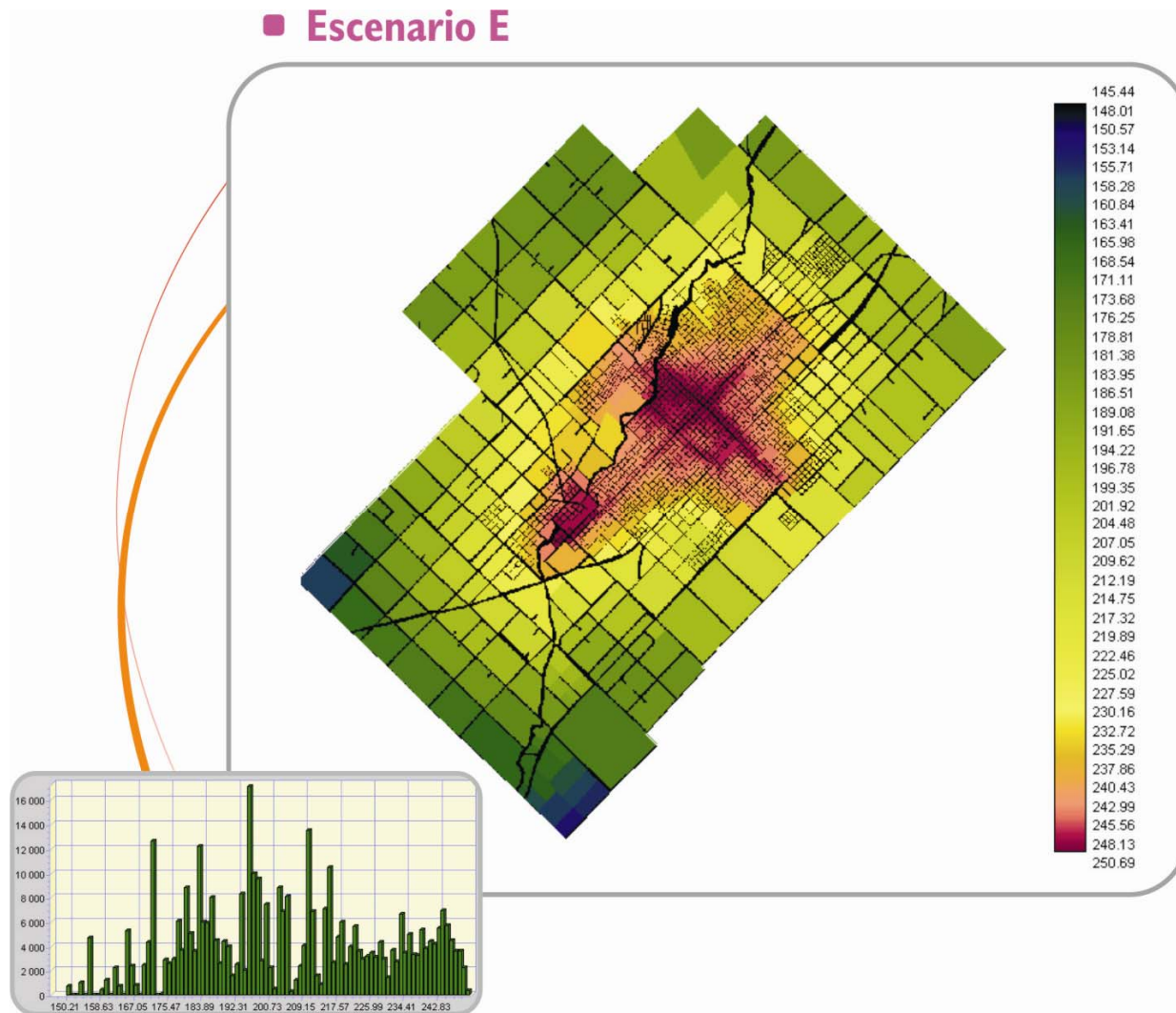


Figura IV.20. Mapa e histograma del Escenario E de valores relativos de la tierra libre de mejoras.

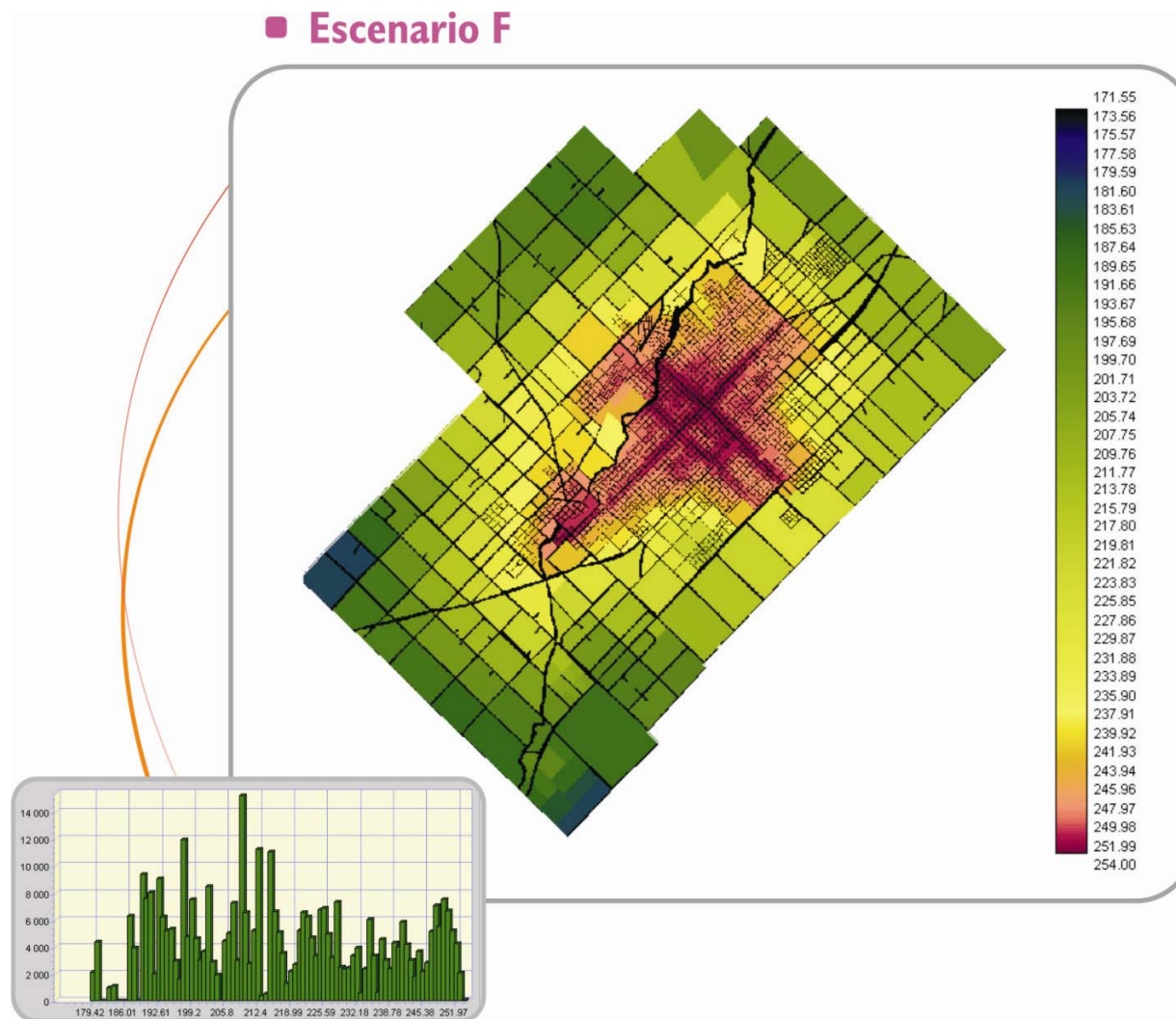


Figura IV.21. Mapa e histograma del Escenario F de valores relativos de la tierra libre de mejoras.

La Figura IV.22 muestra en detalle una zona central del área de estudio en el que se observa claramente cómo desde el primer al último escenario propuesto, los valores se van haciendo más homogéneos y más altos (en total correspondencia con los histogramas descritos anteriormente). Cabe señalar aquí que en esta figura se utiliza la misma paleta de colores que en los escenarios completos individuales, es decir, tonos fríos para los valores más bajos y cálidos para los más altos (negro - azules - verdes - amarillos - anaranjados - rojos).

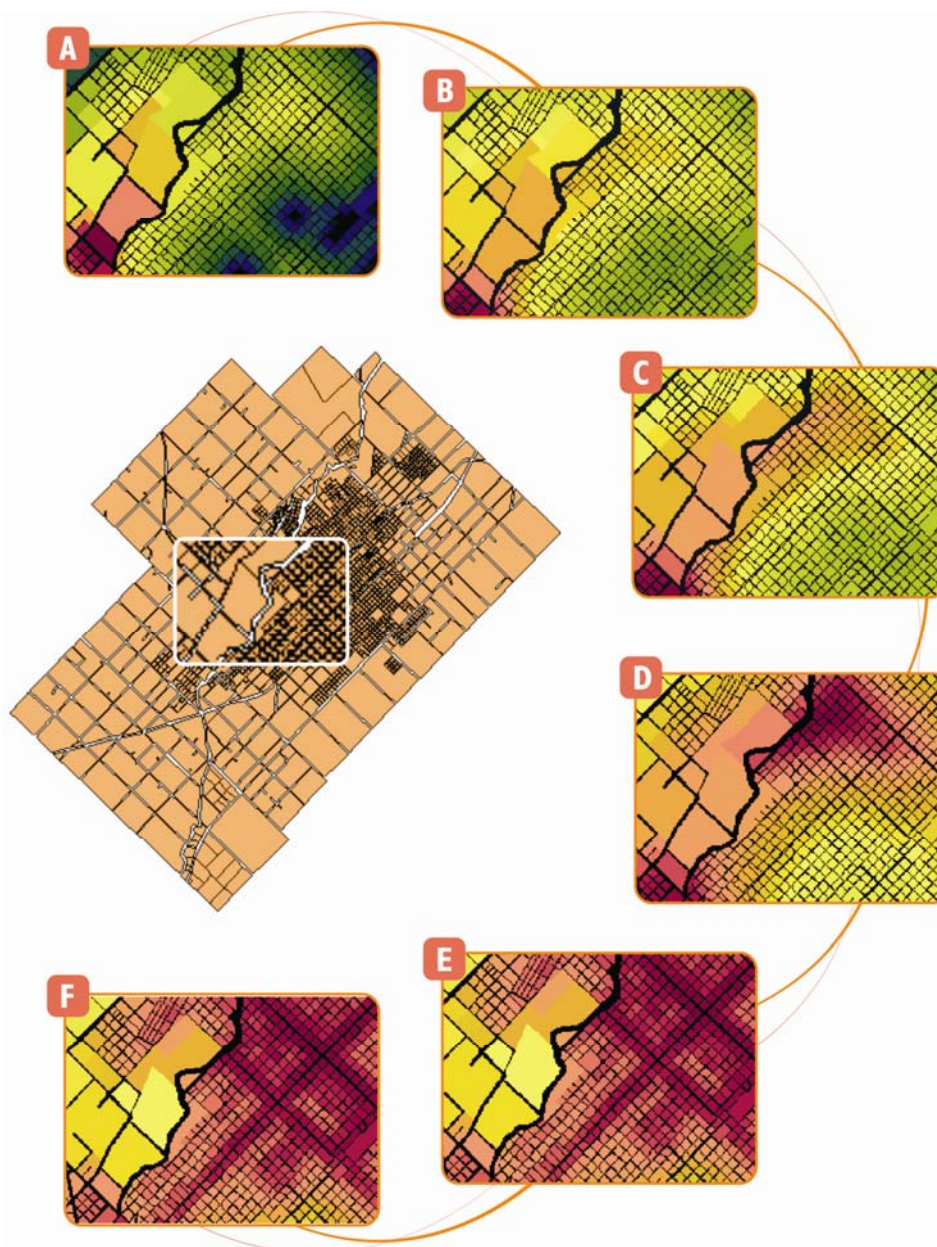


Figura IV.22. Detalle de la zona central del área de estudio, según los distintos escenarios propuestos.



## IV.2. Análisis de los resultados

Para proceder al análisis de los resultados, en primer lugar resulta conveniente presentar el mapa conteniendo los valores de la tierra libre de mejoras obtenidos por la Comisión Asesora Local (Figura IV.23). Dicho mapa contiene valores que varían entre 0,1 y 250 (expresados en  $\$/m^2$ , son valores absolutos, no relativos como los que contienen los escenarios propuestos).

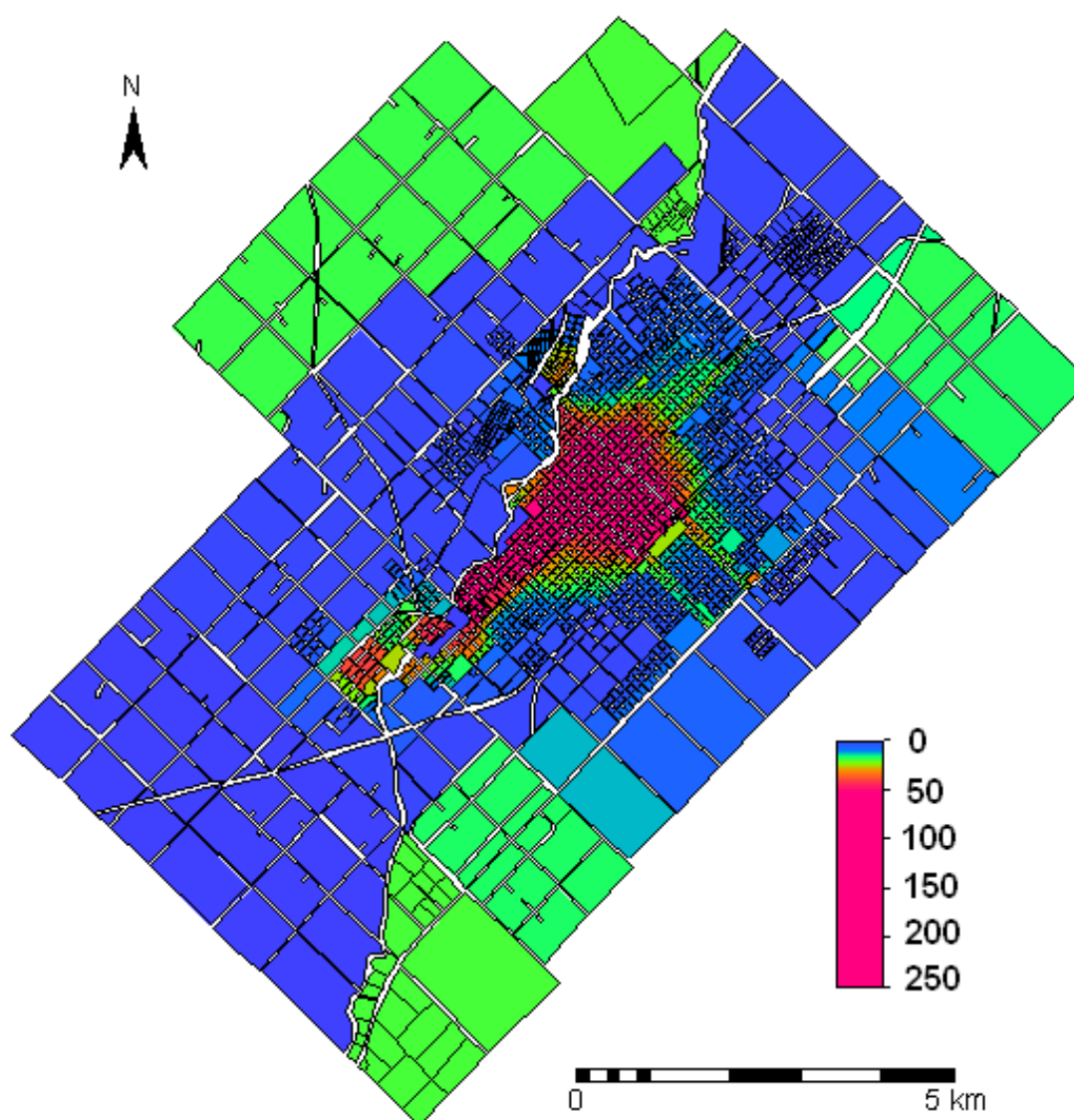


Figura IV.23. Mapa de valores de la tierra libre de mejoras propuesto por la Comisión Asesora Local.



El siguiente análisis de los resultados surge del intento por comparar los valores de cada escenario con los de la C.A., para lo que se procedió a calcular la diferencia porcentual entre cada par, previa estandarización del mapa de valores propuestos por la C.A. llevando su mínimo y su máximo a sus equivalentes de cada escenario. Así, por ejemplo, al comparar el mapa de valores de la C.A. con el escenario A, la operación resultante es:

$$Dif\%_{(CA/A)} = \frac{CA_{estA} - A}{Vmáx_A} * 100$$

Donde:

$Dif\%_{(CA/A)}$  : Diferencia porcentual entre los valores de la C.A. y el escenario A

$CA_{estA}$  : Valores de la C.A. estandarizados según los valores mínimo y máximo del escenario A

$A$  : Valores del escenario A

$Vmáx_A$  : Valor máximo en el escenario A

El resultado fueron mapas con valores entre -100 y 100, en los que los valores negativos corresponden a aquellos píxeles en los que el mapa de la C.A. presenta valores más bajos que el escenario propuesto y los valores positivos la situación inversa (Figura IV.24).

Luego, para una mejor interpretación, se procedió a una reclasificación de dichos valores en 9 intervalos (Figura IV.25). Los 4 primeros (en colores rojo, anaranjado, amarillo y azul) corresponden a aquellos píxeles en los que la C.A. presenta valores más bajos que los escenarios propuestos; los 4 últimos (en colores rosa, verde claro, celeste y gris) se refieren a los píxeles en que sucede la situación inversa; mientras que el intervalo del medio (en color verde oscuro) atañe a los que no presentan diferencias entre los valores de la C.A. y los distintos escenarios propuestos. En la Tabla IV.7 se detallan las hectáreas afectadas en cada intervalo.

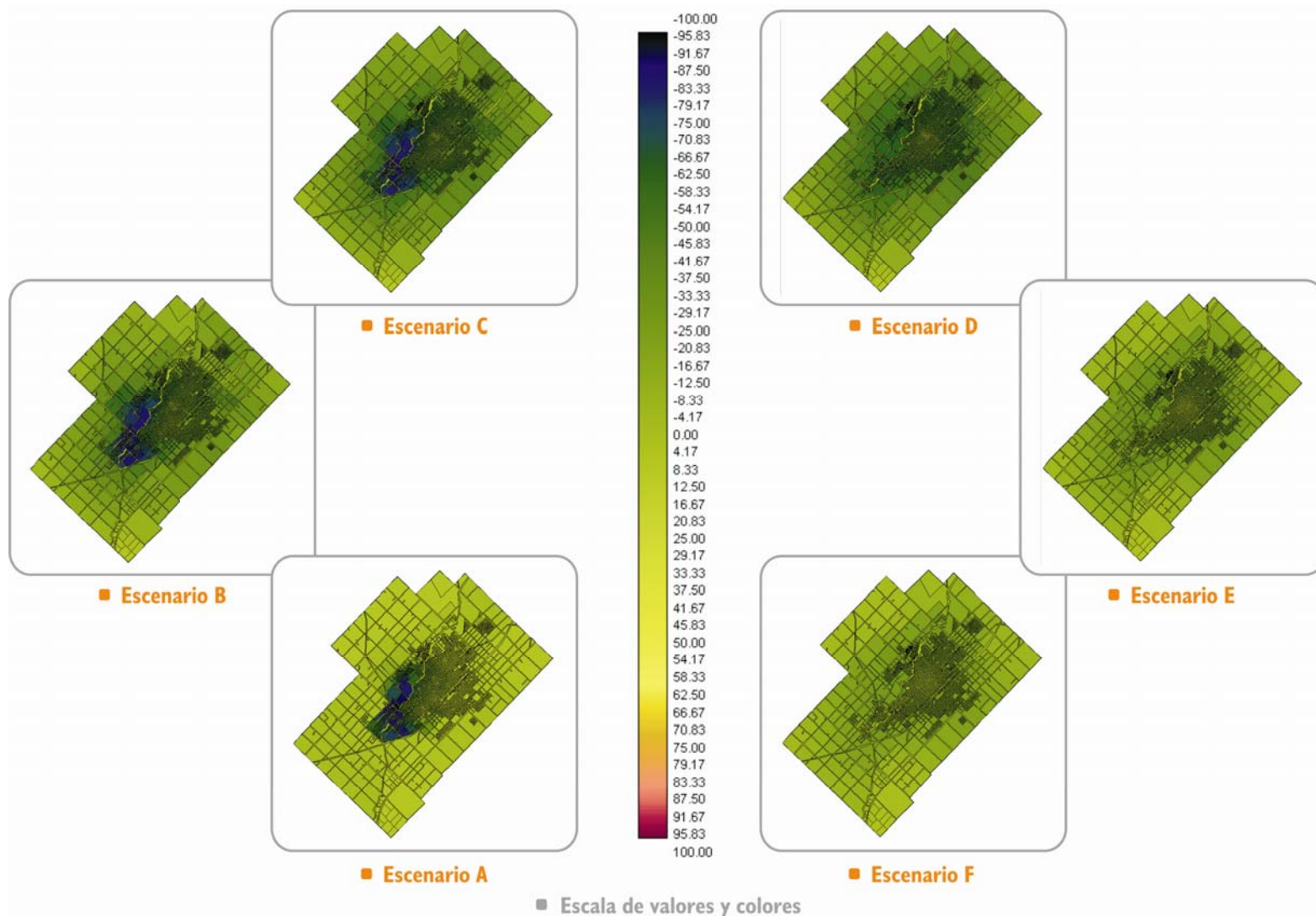


Figura IV.24. Diferencia porcentual entre los valores de la C.A. y cada uno de los escenarios propuestos.

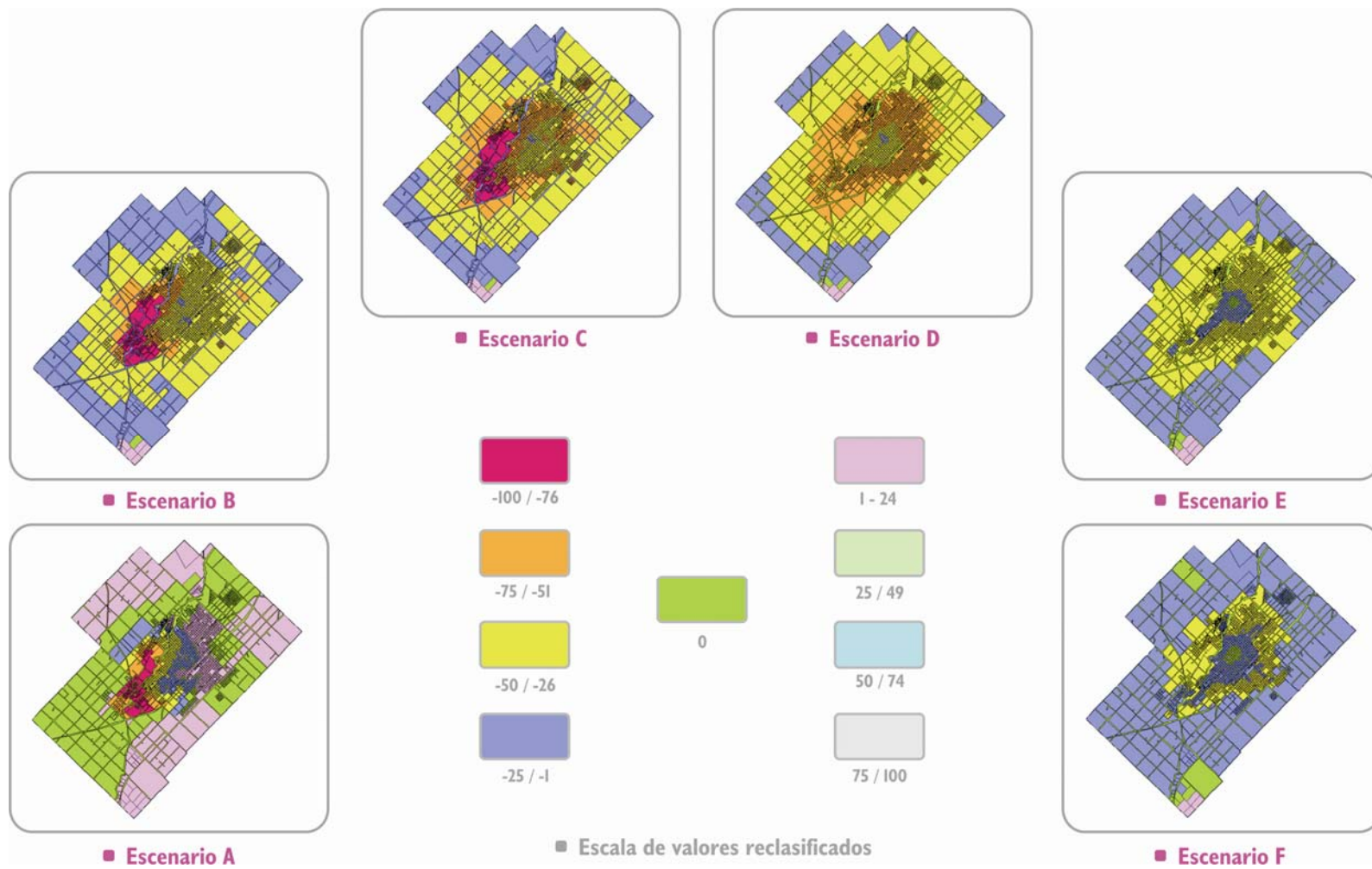


Figura IV.25. Reclasificación de las diferencias porcentuales entre los valores de la C.A. y los escenarios propuestos en 9 intervalos.

Tabla IV.7. Área (ha) afectada por cada intervalo de reclasificación de la diferencias porcentuales entre los valores de la C.A. y cada escenario propuesto.

	A	B	C	D	E	F
-100 / -76	223.91	364.01	374.71	-----	-----	-----
-75 / -51	229.52	567.74	1313.34	2082.82	-----	-----
-50 / -26	283.27	4170.31	4715.46	4830.35	3356.87	1431.88
-25 / -1	476.77	3774.96	2504.08	1731.84	5217.84	6783.76
0	4077.78	42.44	35.25	308.37	334.61	726.76
0 / 24	3776.17	150.68	127.30	116.76	160.82	127.74
25 / 49	2.72	-----	-----	-----	-----	-----
50 / 74	-----	-----	-----	-----	-----	-----
75 / 100	-----	-----	-----	-----	-----	-----

En términos generales, el escenario A es el que posee significativamente más píxeles con valores coincidentes con la propuesta de la C.A. (44,96 % de la superficie total), y si además le sumamos los píxeles que se alejan en un  $\pm 25$  % a fin de no ser tan estrictos, se llega a involucrar al 91,85 % del área urbana. El escenario F no muestra tantos píxeles absolutamente coincidentes con la C.A. (8,01 % de la superficie), pero sumados aquellos con  $\pm 25$  % se llega a incluir el 83,91 % del área en consideración (con el 74,79 % de píxeles en el -25 %). En tercer lugar se ubica el escenario E con el 62,99 %, pero igual que en el caso anterior, un gran porcentaje (el 57,53 %) están dentro del intervalo del -25 %. Otro dato interesante es que excepto en el escenario A, en todos los demás la inmensa cantidad de píxeles (en el B 97,86 %, en el C 98,21 %, en el D 95,31 %, en el E 94,54 % y en el F 90,58 %) pertenecen a los intervalos en que los valores de la C.A. son más bajos que los propuestos en los distintos escenarios.

Ahora bien, la propuesta de C.A. “teóricamente” intenta reflejar lo más fielmente posible la realidad local y los valores venales vigentes, teniendo como premisa que estos son función de la distancia al centro geográfico de la ciudad, a los centros comerciales, a las vías de acceso a la ciudad, a las avenidas, al asfalto, al agua corriente, al gas, a las cloacas, al alumbrado público, a los puntos conflictivos, a los lugares de mayor valor estético, a los focos contaminantes y también a la calidad de las viviendas. Pero la realidad indica que, obviamente, tener en mente simultáneamente tantas variables es imposible y, por lo tanto,

finalmente los valores propuestos resultan del conocimiento acerca de algunos casos puntuales considerados significativos de la realidad inmobiliaria y, a partir de ellos surge una extrapolación voluntariosa al resto de las unidades. Por lo tanto... el parecerse estrictamente a la propuesta de la C.A. no es una garantía de que dichos valores de la tierra estén absolutamente bien asignados. El escenario A, como quedara expresado antes, presenta una gran cantidad de píxeles con valores coincidentes en mayor o menor grado con la propuesta de la C.A. y, las divergencias se encuentran sobre todo en las zonas del Balneario, Parque Municipal y tierras pertenecientes al ejército, al municipio o la provincia, donde la C.A. propone un valor nulo de las mismas (no se pueden vender ni comprar), mientras que en la construcción de los distintos escenarios dichas unidades no fueron excluidas del análisis. También existe indudablemente todo un efecto de “moda” o “tendencia” en el mercado que provoca una sobreestimación de los valores en determinadas zonas que son difícilmente explicables mediante el análisis de los factores que tradicionalmente gobiernan el revalúo inmobiliario y que, por lo tanto, en un estudio un tanto más pragmático como el presente, no sale a la luz. Además, se debe tener en cuenta que el escenario A es aquel que presenta el riesgo mínimo en cuanto a que para la obtención de un valor alto, se le requiere a cada píxel tener valores altos en cada uno de los factores intervinientes. Es, entonces, el escenario A, en gran medida el más coincidente con la propuesta de la C.A., a pesar de ser el más exigente en sus condiciones.

En la Figura IV.26 se presenta a modo de cuadro las líneas de acción llevadas adelante para la resolución del problema. La misma tiene más que nada una finalidad pedagógica, ya que en un sencillo esquema se intenta mostrar la manera de pensar y de resolver el problema que adopta el investigador, lo que es simplemente el reflejo de las representaciones mentales de los conceptos y de las acciones que propone el investigador dentro de su subjetividad. Este esquema es algo similar a los llamados “mapas cognitivos” analizados por Fitz y Hasenack (2007). Cabe aclarar que para el análisis de los mapas finales también se utilizaron rutinas del IDRISI tales como: HISTO, EXTRACT, AREA, OVERLAY, STRETCH y ERRMAT, entre otras.

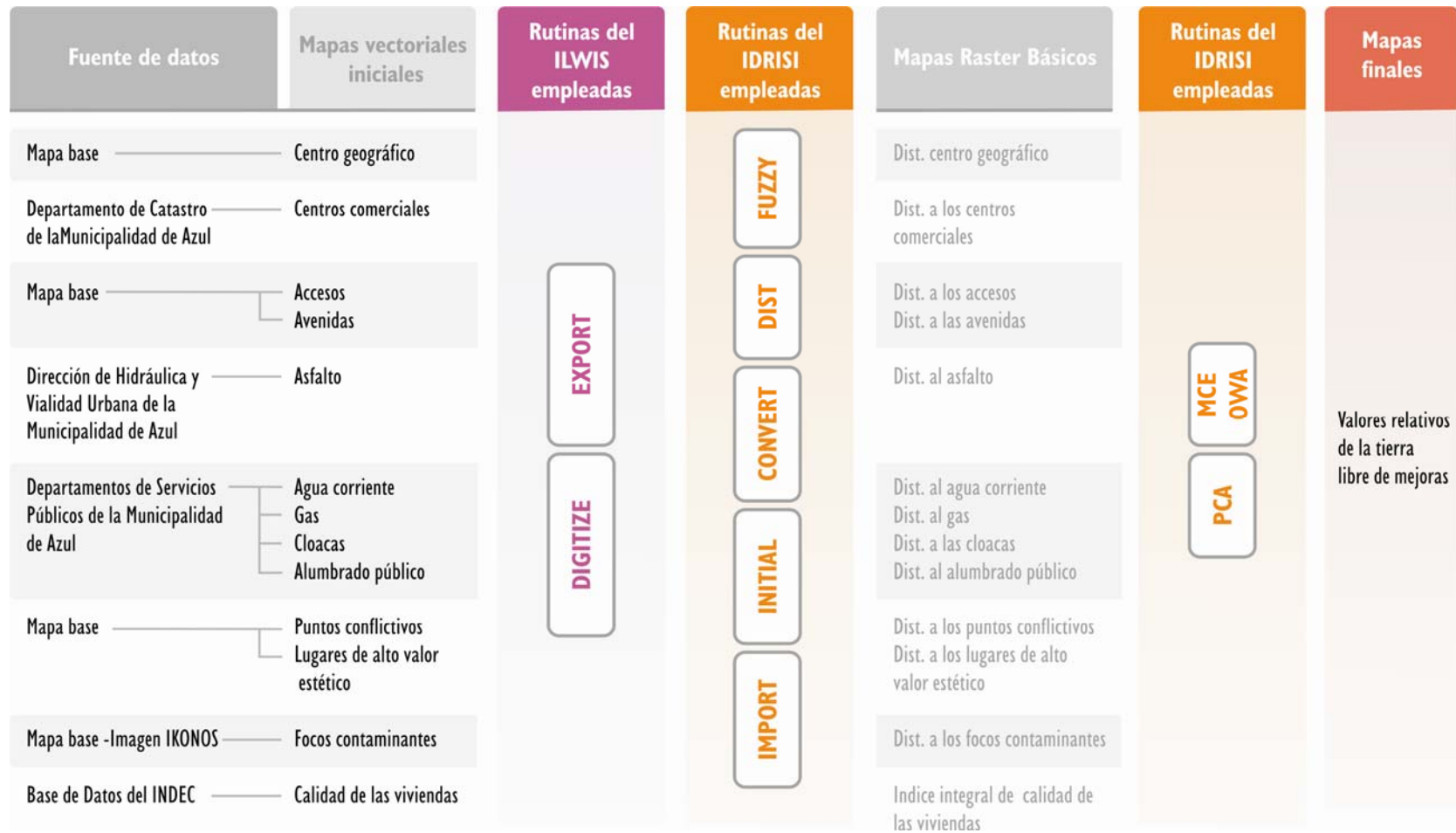


Figura IV.26. Líneas de acción llevadas adelante para la resolución del problema a escala urbana.

## ESCALA RURAL



### V.1. Aplicación de la metodología

#### V.1.1. Construcción del mapa base

El mapa base, en primera instancia vectorial, fue el que definió los límites del proyecto y quedó finalmente constituido por 31 unidades catastrales, cada una de ellas identificada por una denominación de 2 campos correspondiente al número de cuartel y al nombre del partido correspondiente (Figura V.1). La digitalización se realizó a partir de 26 cartas del IGM, escala 1:50000 (Figura V.2).

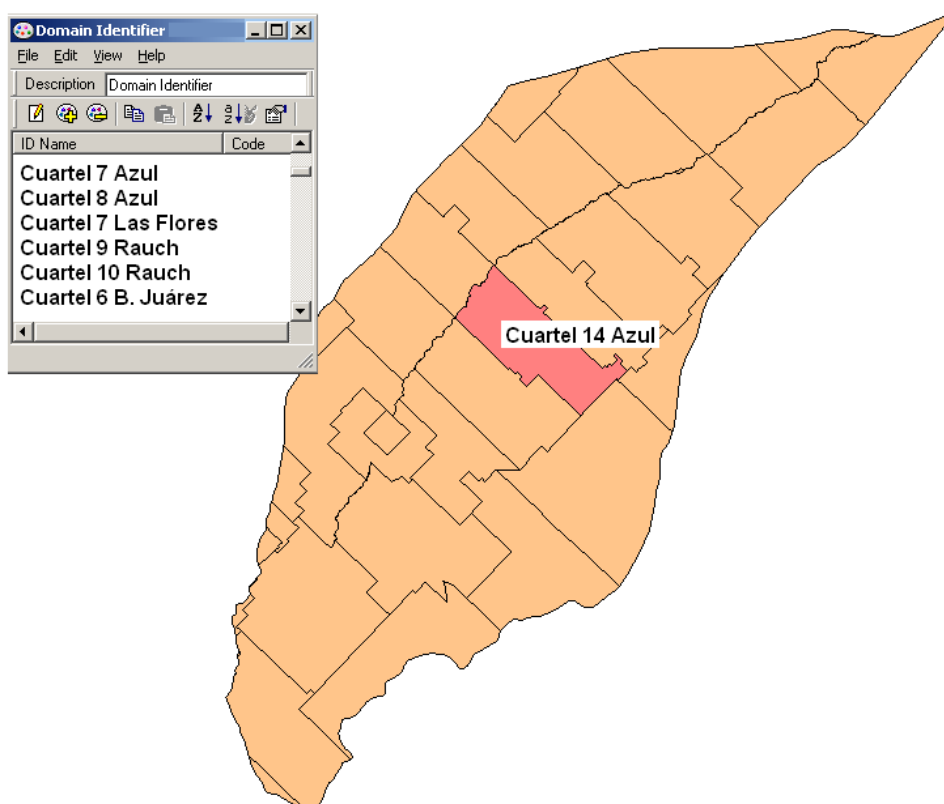


Figura V.1. Mapa base a escala rural con la identificación de las unidades catastrales.



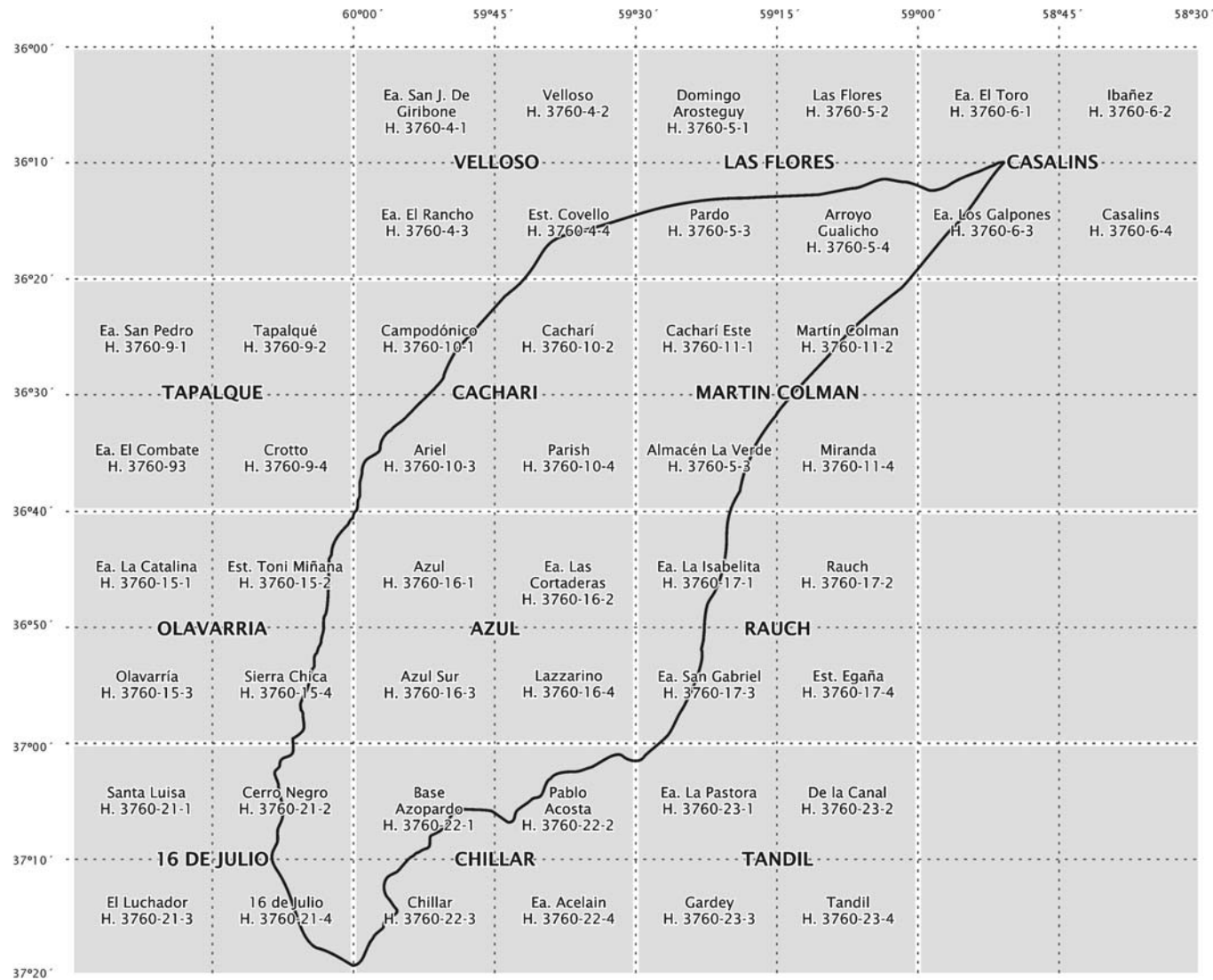


Figura V.2. Detalle de las cartas topográficas del IGM (1:50000) involucradas en el área de la cuenca del arroyo del Azul.



## V.1.2. Construcción de los mapas temáticos

A manera de síntesis, en la Tabla V.1 se detallan los estadísticos básicos de los mapas temáticos con sus valores originales, extraídos mediante el módulo EXTRACT del SIG, como así también las funciones utilizadas para su estandarización y los puntos de inflexión escogidos. En las Figuras V.3 a V.14 se muestran los mapas obtenidos y los módulos del SIG utilizados.

Tabla V.1. Estadísticos básicos de las variables originales (sin estandarizar) y funciones de estandarización y puntos de inflexión.

Variable o criterio	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Desv. estándar
Distancia a las rutas	0	35585.60	2841.95	4973.28
Distancia a las líneas de media tensión	0	62048.94	3761.80	8077.98
Distancia a los centros urbanos	0	53434.38	11427.43	15283.84
Distancia a los caminos rurales	0	15014.99	1519.42	2620.77
Anegabilidad de las tierras	0	1.00	0.08	0.13
Calidad de las tierras	0	90.00	34.20	24.28
Uso actual de las tierras	1.00	9.00	3.43	1.43
Disponibilidad de agua para los $\neq$ usos	0.85	3.94	1.92	0.33
Concentración de nitratos	3.10	84.60	13.95	8.00
Relación de adsorción de sodio (RAS)	1.18	10.79	4.23	1.92
Conductividad eléctrica	554.50	2930.00	986.70	402.60
Sólidos totales disueltos (TDS)	485.49	2189.88	825.01	282.39

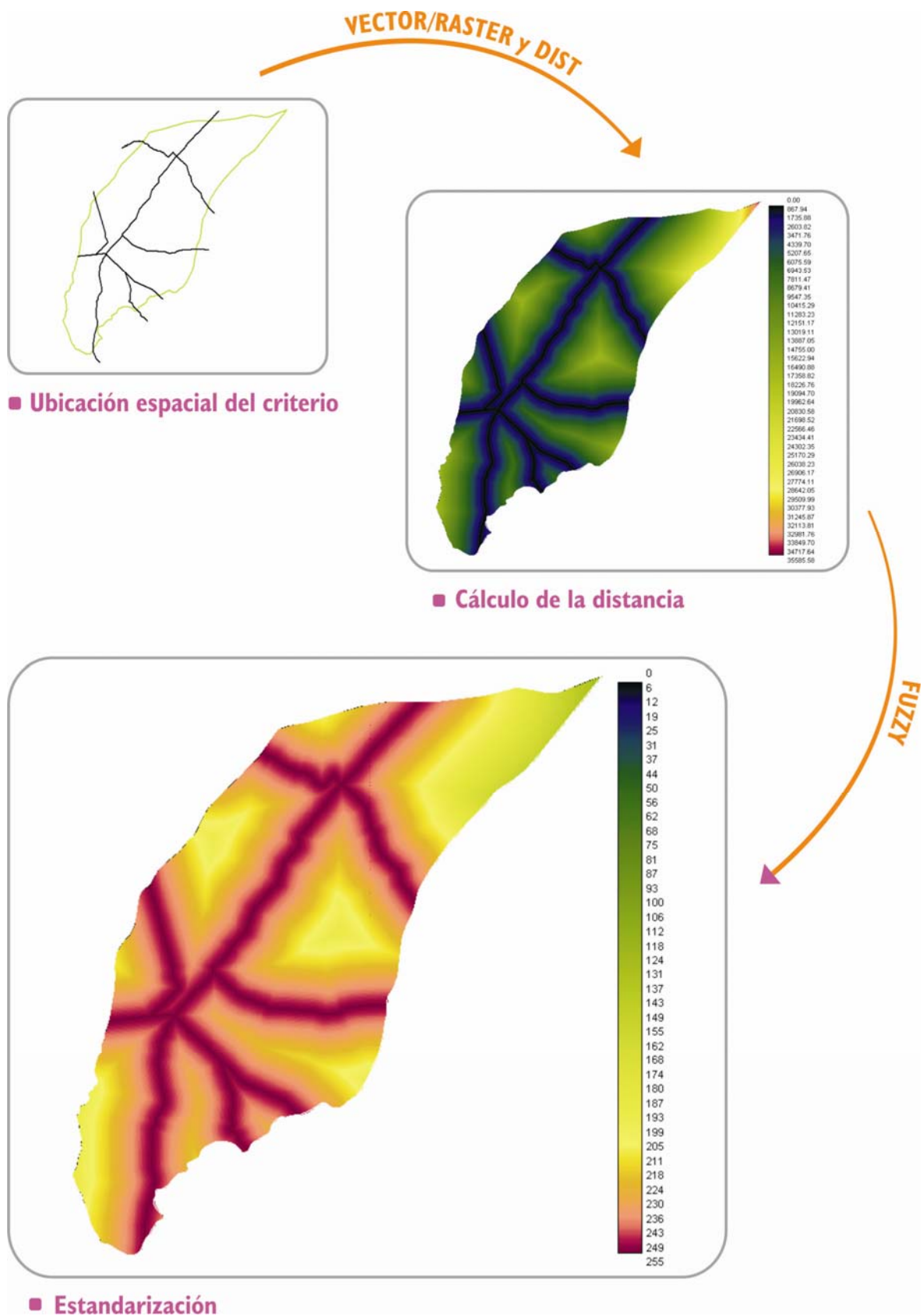


Figura V.3. Tratamiento de la variable Distancia a las rutas.

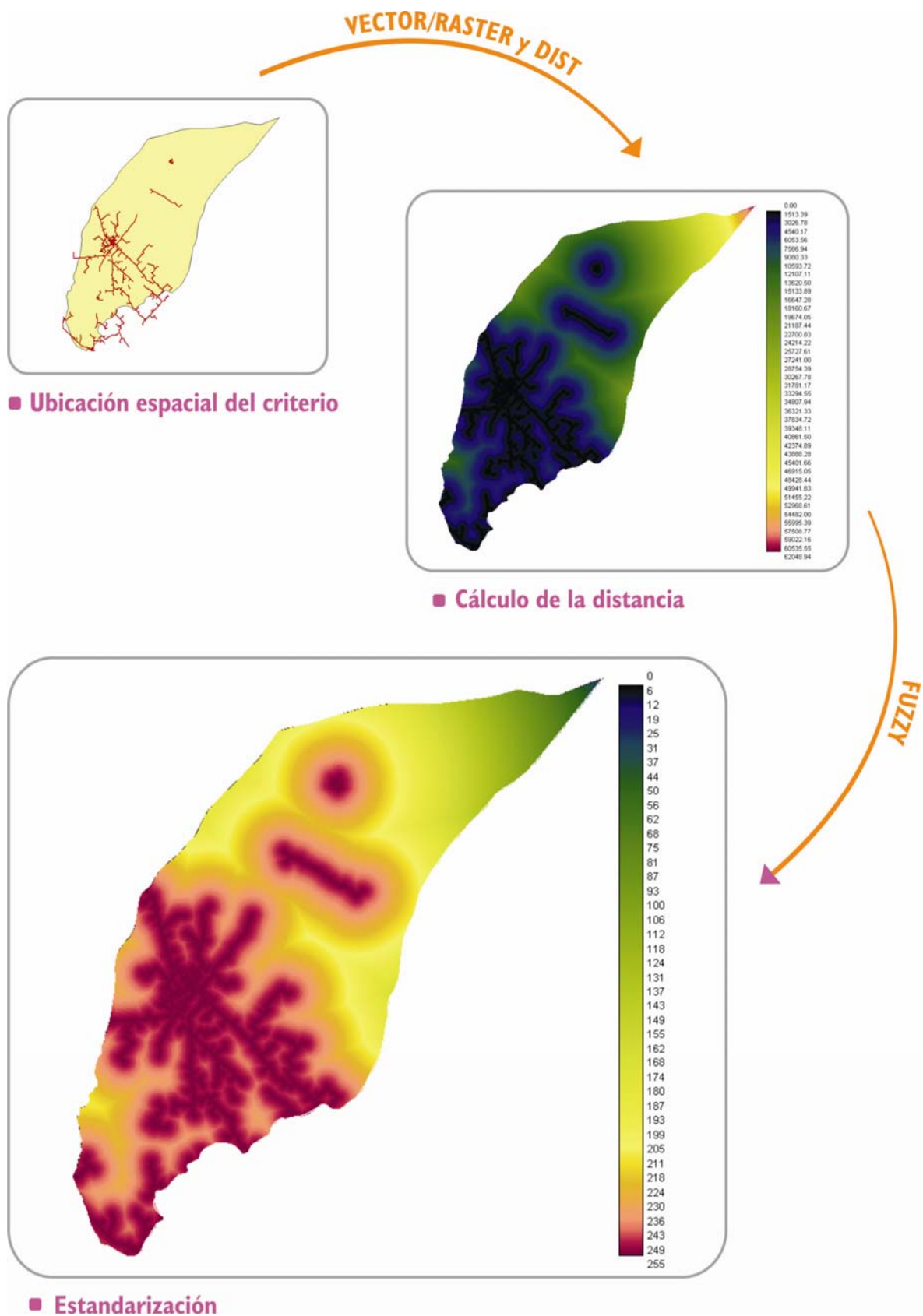


Figura V.4. Tratamiento de la variable Distancia a las líneas de media tensión.

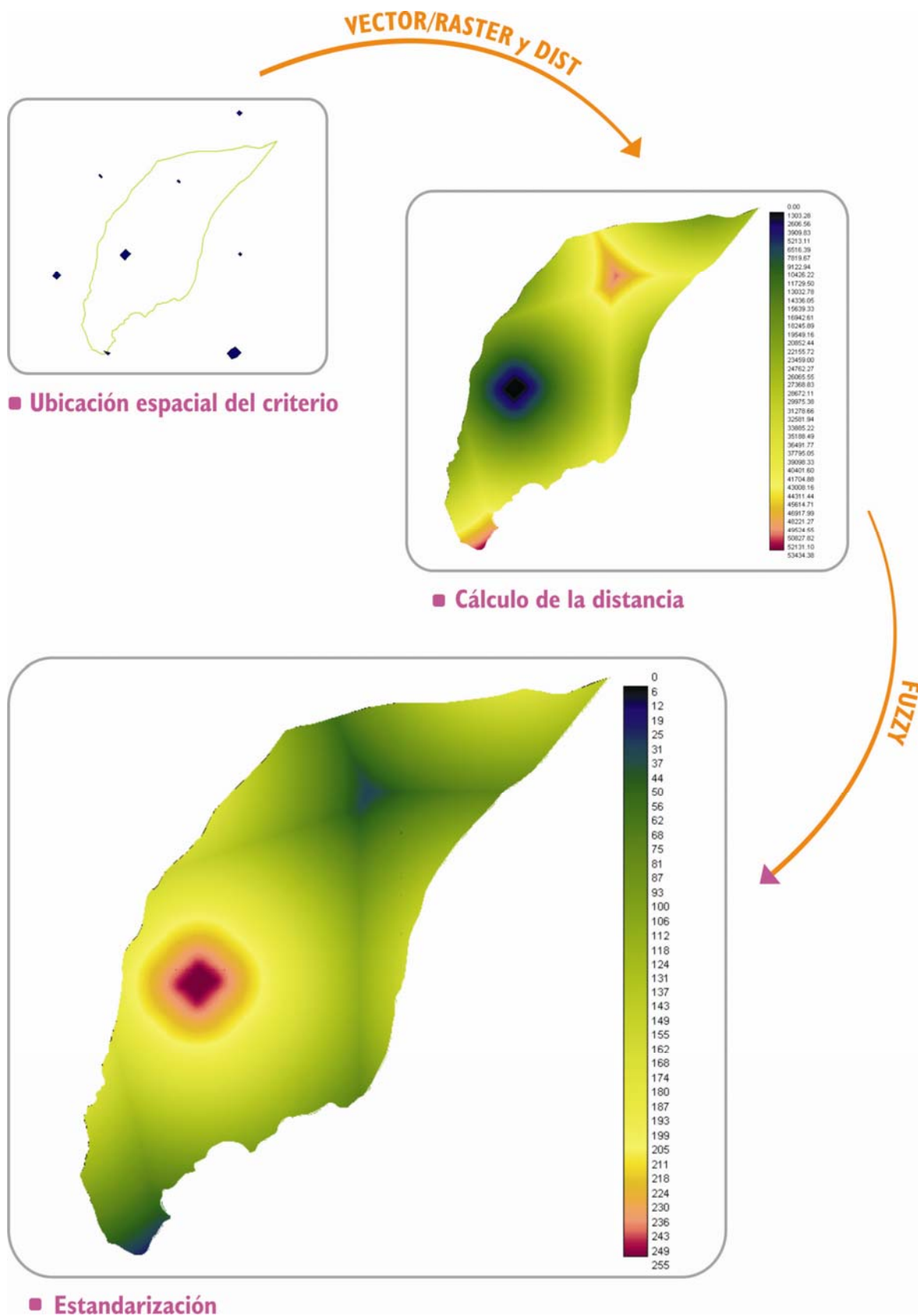


Figura V.5. Tratamiento de la variable Distancia a los centros urbanos.

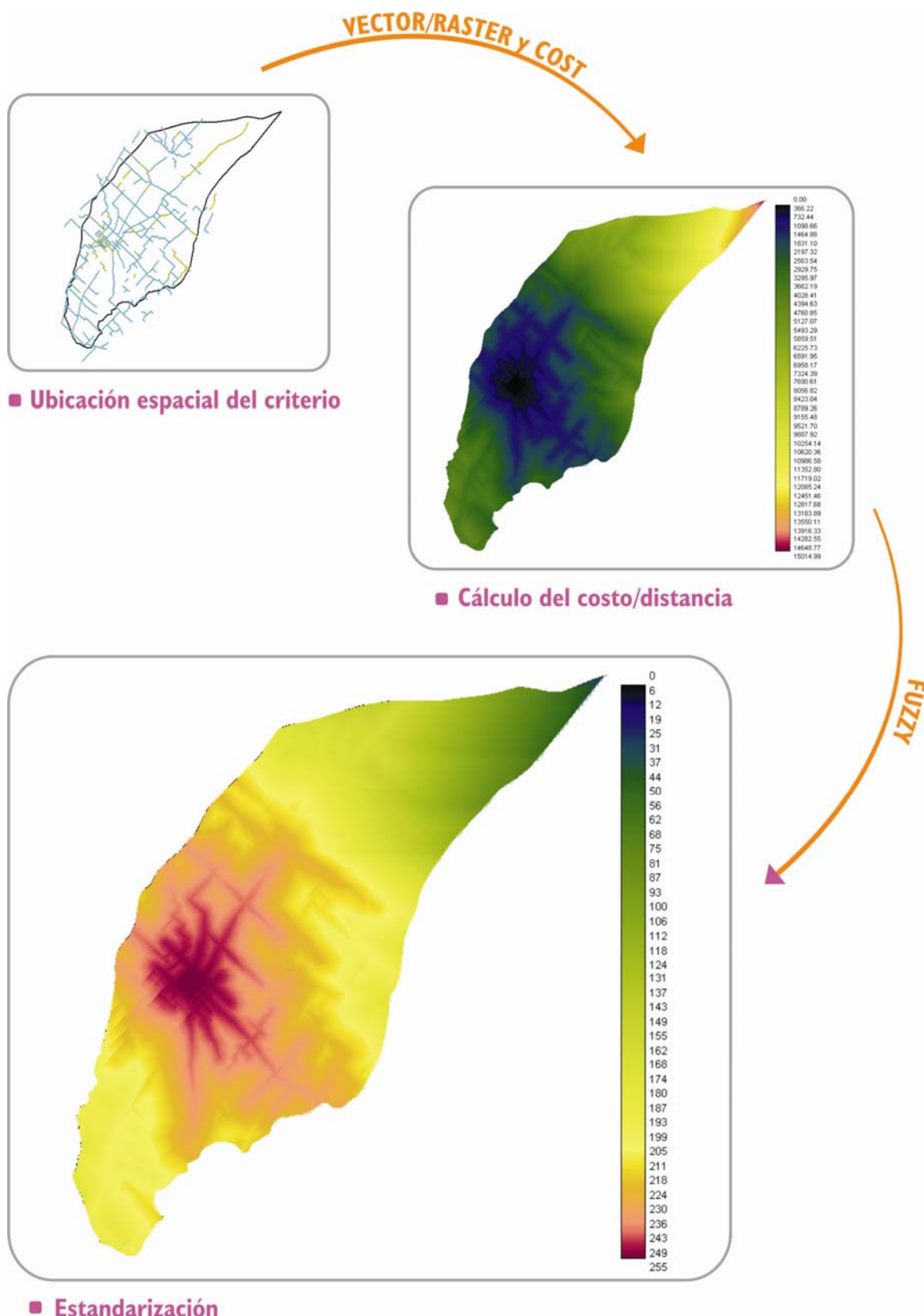


Figura V.6. Tratamiento de la variable Distancia y estado de los caminos rurales.



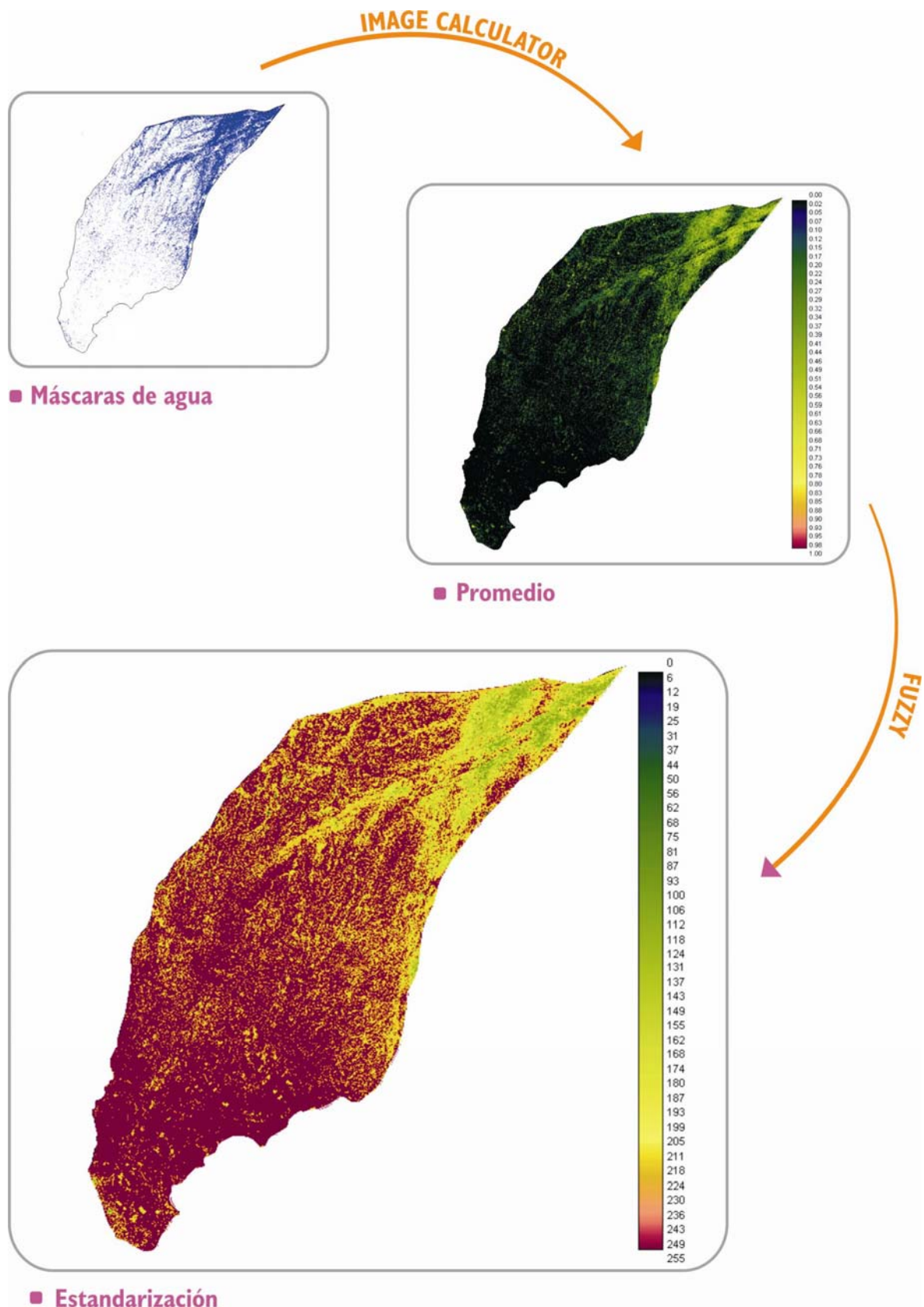


Figura V.7. Tratamiento de la variable Anegabilidad de las tierras.

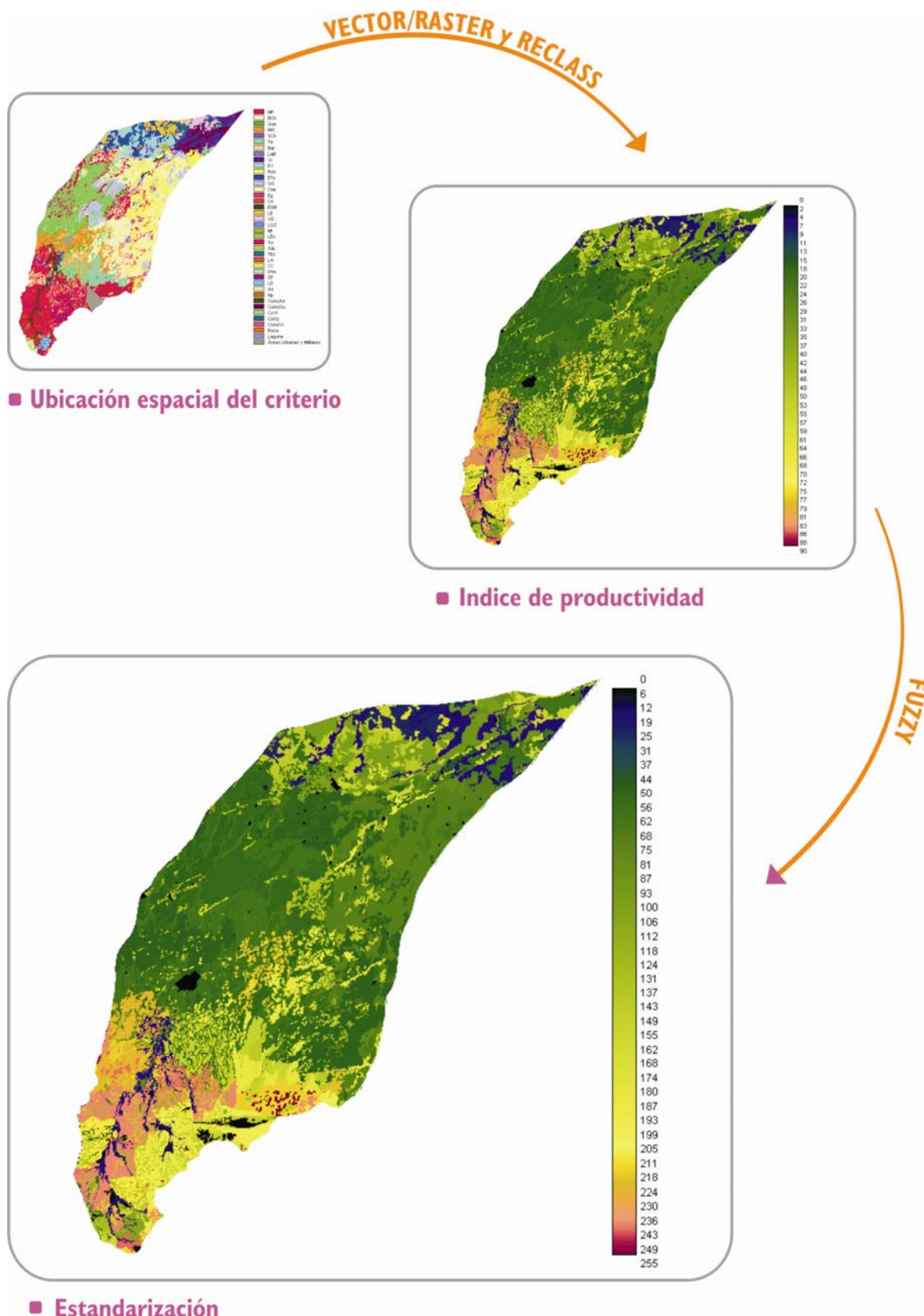


Figura V.8. Tratamiento de la variable Calidad de las tierras.

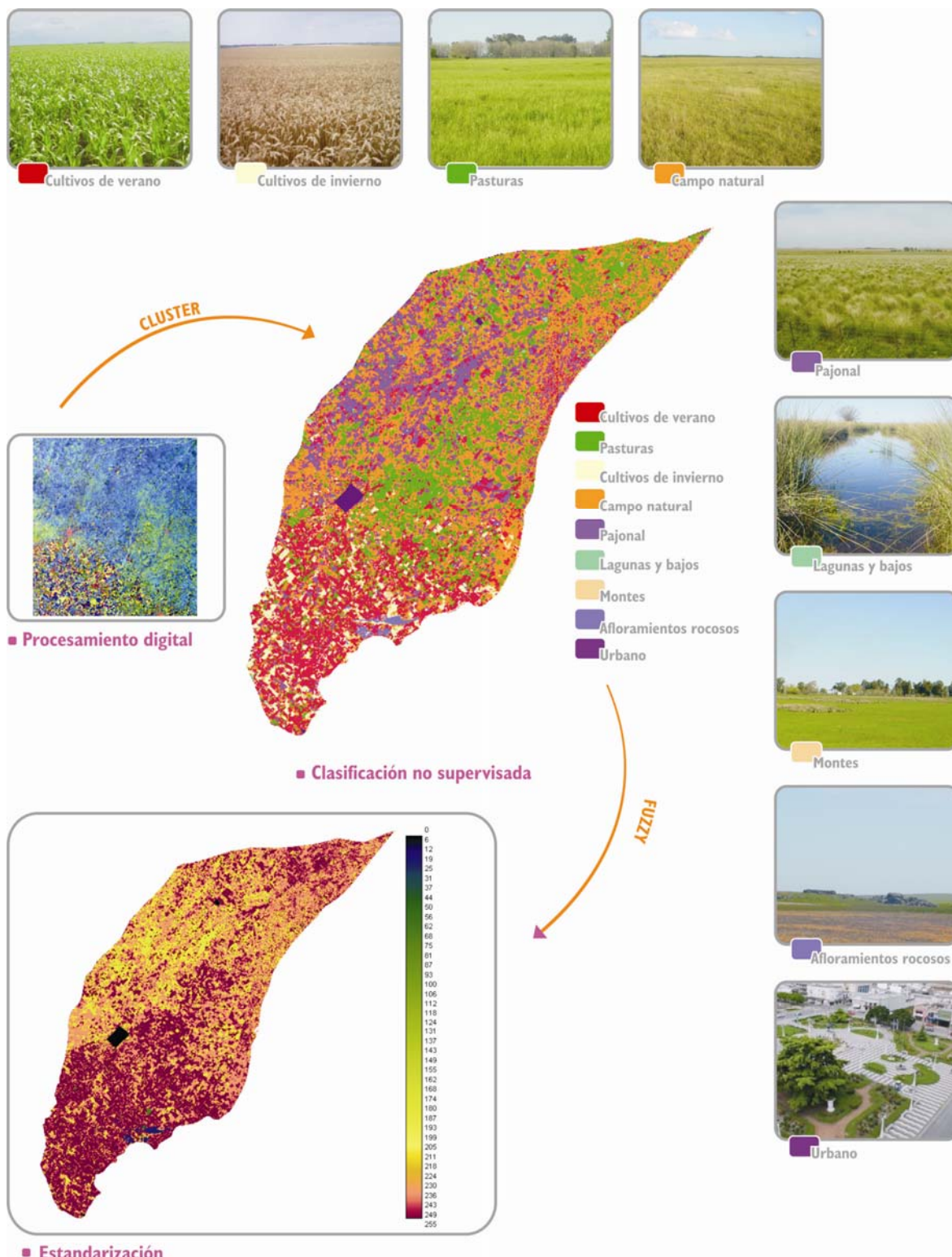


Figura V.9. Tratamiento de la variable Uso actual de las tierras.



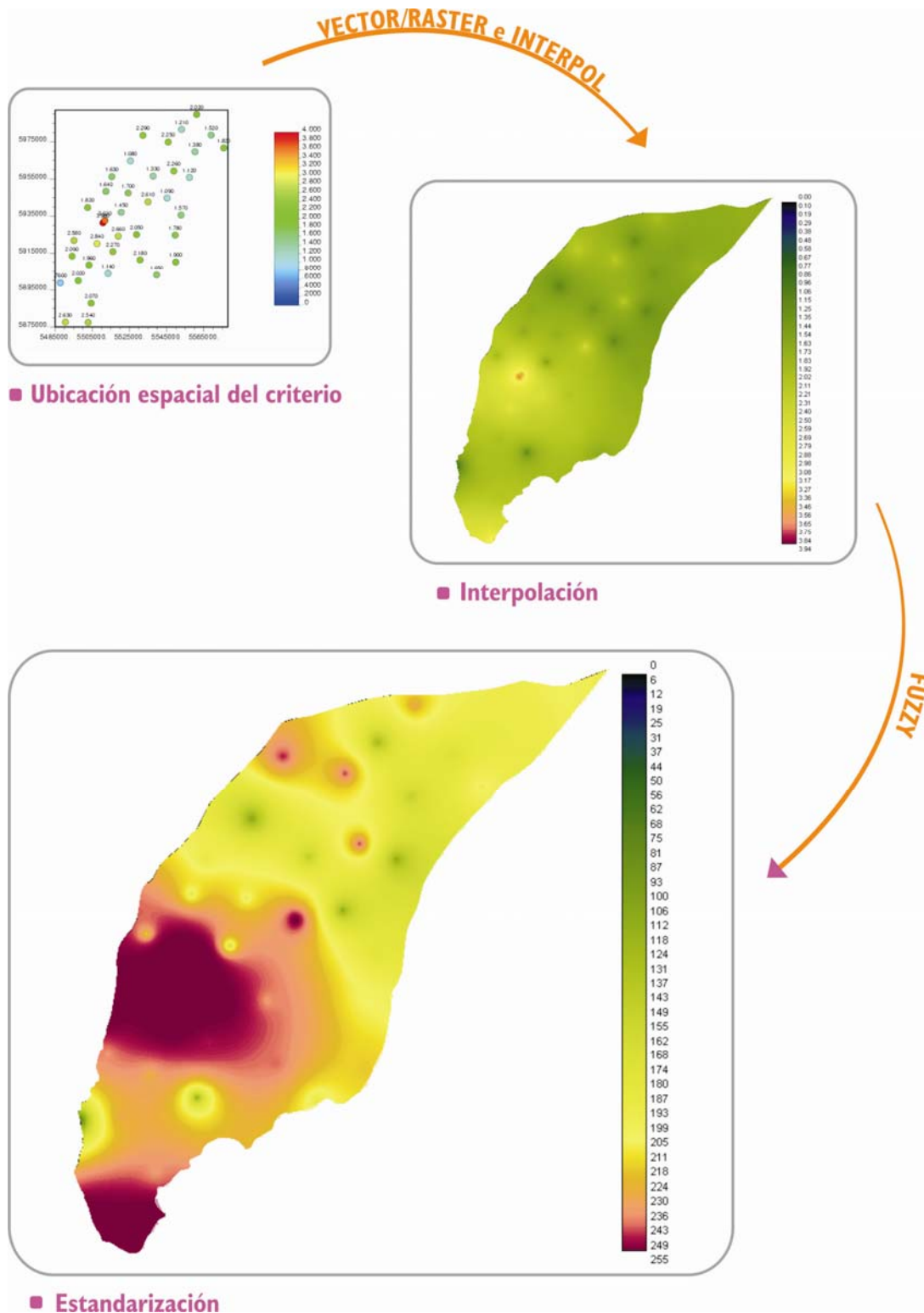


Figura V.10. Tratamiento de la variable Disponibilidad de agua para los distintos USOS.

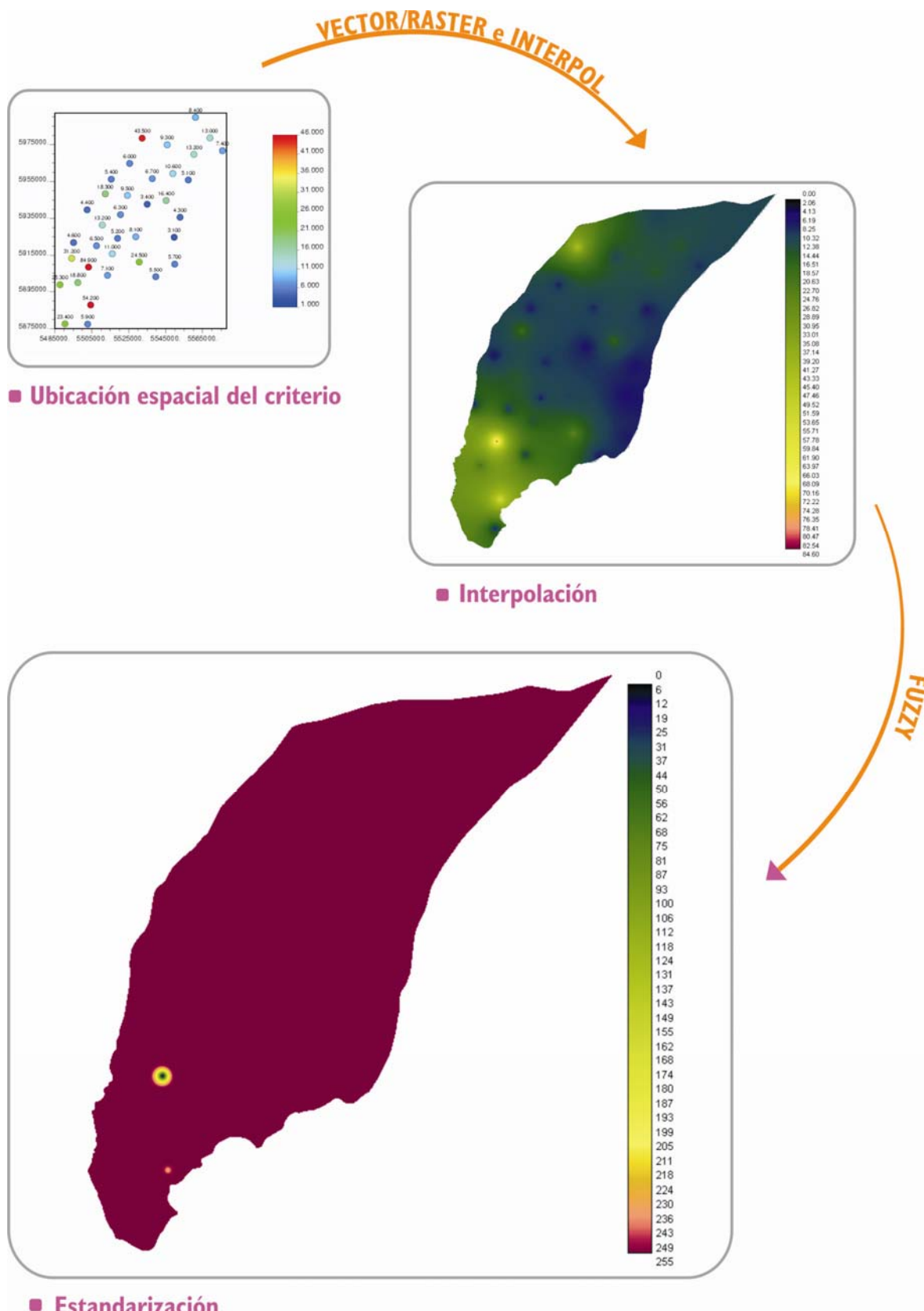


Figura V.11. Tratamiento de la variable Concentración de nitratos.

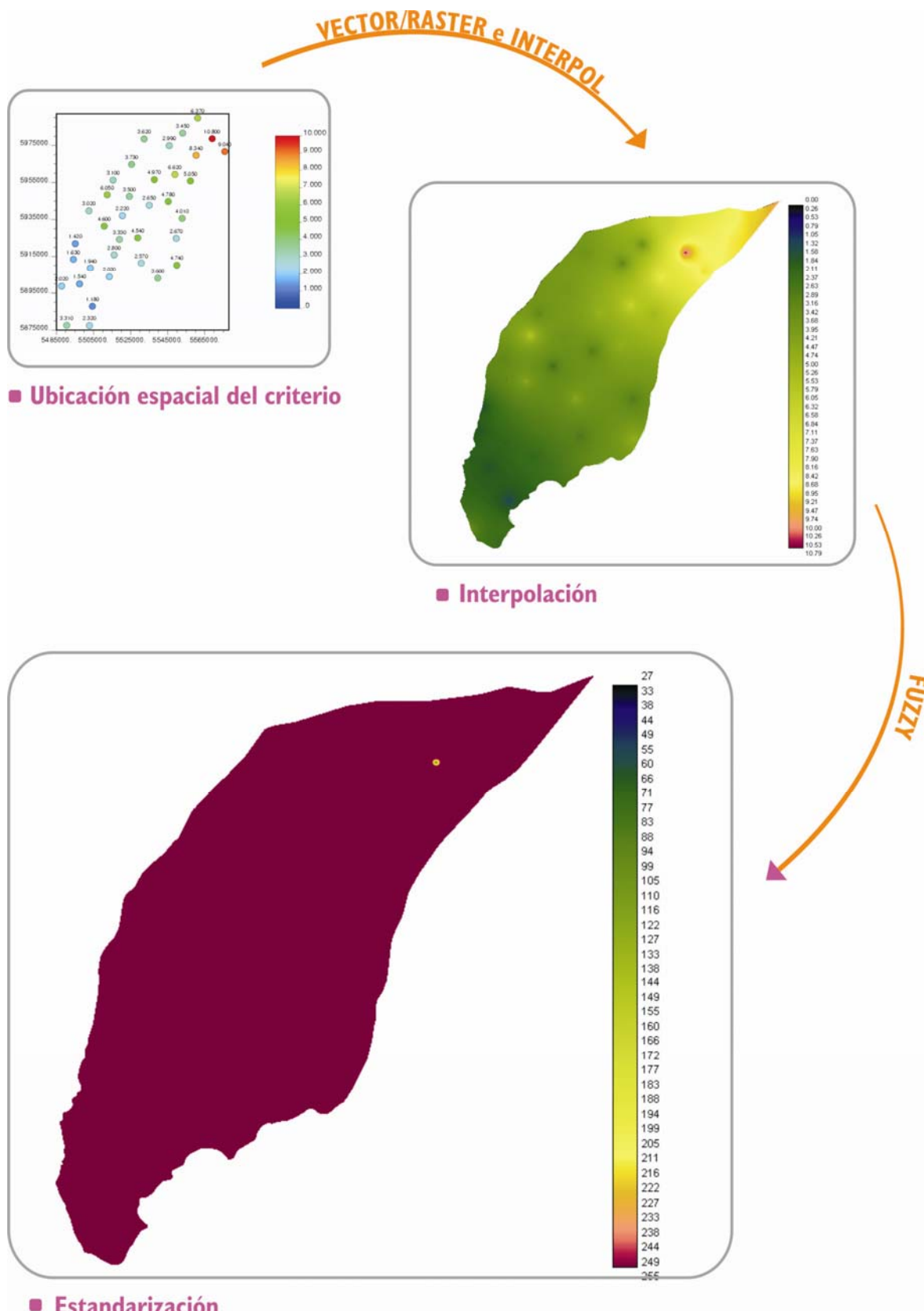


Figura V.12. Tratamiento de la variable Relación de adsorción de sodio.

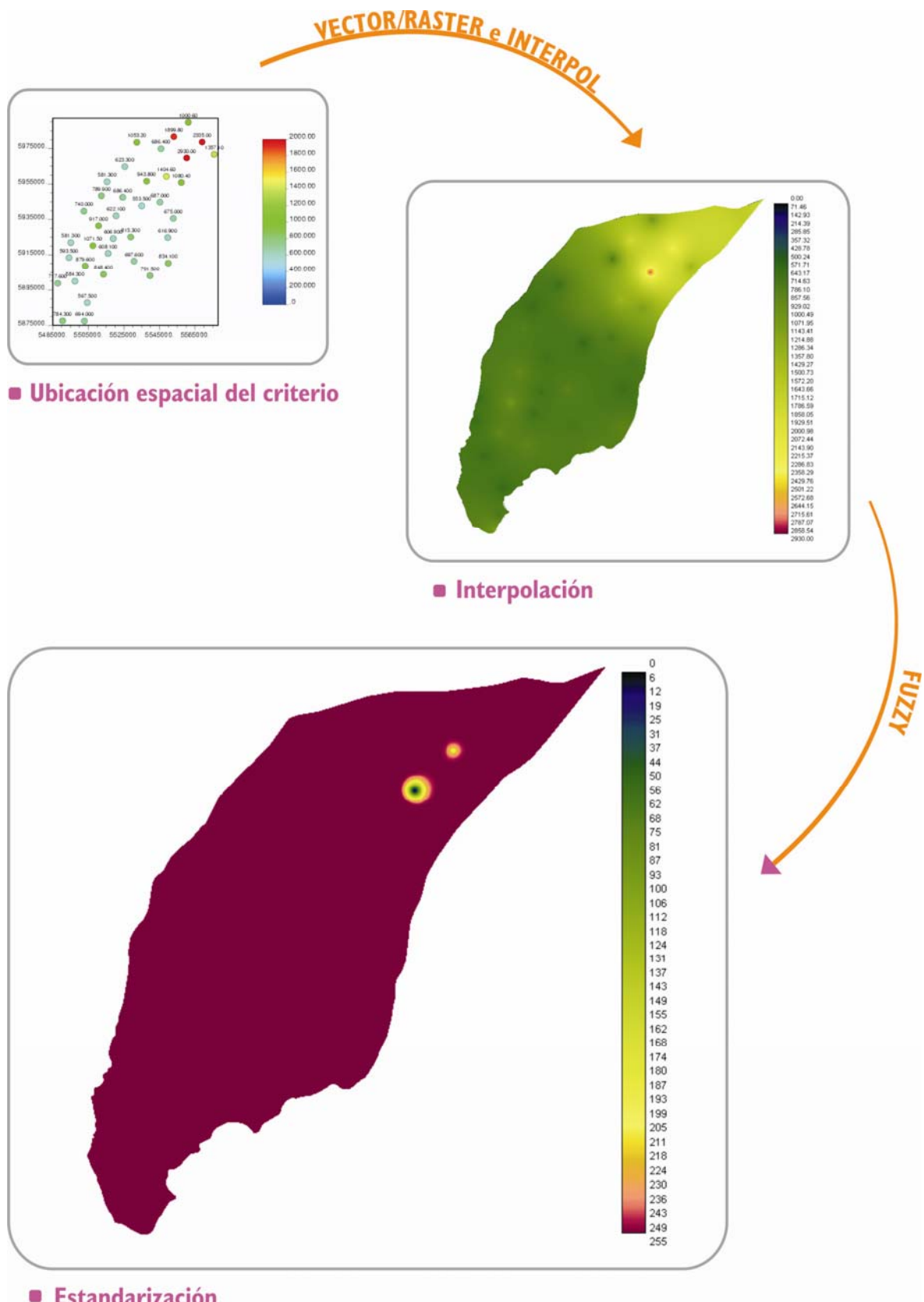


Figura V.13. Tratamiento de la variable Conductividad eléctrica.

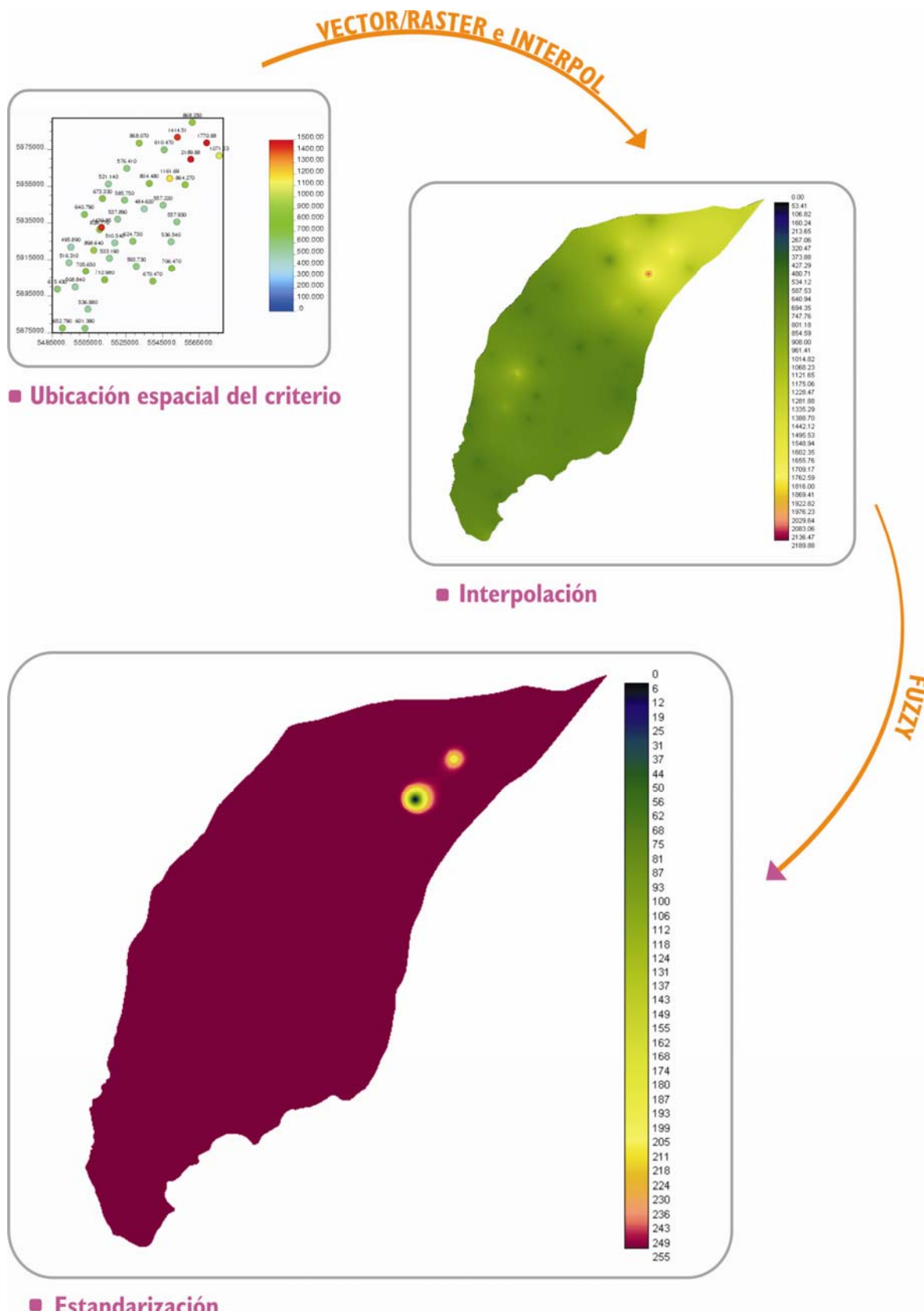


Figura V.14. Tratamiento de la variable Sólidos totales disueltos.

### V.1.3. Definición de los parámetros de la evaluación multicriterio

Para la determinación de los pesos de importancia, se llevó a cabo un análisis de componentes principales a partir de la matriz de datos originales conformada por columnas (variables) representadas por cada criterio en consideración (12 en total) y por filas (observaciones) representadas por la ubicación espacial de cada uno de los píxeles pertenecientes al área de estudio (6.927.216). Así, la matriz sujeta al análisis se conformó con 83.126.592 datos.

Se extrajeron 3 componentes con los cuales se logró explicar el 72.86 % de la varianza total original (Tabla V.2), es decir, que se logra ampliamente el objetivo de la aplicación de este tipo de análisis que es el de reducir la dimensionalidad del problema (se pasa de 12 variables a 3 componentes), con lo que es mucho más fácil descubrir la estructura subyacente de la inmensa matriz de datos originales.

Tabla V.2. Varianza explicada y valores propios de los componentes seleccionados.

Componente	Valor propio	Varianza total explicada (%)	Varianza acumulada (%)
1	5.93	49.42	49.42
2	1.72	14.37	63.79
3	1.09	9.06	72.86

Las cargas (loadings), que son los coeficientes de correlación entre cada componente y los valores de las variables, se detallan en la Tabla V.3, donde se observa que en el primer componente participan las variables de distancia a las rutas y las líneas de media tensión, el estado de los caminos rurales, la anegabilidad de las tierras y ciertas características del agua subterránea como son el RAS, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos. En el segundo componente son protagonistas la calidad de las tierras y la concentración de nitrato en las aguas, y en sentido contrario el uso de las tierras; mientras que en el tercero contribuyen en sentido inverso la distancia a los centros urbanos y la disponibilidad de agua para los distintos usos (Figura V.15).

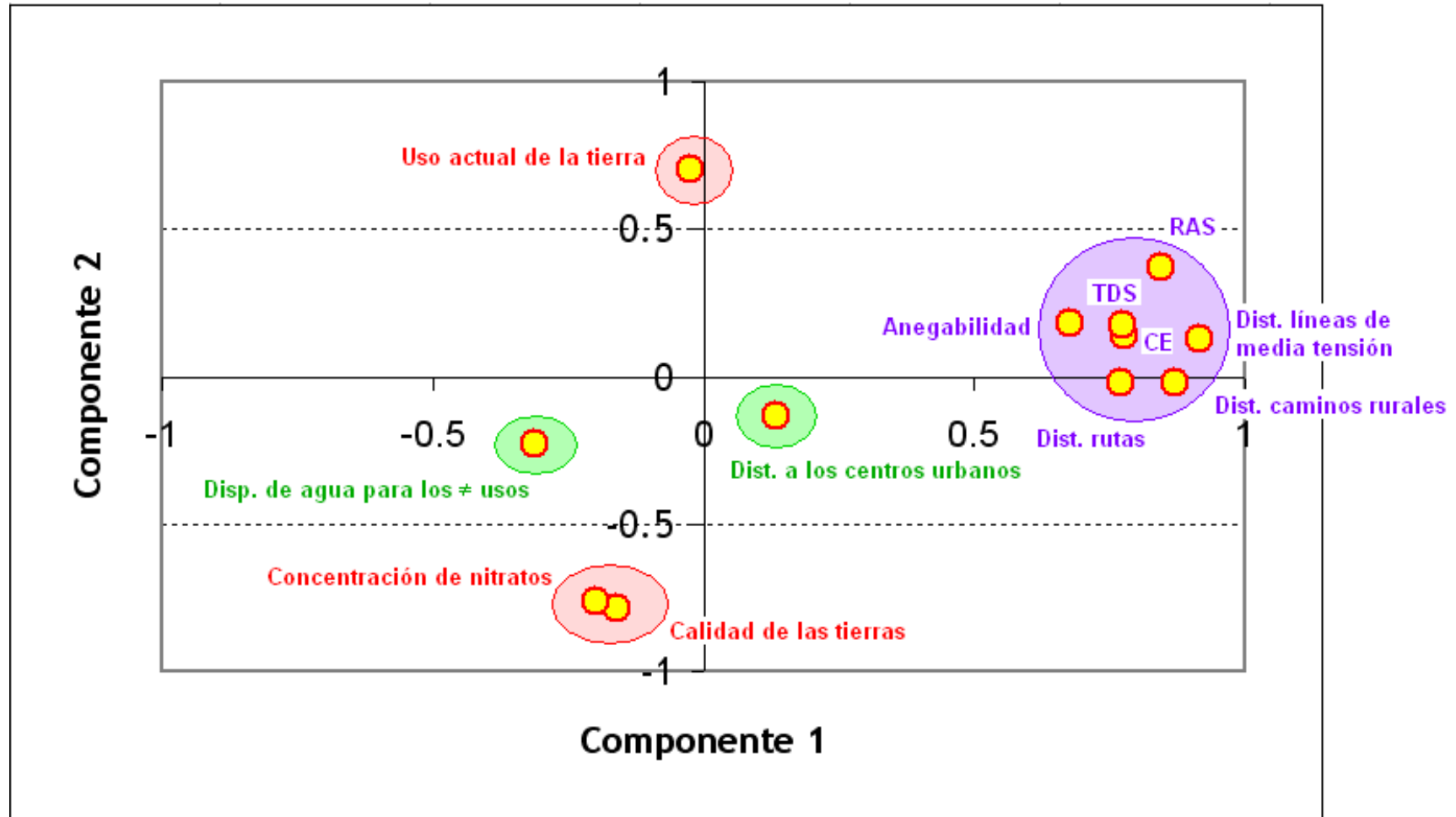


Figura V.15. Distribución de las cargas en los componentes 1 y 2

(circunscriptos en color lila las variables que aportan al componente 1, en rojo las del 2 y en verde la del 3).



Tabla V.3. Cargas de los componentes seleccionados.

Variable o criterio	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Distancia a las rutas	0.770078	-0.023592	-0.021130
Distancia a las líneas de media tensión	0.915065	0.128273	0.136354
Distancia a los centros urbanos	0.133421	-0.135780	0.907680
Distancia a caminos rurales y estado	0.870813	-0.20634	0.421907
Anegabilidad de las tierras	0.677362	0.182691	0.047316
Calidad de las tierras	-0.159938	-0.784961	-0.005190
Uso actual de las tierras	-0.024840	0.700414	0.134129
Disponibilidad de agua para los $\neq$ usos	-0.313245	-0.231337	-0.675416
Concentración de nitratos	-0.199748	-0.763420	0.073953
Relación de adsorción de sodio (RAS)	0.843587	0.368081	0.294074
Conductividad eléctrica	0.775506	0.141070	0.487536
Sólidos totales disueltos (TDS)	0.774605	0.175548	0.417741

Al analizar como una unidad a cada uno de los componentes extraídos con el fin de darles una “identidad”, parecería razonable describir al componente 1 como aquel que contempla por un lado la accesibilidad a los establecimientos agropecuarios, es decir la distancia a las rutas y los caminos rurales, el estado de los mismos, la anegabilidad, incluyendo la distancia a las líneas de media tensión; y por otro lado la calidad del agua para el riego y el uso del ganado (TDS, RAS, conductividad eléctrica). El segundo, por su parte, parecería resumir aquellos aspectos relacionados íntimamente con la actividad agrícola-ganadera de la zona, es decir, el uso y la calidad de la tierra, juntamente con la concentración de nitratos en el agua subterránea (se podría hipotetizar acerca de la influencia de la aplicación de los fertilizantes en este aspecto). Aquí cabe aclarar que el uso actual de la tierra fue codificado con valores crecientes desde los usos más productivos (cultivos de verano, cultivos de invierno), hasta los menos productivos (afloramientos rocosos, urbano), por lo que aparece participando en sentido contrario a la calidad de las tierras. En el tercer componente, por su parte,



aparecen la disponibilidad de agua para los distintos usos (inferida a través de los niveles freáticos) y la distancia a los centros urbanos, y esta aparición conjunta se debe a la coincidencia espacial de la ciudad de Azul y los valores más altos de profundidad del acuífero debido, en parte a un efecto de explotación de dicho recurso. De todas maneras, el mapa de niveles tiene su defecto por cuanto en la cuenca alta los pozos no están ubicados en los lugares de mayor cota, por lo que dichos niveles están subestimados.

Las comunalidades, que muestran el grado de información que se explica de cada variable al expresar la proporción de varianza de las variables originales que es explicada por los componentes, se detallan en la Tabla V.4.

Tabla V.4. Comunalidades de los componentes seleccionados.

<b>Variable o criterio</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>	<b>Componente 3</b>
Distancia a las rutas	0.593020	0.593576	0.605637
Distancia a las líneas de media tensión	0.837344	0.853798	0.872391
Distancia a los centros urbanos	0.017801	0.036237	0.860120
Distancia a caminos rurales y estado	0.758316	0.758741	0.936747
Anegabilidad de las tierras	0.458820	0.492196	0.494434
Calidad de las tierras	0.025580	0.641744	0.641771
Uso actual de las tierras	0.000617	0.491196	0.509187
Disponibilidad de agua para los $\neq$ usos	0.098123	0.151640	0.607827
Concentración de nitratos	0.039899	0.622710	0.628179
Relación de adsorción de sodio (RAS)	0.711639	0.847123	0.933602
Conductividad eléctrica	0.601409	0.621309	0.859001
Sólidos totales disueltos (TDS)	0.600013	0.630830	0.805337

Para el cálculo de los pesos de importancia, entonces, se estimó el producto de las comunalidades por el valor propio de cada componente (esto se divide por el acumulado de los valores propios para escalar en el intervalo de cero a uno). En la Tabla V.5 se detallan los pesos de importancia obtenidos. Al igual que en la escala urbana, la propuesta de esta metodología es una manera de reducir la subjetividad en la determinación de estos parámetros basándose, justamente, en el análisis de la estructura subyacente de la matriz de datos original que permite llevar adelante un análisis multivariado como el de componentes principales realizado.

En cuanto a los pesos de orden definidos de acuerdo a los niveles de riesgo y compensación, los mismos se detallan en la Tabla V.6.

Tabla V.5. Pesos de importancia de cada criterio.

<b>Variable o criterio</b>	<b>Pesos de importancia</b>
Distancia a las rutas	0.104
Distancia a las líneas de media tensión	0.148
Distancia a los centros urbanos	0.033
Distancia a caminos rurales y estado	0.137
Anegabilidad de las tierras	0.082
Calidad de las tierras	0.039
Uso actual de las tierras	0.028
Disponibilidad de agua para los $\neq$ usos	0.030
Concentración de nitratos	0.040
Relación de adsorción de sodio (RAS)	0.134
Conductividad eléctrica	0.112
Sólidos totales disueltos (TDS)	0.111

Tabla V.6. Pesos de orden para la construcción de cada escenario.

Escenarios					
A	B	C	D	E	F
1	0.400	0.300	0.083	0.008	0
0	0.300	0.200	0.083	0.015	0.002
0	0.100	0.100	0.083	0.020	0.004
0	0.075	0.090	0.083	0.035	0.009
0	0.050	0.070	0.083	0.040	0.010
0	0.030	0.065	0.083	0.057	0.020
0	0.020	0.057	0.083	0.065	0.030
0	0.010	0.040	0.083	0.070	0.050
0	0.009	0.025	0.083	0.090	0.075
0	0.004	0.020	0.083	0.100	0.100
0	0.002	0.015	0.083	0.200	0.300
0	0	0.008	0.083	0.300	0.400

#### V.1.4. Aplicación de las herramientas de evaluación multicriterio y de la incertidumbre

Con los parámetros del modelo definidos, se llevó adelante la evaluación multicriterio, obteniéndose así los seis escenarios dentro del espacio de decisión en función del riesgo y la compensación. Las Figuras V.16 a V.21 expresan esos escenarios con los valores relativos de la tierra libre de mejoras y también se adjuntan los histogramas respectivos. Éstos últimos varían para cada escenario en cuanto a la amplitud y el sector del espectro total (255) que abarcan. A saber: el A varía entre 8 y 163, el B entre 82 y 210, el C entre 113 y 223, el D entre 171 y 244, el E entre 222 y 252, y el F entre 241 y 254, por lo que, por ejemplo, el A presenta variaciones en un gran sector del espectro (155), mientras que el F lo hace en un sector mucho más reducido (13).

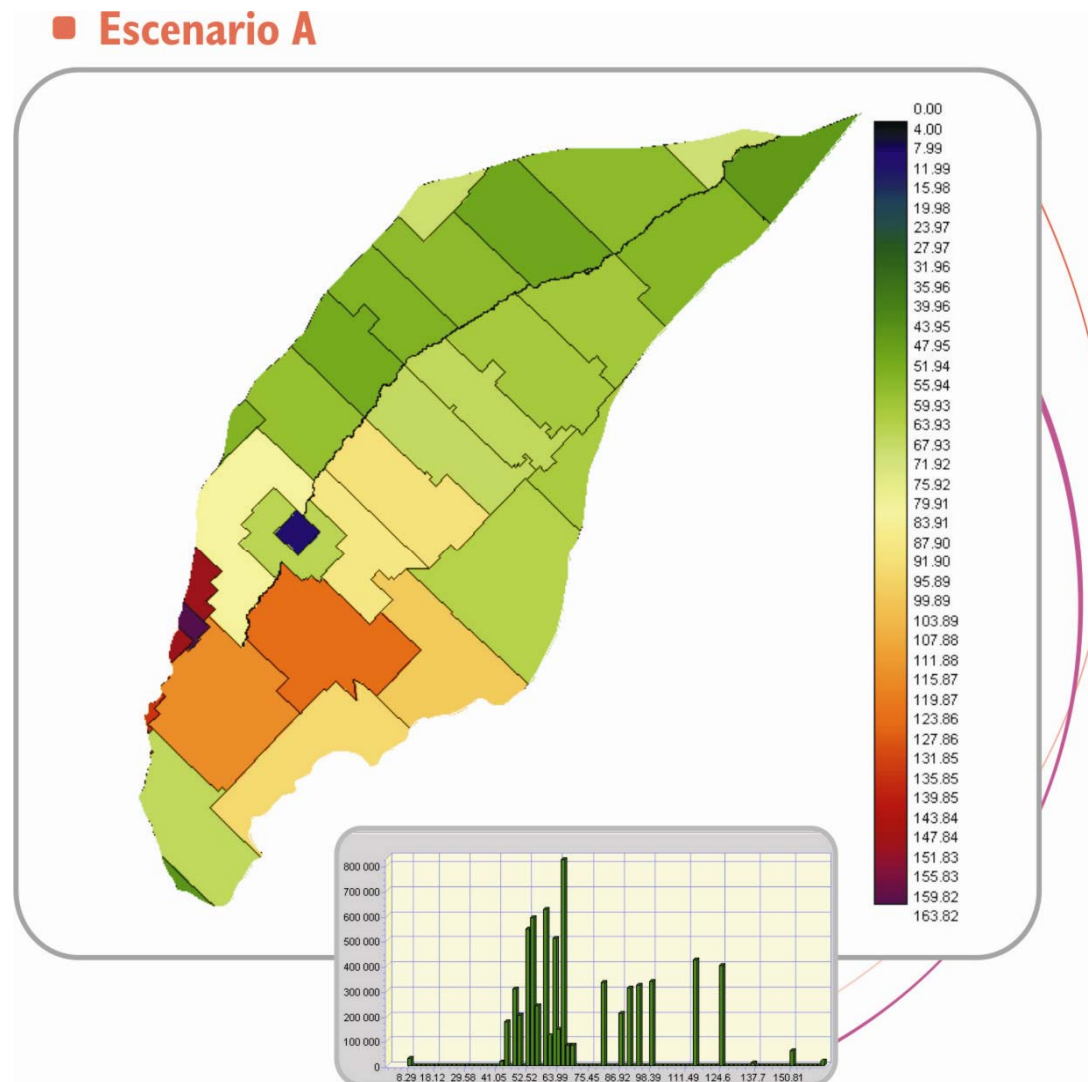


Figura V.16. Mapa e histograma del Escenario A de valores relativos de la tierra libre de mejoras.

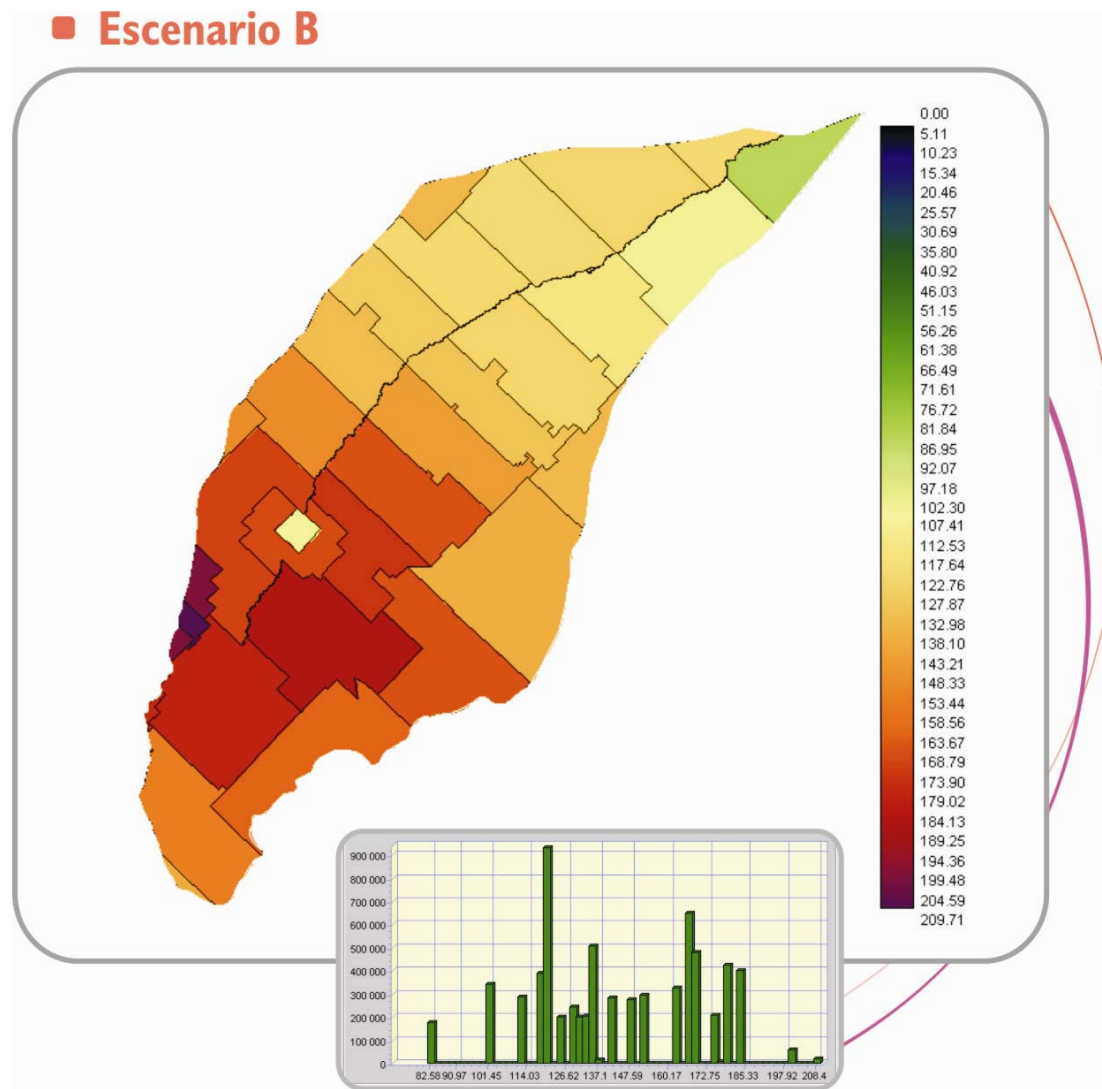


Figura V.17. Mapa e histograma del Escenario B de valores relativos de la tierra libre de mejoras.

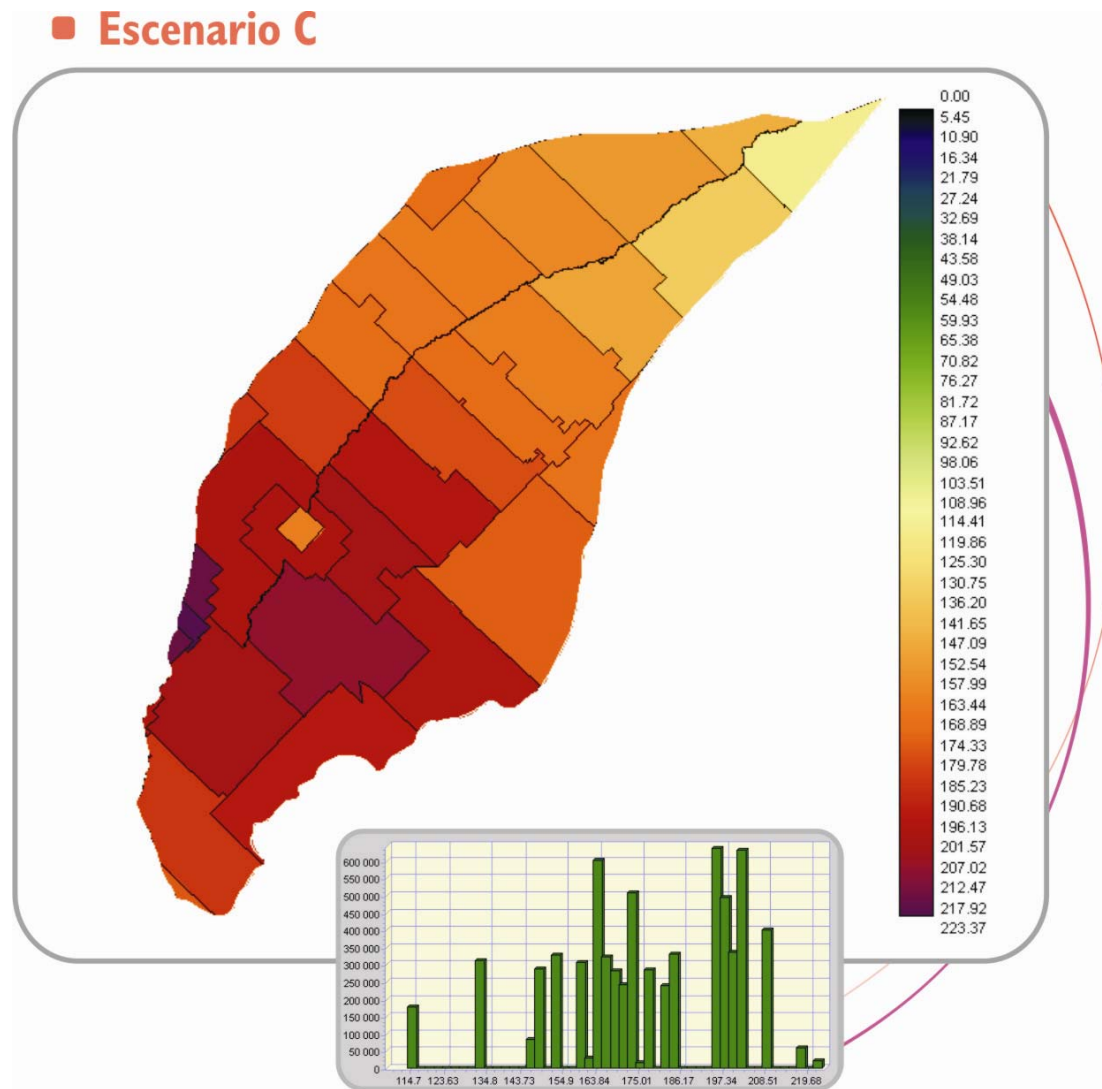


Figura V.18. Mapa e histograma del Escenario C de valores relativos de la tierra libre de mejoras.

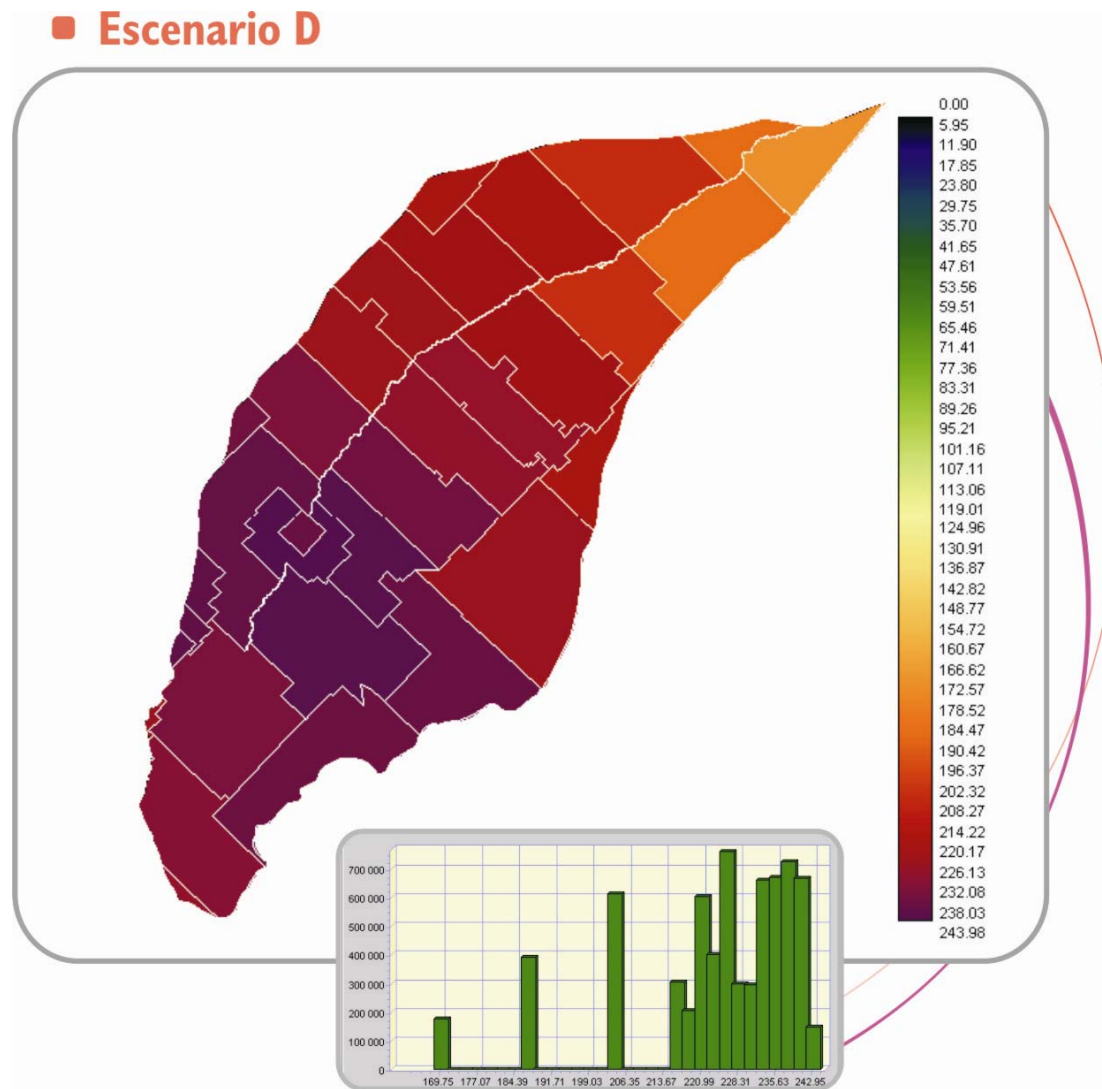


Figura V.19. Mapa e histograma del Escenario D de valores relativos de la tierra libre de mejoras.



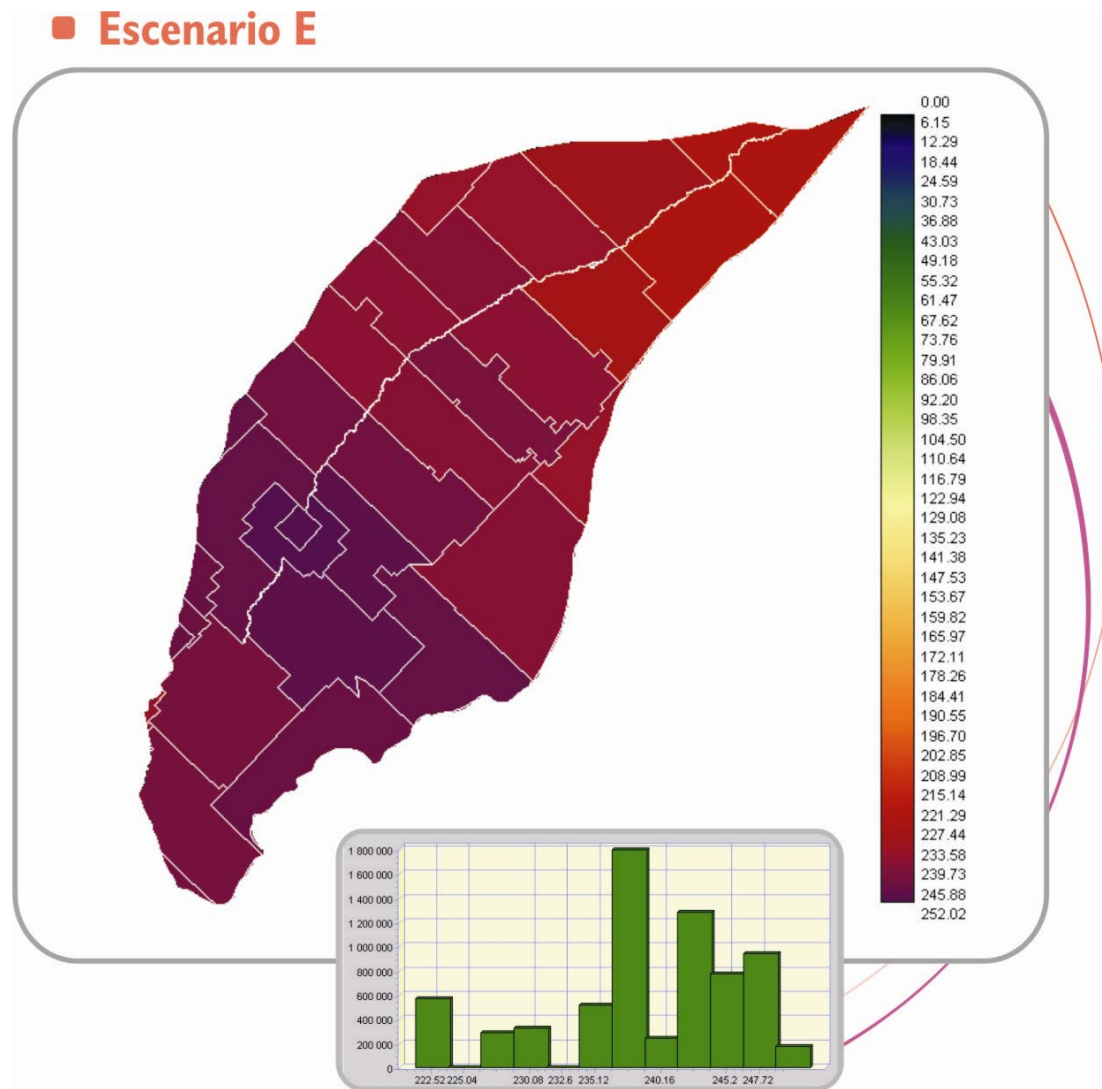


Figura V.20. Mapa e histograma del Escenario E de valores relativos de la tierra libre de mejoras.



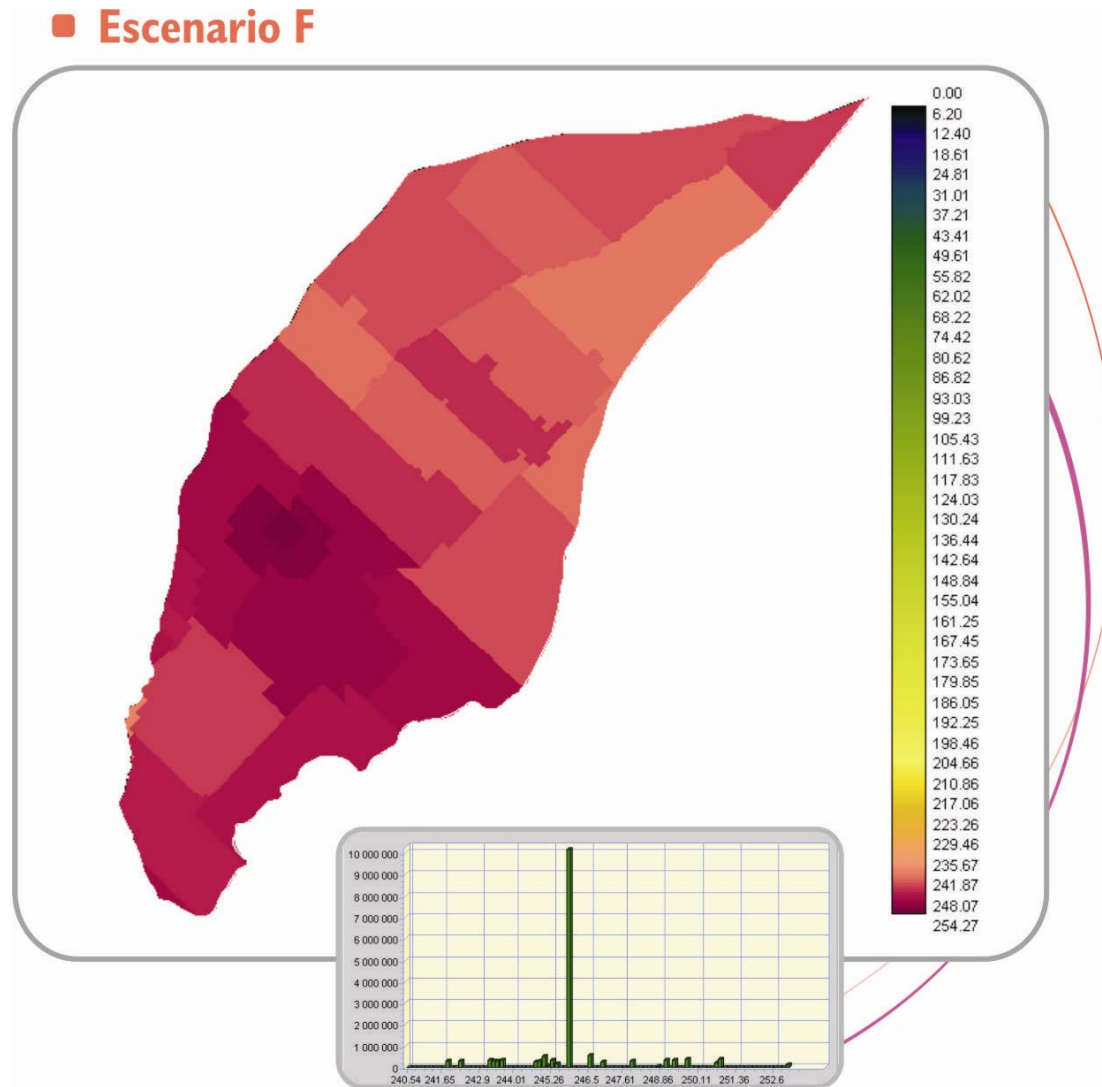


Figura V.21. Mapa e histograma del Escenario F de valores relativos de la tierra libre de mejoras.

La Figura V.22 muestra en detalle una zona central del área de estudio en el que se observa claramente cómo desde el primer al último escenario propuesto, los valores se van haciendo más homogéneos y más altos (en total correspondencia con los histogramas descritos anteriormente). Cabe señalar aquí que en esta figura se utiliza la misma paleta de colores que en los escenarios completos individuales, es decir, tonos fríos para los valores más bajos y cálidos para los más altos (negro - azules - verdes - amarillos - anaranjados - rojos).

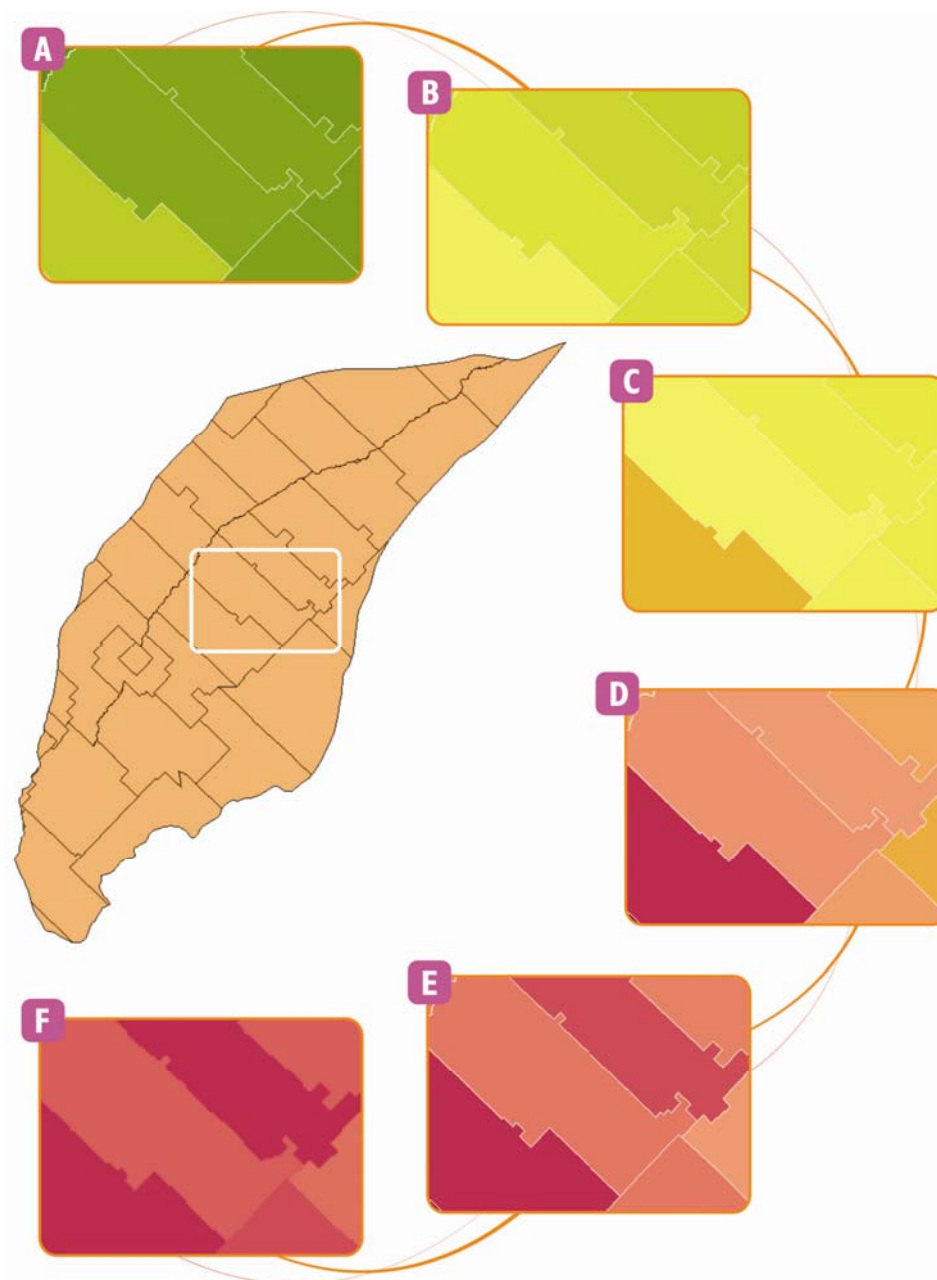


Figura V.22. Detalle de la zona central del área de estudio, según los distintos escenarios propuestos.

## V.2. Análisis de los resultados

Para proceder al análisis de los resultados, en primer lugar resulta conveniente presentar el mapa conteniendo los valores de la tierra libre de mejoras obtenidos por la Comisión Asesora Local (Figura V.23). Dicho mapa contiene valores que varían entre 1.227 y 2.354 (expresados en pesos/ha, son valores absolutos, no relativos como los que contienen los escenarios propuestos).

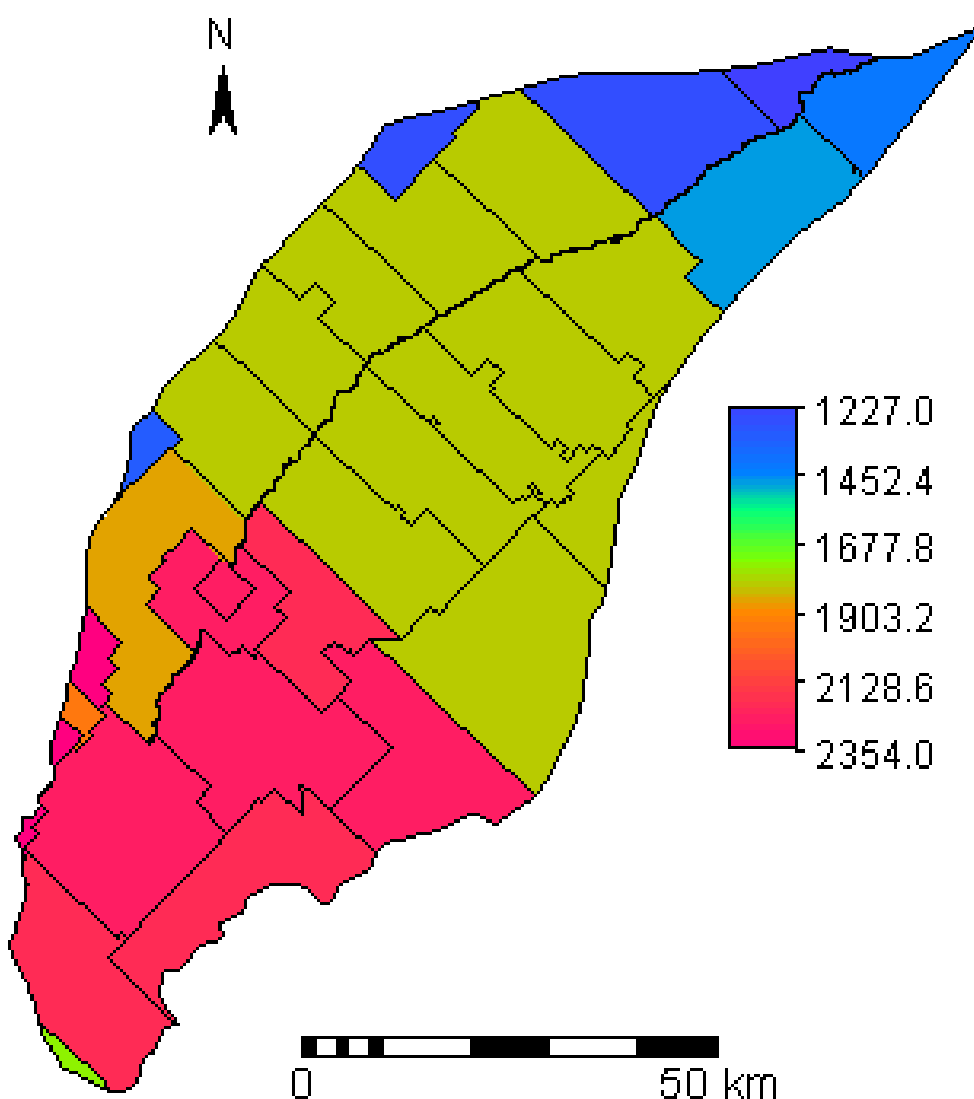


Figura V.23. Mapa de valores de la tierra libre de mejoras propuesto por la Comisión Asesora Local.

A continuación, al igual que en el área urbana, se procedió a calcular la diferencia porcentual entre cada escenario construido y la propuesta de la C.A., previa estandarización de este último mapa según el mínimo y el máximo de cada escenario, resultando en mapas con valores entre -100 y 100, en los que los valores negativos corresponden a aquellos píxeles en los que el mapa de la C.A. presenta valores más bajos que el escenario propuesto y los valores positivos la situación inversa (Figura V.24). Para una mejor interpretación, se procedió también a la reclasificación de dichos valores en 9 intervalos (Figura V.25), utilizando la misma escala de valores que en el análisis urbano. En la Tabla V.7 se detallan las hectáreas afectadas en cada intervalo.

Tabla V.7. Área (ha) afectada por cada intervalo de reclasificación de la diferencias porcentuales entre los valores de la C.A. y cada escenario propuesto.

	A	B	C	D	E	F
-100 / -76	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-75 / -51	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-50 / -26	46350.09	-----	-----	-----	-----	-----
-25 / -1	47123.55	47586.51	47586.51	47616.75	-----	7554.60
0	28029.15	1921.68	1920.24	68035.86	118209.96	15898.95
0 / 24	297367.02	322401.87	445794.66	507796.83	505239.48	599995.89
25 / 49	161997.21	248852.52	128148.03	-----	-----	-----
50 / 74	39895.56	2686.86	-----	-----	-----	-----
75 / 100	2686.86	-----	-----	-----	-----	-----

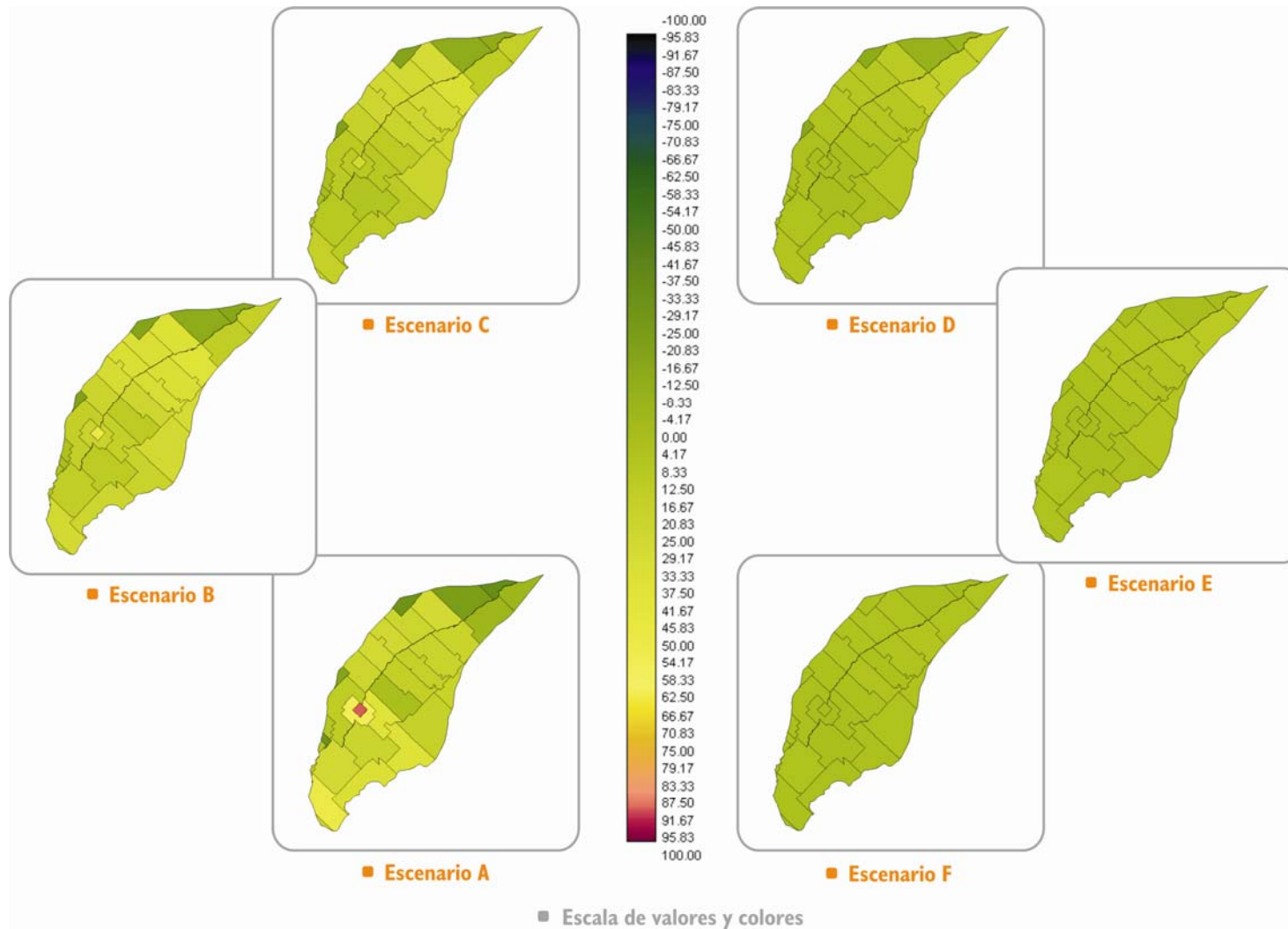
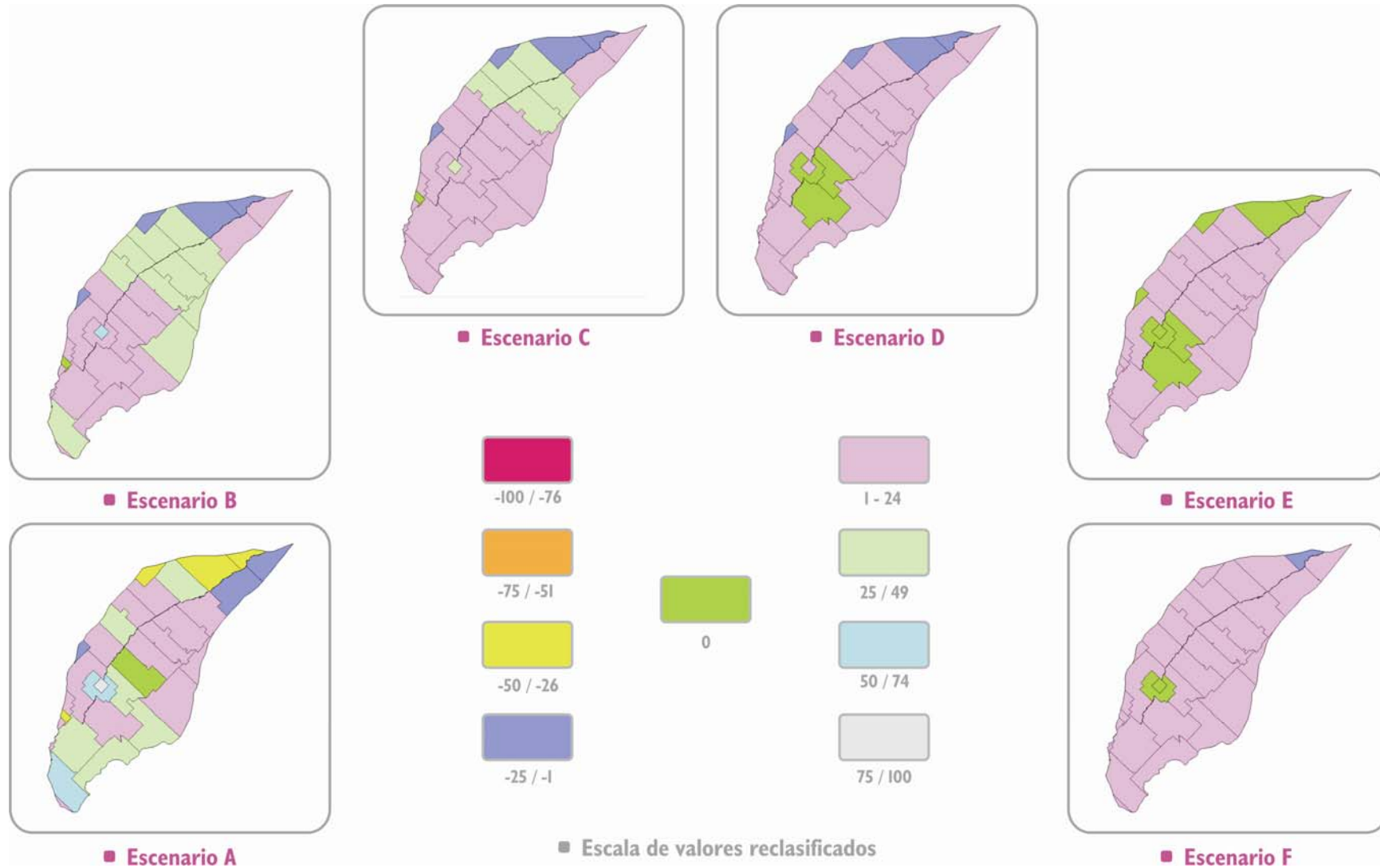


Figura V.24. Diferencia porcentual entre los valores de la C.A. y cada uno de los escenarios propuestos.



V.25. Reclasificación de las diferencias porcentuales entre los valores de la C.A. y los escenarios propuestos en 9 intervalos.

En términos generales, el escenario E es el que posee más píxeles con valores coincidentes con la propuesta de la C.A. (18,96 % de la superficie total), y si además le sumamos los píxeles que se alejan en un  $\pm 25$  % a fin de no ser tan estrictos, se llega a involucrar al 100 % del área de la cuenca. El escenario D muestra bastante menos píxeles coincidentes con la C.A. (10.91 % de la superficie), pero sumados aquellos con  $\pm 25$  % se llega a incluir también el 100 % del área en consideración (con el 81,45 % de píxeles en el +25 %). En tercer lugar se ubica el escenario F que también llega a involucrar al 100 % de los píxeles si consideramos los coincidentes (2,55 %) y los  $\pm 25$  %, pero igual que en el caso anterior, un gran porcentaje (el 96,24 %) están dentro del intervalo del +25 %. Los escenarios A, B y C no llegan a tener siquiera el 5 % de los píxeles con valores coincidentes y otro dato interesante es que en todos los escenarios existe una inmensa cantidad de píxeles (en el A 80,51 %, en el B 92,06 %, en el C 92,06 %, en el D 81,45 %, en el E 81,04 % y en el F 96,24 %) que pertenecen a los intervalos en que los valores de la C.A. son más altos que los propuestos.

Al igual que en el caso del área urbana, la propuesta de la C.A. intenta reflejar lo más fielmente posible la realidad regional, en este caso considerando que los valores función de la distancia a las rutas, las líneas de media tensión y los centros urbanos, del estado de los caminos rurales, de la anegabilidad de las tierras, de la calidad de las mismas, del uso al que se las destine, y de la disponibilidad y calidad de las aguas. Aquí también la realidad indica que, obviamente, tener en mente simultáneamente tantas variables es imposible, pero a nivel rural es un tanto diferente la situación porque las unidades de análisis son muchas menos y no hay tantas particularidades dentro de cada una de ellas (a lo sumo un cordón de serranías, o algún cañadón), pero como luego se extrapola el valor de ese potrero tipo a todo el cuartel, esas peculiaridades quedan un tanto absorbidas en la generalidad. Así, en todos los escenarios propuestos se logra cubrir desde el 60 hasta el 100% de los píxeles si se consideran los intervalos de total coincidencia y de  $\pm 25$ %, y de los 3 en que se logra involucrar la totalidad de los píxeles del área (D, E y F), el E es que más píxeles posee en total coincidencia con la C.A., pero el D es un escenario que posee también un cierto porcentaje con tal condición (10.91 %) pero además con un riesgo menor al anterior, por lo que resulta un buen supuesto de la distribución de los valores de la tierra.

En la Figura V.26 se presenta a modo de cuadro las líneas de acción llevadas adelante para la resolución del problema, tal cual lo planteado para la escala urbana. Cabe aclarar que aquí también, para el análisis de los mapas finales, se utilizaron rutinas del IDRISI tales como: HISTO, EXTRACT, AREA, OVERLAY, STRETCH y ERRMAT, entre otras.



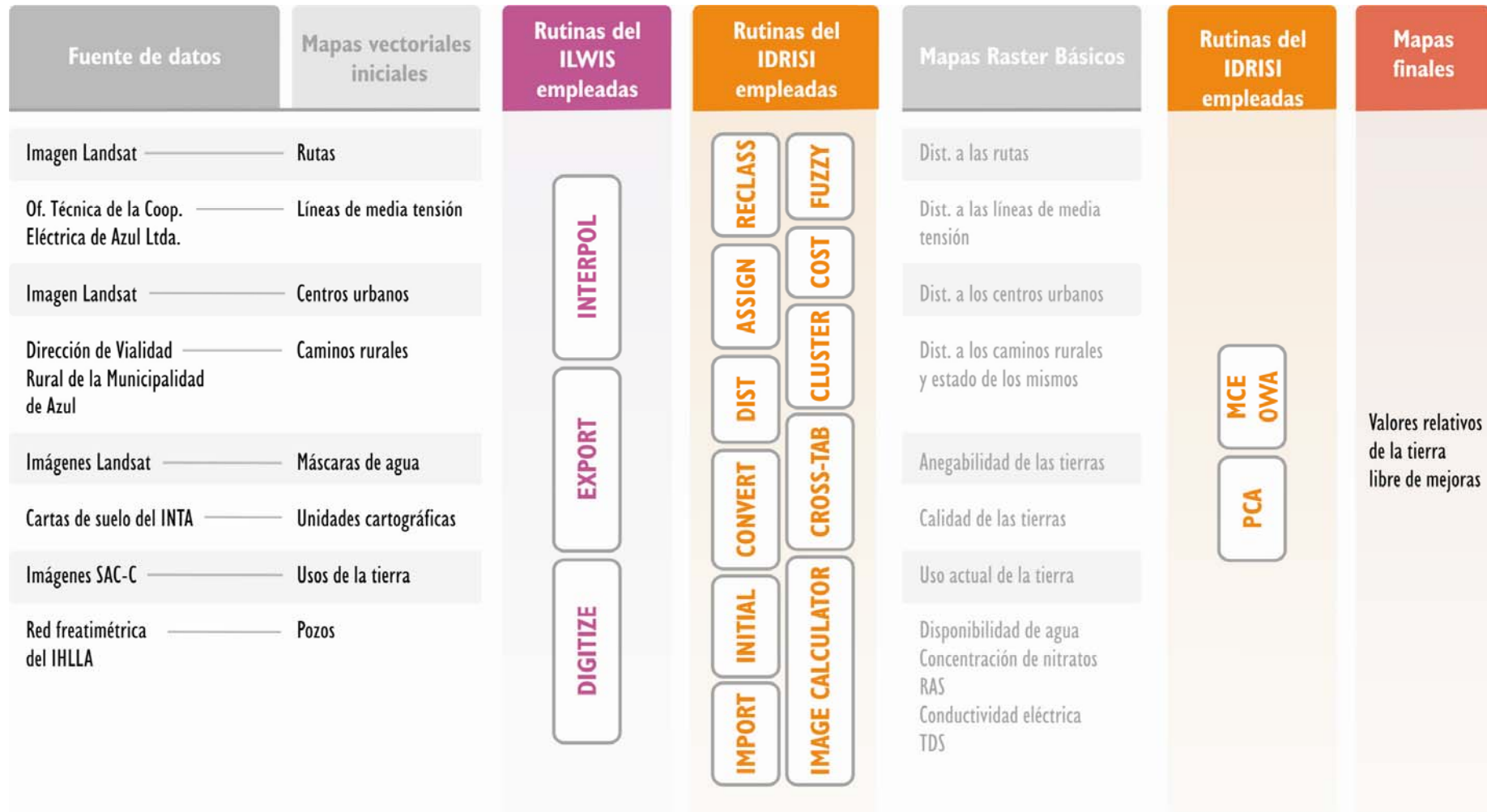


Figura V.26. Líneas de acción llevadas adelante para la resolución del problema a escala rural.

## **CONCLUSIONES Y PROYECCIONES**



### **VI.1. Conclusiones**

Los SSD, definidos como “un conjunto de elementos, incorporando componentes físicos (computadoras y periféricos) y lógicos (programas, datos, procedimientos) conforman un entorno apropiado para el análisis y formulación de decisiones sobre problemas espaciales complejos” (Bosque Sendra *et al.*, 2000) y el proceso de determinar el valor de la tierra libre de mejoras tanto a nivel urbano como rural, realmente lo es. La tarea de “traducir” el modelo conceptual al modelo digital, ya implica manejar variables que en muchos casos poseen diversas dimensiones por lo que el rol del investigador se torna decisivo y fundamental, aún con toda la carga de subjetividad intrínseca. Lo mismo sucede al enfrentar la función con la cual estandarizar cada uno de los criterios y, obviamente, al definir los distintos pesos involucrados en el modelo, por lo que se destaca la propuesta aquí presentada de la mediación del análisis de componentes principales como herramienta novedosa en la reducción de la subjetividad en lo que a los pesos de “importancia” se refiere.

Al momento de tener las bases datos conformadas y transformadas en información para afrontar el desafío de determinar los valores -relativos- de la tierra libre de mejoras, se recurre a uno de los métodos de evaluación multicriterio (el del Promedio Ponderado Ordenado) ya que a partir de su aplicación es posible evaluar la incertidumbre inherente al modelo mediante la construcción de escenarios que difieren en cuanto al peso de orden que se le asigna a los factores, lo cual permite controlar el grado de compensación entre los factores y, por lo tanto, el nivel de riesgo. Así, se plantearon seis escenarios según las distintas combinaciones, desde el planteo más conservador, asumiendo un riesgo muy bajo y sin ninguna compensación (A), es decir utilizando un operador de

mínimos, hasta un escenario de mayor predisposición al riesgo (F), pasando por una combinación lineal ponderada (D), donde todas las posiciones evaluadas tienen igual peso, y escenarios intermedios (B, C, E).

Una vez obtenidos los mapas resultantes producto de evaluación multicriterio, se analizan los resultados comparando cada uno de los escenarios con la propuesta de la C.A. mediante el cálculo de la diferencia porcentual entre cada par de mapas. A *escala urbana*, el escenario A es el que posee significativamente más píxeles con valores coincidentes con la propuesta de la C.A. (44.96 % de la superficie total), y si además le sumamos los píxeles que se alejan en un  $\pm 25\%$  a fin de no ser tan estrictos, se llega a involucrar al 91.85 % del área urbana. Además, recordando que este escenario es el más exigente en sus condiciones, ya que un valor alto para el valor de tierra sólo es posible si todos los factores tienen valores altos (riesgo mínimo), por lo que resulta un buen supuesto de lo que debiera ser la distribución espacial de dichos valores. A *escala rural*, se obtienen 3 escenarios en los que se logra involucrar la totalidad de los píxeles del área considerando coincidencia total con la C.A. y el  $\pm 25\%$  (D, E y F), y entre ellos se destaca el E por tener mayor superficie del área con coincidencia con la C.A., pero se rescata sobremanera el D por poseer también un buen porcentaje con tal condición (aunque menos que el escenario anterior) pero además con un riesgo aún menor, por lo que resulta un buen supuesto de la distribución de los valores de la tierra.

Esta metodología de trabajo propuesta, si bien es cierto que exige una importante búsqueda de datos, como así también un cierto conocimiento de la naturaleza de las variables involucradas, también lo es que el operador puede tener acceso a un mejor manejo de la información y, por lo tanto, controlar el sistema para arribar a un resultado un tanto más confiable. Por otro lado, al estar toda la base de datos en un entorno de SIG, es relativamente sencillo actualizar la información, agregar o quitar variables, cambiar los pesos o las funciones, lo que aporta a la tarea de un dinamismo invaluable. Esto último también posibilita que el sistema de soporte de decisiones sea multipropósito, ya que al cambiar el objetivo, se reacomoden las variables (se agregan, quitan o modifican) y los pesos, permitiendo una aplicación diferente a la propuesta originalmente.

## **VI.2. Líneas futuras de investigación**

Como ya fuera expresado en el Marco Teórico de la presente Tesis, sabido es que uno de los usos más habitual de los SIG se corresponde con la selección del lugar o lugares más adecuados para situar alguna de las actividades humanas y hay, justamente, ciertos principios utilizables para definir las mejores localizaciones tales como el de *eficiencia espacial* -se trata de buscar localizaciones que, dada una posición concreta de la demanda, determinen un coste mínimo en la construcción y el uso cotidiano de estas instalaciones-, el de *justicia o equidad espacial* -se trata de que las instalaciones no estén desigualmente repartidas sobre el espacio, de modo que no existan diferencias, o al menos éstas no sean excesivamente grandes, en el acceso de la población a estas instalaciones- y el de *justicia ambiental* -se trata de que las instalaciones que producen daños y peligros potenciales en su entorno no se encuentran situadas de manera concentrada en los lugares donde residen grupos étnicos y sociales empobrecidos y con menos posibilidades de presión social y económica- (Bosque Sendra y Moreno Jiménez, 2007).

Ahora bien, si se amplía un poco la visión en cuanto a la aplicación de los SIG y su participación en los SSD, considerando su aporte a la resolución de un problema complejo como el presentado aquí, sería importante desarrollar, en esta misma línea de investigación, el concepto de un principio que contemple también un cierto tipo de justicia relacionado con el espacio ya que, por un lado, el revalúo urbano determina la base imponible de cada parcela y este valor compuesto por Tierra Libre de Mejoras más Edificación sirve de base para el cálculo del Impuesto Inmobiliario, el Impuesto de Sellos en las Escrituras y, además, da origen a la base de imposición para el Impuesto Nacional que grava anualmente el patrimonio (Bienes Personales) y el Impuesto Nacional a la transmisión de Inmuebles; mientras que a nivel rural, el valor de la tierra libre de mejoras sirve de base imponible para el Impuesto Inmobiliario Rural, por lo que la responsabilidad al momento de su fijación es muy grande y se pueden cometer injusticias indeseadas.

Otra de las variables que sería interesante investigar, sería la relacionada con los delitos que ocurren tanto a nivel urbano como rural, ya que “inconcientemente” pesan a la hora de valorizar un determinado lote. Existe toda una clasificación de delitos que es utilizada en el área legal que habría que considerar, así como también la frecuencia y la localización (tanto del lugar en que ocurre el delito como del que provienen los responsables del hecho). Lograr un mapa delictual con el fin de hacerlo partícipe de la determinación del valor de la tierra, analizar la función de estandarización y su peso, sería un objetivo que quizás enriquecería esta línea de investigación.

También sería interesante que esta metodología propuesta sea considerada como otro de los eslabones de esa cadena que tiene que conducir hacia la implantación definitiva de procesos de toma de decisiones participativos. La población y los distintos agentes sociales y políticos, debieran conocer y participar en la creación de bases sólidas sobre las que se sustente el problema de la valuación, entonces será posible avanzar hacia situaciones de consenso y colaboración. Esto deja planteado el compromiso de enfrentar el desafío de la apertura comunitaria de esta línea de investigación para evaluar la posibilidad de ofrecer los servicios a fin de avanzar hacia una manera menos subjetiva, rápida y participativa de adjudicar un valor a la tierra.

Finalmente, mirando desde otra perspectiva el trabajo realizado, se observan tantos mapas temáticos (algunos sencillos y otros más elaborados y complejos) que quizás sería valioso aunarlos en un Atlas, tanto en formato papel como digital (interactivo) que permita al resto de los componentes de la comunidad, conocer otros aspectos de la ciudad y de la cuenca en la que habitan.

### **VI.3. Consideraciones finales**

La implementación presentada aquí de sistemas de soporte de decisiones tanto para escala urbana como rural, estuvo inspirada (tal cual lo plantea Moreno Jiménez, 2007) “a partir de la interpretación de la organización de la sociedad

humana sobre un territorio concreto como la transcripción espacial de metas y aspiraciones, expresando los intereses individuales y colectivos”. Claro está que dicha interpretación (a pesar de las consultas realizadas a especialistas en cuanto al comportamiento de determinadas variables) está prácticamente encuadrada en una visión muy personal de la realidad, pero tratando de ser lo más justo y equitativo posible en cada paso de la investigación. Pero... sabido es que “lo que se considera como justo está determinado por la historia y la cultura y no es algo inmutable ni absoluto” (Smith, 1980), por lo que el estudioso -y luego quienes tomen las decisiones- tendrán, por tanto, que contextualizarse convenientemente y develar qué diferencias significativas afloran dentro de un determinado marco de valores y normas y cómo pueden expresarse en términos de discriminación espacial.

Aquí se destaca claramente, cómo en los métodos multicriterio que participan en los sistemas de soporte de decisiones pesa fuertemente el paradigma constructivista, ya que el objetivo primordial es la generación de conocimiento, dándole importancia a la subjetividad del modelador (sus valores, objetivos, preconcepciones, cultura, intuición), dentro de su propio cuadro de referencia mental.

Por todo lo expuesto, se aconseja paciencia al momento de enfrentar las sucesivas iteraciones que surgen al momento de construir las mediaciones entre el mundo real, el modelo conceptual y el modelo digital; también prudencia a la hora de elegir, primero las variables relevantes, su interpretación y el método y técnicas más pertinentes a usar, de cara a obtener luego resultados y valoraciones sobre este tipo de procesos complejos, que generalmente quedan implicados (de forma patente o latente) en los diagnósticos territoriales. Parece justo, entonces, destacar el papel del experto, como proveedor de información elaborada rigurosamente y de propuestas sustentadas en datos y análisis contrastables y diáfanos (incluyendo en ello la justificación de sus decisiones metodológicas y técnicas, que como bien es sabido, condicionan a menudo los resultados), adquiriendo así un papel central como aval del decidor.

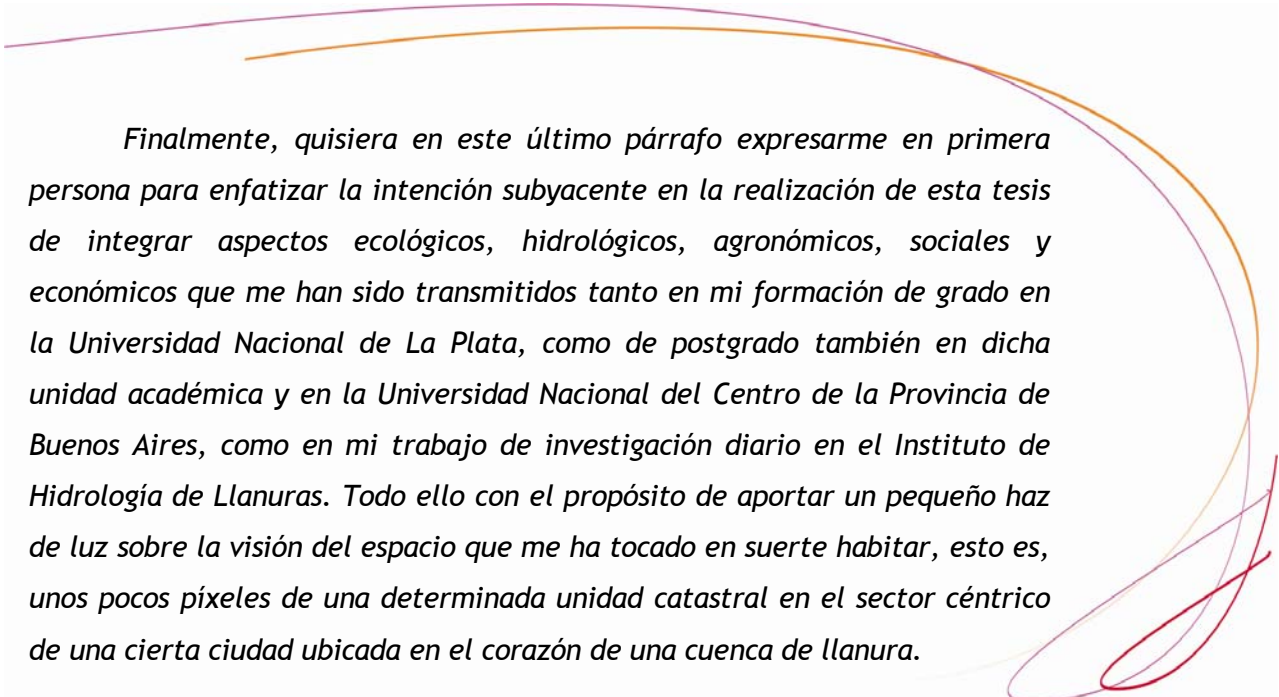
Los diagnósticos y propuestas basados en análisis geográficos que utilizan como herramienta a los sistemas de información geográfica, “suponen un aporte

clarificador y conllevan un valor añadido significativo y diferenciado para la formación de decisiones mejor fundamentadas” (Moreno Jiménez, 2007). Por lo que es responsabilidad de quienes asumen roles de investigadores, estudiosos o expertos poner de relieve dicha contribución ante los integrantes de la comunidad que tienen roles de toma de decisiones, para que estos conozcan su utilidades en procesos complejos que actualmente están siendo analizados muy “artesanalmente” y así sea aprovechado por la sociedad todo el conocimiento geográfico y de ecología regional que se genera constantemente en los ámbitos académicos. Entonces, quizás sea posible avanzar hacia configuraciones territoriales más equánimes, sustentables y justas para todos. En este mismo sentido, se destaca también el hecho de que en estudios como este, donde gracias a la aplicación de herramientas geotecnológicas es posible reconocer y ubicar más fácilmente aquellos sitios en los cuales se han realizado o realizan inversiones públicas que son intervenciones del Estado que generan un incremento del valor del suelo, es factible actualizar dinámicamente dichos aspectos y por lo tanto aportar en la generación de políticas de uso del suelo y tributación más equitativas.

Queda claro que, al igual que la inmensa mayoría de las cuestiones espaciales, la determinación del valor de la tierra es un problema complejo. Complejo no solamente porque es función de numerosos factores que deben ser tenidos en cuenta simultáneamente, sino porque, a su vez, dichos factores son de distinta naturaleza (los hay biológicos, estructurales, económicos, sociales, ambientales, etc.) A esto se suma el hecho de que hay ciertas variables que participan de manera “inconciente” en aquellos que deben ponerle precio a la tierra (como puede ser el caso de las “modas”) o que son variables de una definición casi imposible (criterios estéticos muy personales acerca de un determinado paisaje), o aquellos elementos de difícil mapeo (como pueden ser grandes paredones o lotes históricamente abandonados que hacen disminuir los valores de los elementos ubicados en sus adyacencias), por citar algunos ejemplos.

Esto no hace más que ampliar el desafío por seguir “ajustando” la metodología propuesta, pero este primer paso dado es valioso por la propuesta metodológica novedosa en lo que a la determinación del valor de la tierra se

refiere y porque, como en muchas otras cuestiones, sólo a partir de resultados concretos y factibles de ser mostrados a los tomadores de decisiones, es posible avanzar hacia una siguiente etapa en la que se encaminen políticas de justicia espacial a estas escalas en las que se involucran a toda una ciudad o un partido. Pero, además de ser una contribución original en un aspecto más que nada metodológico, también lo es por rescatar al menos la discusión sobre variables que ciertamente participan en el proceso estudiado aunque no de manera conciente en los actores involucrados directamente. Al mismo tiempo, se debe resaltar el hecho de que no hay píxel de la superficie que pueda quedar ajeno a este proceso de valuación, por lo que la presente es una contribución factible de ser puesta a prueba en cualquier otra condición.



*Finalmente, quisiera en este último párrafo expresarme en primera persona para enfatizar la intención subyacente en la realización de esta tesis de integrar aspectos ecológicos, hidrológicos, agronómicos, sociales y económicos que me han sido transmitidos tanto en mi formación de grado en la Universidad Nacional de La Plata, como de postgrado también en dicha unidad académica y en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, como en mi trabajo de investigación diario en el Instituto de Hidrología de Llanuras. Todo ello con el propósito de aportar un pequeño haz de luz sobre la visión del espacio que me ha tocado en suerte habitar, esto es, unos pocos píxeles de una determinada unidad catastral en el sector céntrico de una cierta ciudad ubicada en el corazón de una cuenca de llanura.*





## **BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- Alcázar Molina, M. G. 2003. *Valoración inmobiliaria*. Montecorvo. Madrid.
- Alexander, M. J. 1974. *Information systems analysis*. SRA. Chicago.
- Andreu, J. 1992. *Conceptos y métodos para la planificación hidrológica*. DIHMA-UPV. Valencia.
- Andreu, J., Capilla, J. y Cabezas, F. 1994. Los sistemas de soportes de decisión en la planificación y gestión racionales de los recursos hídricos. *Ingeniería del Agua*. 1(2):7-20.
- Ares, G., Varni, M. y Entraigas, I. 2006. Estimación del escurrimiento potencial con el uso de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. *XI Reunión Argentina de Agrometeorología*. La Plata. 213-214.
- Ares, G., Varni, M., Entraigas, I. y Marzoratti, M. 2007. Evaluación de la variación espacio temporal de la cobertura vegetal en una cuenca del centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *8ª Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos (CAIP)*. Asunción.
- Ares, G., Varni, M., Entraigas, I. y Marzoratti, M. 2007. Evaluación de la variación espacio temporal de la cobertura vegetal en una cuenca del centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. En: Valderrama, J. O. (ed.) *Computación aplicada a la industria de procesos*. La Serena. 463-466.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture. FAO, *Irrigation and drainage*. Paper N° 29, rev. 1. Roma.
- Batty, M. 1979. On planning processes. En: B Goodall y A. Kirby (eds.) *Resources and planning*. Pergamon Press. Oxford. 17-45.
- Batty, M. 1991. Geographic Information Systems: GIS in urban planning and policy analysis. *Study Group on Regional and Global Economic Integration*,

*Development Planning, and Information Technology, United Nations Centre for Regional Development. Nagoya.*

Bernaldez, F. 1982. Análisis ecosistémico de recursos naturales. Opiniones CIFCA. *Medio Ambiente y Recursos Naturales*. (2):5-33.

Bernhardsen, T. 1999. *Geographic information systems: An introduction*. Segunda edición. John Wiley & Sons. USA.

Bian, F., Sha, Z. y Hong, W. 2004. An integrated GIS and knowledge-based DSS in assisting farm-level agronomic decision-making. *XX ISPRS Congress*. Se consulta en: <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm6/papers/724.pdf>

Bojórquez Tapia, L.A.; Díaz Mondragón, S. y Gómez Priego, P. 1999. GIS-approach for land suitability assesment in developing countries: A case study of forest development project in México. En: Thill, J.C (ed.) *Spatial Multicriteria Decision Making. A geographic information sciencies approach*. Ashgate. 335-352.

Bosque Sendra, J. 2000. *Planificación y gestión del territorio. De los SIG a los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE)*. Mimeo. Universidad de Alcalá. Madrid.

Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. 2007. Localización-asignación y justicia/equidad espacial con sistemas de información geográfica. *Seminario Pre-XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires.

Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Moreno Jiménez, A. y Dal Pozzo, F. 2000. Hacia un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos. *Estudios Geográficos*. Tomo LXI (241):567-598.

Buzai, G.D. 1994. Publicidad ideal vs. Software real. Dualidad de los Sistemas de Información Geográfica. *Geographikós* 4(5):43-46.

Buzai, G.D. 1999. *Geografía glob@l. El paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

Buzai, G. D. 2000. *La exploración geodigital*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

- Buzai, G.D. 2003. *Mapas sociales urbanos*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. 2002. La construcción de regiones mediante técnicas geográficas cuantitativas. *Gerencia Ambiental*. 9(85):276-282.
- Camacho Olmedo, M.T., Mulero Pérez, A., Naveros Santos, D. y Salinas Sánchez, F. 2004. Ensayo de modelización retrospectiva del paisaje utilizando las técnicas de evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo. En: C. Conesa García y J.B. Martínez Guevara (eds.) *Territorio y medio ambiente: Métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica*. Universidad de Murcia. 303-316.
- Carrera, J., Mousavi, S., Usunoff, E., Sánchez-Villa, X. y Galarza, G. 1993. A discussion on validation of hydrogeological models. *Reliability Engineering and System Safety*. 42:201-216.
- Carrizosa, J. 1982. *La política ambiental en Colombia*. CEREC. Bogotá.
- Carver, S.J. 1991. Integrating multi-criteria evaluation with Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Systems*. 5(3):321-339.
- Chalmers, A.F. 1976. *What is this thing called science?* University of Queensland Press. Chicago.
- Chuvieco, E. 2002. *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel. Barcelona.
- Clarke, K. C. 1997. *Getting started with Geographic Information Systems*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- Covington, W.W., Wood, D.B., Young, D.L., Dykstra, D.P. y Garret, L.D. 1988. TEAMS: a decision support system for multiresource management. *Journal of Forestry*. 86(8):25-33.
- Crossland, M. D., Wynne, B. E. y Perkins, W. C. 1995. Spatial decision support systems: An overview of technology and a test of efficacy. *Decision Support Systems*. 14 (3):219-235.
- Custodio, E. y Llamas, M. R. 1983. *Hidrología subterránea*. Tomo I. Segunda Edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona.

- Dangermond, J. 1990. A classification of software components commonly used in geographical information systems. En: D. J. Peuquet y D. F. Marble (eds.) *Introductory Readings in Geographical Information Systems*. Taylor & Francis. Londres. 30-51.
- David, C.J. y Reisinger, T.W. 1985. A prototype decision support system for operational planning of timber harvesting activities. En: P. Dress y R. Field (eds.) *The 1985 SAF Symposium on Systems Analysis in Forest Resources*. Atenas, GA, USA. 363-376.
- Densham, P.J. 1991. Spatial decision support systems. En: D. Maguire, M. Goodchild y D. Rhind (eds.) *Geographical information systems: Principles and applications*. John Wiles & Sons. Nueva York. 1:403-412.
- Densham, P. y Rushton, G. 1988. Decision support systems for locational planning in behavioural modelling. En: R. Golledge y H. Timmermans (eds) *Geography in Planning*. 56-90.
- De Pablo, C.L., Nicolás, J.P. y Pineda, F. 1983. *Diseño de un Sistema de Información para la planificación ambiental*. Informe del Equipo Coordinador 1. Dirección General de Medio Ambiente, Ministerio De Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- Dupchak, K. 2004. Evaluando la calidad del agua para el ganado. Se consulta en: [http://www.engormix.com/evaluando\\_calidad\\_agua\\_ganado\\_5\\_articulos\\_287](http://www.engormix.com/evaluando_calidad_agua_ganado_5_articulos_287)
- Eastman, J.R. 1993. Decision theory and GIS. *Proceedings: Africa GIS '93*. UNITAR. Geneva. 20.
- Eastman, J.R. 1999. Idrisi32. *Guide to GIS and image processing*. Clark University. Worcester, MA. 2:1-49.
- Eastman, J.R. 2001. IDRISI32 Release 2. *Guide to GIS and Image Processing*. Clark University. Worcester, MA.
- Eastman, J.R. 2003. IDRISI Kilimanjaro. *Guide to GIS and Image Processing*. Clark University. Worcester, MA.
- Eastman, J.R., Kiem, P.A.K. y Toledano, J. 1993. A procedure for multi-objective decision making in GIS under conditions of competing objectives.

*Proceedings: EGIS '93.* 1:438-447.

Eastman, J.R., Jin, W., Kiem, P.A.K. y Toledano, J. 1995. Raster procedures for multi-criteria/multi objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 61(5):539-547.

Eastman, J.R. y Jiang, H. 1996. Fuzzy measures in multi-criteria evaluation. *Second International. Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies.* Fort Collins, Colorado. 527-534.

Entraigas, I., Varni, M., Ares, G. y Marzoratti, M. 2007. Determinación del número de curva mediante teledetección y sistemas de información geográfica. *XXI Congreso Nacional del Agua.* Tucumán.

Fedra, K. y Reitsma, R.F. 1990. Decision support and geographical information systems, spatial data analysis and spatial modelling. En: M. M. Fisher, H. J. Scholten y D. Unwin (eds.) *Spatial analytical perspectives on GIS*, GISDATA Series. Taylor & Francis. Londres. 4:3-19.

Ferreira, V. A., De Coursey, D. G., Faber, B., Knapp, L. y Woodmansee, R. 1995. Terra tools and techniques for ecosystem management. *Proceedings Congressional Research Service.* Washington. 47-59.

Fitz, P. R. y Hasenack, H. 2007. O processo de tomada de decisão e os sistemas de informação geográfica. *Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica.* Buenos Aires.

Freeze, R.A. y Cherry, J.A. 1979. *Groundwater.* Prentice-Hall. New Jersey.

Galacho Jiménez, F. B., Ocaña Ocaña, C. y Manceras, J. A. 2004. Diseño de un sistema de apoyo a la decisión espacial (SADE/SDSS) para la planificación y gestión territorial a escala local. En: C. Conesa García, Y. Álvarez Rogel y C. Granell Pérez (eds.) *El empleo de los SIG y la teledetección en planificación territorial.* 13-26.

Gallopin, G. C. 1981. *El ambiente humano y la planificación ambiental.* CIFCA. Madrid.

Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. 2004. Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de

- decisiones. *Geofocus*. 4:179-208.
- Goodchild, M. y Densham, P. 1993. *Spatial decision support systems (1990-1992)*. National Center for Geographic Information and Analysis. Santa Barbara.
- Gorry, G. A. y Scott Morton, M. S. 1971. A framework for management information systems. *Sloan Management Review*. Fall.
- Gray, N. y Gudiño, M. E. 1993. Metodología para organizar un Sistema de Información Ambiental. *Revista Interamericana de Planificación*. XXVI(103):100-124.
- Grunfeldt, B y Lindbom, B. 1990. *HYDROCOIN. Findings from Level 2: Model validation. Safety assessment of radioactive waste repositories*. OCDE. Paris.
- Guariso, G. y Werthner, H. 1989. *Environmental Decision Support Systems*. Ellis Horwood Limited Publishers. Chichester.
- Haralick, R.M. y Fu, K. 1983. Pattern recognition and classification. En: R. Colwell (ed.) *Manual of Remote Sensing*. American Society of Photogrammetry. Falls Church, VA. 1:793-805.
- Harris, B. 1959. Plan or Projection: An examination of the use of models in planning. *Journal of the American Institute of Planners*. 25:265-272.
- Harris, B. y Batty, M. 1993. Locational Models, Geographic Information, and Planning Support Systems. *Journal of Planning Education and Research*. 12:184-198.
- Holling, C.S. 1978. *Adaptative Environmental Assessment and Management*. John Wiley & Sons. Londres.
- IHLLA. 1995. *Hidrología de los sectores alto y medio de la cuenca del arroyo del Azul*. Informe Final. 306 págs.
- IHLLA. 1996. *Red de monitoreo de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo del Azul*. Informe Final. 76 págs.
- IHLLA. 2003. *Sistema de soporte para la gestión eficiente de los recursos hídricos en la llanura bonaerense*. Informe Final. 267 págs.

- INDEC. 2001. *Censo de Población, Viviendas y Hogares por Radios Censales para la Ciudad de Azul, Buenos Aires*. Información en soporte digital. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina.
- INDEC. 2005. *Censo de Población, Viviendas y Hogares por Radios Censales para la Ciudad de Azul, Buenos Aires*. Información en soporte digital. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina.
- Jarsún, B. 1996. Aplicaciones de las cartas de suelos para el manejo del agua superficial. En: G. Moscatelli, J. Panigatti y R. Di Giácomo (eds.) *Utilización de la información cartográfica para el uso sustentable de las tierras*. INTA. Buenos Aires.
- Jensen, J. R. 1996. *Introductory digital image processing. A remote sensing perspective*. Segunda edición. Prentice Hall Series in Geographic Information Science. New Jersey.
- Kovacs, G. 1983. General principles of flat-land hydrology. En: M. C. Fuschini Mejia (ed.) *Proceedings Symposium of Hydrology on Large Flatlands*. 1:299-350. UNESCO. Argentina.
- Little, J. D. C. 1971. Models and managers: The concept of a decision calculus. *Management Science*. 16(8):466-485.
- Lucas, H. D. 1983. *Conceptos de los Sistemas de Información para la administración*. McGraw Hill. Madrid.
- Malczewski, J. 1999. Spatial multicriteria decision analysis. En: J. C. Thill (ed.) *Spatial Multicriteria Decision Making. A geographic information sciences approach*. Ashgate. 11-48.
- Marzoratti, M., Ares, G., Varni, M. y Entraigas, I. 2006. Caracterización espacio temporal de suelos, usos y precipitación para la realización de un balance hídrico diario de la cuenca del arroyo del Azul, Argentina. *VIII Congreso Latinoamericano de Hidrogeología*. ALHSUD. Asunción.
- Marzoratti, M., Ares, G., Varni, M. y Entraigas, I. 2006. Planteo metodológico de obtención de áreas homogéneas para el cálculo de un balance hídrico diario

en la cuenca del arroyo del Azul (Buenos Aires, Argentina). *XI Reunión Argentina de Agrometeorología*. La Plata. 36-37.

Matteucci, S. D. 1979. *Análisis regional de la vegetación y el ambiente del Estado Falcón: I. Metodología*. Publicaciones del Departamento de Investigación, Instituto Universitario de Tecnología de Coro. Venezuela.

Matteucci, S. D. 1998. El análisis regional desde la ecología. En: S. D. Matteucci y G. D. Buzai (eds.) *Sistemas ambientales complejos: Herramientas de análisis espacial*. Eudeba. Buenos Aires.

Matteucci, S. D. 2002. *La importancia de los atlas digitales en la divulgación y transferencia del conocimiento científico*. 30° Jornadas de la Universidad Nacional de Luján.

Matteucci, S. D. 2006. Ecología de paisajes: ¿Qué es hoy en día? *Fronteras*. Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (UBA). Año 5, 5:1-7.

McLaughlin, B. 2000. Beyond CAD GIS - The tool for cadastral mapping. Se consulta en: <http://www.gis.esri.com/library/userconf/proc00/proceed>

Milne, J. y Sibbald, A. 1998. Modeling of grazing systems at the farm level. *Annales de Zootechnie*. 47:407-417.

Moreno Jiménez, A. 2007. Justicia y eficiencia espacial como principios para la planificación: Aplicación en la provisión de servicios colectivos con SIG. *XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires.

Muñoz Robles, C. A.; Treviño Garza, E.J. ; Verástegui Chávez, J.; Jiménez Pérez, J. y Aguirre Calderón, O. A. 2005. Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. *Investigaciones Geográficas*. UNAM. 056:101-107.

Muller, J. C. 1993. Latest developments in GIS/LIS. *International Journal of Geographical Information Systems*. 7(4):293-303.

Navone, S. M. y Gargantini, C. 2003. Agricultura. En: S. M. Navone (ed.) *Sensores Remotos Aplicados al Estudio de los Recursos Naturales*. Editorial Facultad



de Agronomía, UBA. Buenos Aires.

Naesset, E. 1997. A spatial decision support system for long-term forest management plan by means of linear programming and a geographical information system. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 12:77-88.

Olmos, F., Mario, S. y Gómez, A. 2003. *Hábitat y vivienda por medio de datos censales. Calidad de los materiales de la vivienda*. Informe de la Dirección Nacional de Estadísticas Sociales y de Población. Dirección de Estadísticas Poblacionales. Buenos Aires. 29 págs.

Pereira, J. M. C. y Duckstein, L. 1993. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. *International Journal of Geographical Information Systems*. 7(5):407-424.

Peribán Villa, G. 2001. Sistemas de Soporte a las Decisiones. Se consulta en: <http://www.claveempresarial.com/soluciones/notas/nota010326c.shtml>

Phansalkar, M. 2002. District Information and Planning System (DIPS). Se consulta en: <http://www.gisdevelopment.net/application/urban/overview/urbano0030.htm>

Pineda, F.D. 1992. Biodiversity, quality of human life and environmental costs of development. *Development*. 4:75-78.

Rang, S., Cisneros, J., Milanesio, A., Gil, H. y Degioanni, A. 1999. Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área sur de Laboulaye-Rosales\_Leguizamón. Documento Técnico. CONICOR-ADESUR-UNRC. Rosario. 60 págs.

Rao, M., Sastry, S. V. C., Yadav, P. D., Kharod, K., Pathan, S. K., Dhinwa, P.S., Majumdar, K. L., Sampat Kumar, D., Patkar, V. N., Phatak, V. K. 1991. *A weighted index model for urban suitability assessment - A GIS approach. (Case study for Indian BMR)*. ARC News. Bombay. 14(1):28-29.

Reitsma, R. F., Zagana, E. A., Chapra, S. C. y Strzepek, K. M. 1996. Decision support systems (DSS) for water resources management. Cap. 33. En: Mays, L. W. (ed.) *Water Resources Handbook*. McGraw-Hill. Nueva York.

Richards, J. A. 1993. *Remote sensing digital image analysis: An introduction*. Segunda Edición. Springer-Verlag. Berlin.

- Rinner, C. y Malczewski, J. 2002. Web-enabled spatial decision analysis using Ordered Weighted Averaging (OWA). *Journal of Geographical Systems*. 4:385-403.
- Riquier, J., Bramao, D. y Cornet, J. 1970. *A new system of soil appraisal in terms of actual and potencial productivity* (First approximation). FAO, Mimeo AGL: TESR/70/6. Roma.
- Saaty, T. L. 1977. Scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematicx Psychology*. 15:234-281.
- Samaja, J. 1993. *Epistemología y Metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. EUDEBA. Buenos Aires.
- Sala, J. M., Kruse, E., y Aguglino, R. 1987. *Investigación hidrológica de la Cuenca del Arroyo del Azul, Provincia de Buenos Aires*. Informe 37. CIC. La Plata.
- Schmucker, K. J. 1982. *Fuzzy sets, natural language computations and risk analysis*. Computer Science Press. Maryland.
- Shaffer, M. J. y Brodahl, M. K. 1998. Rule-based management for simulation in agricultural decision support systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 21(2):135-152.
- Simon, H. A. 1969. *The sciences of the artificial*. The MIT Press. Cambridge, MA.
- Simonovic, S. P. 1996. Decision Support Systems for Sustainable Management of Water Resources: General Principles. *Water International*. 21:223-232.
- Smith, D. 1980. *Geografía humana*. Editorial Oikos tau. Barcelona.
- Torres, M. 2006. Revalúo inmobiliario en Provincia de Buenos Aires. Reporte Inmobiliario. Economía & Real Estate. Se consulta en: <http://www.reporteinmobiliario.com/nuke/modules.php?name=News&file=article&sid=525>.
- Tricart, J. L. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Base para los estudios edafológicos y agronómicos. Plan mapa de suelos de la Región Pampeana. *XII Colección Científica*. INTA. Buenos Aires.
- Tsang, C.T. 1990. A broad view of model validation. *Proceedings of the Symposium on Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories*. Paris.

707-716.

- Usunoff, E., Varni, M., Weinzettel, P. y Rivas, R. 1999. Hidrogeología de Grandes Llanuras: la Pampa Húmeda. *Boletín Geológico y Minero*. 110(4):47-62.
- Varma, V. K., Ferguson, I. y Wild, I. 2000. Decision support system for the sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*. 128:49-55.
- Varni, M., Usunoff, E., Weinzettel, P. y Rivas, R. 1998. The groundwater recharge in the Azul aquifer, central Buenos Aires Province, Argentina. *Physics and Chemistry of the Earth*. 24(4):349-352.
- Varni, M., Rivas, R. y Entraigas, I. 2003. Interacción de un cuerpo de agua superficial con el agua subterránea en la llanura pampeana, Argentina. *Información Tecnológica*. 14(6)97-104.
- Varni, M., Gandini, M., Entraigas, I. y Vázquez, P. 2005. Propuesta y comparación de metodologías para la determinación y mapeo de áreas anegadas mediante el uso de imágenes Landsat. *XX Congreso Nacional del Agua*. Mendoza.
- Varni, M., Entraigas, I. y Ares, G. 2008. Evolución espacio-temporal del uso de la tierra a partir del procesamiento de imágenes SAC-C en la cuenca del arroyo del Azul (Argentina). Inédito.
- Vázquez, P., Entraigas, I., Varni, M., Gandini, M. y Usunoff, E. 2004. Zonificación de inundaciones por medio de percepción remota a escala regional en áreas de llanura. En: M. A. González y N. J. Bejerman (eds.) *Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodologías de Análisis y mapeo. Estudio de casos*. Capítulo 3:233-241.
- Viglizzo, E. 1999. Sustentabilidad ecológica y económica de la ganadería. *Revista Argentina de Producción Animal*. 19(1):1-13.
- Voogd, H. 1983. *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Pion Ltd. Londres.
- Wilson, R. D. 1994. GIS and decision support systems. *Journal of Systems Management*. 45(11):36-40.

Yager, R.R. 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 18(1):183-190.

Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. *Information and control*. 8:338-353.

## **ANEXO A**

### **Calidad de las características constructivas de las viviendas (CALMAT)**

#### **Fuente de información:**

INDEC, 2001. Diseño de registro para archivos de la base de datos. Archivo digital de texto que acompaña a los archivos de formato Excel con los datos numéricos.

<b>Categoría</b>	<b>Características</b>
<b>CALMAT I</b>	La vivienda presenta materiales resistentes y sólidos en todos los paramentos (pisos, paredes o techos) e incorpora todos los elementos de aislamiento y terminación.
<b>CALMAT II</b>	La vivienda presenta materiales resistentes y sólidos en todos los paramentos pero le faltan elementos de aislamiento o terminación al menos en uno de sus componentes (pisos, paredes, techos).
<b>CALMAT III</b>	La vivienda presenta materiales resistentes y sólidos en todos los paramentos pero le faltan elementos de aislación o terminación en todos sus componentes, o bien presenta techos de chapa de metal o fibrocemento u otros sin cielorraso, o pared.
<b>CALMAT IV</b>	La vivienda presenta materiales no resistentes ni sólidos o de desecho al menos
<b>CALMAT V</b>	La vivienda presenta materiales no resistentes ni sólidos o de desecho en todos los componentes básicos constituyentes de la vivienda (piso, pared, techo).

## **ANEXO B**

### **Anegabilidad de las tierras**

#### **Fuente de datos:**

Imágenes LANDSAT 5 TM y 7 ETM+ (escenas 225-85 y 225-86)

#### **Fuente de información:**

Vázquez, P., Entraigas, I., Varni, M., Gandini, M. y Usunoff, E. 2004. Zonificación de inundaciones por medio de percepción remota a escala regional en áreas de llanura. En: *Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodologías de Análisis y mapeo. Estudio de casos*. Gonzáles, M. A. y Bejerman, N. J. (Eds.), ISBN 987-21766-0-4. Capítulo 3, 233-241.

Varni, M., Gandini, M., Entraigas, I. y Vázquez, P. 2005. Propuesta y comparación de metodologías para la determinación y mapeo de áreas anegadas mediante el uso de imágenes Landsat. *XX Congreso Nacional del Agua*, Mendoza, formato digital.

Los procesos hidrológicos en llanuras extensas difieren considerablemente de aquellos caracterizados por terrenos montañosos u ondulados. La estructura del ciclo hidrológico y las ecuaciones de balance de agua para un área dada no se modifican, pero el peso de los componentes del balance cambian: los flujos de agua verticales prevalecen por sobre los horizontales (Kovacs, 1983; Varni *et al.*, 1998). La característica más representativa de las llanuras es la ausencia de pendientes o las pendientes despreciables. Pequeñas depresiones cubren el terreno en lugar de un sistema natural de drenaje bien desarrollado (una red de cursos de agua integrada), porque la energía morfológica contenida en el sistema es extremadamente baja (Usunoff *et al.*, 1999).

En un ambiente caracterizado por pendientes superficiales del orden de 10-4, las geoformas suaves, depresiones y elevaciones, juegan un papel importante como elementos determinantes del destino de las aguas de lluvia. Además, la escasez de pendiente dificulta enormemente el flujo superficial hacia áreas

relativamente más bajas, y se produce una gran acumulación de agua en depresiones. El agua permanece largos períodos en superficie y, por lo tanto, sus chances de infiltrarse y evapotranspirarse son muy grandes. La elevada infiltración potencial hace que los niveles freáticos se encuentren muy cercanos a la superficie y la presencia de suelos constituidos por materiales de textura relativamente fina determina la existencia de una potente franja capilar. En ocasiones, la infiltración no puede concretarse debido a que los niveles están tan elevados que el medio subterráneo está saturado y no puede captar más agua. La llanura pampeana es, desde el punto de vista hídrico, un sistema frágil con un delicado equilibrio que se rompe frecuentemente.

La ausencia de energía potencial para el escurrimiento superficial de las aguas hace que las llanuras no posean una red de drenaje desarrollada e integrada. Los cursos sólo drenan sus cercanías dejando extensos interfluvios que, a los fines prácticos, pueden considerarse arreicos (Sala *et al.*, 1987). En el caso de la llanura pampeana estas regiones están cubiertas por una gran cantidad de depresiones cuasicirculares de origen eólico. Estas depresiones suelen almacenar agua gran parte del año y como consecuencia de precipitaciones importantes pueden interconectarse entre sí generando vías de escurrimiento superficial adicionales a los ríos y arroyos (Varni *et al.*, 2003). Estas vías son de duración limitada (mientras dure el estado de aguas altas), el grado de interconexión entre las depresiones depende de los niveles que alcance el agua superficial, la velocidad de escurrimiento es extremadamente lenta y se produce en amplias extensiones con muy poco tirante hidráulico (en forma de manto). Pueden existir cursos de agua permanentes, que en buena parte del año permanecen en esa condición por aporte de aguas freáticas, pero su morfología (cauces anchos, poco profundos, con amplias planicies de inundación) es un índice más de los efectos de la baja energía erosiva de los cursos superficiales.

Jarsún (1996) distingue dos grupos de factores que afectan el escurrimiento de las aguas: los asociados a las precipitaciones y aquellos que dependen de las características físicas de la cuenca. Por otro lado, la forma, tamaño y orientación de las geoformas, la topografía, la geología, y también el tipo, manejo y uso del suelo, influyen sobre la cantidad y proporción de escurrimiento que pueda

esperarse después de una lluvia. Al papel importante que juegan sobre los escurrimientos los aspectos antes mencionados, se agrega la influencia del tamaño y localización de las obras viales e hidráulicas.

Las inundaciones y estructuras de ingeniería en las llanuras de inundación pueden conducir a cambios físicos del canal del río, de los patrones de sedimentación y de los linderos de inundaciones. Las imágenes de satélite pueden proporcionar una secuencia de cambios para complementar mapas y las fuentes de datos convencionales puntuales. Por lo tanto, las imágenes actualizadas del área de estudio, se pueden comparar con datos previamente definidos para determinar cambios durante períodos de tiempo específicos. De igual manera y usando imágenes de satélites, en la cartografía de una inundación se puede comparar el área inundada con otro mapa del área en condiciones previas a la inundación.

Aunque en el mundo no se encuentran llanuras que ocupen grandes extensiones, en Argentina tales ambientes son particularmente relevantes tanto en su expresión areal cuanto a su valor para la producción agropecuaria. En la denominada Pampa Deprimida (9.7 millones de hectáreas) el relieve es sumamente llano, con una pendiente promedio inferior al 0.1 %, llegando en sectores próximos a la costa a valores cercanos al 0.001 %. La cuenca del arroyo del Azul está incluida dentro de la Pampa Deprimida y está formada por una gran área llana (cuenca baja) y una pequeña zona serrana en el límite sur (cuenca alta) donde se ubican las nacientes del arroyo (Usunoff *et al.*, 1999).

Para detectar el patrón de expansión de las aguas en la cuenca del arroyo del Azul se realizó un análisis de imágenes LANDSAT 5 TM y 7 ETM+ (escenas 225-85 y 225-86), seleccionándose 7 fechas representativas de condiciones hidrológicas extremas e intermedias. Luego de la corrección geométrica de las imágenes, se construyeron máscaras binarias para identificar las zonas cubiertas por agua, que luego fueron promediadas para determinar en cada píxel un valor medio a manera de probabilidad de encontrarse anegado en un determinado momento. La Figura B.1 muestra las máscaras, el mapa final y un detalle en el que se observa los distintos “avances” de las aguas, desde las áreas siempre anegadas (lagunas permanentes) hasta aquellas que nunca han sido cubiertas por las aguas.



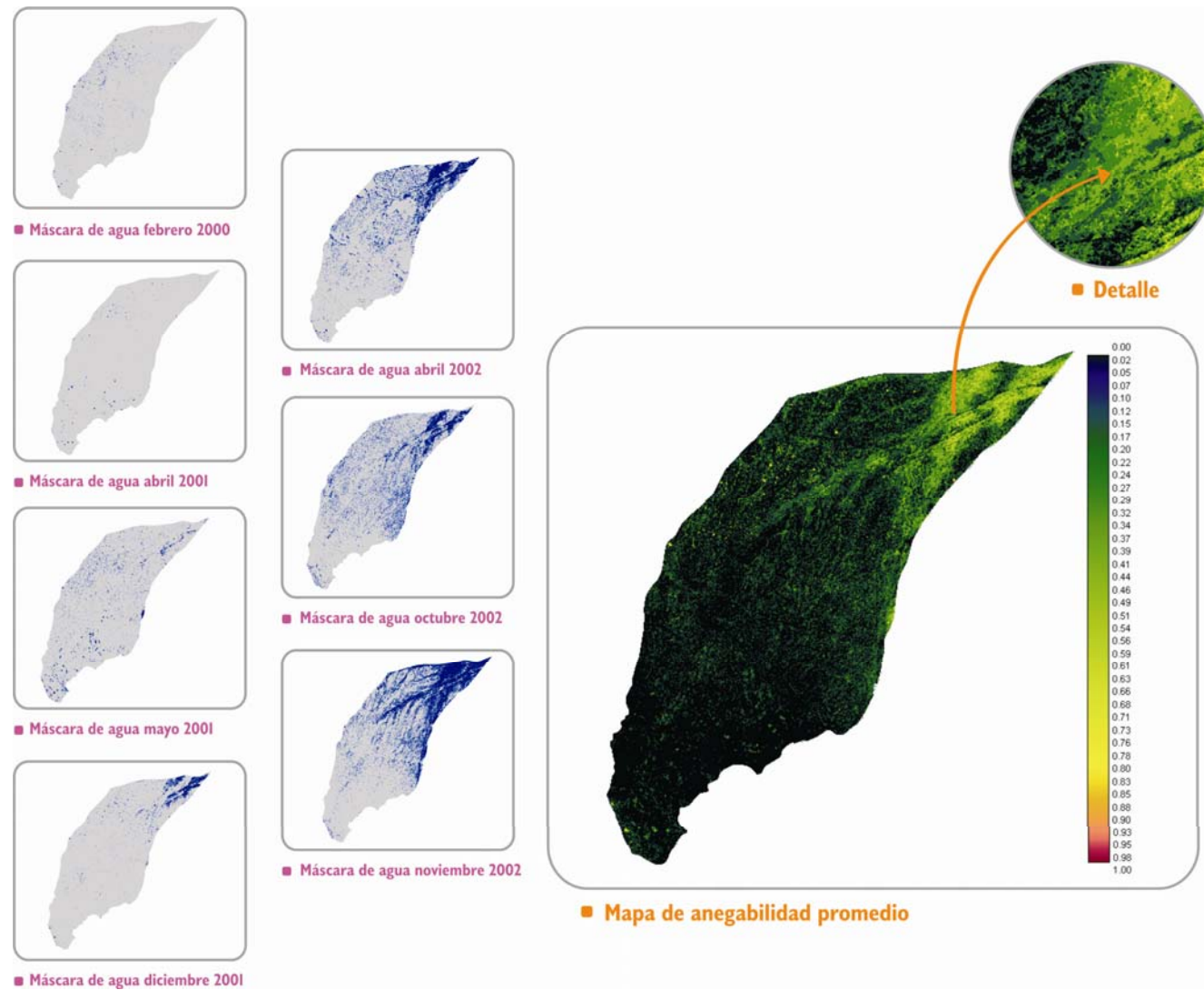


Figura B.1. Máscaras de agua y mapa de Anegabilidad promedio, con detalle.

## **ANEXO C**

### **Calidad de las tierras**

#### **Fuente de datos:**

Cartas de suelos del INTA.

Cuadernillos de las cartas de suelos del INTA.

#### **Fuente de información:**

Marzoratti, M., Ares, G.; Varni, M. y Entraigas, I. 2006. Caracterización espacio temporal de suelos, usos y precipitación para la realización de un balance hídrico diario de la cuenca del arroyo del Azul, Argentina. *VIII Congreso Latinoamericano de Hidrogeología*, organizado por la Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD), Asunción, Paraguay, 19 págs.

Marzoratti, M., Ares, G., Varni, M. y Entraigas, I. 2006. Planteo metodológico de obtención de áreas homogéneas para el cálculo de un balance hídrico diario en la cuenca del arroyo del Azul (Buenos Aires, Argentina). *XI Reunión Argentina de Agrometeorología*, organizada por Asociación Argentina de Agrometeorología, La Plata, Argentina, 36-37.

Ares, G., Varni, M. y Entraigas, I. 2006. Estimación del escurrimiento potencial con el uso de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. *XI Reunión Argentina de Agrometeorología*, organizada por Asociación Argentina de Agrometeorología, La Plata, 213-214.

Según Tricart (1973), la debilidad del potencial morfogenético de la Pampa Deprimida favorece la presencia de suelos muy antiguos, total o parcialmente conservados, alternando con suelos más recientes y desarrollados dentro de los anteriores. Así, se conforma un paisaje sin relieve marcado, caracterizado por la presencia de suelos con distintos grados de alcalinidad, salinidad e hidromorfismo, distribuidos en forma de mosaico por toda el área. Estos factores y la cantidad e intensidad de las lluvias son responsables de las frecuentes inundaciones y

anegamientos de variable magnitud a la que esta sujeta la región. La situación se ve agravada por el diseño de la red vial, frecuentemente en dirección transversal al del flujo de agua y la construcción de numerosos canales clandestinos, sin un criterio integral respecto del funcionamiento hidrológico regional (Rang *et al.* 1999).

En primer lugar se digitalizaron las 99 unidades cartográficas diferentes (70 complejos, 16 consociaciones y 13 asociaciones). Se identificaron 32 series y 5 grupos no diferenciados, de 11 subgrupos de suelos incluidos en 6 grupos (Figura C.1 y Tabla C.1). Todo esto, además de las áreas cubiertas por lagunas, afloramientos rocosos y centros urbanos.

A continuación, se describen de manera muy general los grupos de suelos presentes en la cuenca.

*Argiudoles*: suelos con horizonte A profundo, rico en materia orgánica, buena saturación con bases (mayor del 50%) y bien estructurado. Poseen un horizonte argílico (desarrollado por lixiviación) que se reconoce por la presencia de barnices. El régimen de humedad del suelo es típico de climas húmedos, pudiendo tener períodos secos de escasa intensidad (régimen údico). Esto también implica que la sección de control de humedad, en la mayoría de los años, no esté seca en ningún sector por un período mayor de 90 días acumulativos. Los típicos no tienen ningún tipo de limitación, por lo que en ellos se desarrolla la mayor parte de la actividad agrícola; mientras que en el caso particular de los líticos, la roca se encuentra dentro de los primeros 50 cm.

*Argialboles*: poseen un horizonte sub-superficial álbico, definido por la presencia de materiales álbicos, generalmente granos de arena no revestidos (sin barnices), empobrecido de materiales finos, bien lavado. Es el eluvial por excelencia, muy frecuente en suelos bajos, ocupando las partes cóncavas del relieve (ésta ubicación topográfica, justamente, produce una concentración de agua pluvial, lo que favorece la lixiviación del perfil y la formación del horizonte álbico, el que generalmente está muy bien definido y muestra marcados rasgos de hidromorfismo). Entre este horizonte y el Bt subyacente se produce un cambio textural abrupto, característico de este subgrupo.

*Natracuoles*: suelos con drenaje deficiente, con períodos de saturación y ambiente reductor. Con horizonte nátrico caracterizado por poseer más del 15% de sodio intercambiable, pH mayor de 8.5 desde la superficie, generalmente estructura columnar, acumulación de arcillas, materia orgánica dispersada (muy móvil), plásticos en húmedo y duros en seco. Poseen un horizonte oscuro, profundo, rico en bases y alto contenido de material orgánico (epidón mólico). El subgrupo típico agrupa a los suelos cuyos caracteres no se apartan de los que son taxonómicamente diagnósticos para el Gran Grupo, y hasta el momento la taxonomía no considera otros subgrupos.

*Natracualfes*: al igual que los anteriores, son suelos con drenaje deficiente, en algún momento del año están saturados y hay ambiente reductor (ausencia de oxígeno en el suelo, pero no se define la longitud del período). Presencia de horizontes argílico y nátrico. Más del 35% de saturación con bases. En el caso de los mólicos, el horizonte de superficie es oscuro, profundo, rico en bases y alto contenido de material orgánico.

*Hapludoles*: suelos con régimen údico de humedad, sin horizonte argílico, mullidos, blandos, con un horizonte superior moderadamente provisto de materia orgánica, con estructura débil, susceptible a la erosión eólica y excesivamente permeable. En el caso particular de los líticos, sólo constan de un horizonte A en contacto con el sustrato consolidado que limita la profundidad del suelo, impidiendo la normal percolación del agua y la exploración radicular.

*Paleudoles*: suelos profundos, con un horizonte de alto contenido de arcilla que decrece muy poco con la profundidad. Son muy evolucionados, tienen horizonte argílico y, en esta zona, presentan una capa de cementación dentro del metro de profundidad.

En la Tabla C.2 se detallan las áreas cubiertas por cada Subgrupo de suelo, conjuntamente con las lagunas y las ciudades, pueblos y zonas militares.



Tabla C.1. Unidades cartográficas, Series, Subgrupos y Grupos identificados a partir de la digitalización de las Cartas de Suelo (del INTA).

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MP · MP 1 · MP 3 · MP 4 · MP 5 · MP 6 · MP 7 · MP 8</li> <li>MP 9 · MP 10 · MP 12 · MP 16 · MP 17 · MP 26 · MP 38</li> <li>▪ Ta 20 · Ta 30 · Ta 31 · Ta 32 · Ta 33</li> <li>▪ TEs 4 · TEs 5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mar del Plata</li> <li>Tandil</li> <li>Tres Esquinas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argiudoles Típicos</li> </ul>	Argiudoles
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DNa 2 · DNa 4</li> <li>▪ LaB 1 · LaB 2 · LaB 3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dos Naciones</li> <li>La Barrancosa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argiudoles Líticos</li> <li>Argiudoles Acuicos</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ VD · VD 1</li> <li>▪ Ay 4 · Ay 5 · Ay 6</li> <li>▪ EY · EY 1</li> <li>▪ GG 22 · GG 25 · GG 26 · GG 28</li> <li>▪ LEs · LEs 4 · LEs 5 · LEs 7 ·</li> <li>▪ Min 1</li> <li>▪ Que</li> <li>▪ Rch</li> <li>▪ Vi · Vi 2 · Vi 3 ·</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Videla Dorna</li> <li>Ayacucho</li> <li>Estación Yervas</li> <li>General Guido</li> <li>La Escosia</li> <li>Miñana</li> <li>Querandíes</li> <li>Rauch</li> <li>Vichauel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argialboles</li> <li>Natracuoles Típicos</li> </ul>	Argialboles
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Che · Che 1 · Che 8</li> <li>▪ LE 2 · LE 3</li> <li>▪ LGZ</li> <li>▪ Co 206</li> <li>▪ CoAoGu</li> <li>▪ CoAoVi</li> <li>▪ CoVi</li> <li>▪ CoGZ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chelforo</li> <li>La Emma</li> <li>La Guarida del Zorro</li> <li>Complejo Arroyo del Azul</li> <li>Complejo Arroyo Gualicho</li> <li>Complejo Arroyo Videla</li> <li>Complejo Vichauel</li> <li>Complejo Guarida del Zorro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natracualfes Típicos</li> </ul>	Natracualfes
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Az 1 · Az 2 · Az 4 · Az 5</li> <li>▪ Bal · Bal 1 · Bal 3 · Bal 4 · Bal 6 · Bal 14 · Bal 26 · Bal 27 · Bal 28</li> <li>▪ LD 3 · LD 5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Azul</li> <li>Balcarce</li> <li>La Delicia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paleudoles Petrocálculos</li> </ul>	Paleudoles
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CC 8</li> <li>▪ SP 1 · SP 2 · SP 5</li> <li>▪ LA · LA 1 · LA 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cinco Cerros</li> <li>Sierra de los Padres</li> <li>La Alianza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hapludoles Líticos</li> <li>Hapludoles Petrocálculos</li> </ul>	Hapludoles
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BCh · BCh 1 · BCh 2 · BCh 6</li> <li>▪ Eg · Eg 1</li> <li>▪ ESM</li> <li>▪ Eto · Eto 1 · Eto 2 · Eto 3</li> <li>▪ SaL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blanca Chica</li> <li>Egaña</li> <li>Estancia Santa María</li> <li>El toro</li> <li>Santa Luisa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hapludoles Tapto Argicos</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cri</li> <li>▪ Mt</li> <li>▪ SCh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cacharí</li> <li>Monte</li> <li>Sierra Chica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hapludoles Tapto Nátricos</li> </ul>	

Tabla C.2. Área (km<sup>2</sup>) ocupada por los distintos Subgrupos de suelos (se adjuntan, además, las lagunas y ciudades).

Subgrupo	Área cubierta (km <sup>2</sup> )
Argiudoles típicos	1071.87
Argiudoles líticos	6.91
Argiudoles ácuicos	12.47
Argialboles	90.75
Natracuoles típicos	2607.33
Natracualfes típicos	1437.14
Paleudoles petrocálcicos	166.15
Hapludoles líticos	75.64
Hapludoles petrocálcicos	44.18
Hapludoles tapto árgicos	549.62
Hapludoles tapto nátricos	49.38
<i>Lagunas</i>	19.00
<i>Ciudades, pueblos, áreas militares</i>	86.15

## **ANEXO D**

### **Uso actual de las tierras**

#### **Fuente de datos:**

Imágenes SAC-C del período abril 2005 a marzo 2006, path 224, 225 y 226.

Verdades de campo.

#### **Fuente de información:**

Entraigas, I., Varni, M., Ares, G. y Marzoratti, M. 2007. Determinación del número de curva mediante teledetección y sistemas de información geográfica. *XXI Congreso Nacional del Agua*, Tucumán, formato digital.

Ares, G., Varni, M., Entraigas, I. y Marzoratti, M. 2007. Evaluación de la variación espacio temporal de la cobertura vegetal en una cuenca del centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *8ª Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos (CAIP)* organizado por el Centro de Información Tecnológica (CIT) de Chile. Asunción, Paraguay.

Ares, G., Varni, M., Entraigas, I. y Marzoratti, M. 2007. *Evaluación de la variación espacio temporal de la cobertura vegetal en una cuenca del centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina*. En: *Computación aplicada a la industria de procesos*. ISBN 1234-8989.

Varni, M., Entraigas, I. y Ares, G. Evolución espacio-temporal del uso de la tierra a partir del procesamiento de imágenes SAC-C en la cuenca del arroyo del Azul (Argentina). Enviado para su evaluación al Comité Editorial de la revista de la *ASAGAI -Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente-* (ISSN 0326-1921).

La productividad de las tierras en la región, según el índice desarrollado por Riquier *et al.* (1970), con las modificaciones agroecológicas locales introducidas por el Instituto de Evaluación de Tierras del INTA y mediante la digitalización de las Cartas de Suelo llevada a cabo en el IHLLA, es la siguiente: la cuenca presenta 933 km<sup>2</sup> (15%) de tierras con aptitud agrícola de alta productividad, 914 km<sup>2</sup> (14%)



de tierras con aptitud agrícola-ganadera, 542 km<sup>2</sup> (9%) de tierras con aptitud ganadero-agrícola, y 3.846 km<sup>2</sup> (62%) de tierras con aptitud ganadera. Esto configura una región que dadas sus características agroecológicas plantea variadas posibilidades y alternativas productivas, pero con una marcada predominancia de aptitud para la ganadería extensiva.

Para obtener las áreas ocupadas por los distintos usos, se construyen mapas que se obtienen mediante clasificación de imágenes del satélite SAC-C. La elección de este satélite está basada en que se considera que posee una resolución espacial, temporal y espectral adecuada para este tipo de estudio. La resolución espacial se refiere a la capacidad del sensor en distinguir el objeto más pequeño posible en una imagen. Si se tiene en cuenta que, en este caso, se trabaja a una escala regional en la que predominan usos del suelo en lotes relativamente grandes, no es necesario trabajar con una escala espacial muy detallada. La resolución de las imágenes de la Misión MMRS es de 175 metros, con un ancho de barrido de 360 kilómetros por lo que la resolución del satélite SAC-C parece adecuada para la detección de las actividades agropecuarias ([www.conae.gov.ar](http://www.conae.gov.ar)). La resolución temporal se refiere a la periodicidad con la que se adquieren imágenes del área bajo análisis. En la zona de estudio la disponibilidad de imágenes se ha visto favorecida por el hecho de que, por un lado, el satélite seleccionado ha tenido períodos de revisita de 16 días y, a partir del 1 de agosto de 2005, lo tiene de 9 días; mientras que por otro lado la cuenca bajo estudio se encuentra cubierta mayormente por 2 paths (224 y 226). Debe considerarse que durante el período invernal existe alta probabilidad de encontrar la cuenca cubierta de nubes y, por lo tanto, se torna necesario analizar varias imágenes mensuales para asegurar que alguna de ellas coincida con un día despejado. La resolución espectral indica el número y ancho de bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En este trabajo, las coberturas del suelo en la zona de estudio están asociadas fundamentalmente a usos agrícolas y ganaderos (cultivos, pasturas naturales e implantadas, rastrojos, suelo desnudo, montes, agua, etc.) y, en forma muy minoritaria en cuanto a la representatividad areal, a zonas con presencia de ciudades. Las bandas del visible, el infrarrojo cercano y medio, contenidas en la misión SAC-C parecen suficientes para discriminar las coberturas mencionadas.

Dada la variabilidad temporal de los usos del terreno, se ha considerado necesaria una caracterización de los mismos cada uno o dos meses dependiendo de: a) los cambios de uso en ese período y, b) de la disponibilidad de imágenes de calidad. Para comenzar el análisis se realizó una definición inicial rectangular del área de interés y se llevó a cabo la corrección geométrica de las imágenes a partir de puntos de control, para finalmente superponer una máscara con los límites de la cuenca. Luego de varias exploraciones previas, se seleccionaron las bandas 4, 5 y 3 (infrarrojo cercano, medio y rojo, respectivamente), ya que con esta combinación se obtuvieron los mejores contrastes de los distintos usos del suelo en el área de estudio para las fechas analizadas. Cabe señalar que en los meses de primavera y verano fue necesario introducir el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) en dicha combinación para lograr una discriminación más ajustada de las distintas coberturas.

Se llevó adelante una clasificación no supervisada de las imágenes, en la cual el espectro general se divide en clases que, por lo general, están vinculadas a distintos usos de la tierra (Navone y Gargantini, 2003). Para verificarlo y para asignar a cada clase uno o varios usos, debe encontrarse la correspondencia entre esas clases obtenidas y las categorías de usos tal como nos interese definir las (Chuvieco, 2002). Esto se logra mediante un trabajo de campo en el que se reconocen los usos de la tierra para las fechas de cada imagen y con esta información de verdad de campo se asigna, por reclasificación, los usos del suelo a cada clase obtenida. La lógica con la que trabaja la clasificación no supervisada se conoce como análisis cluster o de grupos, de los cuales se han desarrollado cientos de métodos para una gran variedad de propósitos. Los algoritmos usados para la clasificación no supervisada de datos de sensores remotos generalmente varían de acuerdo a la eficiencia con la que se arman los grupos, teniendo en cuenta que diferentes criterios de eficiencia llevan a diferentes resultados (Haralick y Fu, 1983). En este caso en particular, se utilizó la técnica máxima de histograma multi-dimensional, que es una variante de la llamada Pico del Histograma (Richards, 1993). Teniendo en cuenta que una vez clasificados los datos, el analista a posteriori asigna esas clases espectrales a las clases de interés y dado que algunos clusters pueden resultar insignificativos en cuanto al número de píxeles involucrados al representar mezclas de clases de los materiales de la superficie

terrestre (Jensen, 1996), es que se desecharon aquellos clusters que describían menos del 10% de la imagen, para luego reasignarlos al cluster más similar de los retenidos. Cabe señalar que en este análisis se emplearon directamente los números digitales de la imagen, ya que no se pretendió conceder un valor físico a los resultados, lo que implica presentar una valoración relativa. Esta metodología es avalada por numerosos autores (Chuvienco, 2002).

En la Figura D.1 se muestran las distribuciones espaciales de los usos determinados mediante la metodología descrita anteriormente y en la Tabla D.1 se exponen las áreas correspondientes a cada uno de esos usos. Cabe señalar aquí que para las categorías monte, roca, urbano, lagunas y bajos se utilizaron máscaras, ya que resultó muy dificultosa su discriminación a lo largo de todo el período analizado, por lo que se optó por superponer los polígonos correspondientes a cada uno de dichos usos que fueron digitalizados sobre imágenes de mayor resolución espacial (Landsat y Spot).

Más de la mitad de la cuenca se destina a pajonal, campo natural y pasturas degradadas para el desarrollo de ganadería extensiva. Esta zona ocupa el área llana de la cuenca, con los suelos menos desarrollados y con mayores problemas de drenaje. En lo que respecta a praderas implantadas de buena calidad, adicionalmente a los anteriores, se ha distinguido hasta un máximo de 1000 km<sup>2</sup> en la cuenca alta.

Respecto al uso agrícola, los rastrojos ocupan, en promedio, unos 500 km<sup>2</sup>, con dos picos cercanos a los 800 km<sup>2</sup>, correspondientes a los momentos posteriores a las cosechas de maíz y soja, por un lado, y a la de trigo, por otro. El trigo y los cereales de invierno ocuparon un área aproximada de 550 km<sup>2</sup>, la soja de primera 800 km<sup>2</sup> y la soja de segunda 250 km<sup>2</sup>.

Los usos con mayores problemas en su definición en las imágenes resultaron ser la soja de segunda y la vegetación seca, ya que se confunden con otras categorías. Asimismo, el cultivo de maíz no se pudo discriminar de las pasturas en buen estado, por su comportamiento espectral similar. Los usos mejor definidos fueron campo natural, rastrojo, soja de primera y trigo y cereales de invierno. De todas maneras, los resultados se consideran adecuados a los objetivos planteados.

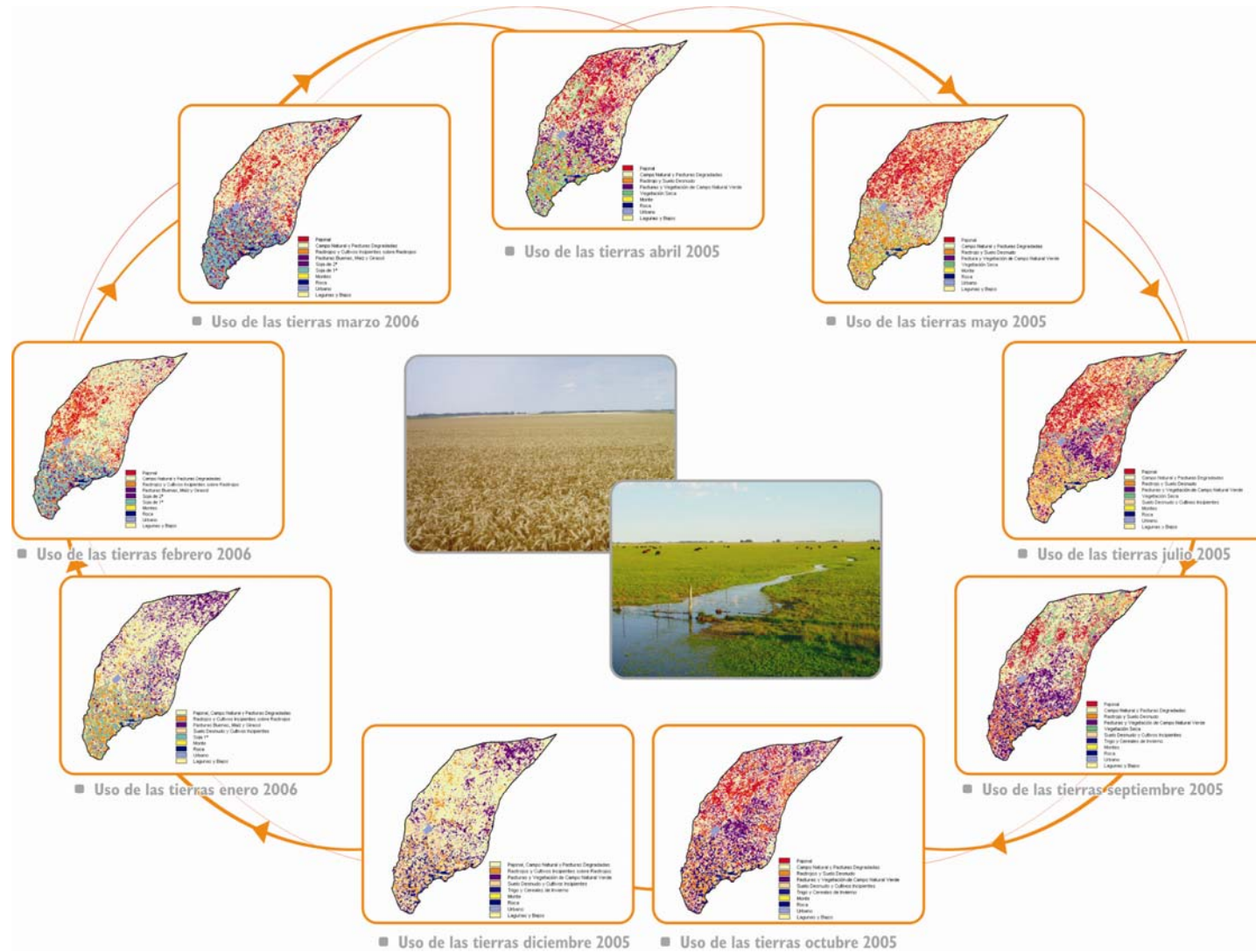


Figura D.1. Dinámica del uso de la tierra para el período abril de 2005 - marzo de 2006.

Tabla D.1. Superficie (km<sup>2</sup>) de de los usos de suelo discriminados en cada fecha de análisis.

Referencia	2005						2006		
	Abr.	May.	Jul.	Sep.	Oct.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
Pajonal	1122.5	1638.5	1693.1	986.3	1098.3	--	--	980.2	846.4
Campo Natural y Pasturas Degradadas	2825.9	2915.0	2248.1	2448.1	2363.8	--	--	3323.1	2951.1
Pajonal, Campo Natural y Pasturas Degradadas	--	--	--	--	--	3446.5	3378.0	--	--
Rastrojo y Suelo Desnudo	326.0	827.3	543.2	306.2	520.2	--	--	--	--
Rastrojo y Cultivo Incipiente s/Rastrojo	--	--	--	--	--	467.5	813.9	489.5	345.6
Pastura y Campo Natural Verde	1121.7	279.9	755.9	1039.6	1280.0	833.5	--	--	--
Pasturas, Trigo y Cereales de Invierno	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Pasturas buenas, Maíz y Girasol	--	--	--	--	--	--	1357.6	293.7	852.0
Vegetación Seca	705.4	440.8	489.0	460.7	--	--	--	--	--
Suelos Desnudos y Cultivos Incipientes	--	--	372.2	429.4	295.9	763.1	9.4	--	--
Trigo y Cereales de Invierno	--	--	--	431.2	543.3	590.9	--	--	--
Soja 1°	--	--	--	--	--	--	542.6	724.8	855.8
Soja 2°	--	--	--	--	--	--	--	290.2	250.6
Monte	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
Roca	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8
Urbano	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8
Lagunas y Bajos	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7
Total	6234.1	6234.1	6234.1	6234.1	6234.1	6234.1	6234.1	6234.1	6234.1

## **ANEXO E**

### **Disponibilidad y calidad del agua para los distintos usos**

#### **Fuente de datos:**

Base de datos del Laboratorio de Hidroquímica del IHLLA

#### **Fuente de información:**

IHLLA. 1996. *Red de monitoreo de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo del Azul*. Informe Final. 76 págs.

### **Detalles de la red de monitoreo**

**Densidad:** La cuenca del arroyo del Azul, desde sus nacientes en Chillar hasta la altura del Canal 11, cubre un área aproximada de 6237 km<sup>2</sup>, por consiguiente, la densidad media es de un pozo cada 156 km<sup>2</sup>.

**Distribución espacial:** Teniendo en cuenta lo señalado en el informe “Hidrología de los sectores alto y medio de la cuenca del arroyo del Azul” (IHLLA, 1995), los freáticos han sido instalados en sitios considerados representativos de un cierto entorno meso-regional.

**Características constructivas:** Las perforaciones se efectuaron con máquina rotatoria, provista con trépano (de aletas o tricono, según el caso) de 3” de diámetro. No se utilizó bentonita durante la perforación y en la mayoría de los casos la circulación se hizo abasteciendo los tanques con agua local (molinos de establecimientos de campo cercanos). Estas prevenciones tienden a minimizar la “contaminación” del pozo con elementos ajenos al sistema natural, evitando con ellos largos períodos de espera hasta recuperar las condiciones iniciales.

Los freáticos son tubos de PVC reforzado de 2” de diámetro, perforados en su metro inferior. Las longitudes son variables, en estricta dependencia con el sector de la cuenca donde se instalaron. El tramo rasurado se encuentra aproximadamente a 2 metros por debajo de la superficie freática. El espacio anular entre el pozo y el entubado, en el sector filtrante, fue completado con

grava preseleccionada. Por encima de tal sector, y hasta unos pocos centímetros de la superficie del terreno, se completó tal anular con bentonita. Como remate del freatímetro, se instaló un pilar de cemento con pestañas de hierro en su parte inferior, que se solidarizó con su base usando una lechada de cemento. La parte superior del pilar se protegió con una chapa identificatoria del número de freatímetro. Asimismo, en algún alambrado cercano se colocó una chapa con colores vivos portadora de la misma identificación numérica.

Las muestras para el análisis químico del agua son extraídas con una bomba manual, y los niveles son medidos con una sonda.

A continuación, en las Figuras E.1 a E.5 se destacan los histogramas, la curva de probabilidad acumulada y la distribución espacial de los valores para las variables de Disponibilidad de agua para los distintos usos (Niveles freáticos), Concentración de nitratos, Relación de absorción de sodio, Conductividad eléctrica y Sólidos totales disueltos, respectivamente (realizados con los softwares GSLib 90 y GSview 4.0); mientras que en la Tabla E.1 se detallan las coordenadas, y los valores medios que fueron interpolados para cada variable.

Tabla E.1 Coordenadas de los pozos y valores medios utilizados en la interpolación.

Pozo	X	Y	Niveles freáticos	Concentración de Nitratos	RAS	Conductividad eléctrica	TDS
1	5520550	5937000	1.45	6.3	2.22	622.1	537.89
2	5524250	5947350	1.70	9.5	3.50	686.4	585.75
3	5537750	5956400	1.33	6.7	4.97	943.8	804.48
4	5548800	5959200	2.26	10.6	6.62	1404.6	1161.69
5	5560200	5969550	1.38	13.2	8.34	2930.0	2189.88
6	5568900	5978600	1.52	13.0	10.80	2335.0	1770.88
7	5575650	5971700	1.82	7.4	9.04	1357.1	1071.53
8	5561050	5989650	2.02	8.4	6.37	1000.6	868.25
9	5553000	5981550	1.21	-----	3.45	1899.8	1414.51
10	5545750	5974750	2.25	9.3	2.99	686.4	610.47
11	5532150	5978450	2.29	43.5	3.62	1053.2	868.07



12	5525400	5964700	1.08	6.0	3.73	623.3	576.41
13	5515400	5956150	1.63	5.4	3.10	581.3	521.14
14	5512260	5948250	1.64	18.3	6.05	789.9	673.33
15	5502500	5939500	1.82	4.4	3.02	740.0	640.79
17	5528750	5925000	2.05	8.1	4.54	815.3	624.73
18	5549600	5924750	1.78	3.1	2.67	616.9	536.54
19	5534900	5942550	2.61	3.4	2.65	553.5	484.62
20	5557150	5955750	1.12	5.1	5.05	1080.4	864.27
21	5545200	5944650	1.09	16.4	4.78	687.0	557.22
22	5552750	5935550	1.57	4.3	4.01	675.0	557.93
23	5518950	5924100	2.66	5.2	3.33	606.9	510.54
24	5530600	5911250	2.18	24.5	2.57	697.6	593.73
25	5539650	5903050	1.65	5.5	3.60	791.5	670.47
26	5549850	5910050	1.90	5.7	4.74	834.1	706.47
27	5516050	5915750	2.27	11.0	2.80	608.1	533.19
28	5513500	5903750	1.14	7.1	2.02	848.4	712.98
29	5503250	5908500	1.96	84.9	1.94	879.6	705.65
30	5497350	5899850	2.02	18.8	1.54	584.3	508.84
31	5502700	5877300	2.54	5.9	2.32	694.0	601.38
32	5495150	5921750	2.58	4.6	1.42	581.3	495.89
33	5494030	5913300	2.09	31.2	1.63	593.5	516.31
34	5504400	5887700	2.07	54.2	1.18	567.5	536.88
35	5501500	5871700	3.39	-----	2.13	1090.0	831.24
36	5490500	5877500	2.63	23.4	3.31	784.3	652.79
38	5507450	5920000	2.84	6.5	-----	1071.5	898.64
39	5487750	5898750	0.76	25.3	2.02	717.6	615.43
40	5510650	5931400	3.96	13.2	4.60	917.0	826.77
41	5511700	5932500	3.62	-----	-----	-----	1430.85



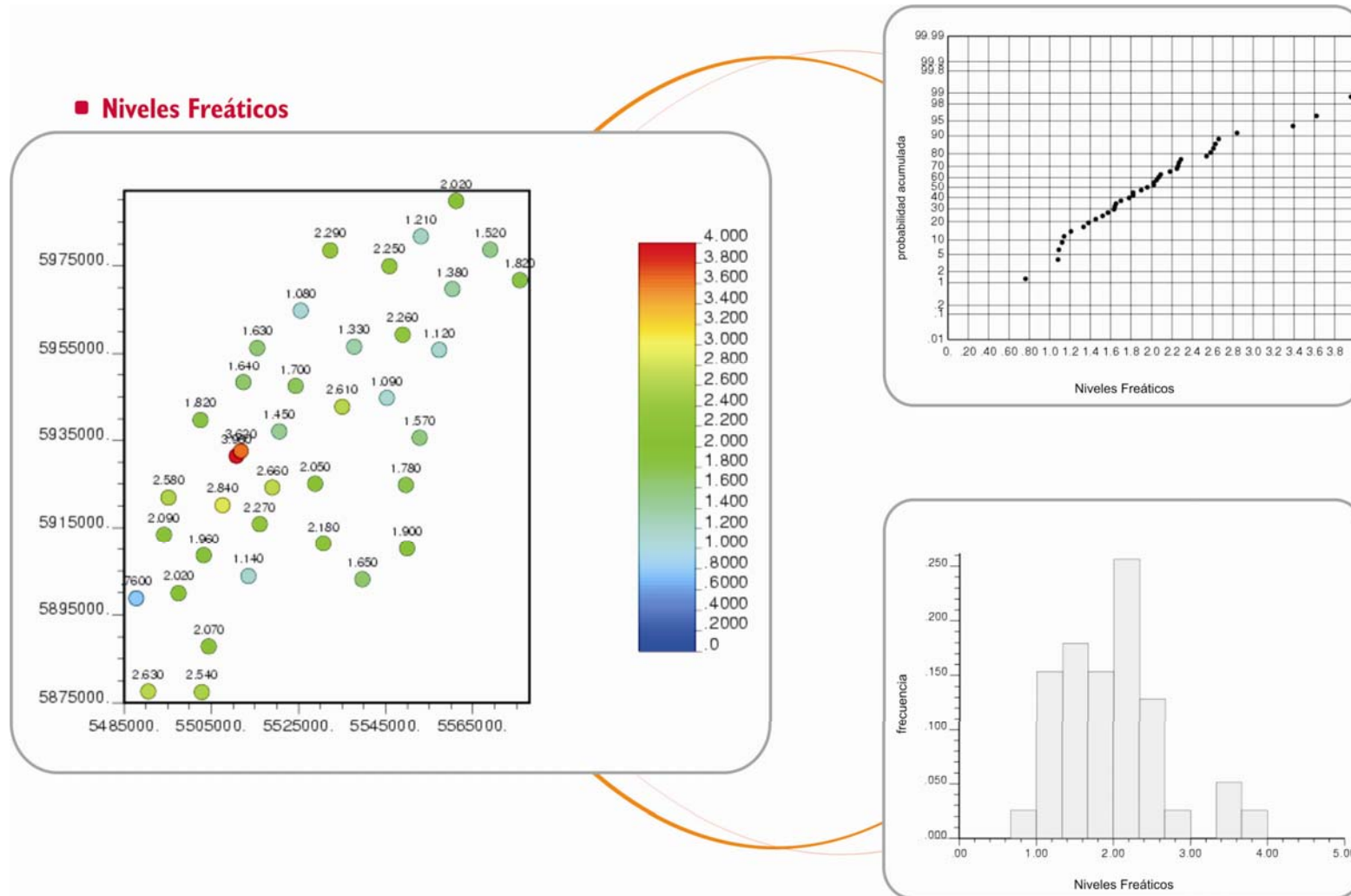


Figura E.1. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores de niveles freáticos para la variable Disponibilidad de agua para los distintos usos.

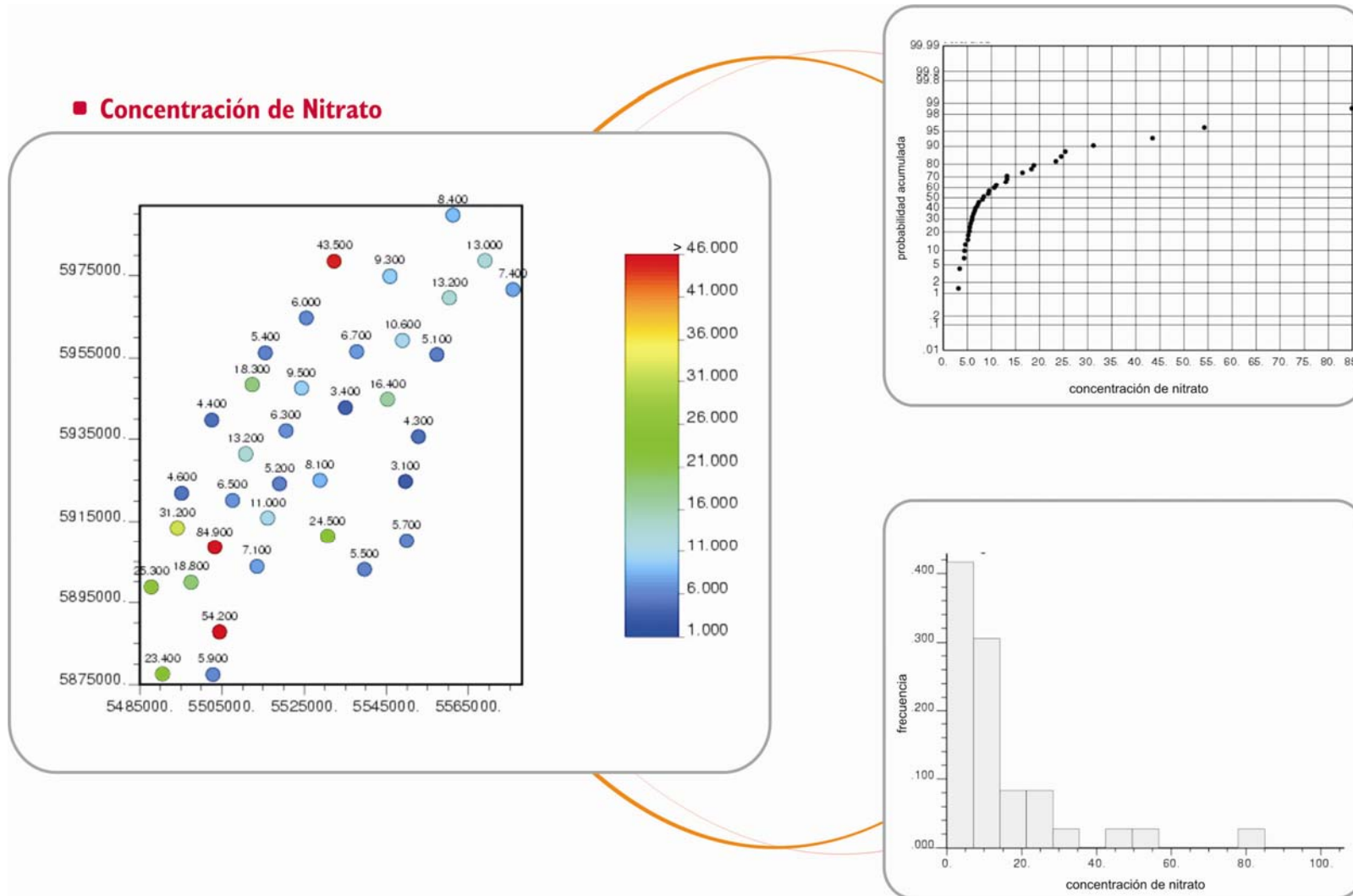


Figura E.2. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores Concentración de Nitratos.

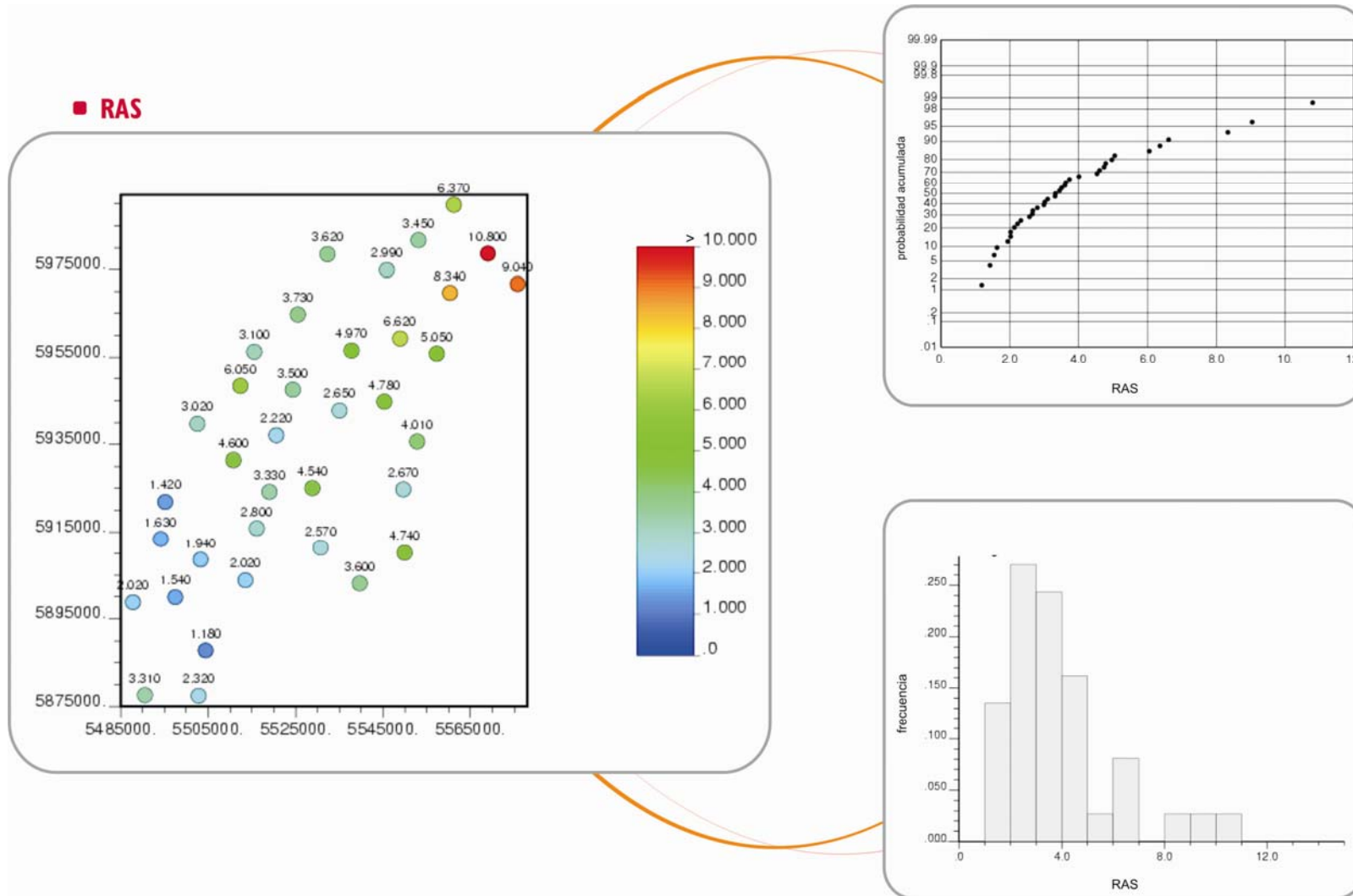


Figura E.3. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores RAS.

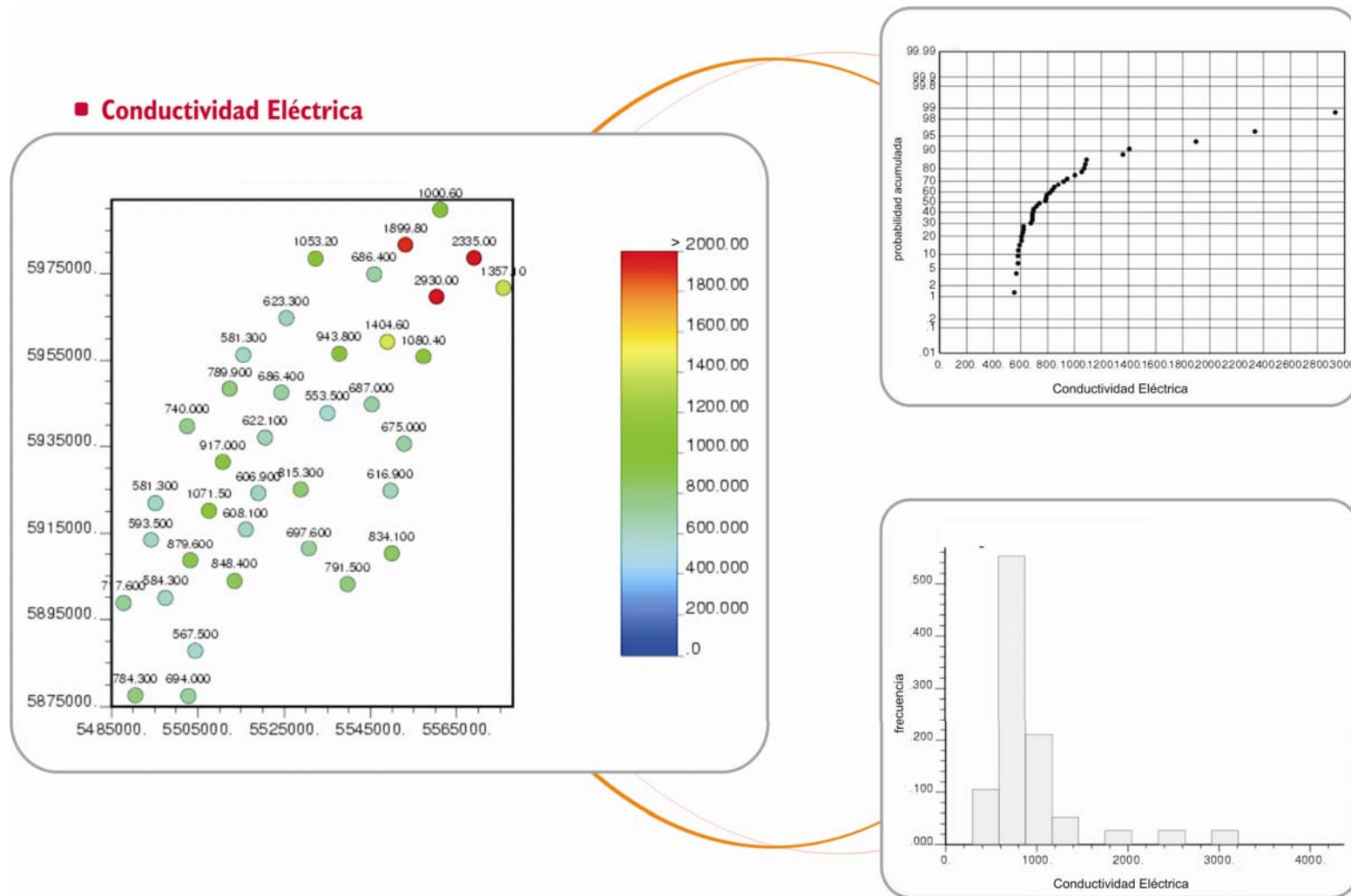


Figura E.4. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores Conductividad eléctrica de las aguas subterráneas.

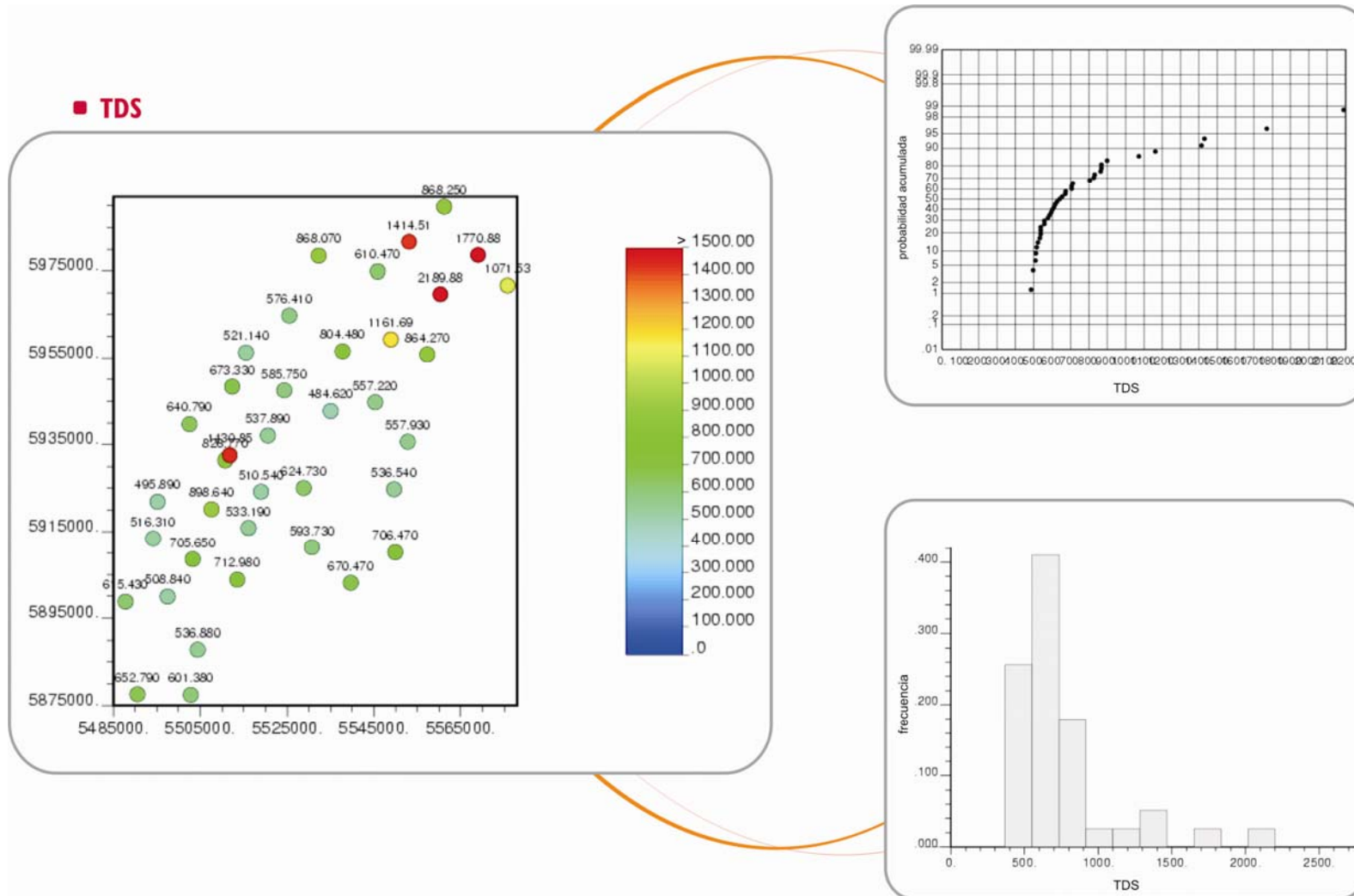


Figura E.5. Histograma, curva de probabilidad acumulada y distribución espacial de los valores de TDS